

4. APLICACIÓN DEL CONTROL DMC A LA PLANTA PILOTO.

Como se ha comentado anteriormente el objetivo de este proyecto es realizar un control DMC para la planta piloto. En este punto de la memoria se tratará de explicar de la forma más sencilla y detallada posible los pasos a seguir para obtener un modelo del sistema así como también se tratará de explicar el funcionamiento del controlador para calcular las acciones que ha de llevar a cabo sobre las variables manipulables para conseguir el set-point deseado sobre las variables dependientes.

4.1 Descripción de la planta piloto.

La planta piloto es una planta experimental muy simple utilizada para poner en marcha diversas técnicas de control. A continuación se detallan sus componentes y en la figura 4.1 se puede ver un esquema de la misma. Además en dicha figura se puede observar también las etiquetas asignadas a cada una de las variables del sistema.

- Depósito de agua con una resistencia en su interior para calentarla.
- Circuito de agua fría cuya temperatura se mantiene por medio de un refrigerador.
- Circuito de agua caliente cuya temperatura se mantiene constante por medio de un termo acumulador.
- Circuito de recirculación del agua del depósito.
- Intercambiador de calor entre la corriente de recirculación y la corriente de agua fría.
- Además existen otros equipos de instrumentación y control como válvulas, bombas, sensores de temperatura, caudalímetros, sensor de nivel, etc.

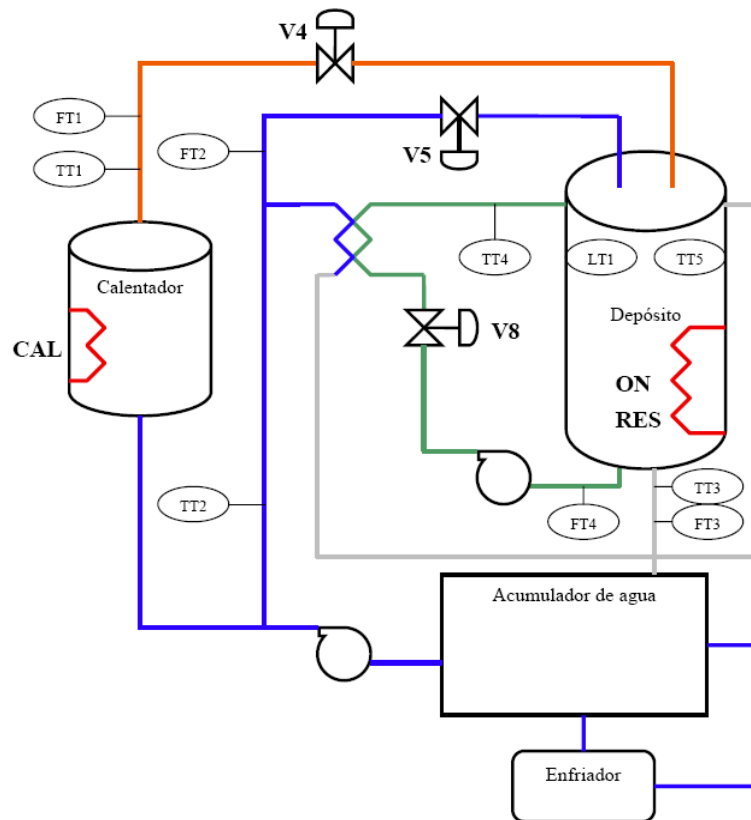
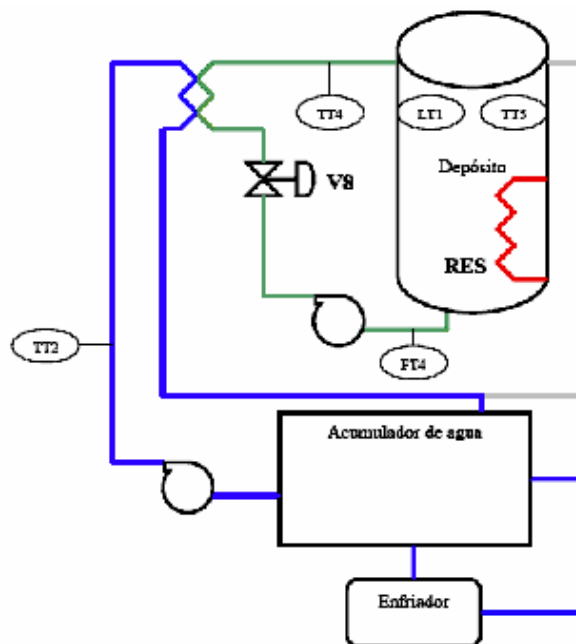


Figura 4.1

Sin embargo el sistema con el que se va a tratar trabaja únicamente con la corriente de recirculación, manteniéndose pues en todo momento cerradas las válvulas V5 y V4. Por tanto el esquema de sistema resultante es el representado en la figura 4.2.



Las variables manipulables son la válvula V8 y el porcentaje de encendido de la resistencia.

Las variables a controlar son la temperatura del depósito TT5 y la temperatura de la corriente de recirculación TT4.

Figura 4.2

Una vez descrita la planta se va a proceder a explicar como se ha obtenido el modelo de la misma.

4.2 Obtención del modelo de la planta piloto mediante DMCplus Model.

Para crear un modelo de la planta se ha partido inicialmente de los datos de un experimento que ya se tenían de un proyecto anterior. Una vez obtenido el modelo que mejor se ajusta a estos datos lo que se ha hecho ha sido realizar un nuevo experimento con la planta piloto para validarlo, pues aunque resulta reconfortante ver que un modelo proporciona buenas predicciones, si se usan los mismos datos para crear el modelo y validarlo se puede llegar a conclusiones incorrectas. Es por esta razón por la que se hizo un nuevo experimento para asegurar así que el controlador funcionará correctamente. No hay que olvidar que el DMC es un control predictivo basado en modelo por lo que el modelo del sistema tiene que ser lo más exacto posible.

A continuación se detallan los pasos seguidos para crear el modelo del sistema:

1. Abrir una sesión de DMCplus Model y crear un nuevo proyecto.
2. Importar los datos del archivo .clc correspondiente en este caso plantap.clc, no olvidar marcar la casilla interpolate bad/missing samples.

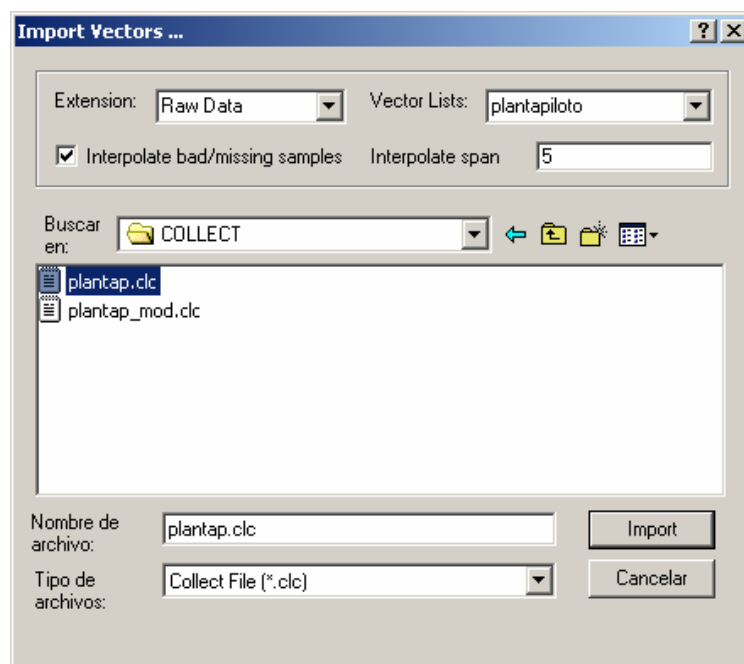


Figura 4.3

3. Comprobar que no hay datos erróneos, en la lista de vectores, y si hay alguno marcarlo como bad slice.

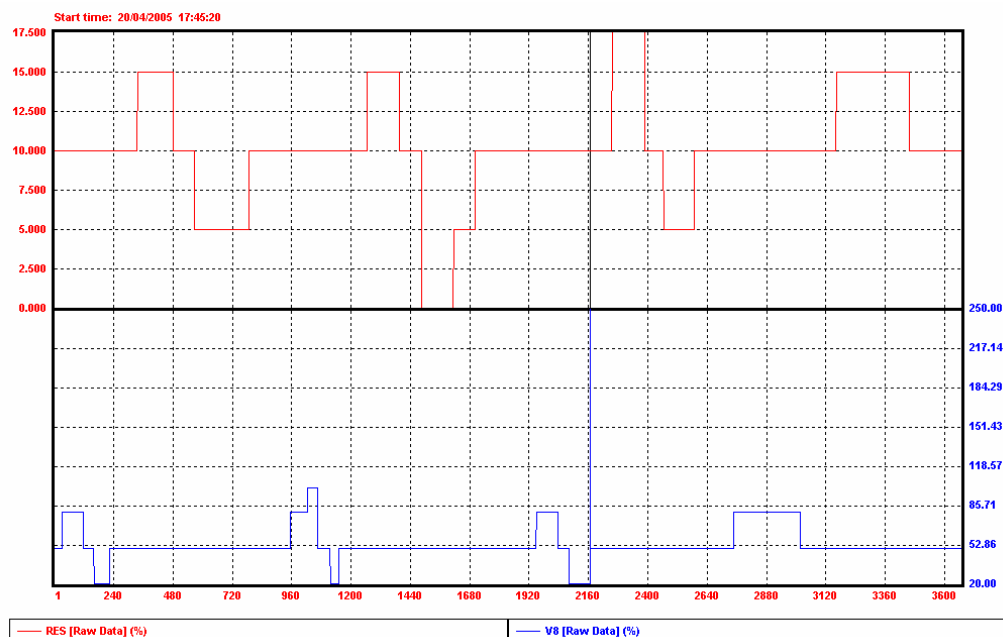


Figura 4.4

Se puede observar en la figura 4.4 que hay un dato erróneo en la apertura de la válvula en las muestras 2164 a 2166, luego estos valores se marcan como bad slices para todos los vectores.

4. Crear tantas listas de variables como sean necesarias, en este caso se han creado dos listas, una de variables dependientes (CV) en la que están incluidas la temperatura del depósito TT5 y la temperatura de la corriente de recirculación TT4, y otra de variables independientes (MV o FF) donde se incluyen la resistencia RES y la válvula V8, ver la figura 4.5. El objetivo de estas listas no es otro que organizar las variables para facilitar el trabajo.

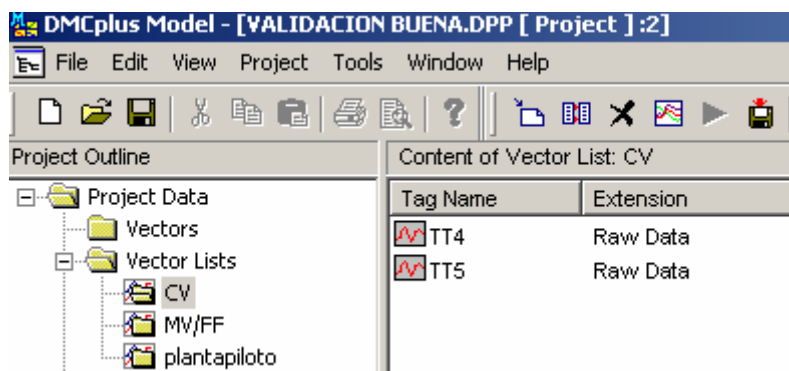


Figura 4.5

5. Crear tantos casos para identificar el modelo como sean necesarios, hay que señalar que para crear estos casos, aunque no es necesario conocer la dinámica del sistema, si resulta muy conveniente conocer el comportamiento del mismo ante las distintas perturbaciones puesto que se puede simplificar mucho la tarea de identificación. Así, en esta ocasión se han creado varios casos diferenciados entre sí en el tiempo de establecimiento del sistema y en la configuración de las variables dependientes según seas marcadas como RAMP o no.

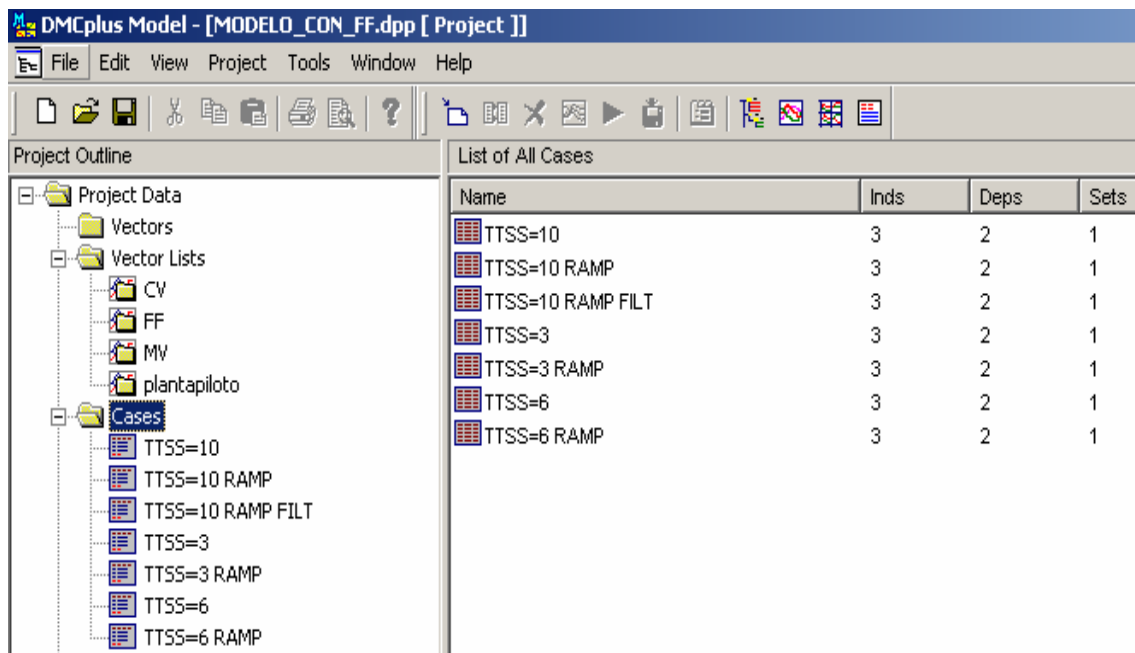


Figura 4.6

Al crear un caso nuevo aparece una ventana de propiedades del mismo en el que se editarán el nombre del caso, las variables independientes y dependientes, se marcarán los bad slices y se generarán tantos casos de identificación como se quieran ya sean mediante el método FIR o el método Subspace Identification. Todo esto se puede ver en la figura 4.7.

Una vez creado el caso se pulsa el botón Run para obtener las curvas de los distintos modelos.

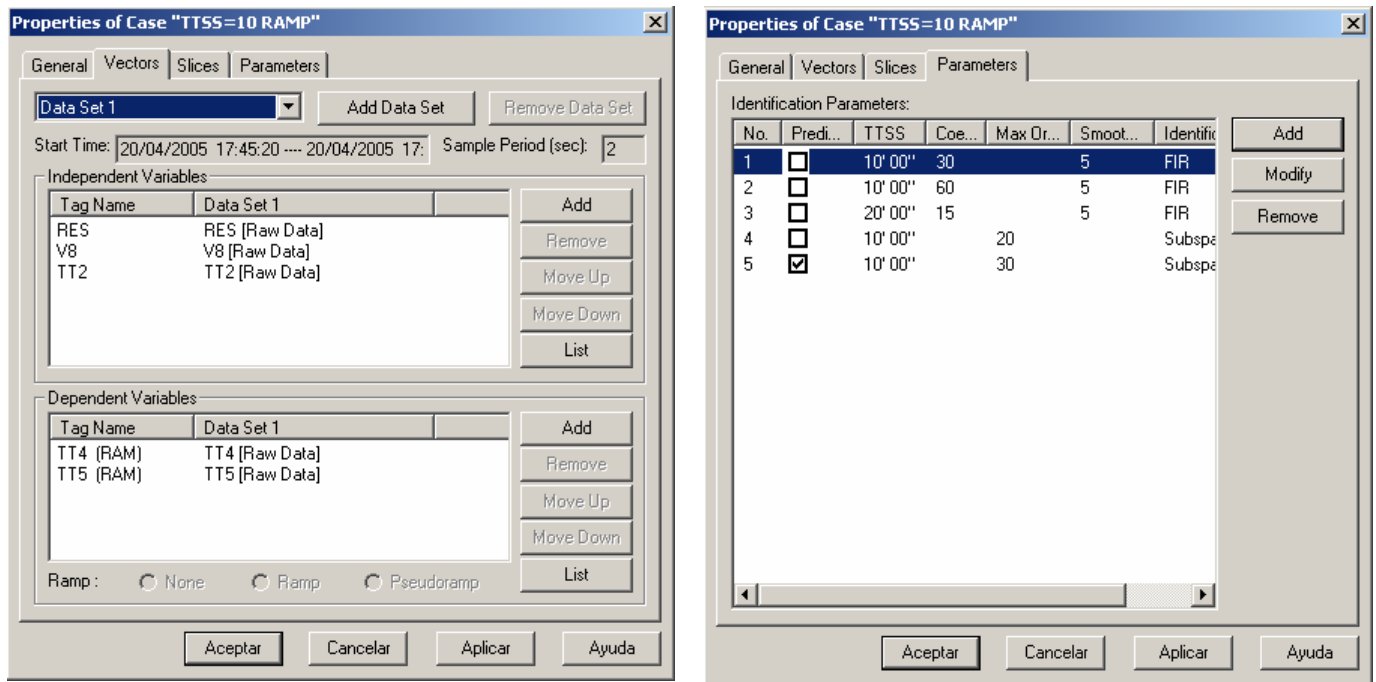


Figura 4.7

Hay que decir que aunque la carga computacional del método Subspace Identification es más elevada que la de FIR, proporciona curvas del modelo más ajustadas ya que es capaz de eliminar el efecto de perturbaciones de tipo drift disturbances. Es por ello que al crear el caso se marca la predicción para este método tal y como aparece en la figura.

En la figura 4.8 se representan las curvas del modelo del sistema obtenido por el método FIR cuando las variables TT4 y TT5 no son marcadas como RAMP.

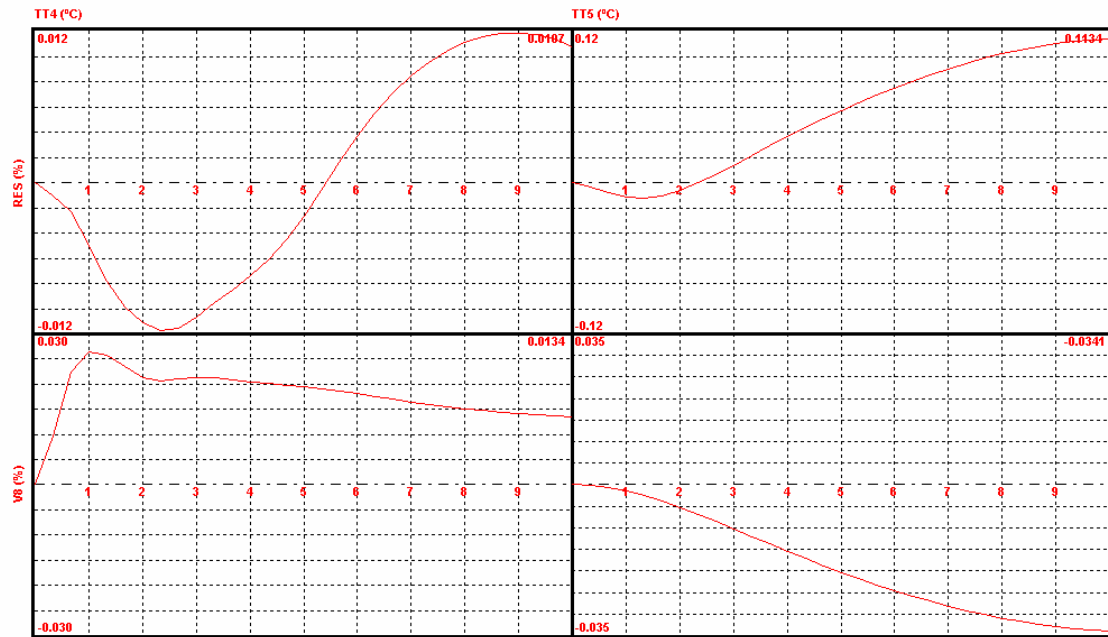


Figura 4.8

Las ganancias en el steady state para este modelo son:

	TT4	TT5
RES	0.010724	0.113357
V8	0.013407	-0.034059

6. El siguiente paso tras crear un caso es generar las predicciones del mismo, así, en la figura 4.9 se ve que las predicciones obtenidas para el modelo anteriormente representado no son muy buenas.

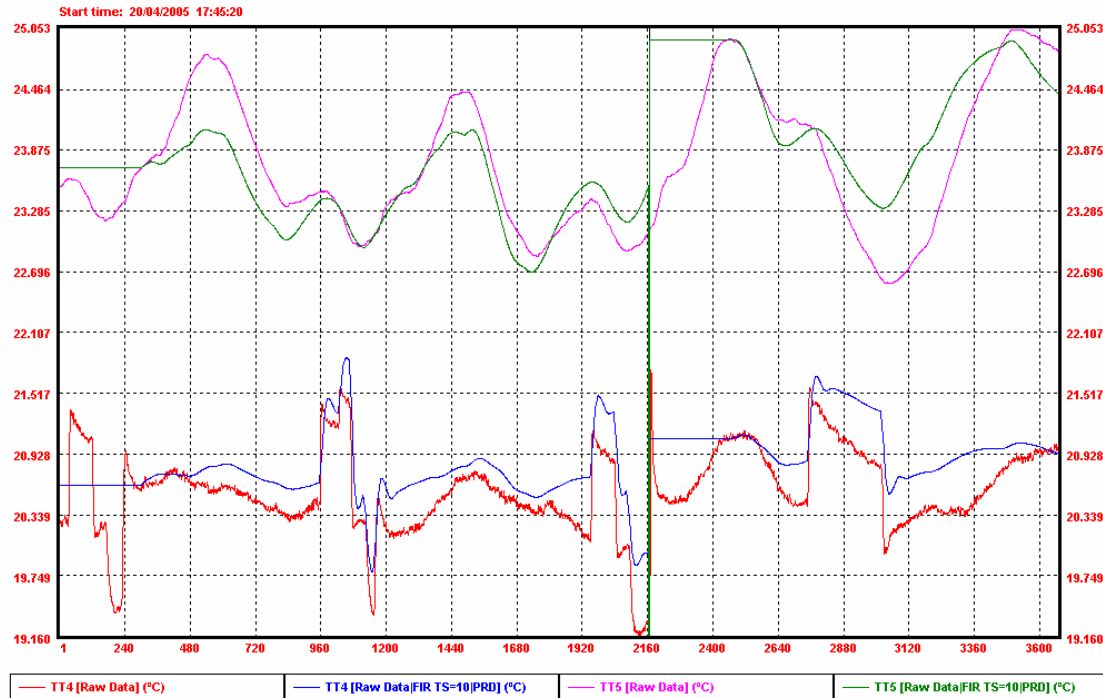


Figura 4.9

En esta figura se puede observar que existen dos tramos en los que no se realizan predicciones, esto es porque durante estos intervalos el controlador emplea las muestras pertenecientes a dichos intervalos para calcular las predicciones. El segundo de estos tramos coincide justo con las muestras posteriores a las declaradas como bad slices, y es que cada vez que se asigne un conjunto de datos como erróneos mediante un bad slice el programa volverá a iniciar el cálculo de las predicciones.

7. Repetir este proceso tantas veces como sea necesario hasta obtener un modelo que ajuste de la forma más exacta posible las predicciones a los datos obtenidos del ensayo.

Con el ánimo de mejorar los resultados obtenidos se analiza el sistema con el que se está tratando y se decide el marcar las variables TT4 y TT5 como variables RAMP, puesto que la evolución que presentan las mismas cuando se aplica una entrada en escalón en cualquiera de las variables manipulables del sistema es en forma de rampa (si se aplica a la resistencia un escalón que la haga pasar del 0% al 10%, el agua del depósito comenzará a calentarse sin detenerse el aumento de temperatura hasta que la resistencia se apague y del mismo modo ocurriría con TT4 puesto que la temperatura de la corriente de recirculación sigue una evolución parecida a la del depósito).

Así, las curvas del modelo cuando las variables dependientes son RAMP se adjuntan en la figura 4.10.

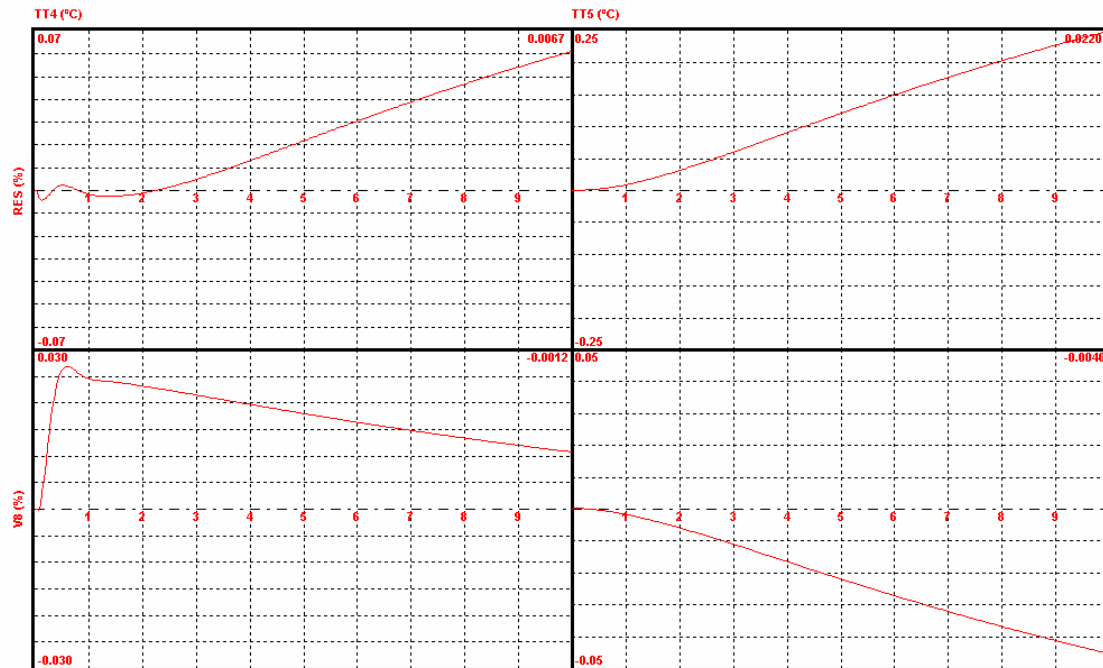


Figura 4.10

Las ganancias del modelo en el teady state son:

	TT4(Ramp)	TT5(Ramp)
RES	0.006713	0.022033
V8	-0.001219	-0.003989

Las predicciones obtenidas para este modelo del sistema se muestran en la figura 4.11.

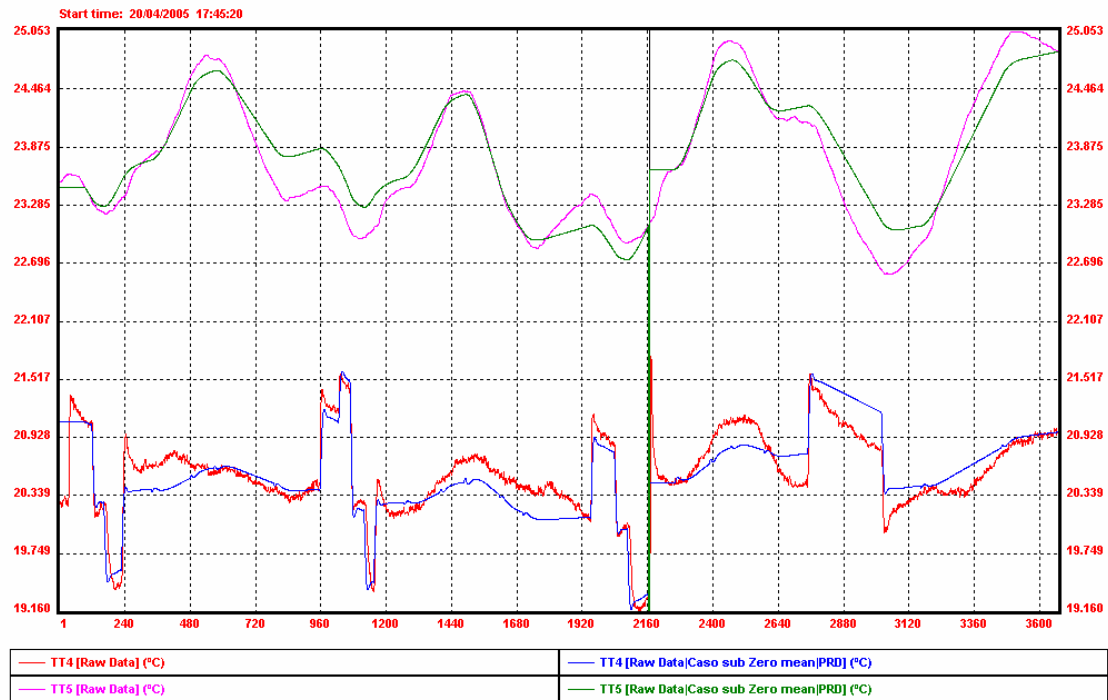


Figura 4.11

Se puede comprobar comparando las figuras 4.9 y 4.11 que las predicciones en este segundo caso son mejores que en el caso de no haber señalado las variables TT4 y TT5 como variables RAMP.

Al no satisfacer completamente los resultados obtenidos se sigue pensando en mejorarlos. Tras un análisis exhaustivo del sistema y de las variables que en él intervienen se pensó en la posibilidad de que hubiese alguna variable que tuviera algún efecto de perturbación sobre el sistema y que no se hubiera tenido en cuenta, así, se llegó a la conclusión de que podía afectar la temperatura TT2 de la corriente de agua con la que intercambiaba la recirculación en el intercambiador.

Por tanto se procedió a crear dos nuevos casos que incluyen la variable TT2 como variable independiente (que no manipulable). En el primero de ellos no se marcan las variables TT4 y TT5 como RAMP y en el segundo de ellos las dos variables dependientes si son marcadas como RAMP. Se pretende analizar la diferencia de los resultados obtenidos con ambos modelos.

Las curvas del nuevo modelo del sistema teniendo en cuenta la perturbación TT2 y marcando las variables dependientes como no RAMP se pueden ver en la figura 4.12.

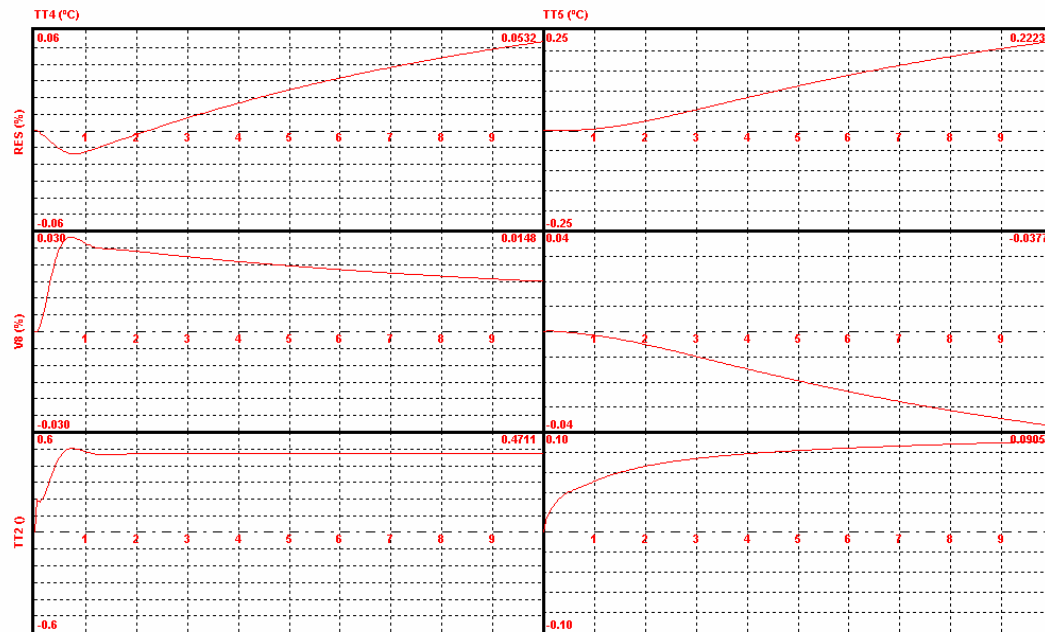


Figura 4.12

Las ganancias en el steady state son para este modelo se adjuntan a continuación:

	TT4(Ramp)	TT5(Ramp)
RES	0.007894469747087435	0.02363960315422575
V8	-0.001519219382888504	-0.004549201641288192
TT2	0.0156112693888677	0.04675189966697357

Las predicciones que se obtienen de este modelo se representan en la figura 4.13.

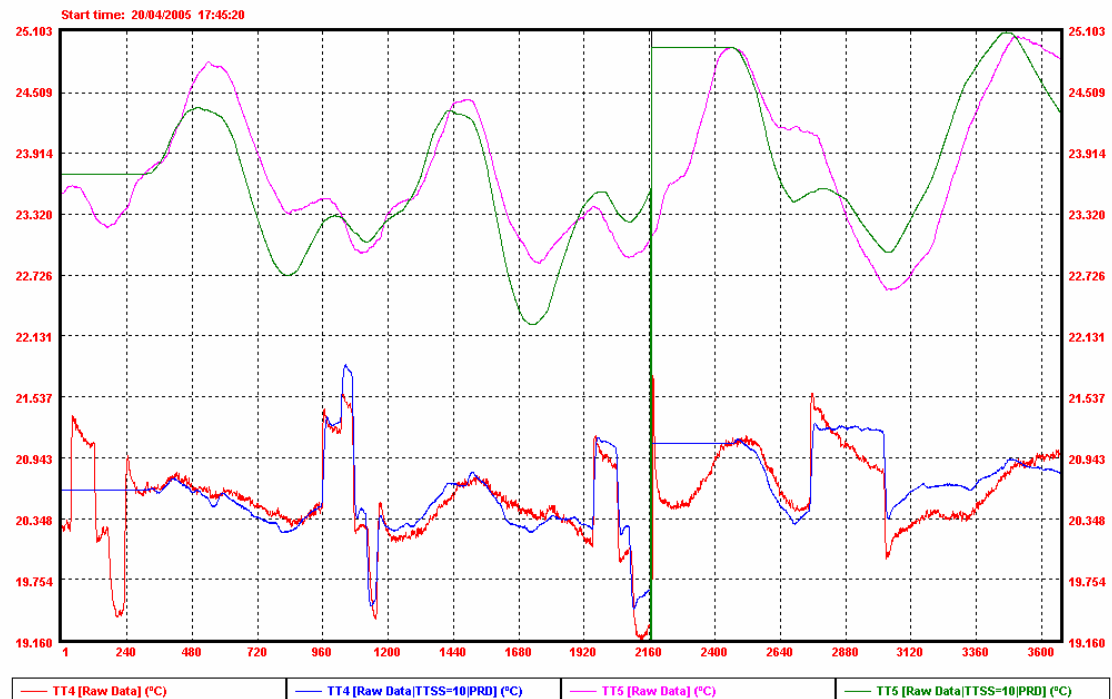


Figura 4.13

Analizando los resultados de las predicciones representados en la figura anterior se comprueba claramente que hay que incorporar al sistema la variable TT2 como variable independiente que afecta a la evolución de las temperaturas que se quieren controlar. Será a la hora de diseñar el controlador cuando se marque esta variable como FF (es decir, variable independiente y no manipulable). Las predicciones se ven bastante mejoradas para la temperatura TT4 y no tanto para TT5 sin embargo esto parece bastante lógico ya que TT2 es la temperatura de la corriente fría con la que intercambia calor al caudal de recirculación.

A continuación, en la figura 4.14 se van a adjuntar las curvas del modelo que incluye a la perturbación TT2 y en las que las temperaturas TT4 y TT5 están marcadas como RAMP.

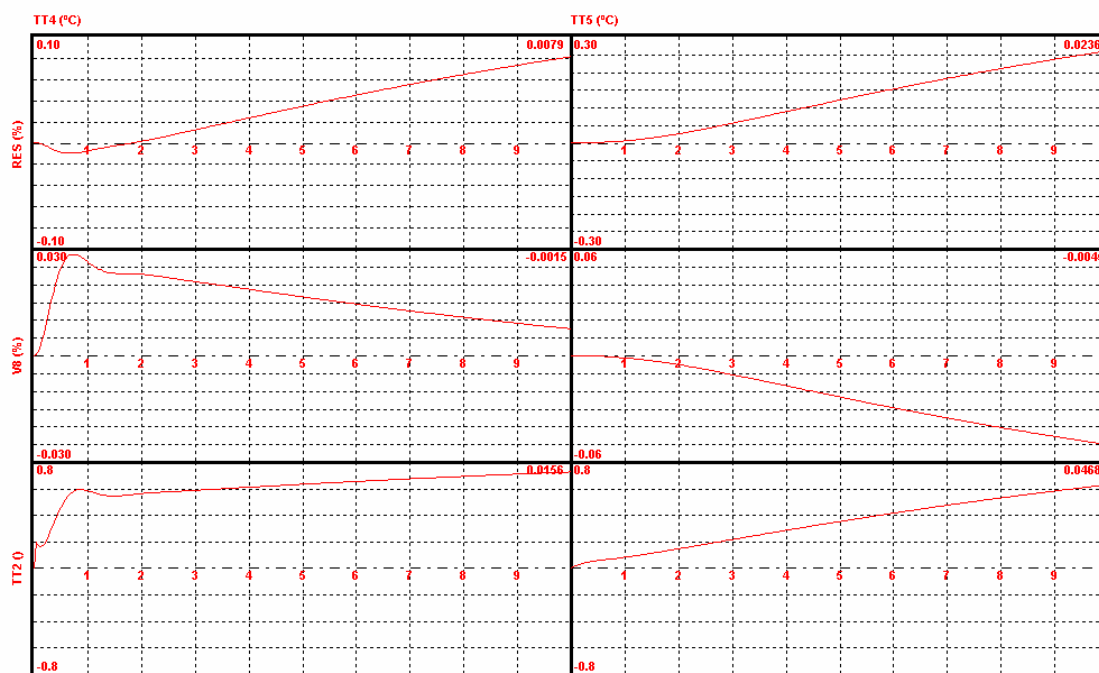


Figura 4.14

Las ganancias en el Steady state para este caso son:

	TT4(Ramp)	TT5(Ramp)
RES	0.007894	0.023640
V8	-0.001519	-0.004549
TT2	0.015611	0.046752

Las predicciones que se obtienen de este modelo se representan en la figura 4.15.

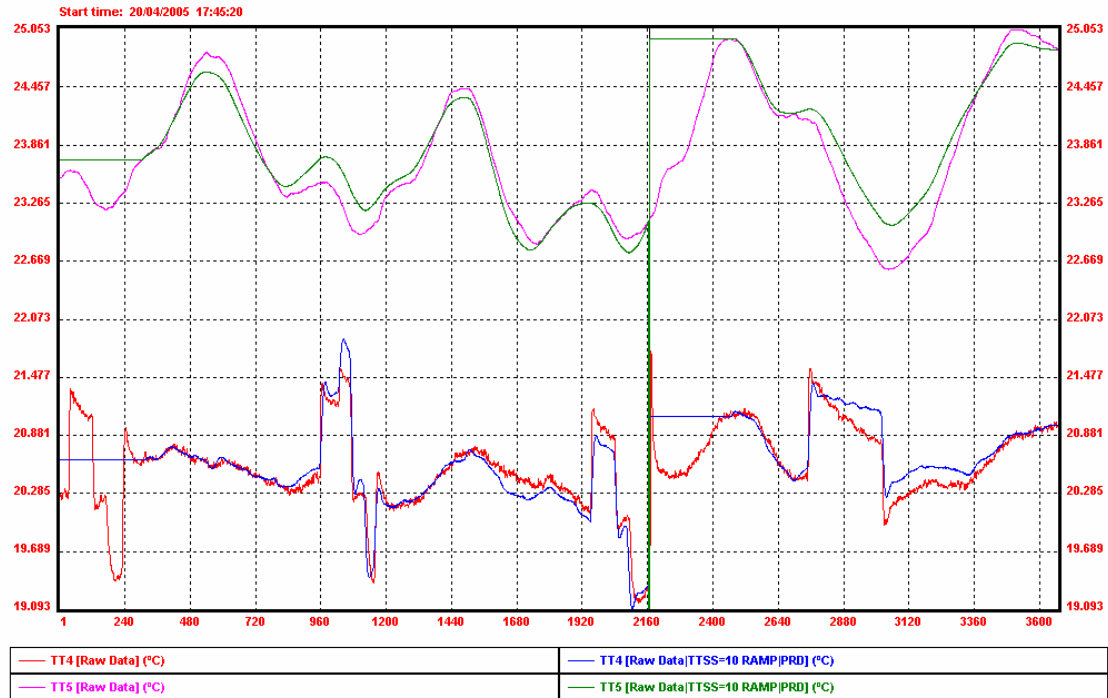


Figura 4.15

Si se comparan las predicciones para los cuatro casos descritos y representadas en las figuras 4.9, 4.11, 4.13 y 4.15, no cabe ninguna duda de que en base a las predicciones el modelo que mejor ajusta al sistema es el obtenido en último lugar puesto que sus predicciones son las más acertadas, y por tanto será este modelo el que se tratará de validar con un experimento posterior. Sin embargo para ver en que afecta en el diseño del controlador el marcar las variables dependientes como variables tipo RAMP, también se diseñaran dos controladores, uno que tenga como modelo el representado mediante las curvas de la figura 4.12 y otro cuyo modelo sea el que tiene por curvas las representadas en la figura 4.14.

4.3 Análisis Cross Correlation.

Este análisis es una herramienta proporcionada por DMCplus Model muy útil para obtener el modelo del sistema con que se trabaja. Es importante comentar que las variables manipulables y las perturbaciones están correladas entre si por el hecho de que las perturbaciones se intentan contrarrestar con movimientos de las variables manipulables, a esta correlación se le denomina *Feed-Back Correlation* y hay que mantenerla tan baja como sea posible.

Para obtener la relación entre variables basta con situarse sobre uno de los casos anteriormente creados y picar en la opción Run Cross Correlation del menú contextual que aparece al pulsar el botón derecho del ratón. Una vez terminado DMCplus creará un archivo de texto en la misma carpeta en que se encuentre guardado el proyecto. Para facilitar el análisis de los datos obtenidos DMCplus contiene un turbo o complemento para Excel que habrá que cargar previamente.

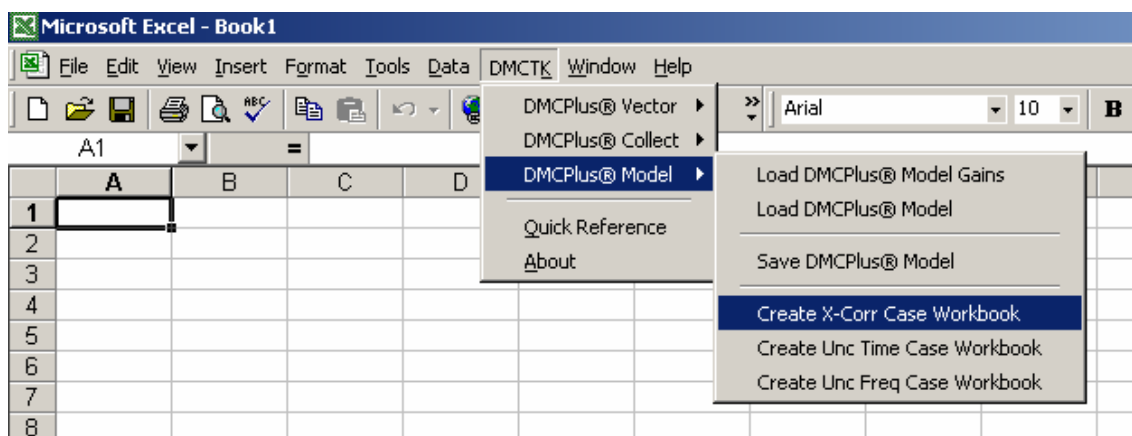


Figura 4.16

Con esta herramienta se podrán visualizar rápida y cómodamente los resultados obtenidos. A continuación se muestra en la figura 4.17 una gráfica donde están representadas las correlaciones entre variables independientes.

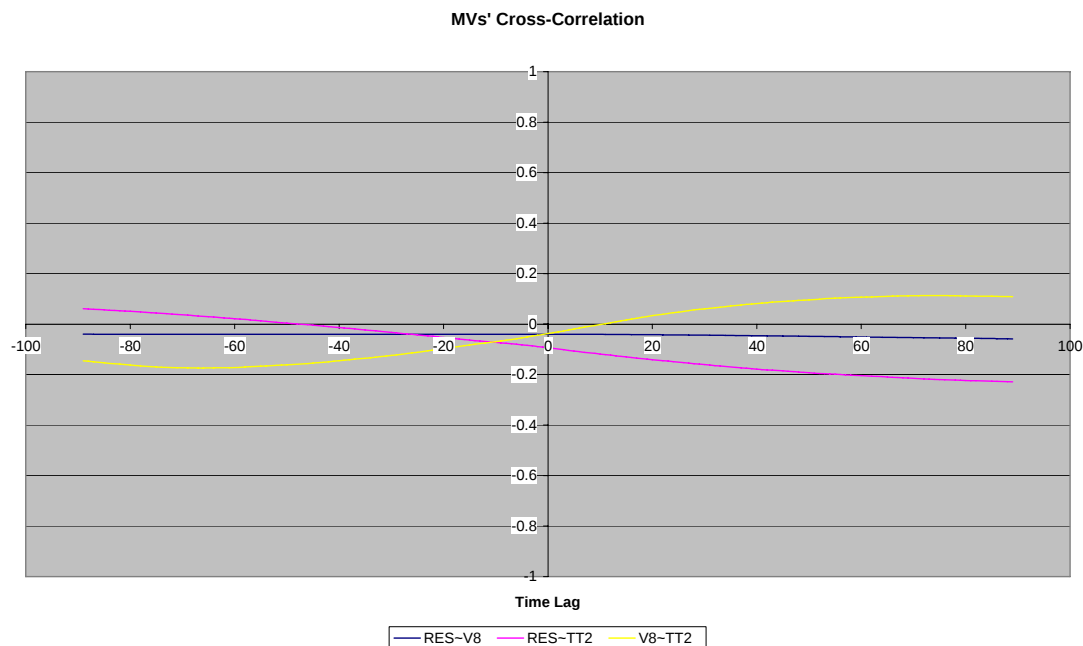


Figura 4.17

Se puede observar que existe una correlación entre las variables manipulables RES y V8 con la variable feed-foward TT2, que aunque no es muy fuerte hace que el incluir esta variable FF en el modelo genere unas predicciones más ajustadas. También se puede comprobar que no existe correlación alguna entre RES y V8.

Que el resultado del análisis cross correlation entre variables manipulables sea elevado (por encima del 50%) implica que en el modelo existen problemas de colinealidad entre las variables manipulables, es decir no son independientes, por lo que habría que realizar un análisis más exhaustivo del modelo empleando el análisis SVD para ajustar las ganancias del mismo.

En el caso representado en la figura 4.17 se comprueba que la correlación entre las variables independientes es menor del 35% lo que asegura que la colinealidad entre las variables independientes es despreciable por lo que el modelo del sistema de la figura 4.14 es válido.

4.4 Análisis model uncertainty.

Model Uncertainty es una herramienta de DMCplus Model cuyo objetivo no es otro que mostrar como las curvas del modelo son cada vez más exactas (disminuye el ancho de la banda) a medida que se añaden datos para la identificación del sistema. En caso de que esto no ocurriese habría que inspeccionar cuidadosamente los datos incorporados ya que estos podrían estar influenciados por una variable feed-foward no definida en el modelo o por controladores PID saturados. Al ejecutar Model Uncertainty se generan dos tipos de archivos para cada uno de los modelos generados en cada caso. Estos archivos son de texto pero pueden ser analizados con el mismo turbo de Excel que se ha empleado para el análisis Cross Correlation (ver la figura 4.16). Los dos tipos de archivos generados son:

Unc_FreqDomain.txt

Unc_TimeDomain.txt

En los modelos tipo rampa, como es el caso de la planta piloto, son útiles únicamente los resultados generados por el Time Domain Uncertainty, pudiendo ser ignorados los resultados de Frequency Domain Uncertainty ya que el Bode en modelos tipo rampa no es muy significativo.

En las siguientes gráficas se adjuntan los resultados del análisis de Frequency Domain Uncertainty entre las variables dependientes e independientes.

➤ Relación TT4-Resistencia:

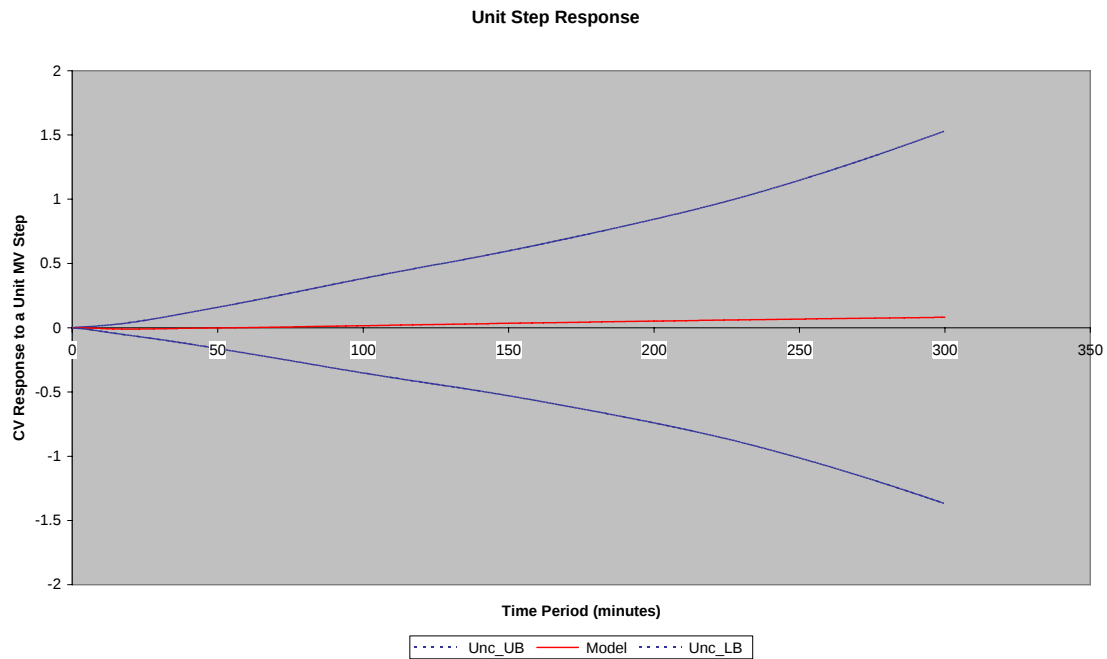


Figura 4.18

➤ Relación TT5-Resistencia:

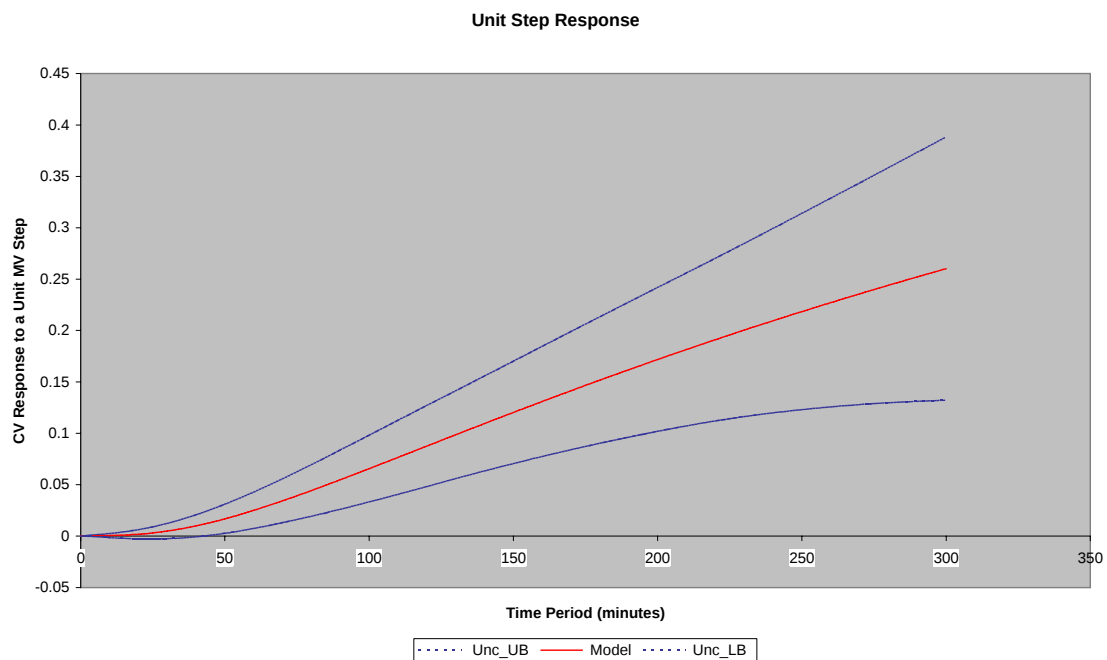


Figura 4.19

➤ Relación TT4-V8:

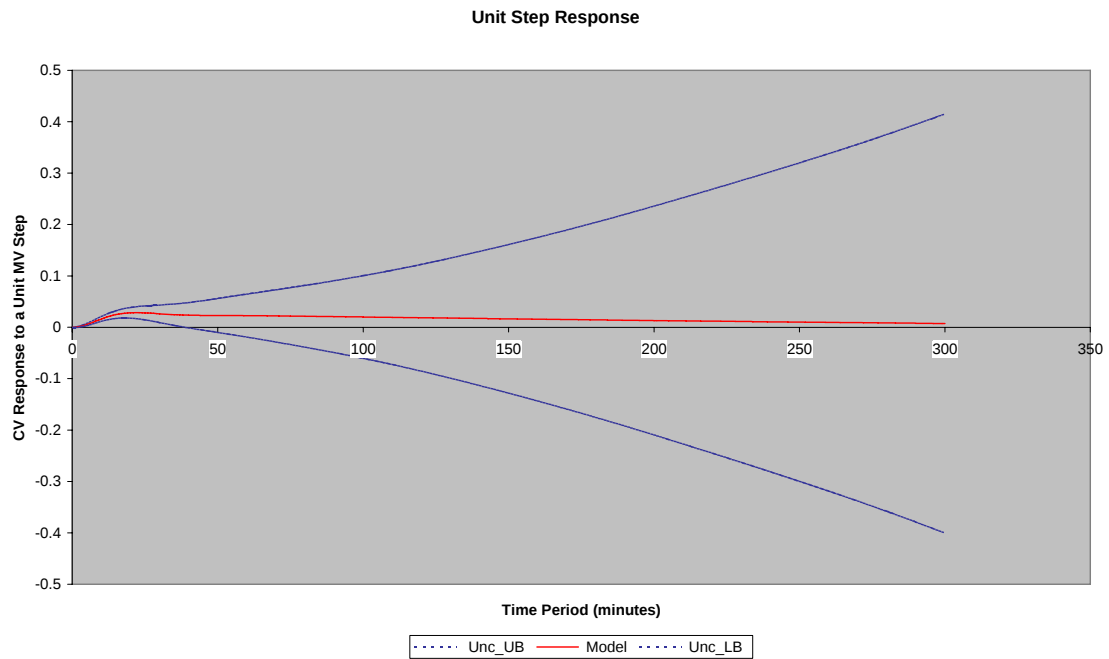


Figura 4.20

➤ Relación TT5-V8:

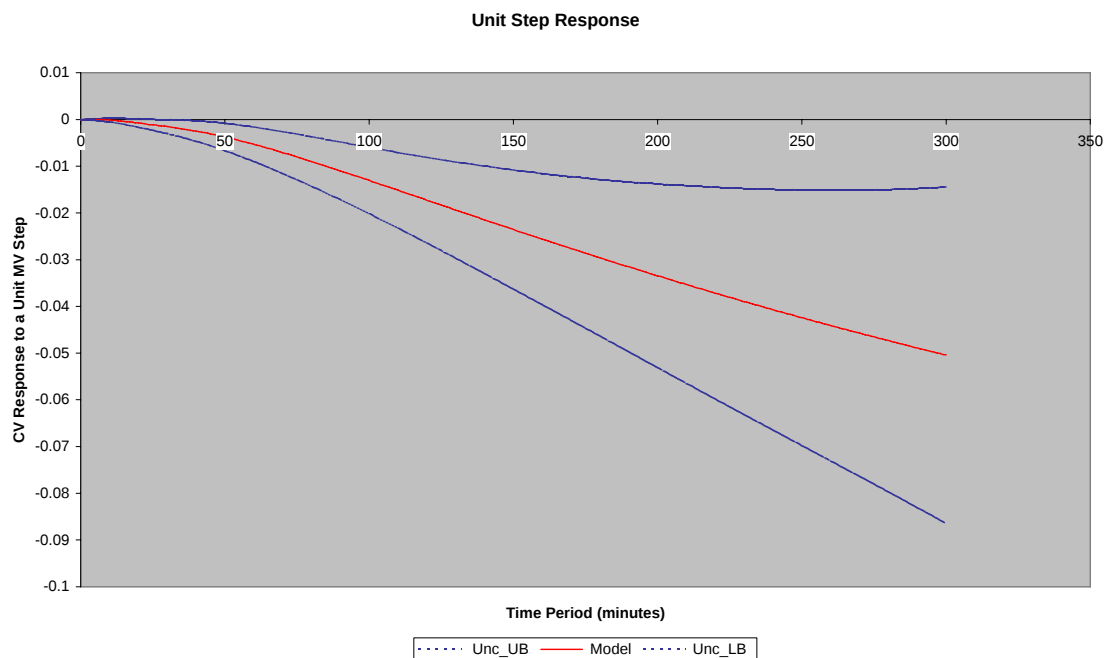


Figura 4.21

➤ Relación TT4-TT2:

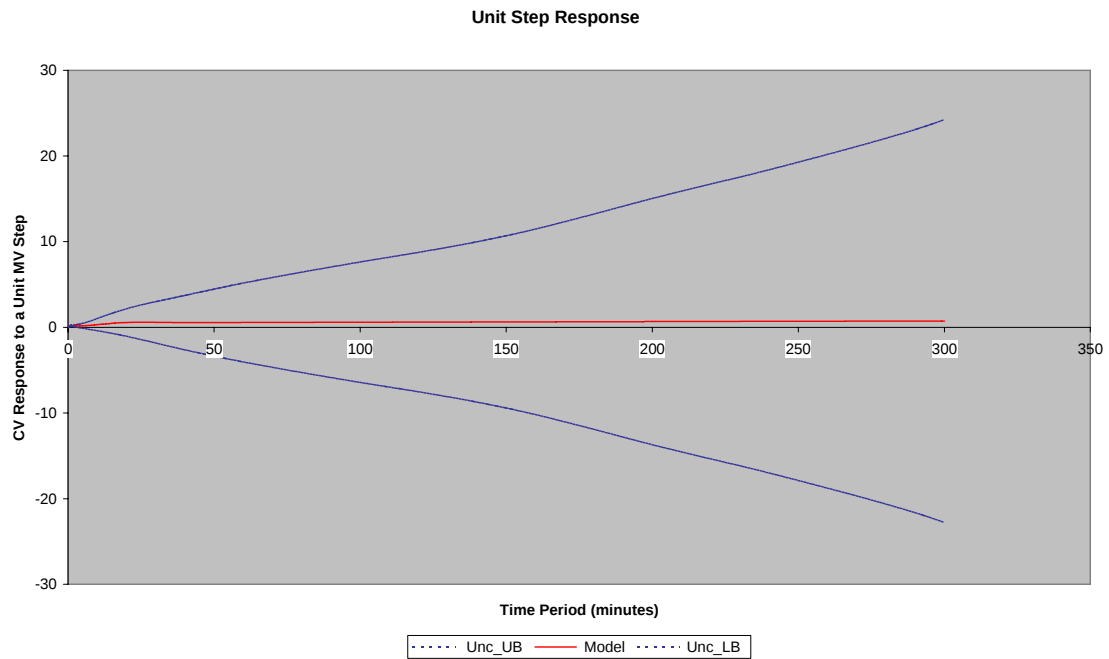


Figura 4.22

➤ Relación TT5-TT2:

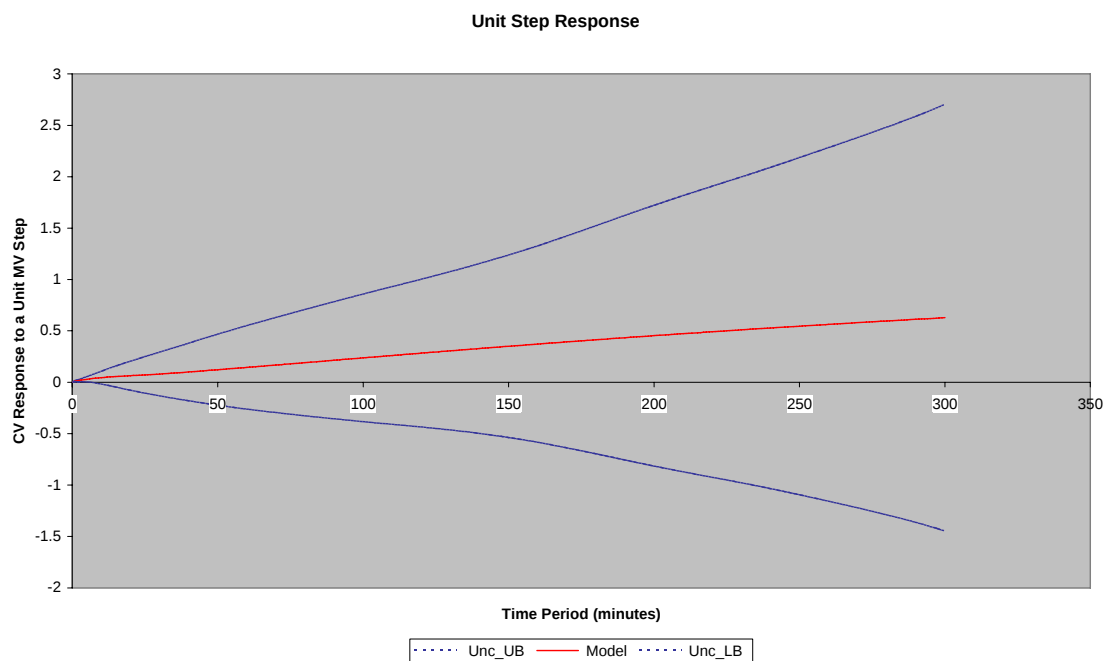


Figura 4.23

4.5 Validación del modelo.

El siguiente paso antes de diseñar el controlador del sistema es validar el modelo que se tiene del mismo pues no hay que olvidar que el control DMC es un control predictivo basado en modelo, con lo cual éste debe ser lo más exacto posible.

Según lo comentado en el apartado anterior se va a trabajar con dos modelos distintos del sistema según consideren o no a las variables dependientes como variables tipo Ramp. Para validar los modelos lo primero que se hace es un nuevo ensayo en la planta piloto.

Se parte de un punto de funcionamiento estable del proceso, para posteriormente aplicar a cada una de las variables manipulables escalones de forma independiente y separados un tiempo suficiente para ver la respuesta del sistema.

A continuación se adjunta el archivo de configuración del muestreo de los datos es importante remarcar que este archivo no tiene extensión.

```
!Version del programa que estamos usando
VERSIONNUM=6.0
!Descripcion
IDLINE=Recoleccion de datos de la planta piloto v.1
!Informacion sobre la conexion al proceso
CIMIOINFO=CIOOPCCUBE1,1,UT
!Lista de datos
CIMIOLIST=-1,-1,-1
!Tiempo de muestreo que vamos a usar
SAMPLEPER=2s
!Numero de muestras que tomaremos. Con 5400=3h
MAXSAMP=5400
!Offset para el comienzo de la recoleccion de datos desde el comienzo de un minuto
OFFSET=0
!Cuando se hagan todos los muestreos se para la recoleccion
EOFCHOICE=0
!NOMSGS=0 muestra mensajes en cada muestreo de las variables
!WATCHDOGTAG="CIOOPCCUBE1":1:"PLANTA\PERRO":REAL:UT escribe en
este tag cuando ha habido alguna parada
!NUMSAMTAG="CIOOPCCUBE1":1:"PLANTA\NUMEROTAG":REAL:UT escribe
en este tag el numero de muestreos
!STATUSTAG="CIOOPCCUBE1":1:"PLANTA\STATUSTAG":REAL:UT escribe en
este tag si fue bien la cosa
=====
""::"PLANTA\TT1":REAL:
""::"PLANTA\FT1":REAL:
""::"PLANTA\V4":REAL:
```

```
""::"PLANTA\TT2":REAL:  
""::"PLANTA\FT2":REAL:  
""::"PLANTA\V5":REAL:  
""::"PLANTA\TT4":REAL:  
""::"PLANTA\FT4":REAL:  
""::"PLANTA\V8":REAL:  
""::"PLANTA\TT5":REAL:  
""::"PLANTA\LT1":REAL:  
!Tag de encendido de la resistencia del depósito  
""::"PLANTA\RESIST_DIG":REAL:  
!Tag del porcentaje de resistencia utilizado  
""::"PLANTA\RESISTENCIA":REAL:  
!Tag de activación de alguna de las alarmas programadas  
!""::"PLANTA\ALARMA_R":REAL:
```

Los datos del ensayo se guardarán a través de DMCplus Collect en un archivo .bin que contendrá los datos en formato binario y en un archivo .cle que se empleará posteriormente con la herramienta Extract.

Los datos del archivo .cle se extraerán a través de DMCplus Extract generándose un archivo .ext y otro archivo .clc que será importado posteriormente por DMCplus Model.

El tren de escalones aplicado al proceso junto con la evolución de la variable FF en este nuevo ensayo se puede ver en la figura 4.24.

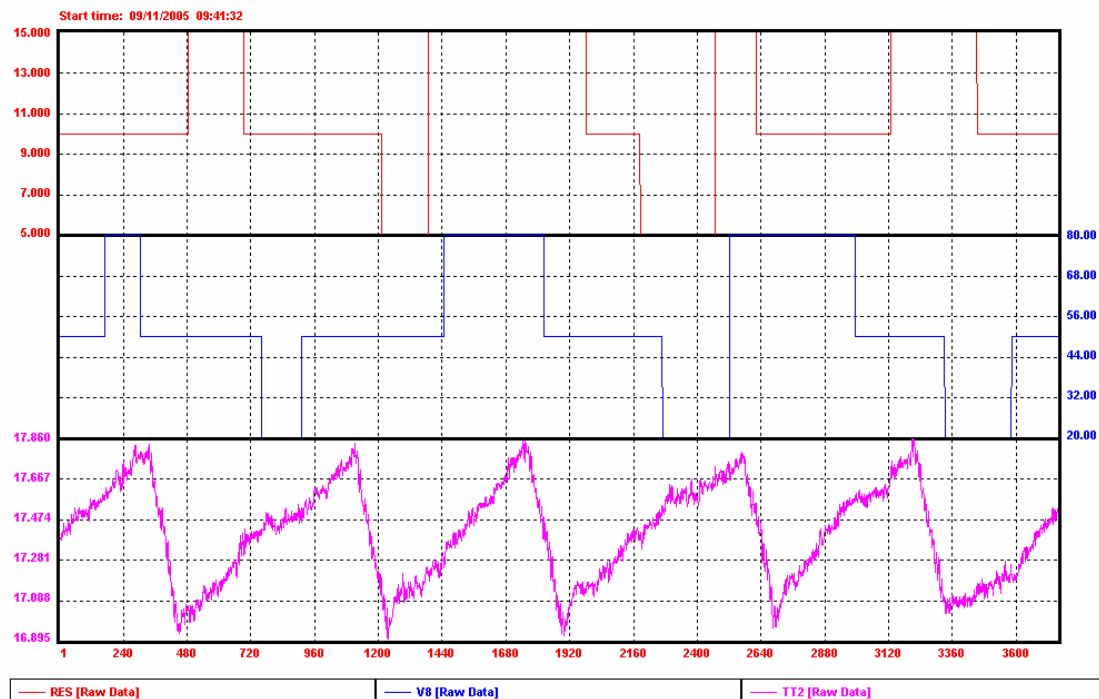


Figura 4.24

Nuevamente se vuelven a generar varios casos de modelos del sistema diferenciándose entre ellos en el tiempo de establecimiento o en el tipo de variables dependientes, para ahorrar trabajo los casos que se crean son los mismos que se crearon en el apartado de identificación del modelo del sistema para comparar los resultados obtenidos. Algunos de estos casos se pueden ver en la figura 4.25.

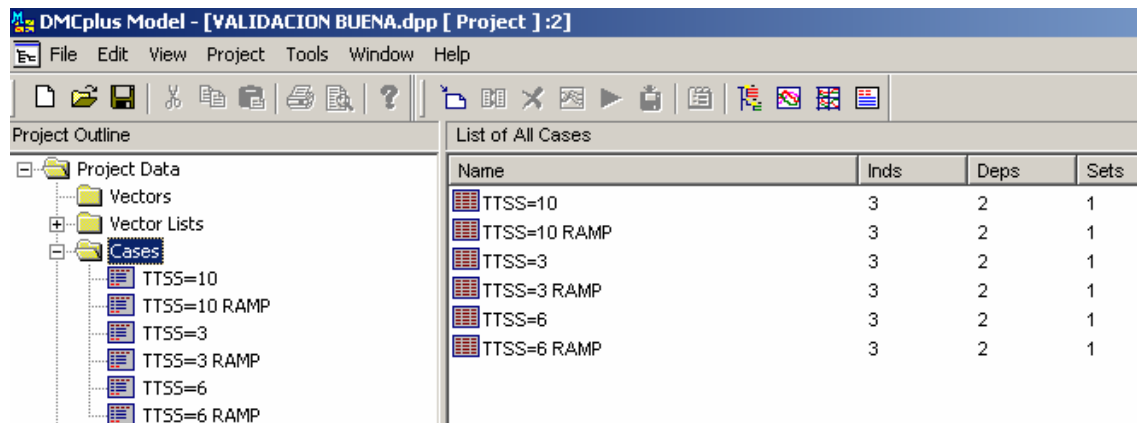


Figura 4.25

Al igual que en el ensayo anterior las mejores predicciones se obtienen para el modelo del sistema con TTSS=10 y con variables dependientes tipo RAMP identificados por el procedimiento Subspace identification. Las curvas de este modelo se pueden ver en la figura 4.26.

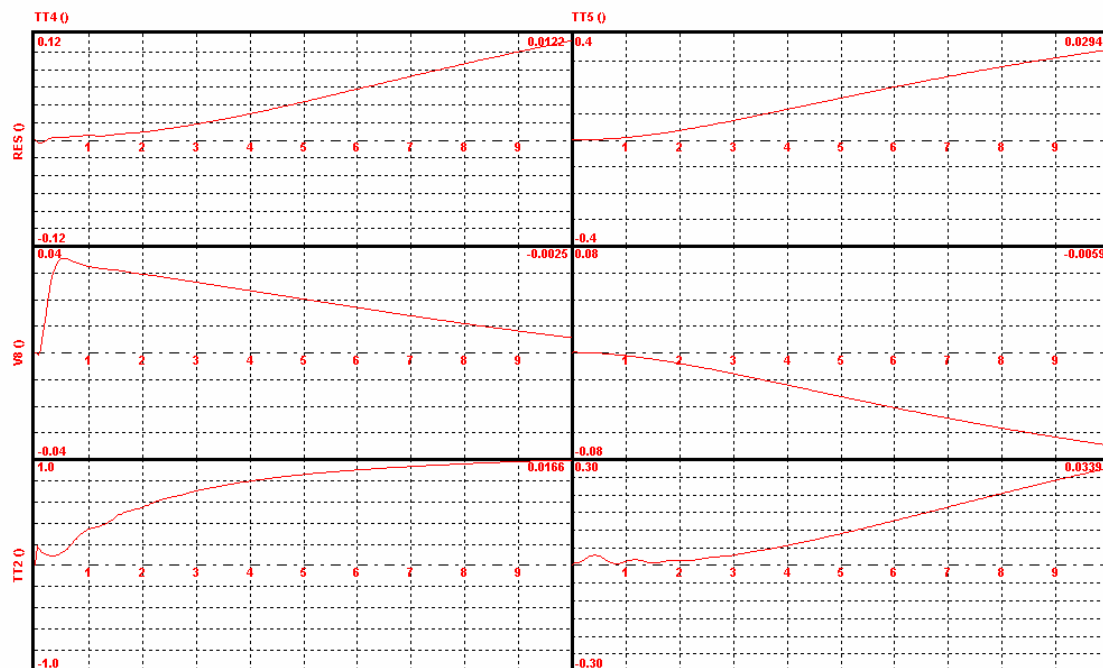


Figura 4.26

Las ganancias en el Steady state de este modelo son:

	TT4(Ramp)	TT5(Ramp)
RES	0.012161	0.029352
V8	-0.002464	-0.005870
TT2	0.016630	0.033869

Las predicciones que proporciona el modelo se pueden ver en la figura 4.27.

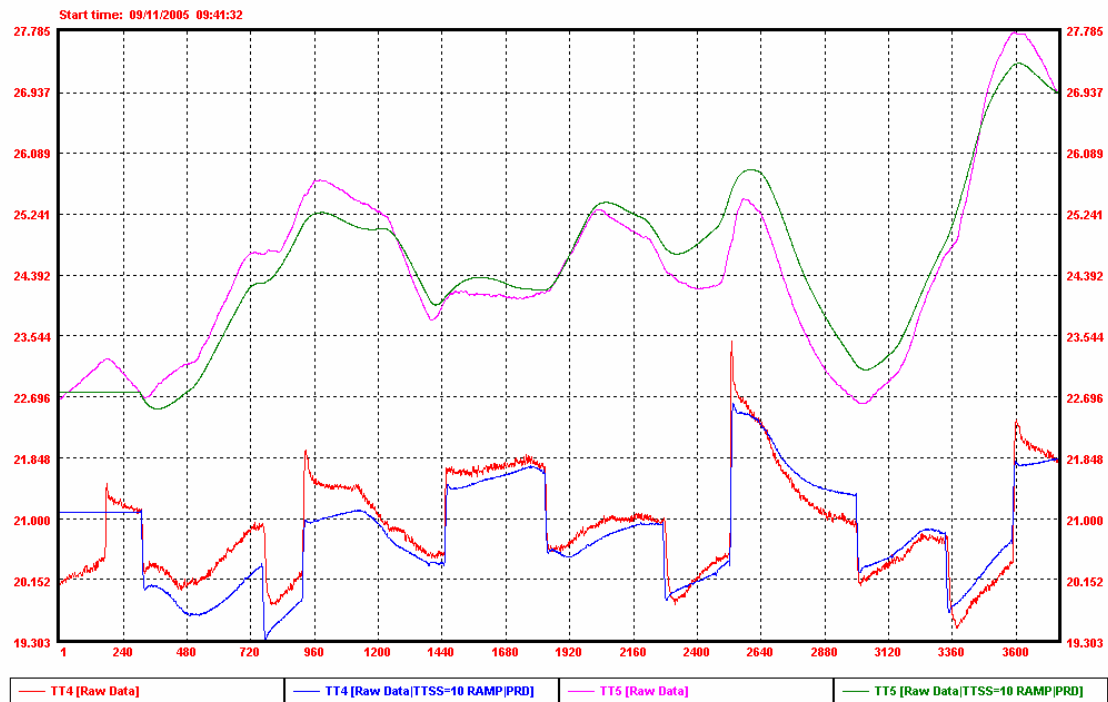


Figura 4.27

Se puede comprobar como el modelo aunque no proporciona unas predicciones tan exactas como en el caso anterior en cuanto a ganancia se refiere (los errores hay que decir que son prácticamente despreciables), si sigue reflejando de forma precisa la dinámica del sistema que se está tratando.

Por este motivo, se da por validado el modelo del sistema y lo único que queda por hacer es exportarlo para proceder al diseño del controlador. Para exportar el modelo lo que hay que hacer es seleccionar la opción Export Model que aparece en el menú contextual que sale al picar con el botón derecho del ratón cuando se está sobre el modelo que se quiere exportar. La extensión del archivo que contiene al modelo exportado es .mdl.

Para ver los coeficientes que definen el modelo del sistema lo que hay que hacer es abrir con el complemento de Excel antes comentado el archivo .mdl generado al exportar dicho modelo. Así, se obtiene una hoja de cálculo como la que aparece en la figura 4.28 en donde el modelo queda completamente definido por cada uno de sus coeficientes.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Case Output File, Settling Time: 10.000 # Coefs: 30 # Avg'd: 0										
1	Ind =	3	iMS =	180	nFiles =	0	:	Plot Model		
2	Dep =	2	nCI =	30						
3	SS Time =	10								
4	TT4	TT5								
5	1	1								
6	0	0								
7	1	1								
8	3	3								
9	0	0								
Dependent #1 - TT4, Eng. Units: , Integrating Variable										
10	RES	V8	TT2							
11	0.004054	-0.00082	0.005543							
12	-999	-999	-999							
13	0.002254	0.029576	0.087609							
14	0.003179	0.034393	0.188255							
15	0.00471	0.032205	0.337312							
16	0.004574	0.031219	0.394371							
17	0.006973	0.030336	0.496211							
18	0.008468	0.029263	0.544476							
19	0.011357	0.028338	0.612033							
20	0.014104	0.027275	0.65319							
21	0.017531	0.026291	0.69825							
22	0.021147	0.025231	0.732222							
23	0.02508	0.0242	0.763458							
24	0.029272	0.023136	0.790578							
25	0.033613	0.022078	0.813419							
26	0.038167	0.021017	0.834686							

Figura 4.28

En esta hoja aparecen todas las características del modelo como el número de variables dependientes e independientes, tiempo de establecimiento, número de coeficientes del modelo y valor de cada uno de estos coeficientes, incluso se pueden obtener las curvas del modelo pinchando en Plot Model.

El siguiente objetivo que se pretende conseguir es demostrar que a medida que aumenta el número de datos tomados del sistema se obtiene un modelo del sistema más ajustado y que disminuye el ancho de banda en el análisis del model uncertainty. Para comprobar esta afirmación se procedió a crear un archivo que contuviera los datos de los dos ensayos unidos y se realizó el análisis de model uncertainty para ver si la afirmación es correcta.

Para realizar este análisis se emplea el complemento de Excel del mismo modo que se explicó en el apartado 4.4

A continuación se adjuntan las gráficas del model uncertainty después de añadir datos donde se puede ver claramente comparando con los resultados representados en las figuras de la 4.18 a la 4.23 como disminuye el ancho de banda.

➤ Relación TT4-Resistencia:

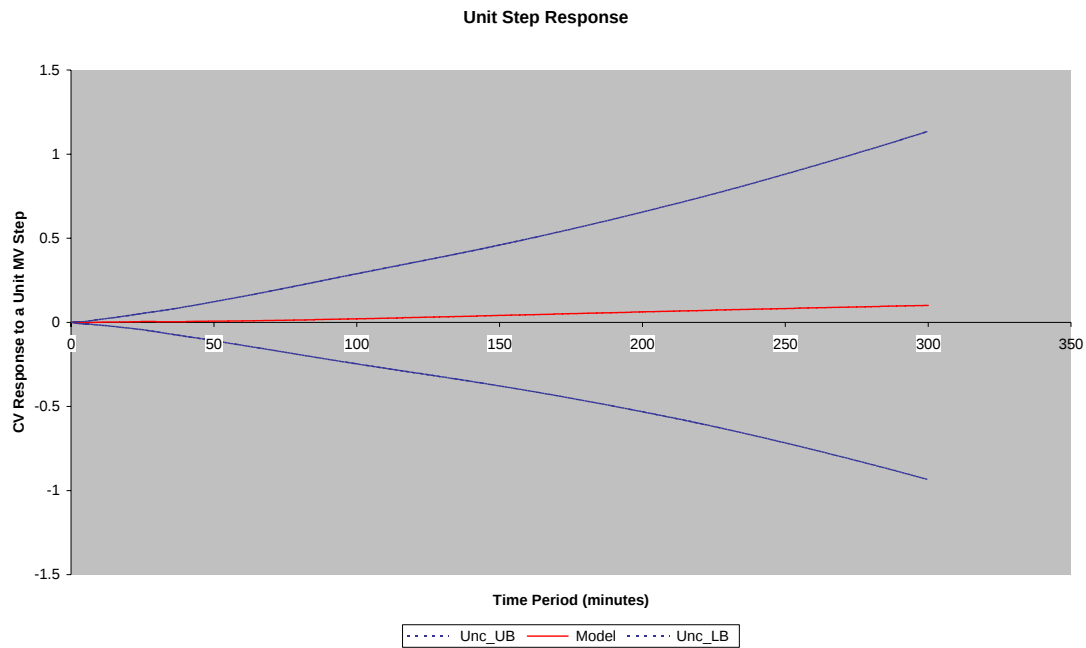


Figura 4.29

➤ Relación TT5-Resistencia:

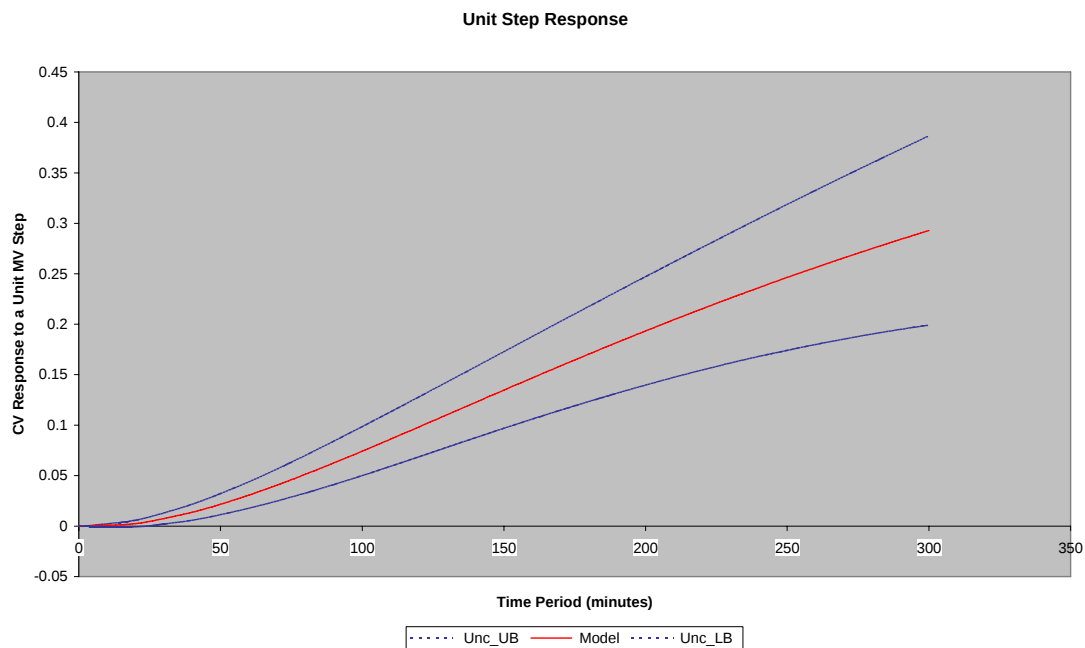


Figura 4.30

➤ Relación TT4-V8:

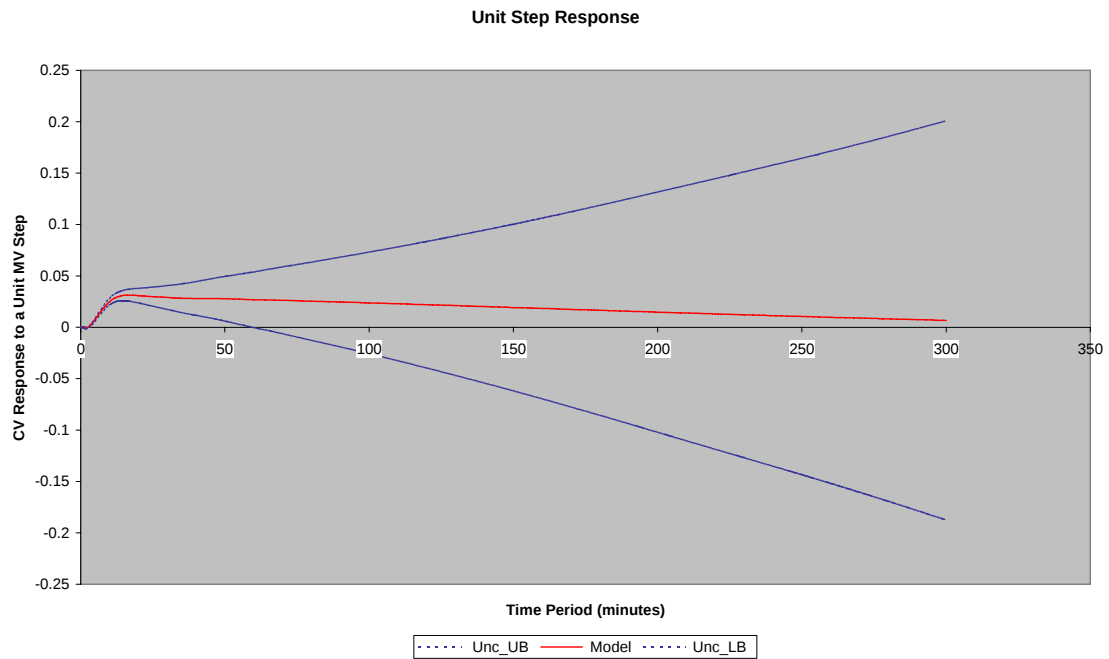


Figura 4.31

➤ Relación TT5-V8:

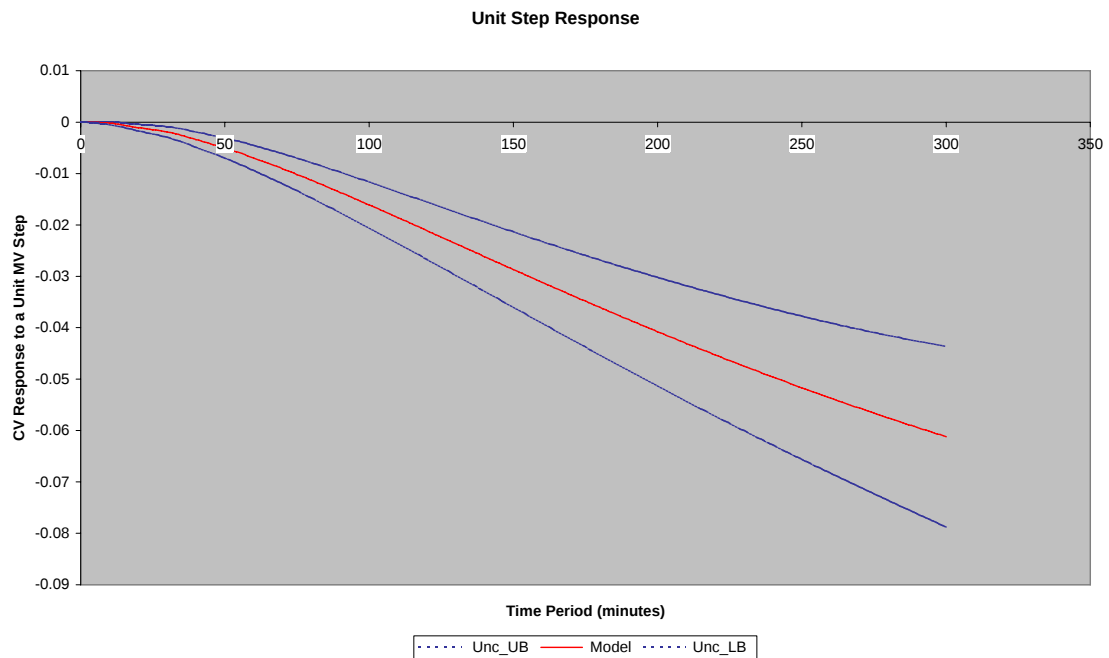


Figura 4.32

➤ Relación TT4-TT2

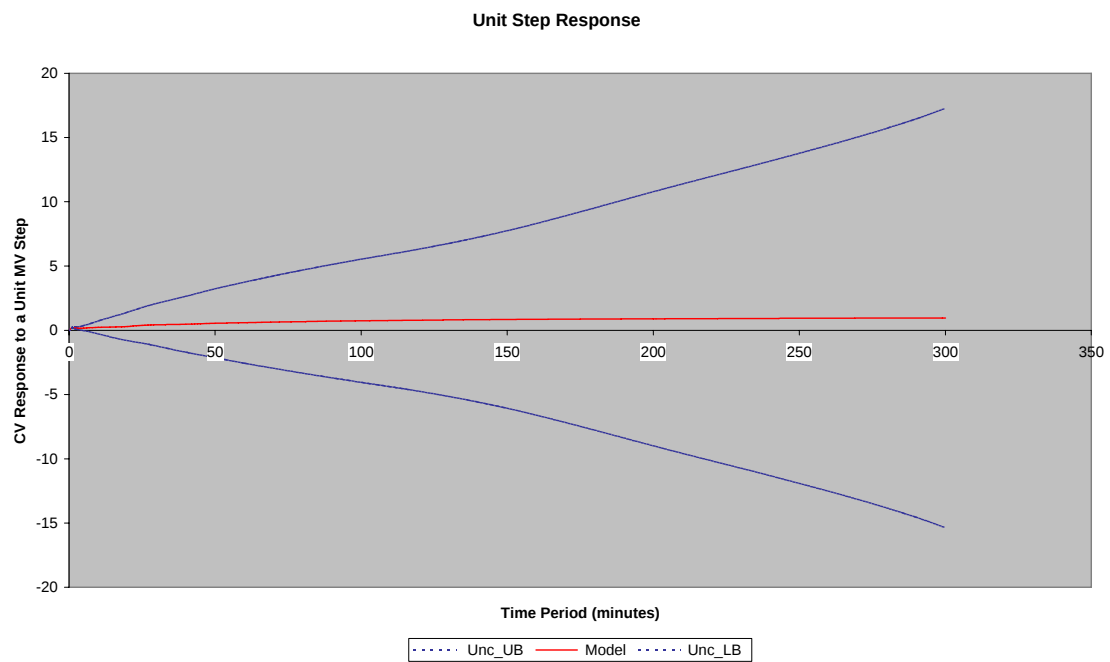


Figura 4.33

➤ Relación TT5-TT2:

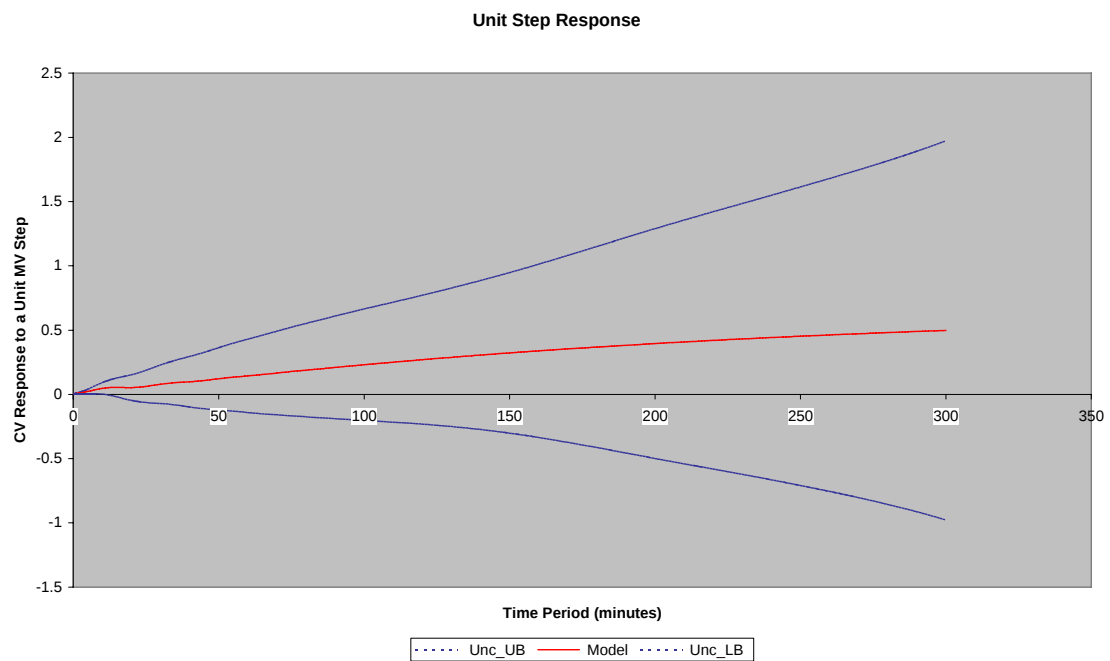


Figura 4.34

4.6 Diseño y funcionamiento del controlador.

Una vez que se dispone de un modelo dinámico de la planta, se va a continuar con la creación de un controlador DMC para la misma. El modelo exportado se usa para predecir el comportamiento futuro de las variables a controlar del proceso ya que las curvas del mismo representan el efecto del cambio de las variables independientes sobre las variables dependientes. Estas predicciones se obtienen analizando la respuesta en el pasado de las variables controlables al aplicar cambios en las variables manipulables y se actualizan en cada ciclo de ejecución del controlador. El rango de tiempo que se considera para realizar las predicciones es igual al periodo que cubre el Steady State.

A la hora de diseñar y configurar el controlador se utiliza el módulo Build de DMCplus. Hay que señalar que para aplicar el control en línea se emplea el módulo DMCplus Manage y para que funcione correctamente es necesario disponer de dos archivos que contienen la información necesaria para ello: un archivo con el modelo del proceso (.mdl) y un archivo de configuración del controlador (.ccf). El modelo del proceso a controlar determina el tamaño del problema de control y las relaciones dinámicas entre las variables, en cambio, el archivo de configuración que es el que se crea con Build determina el lugar de los parámetros de salida o entrada del controlador, los tamaños de las variables, límites, cambios, ajustes, etcétera. Será en este archivo donde se reflejen las restricciones que presente el sistema.

Es importante no obstante explicar como funciona el DMCplus a la hora de controlar un sistema y cuales son los pasos que sigue el programa para el cálculo de las señales de control a aplicar.

En primer lugar lo que hace DMCplus es calcular los valores óptimos de las señales de steady state target tanto para las variables manipulables como para las controladas. Este cálculo se realiza a través del Steady State Linear Program (LP) o mediante es Steady State Quadratic Program (QP). Para realizar estos cálculos son necesarios tanto los valores actuales y los límites de actuación de las variables manipulables, como las predicciones de los valores de steady state de las variables controladas, además habrá que incluir información económica como pueden ser los costes de las materias. Todo esto viene resumido en la figura 4.35

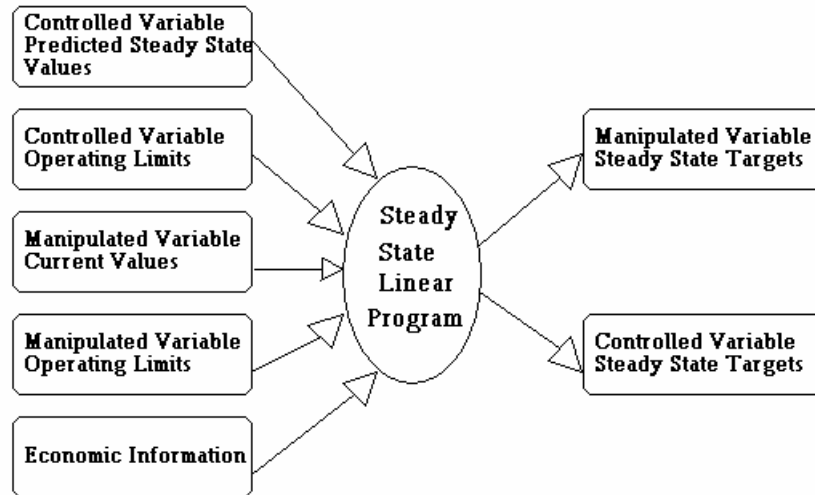


Figura 4.35

Los límites de actuación definen una región aceptable de operación, y los valores actuales de las variables manipulables y las predicciones del steady state de las variables dependientes predicen el punto de operación en el Steady State suponiendo que no hay movimientos de las variables manipulables. Este punto de operación puede, o no, estar dentro de la zona aceptable de operación. Para entender esto con más claridad ver la figura 4.36.

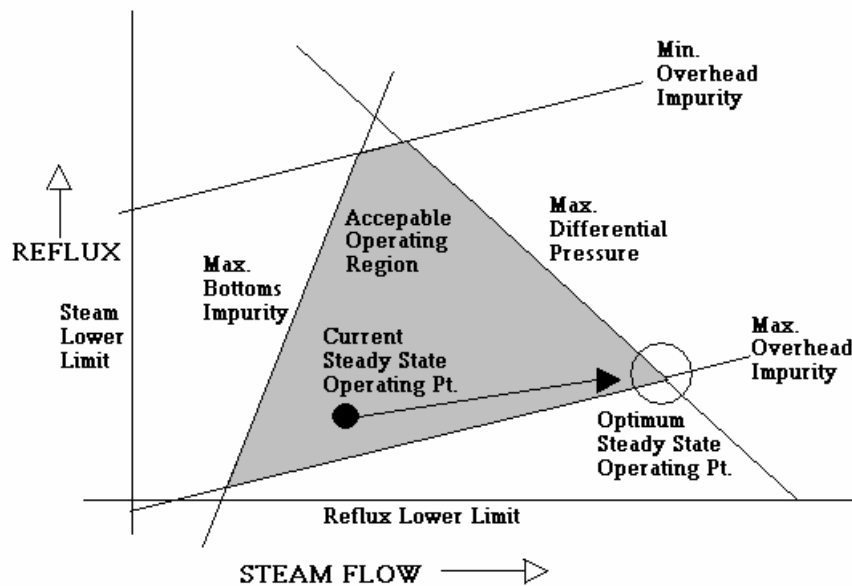


Figura 4.36

El Steady State Solver (LP o QP) calcula el movimiento de las señales de steady state de las variables manipulables que tomadas todas juntas dan lugar a un punto de operación dentro de los límites de actuación. Ese punto de operación se caracteriza por ser óptimo desde un punto de vista económico.

Como se ha explicado anteriormente DMCplus tiene que encontrar las señales de steady state ya sea mediante la solución de un problema lineal o cuadrático. Una vez que ha calculado estas señales lo siguiente que hace es minimizar la ley de control dada por la expresión adjunta donde los parámetros λ y δ son respectivamente Equal Concern Error (ECE) y Move Suppression Factor (SUPMOV).

$$J = \sum \lambda (\hat{y} - y_{SST})^2 + \delta (u - u_{SST})^2$$

Para entender el proceso de resolución del LP (o QP en su defecto) es necesario hablar antes de un parámetro de configuración de las variables dependientes cuya misión es categorizar, según la importancia, a dichas variables mediante la asignación de un rango a través de los parámetros CVRANKL y CVRANKU. Cuanto menor es el valor de estos parámetros más importante es la categoría de la variable. Una vez comentado esto se continúa explicando como funciona el LP.

El controlador realiza el proceso de resolución del LP (o QP en su defecto) en dos etapas, en la primera de ellas lo que hace es buscar una solución factible, mientras que en la segunda calcula la solución óptima. A continuación se explica con más detalle cada una de las fases.

a) Cálculo de la solución factible:

El cálculo del conjunto de soluciones viables se resuelve mediante una secuencia de programas lineales. Las variables de decisión en estos programas lineales son la relajación de las variables controladas. Estos programas son construidos añadiendo los rangos sucesivos de variables, ampliando poco a poco el problema.

El primer problema lineal que se resuelve contiene información únicamente del grupo de variables con el rango más importante, además las variables manipulables no se consideran en esta fase de cálculo. En esta etapa la única pregunta que se hace el LP es si existe una solución factible o no. Si existe, entonces la respuesta al primer LP será 0, esto significa que no habrá relajación en las restricciones para las

variables de este rango. Si no existe solución factible o lo que es lo mismo si el LP no es 0, entonces el valor de la solución es la cantidad que debe ser añadida o sustraída a las restricciones para que exista una solución factible. Las restricciones de las variables controladas son reajustadas y entonces se pasa a considerar la siguiente categoría de variables.

El programa lineal para este nuevo grupo es similar al anterior, de cualquier manera, en este caso las variables de decisión son las relajaciones en la segunda categoría de variables. Este paso del LP tiene las restricciones de las variables controladas del LP anterior (que ya han sido modificadas) y dice como hay que modificar las restricciones de este segundo grupo de variables. Este procedimiento se repite con cada una de las categorías creadas.

b) Cálculo de la solución óptima.

En esta fase se busca optimizar económicamente teniendo como variables de decisión los valores de las variables manipulables (realmente sus movimientos). En esta etapa el LP tiene en cuenta las restricciones de las variables manipulables y todas las restricciones de las variables controladas (modificadas o no en la primera fase de cálculo).

Una vez resuelto el LP se procede a minimizarla ley de control expresada anteriormente en este mismo apartado de la memoria.

Para conocer a fondo como funciona DMCplus se van a diseñar tres controladores distintos. En el primero de ellos se controlará el sistema empleando el modelo de la figura 4.12 donde las variables dependientes TT4 y TT5 son marcadas como variables Ramp haciendo uso del solucionador QP, el segundo empleará el modelo de la figura 4.14 donde TT4 y TT5 son marcadas como no Ramp y que hará uso de solucionador QP, sin embargo el tercer controlador empleará el modelo rampa pero hará uso del solucionador LP.

Tras haber explicado como funciona el controlador se va a pasar a detallar un poco la configuración del mismo.

En la región izquierda de la figura 4.37 se pueden ver cada una de las secciones en que está dividido el módulo Build. Cada una de estas secciones contiene un gran número de entradas o parámetros que habrá que configurar (algunos son configurados

automáticamente por Build a partir del modelo del sistema) para poder llevar a cabo un control satisfactorio.

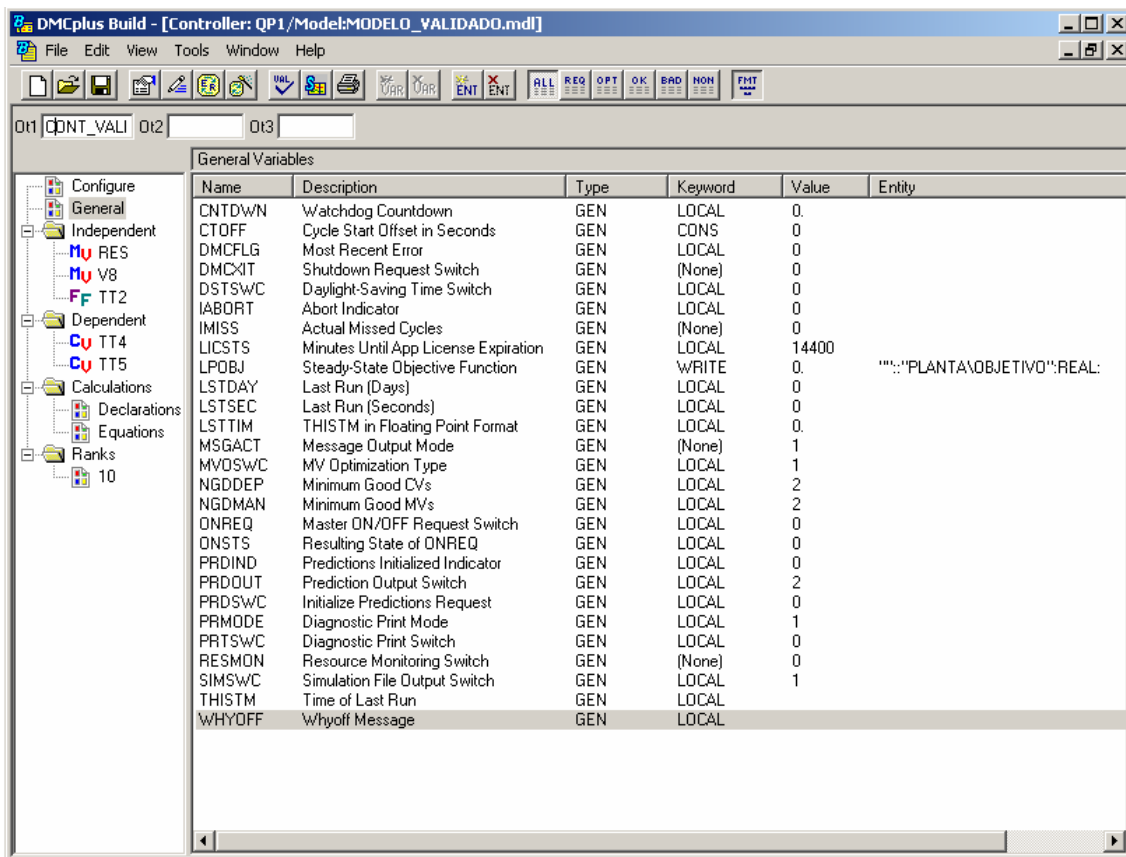


Figura 4.37

Una vez que ya se conoce como trabaja DMCplus a la hora de resolver el problema de control y que se ha mostrado una pantalla de las plantilla de configuración, se procede a adjuntar el resumen generado por DMCplus Build en el que se especifica la configuración de las entradas del controlador en el caso del modelo Rampa.

CCF Summary for DMCplus Controller CONTROL_RAMPA

Report generated by DMCplus Build on 19-dic-05 10:37:34

File Names

CCF: control_2.ccf
Model: MODELO_VALIDADO.mdl
Template: default.tcc

Controller Size

3 Independents (2 MVs, 1 FFs)
2 Dependents (2 Ramps, 0 Intermittent Signals)

Selected Options

User defined Entries exist

Connect Protocol: CIMIO
 Default device: CIOOPCCUBE1
 Default unit: 1

Independent Variable Summary

Name	Type	VIND Source & Tagname
RES	MV	REAL PLANTA\RESISTENCIA_VIND
V8	MV	REAL PLANTA\V8_VIND
TT2	FFW	REAL PLANTA\TT2

Dependent Variable Summary

Name	Type	DEP Source & Tagname
TT4	Ramp	REAL PLANTA\TT4
TT5	Ramp	REAL PLANTA\TT5

Config Section

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
BLDTEMP	Template File Name	BLD	BUILD	DEFAULT.TCC	
BLDVERS	Build Version Used on La	BLD	BUILD	6.	
CLPENB	Enable Composite Particip	CFG	CONS	0	
CLPSHOW	Include Composite Informat	BLD	CONS	0	
CNCDEV	Default Cim-IO Logical De	CNC	CONS	CIOOPCCUBE1	
CNCFMT	Default Format Code for	CNC	CONS	UT	
CNCHOST	Connect Protocol in Use	CNC	CONS	CIMIO	
CNCUNIT	Default Cim-IO Unit Numb	CNC	CONS	1	
CTLINT	Application Interval in Se	INIT	CONS	20	
DEFSOLT	Default Rank Group Soluti	CFG	BUILD	1	
ETENB	Enable External Targets	CFG	CONS	0	
ETSHOW	Include External Target Info	BLD	CONS	0	
FPENB	Output Moves and Predict	CFG	CONS	0	
IMBMLT	Ramp Imbalance Multiplie	CFG	CONS	3.	
IMBTOL	Ramp Imbalance Toleran	CFG	CONS	.001	
INTSUM	Use Internal Summation o	CFG	CONS	0	
IPMIND	Number of MVs	INIT	CONS	2	
IPNCI	Number of Intervals to Ste	CFG	CONS	30	
IPNDEP	Number of Dependents	INIT	CONS	2	
IPNEQ	Number of Equations	INIT	CONS	15	
IPNMOV	Number of Future Moves	INIT	CONS	8	
IPNSUB	Number of Subcontroller	CFG	CONS	0	
IPSKIP	Number of Predictions per	CFG	CONS	1	
IPTIND	Number of Independents	INIT	CONS	3	
IPXCTH	Number of Intervals in Tim	CFG	CONS	43	
IPXNCI	Number of Coefficients in	CFG	CONS	30	
LISTSZ	List Size Maximum for Co	CNC	CONS	99	
MDLNAM	Model Filename	INIT	CONS	MODELO_VALIDADO.mdl	
NORMOV	Normalized Moves in Us	CFG	CONS	1	
OMSGBY	Optional Message Bytes	MSG	CONS	0	
OMSGLN	Optional Message Total L	MSG	CONS	0	
OMSGSG	Optional Message Segment	MSG	CONS	0	
SSMINS	Minutes to Steady State	INIT	CONS	10	
UBYTES	Total User Defined Entry B	BLD	BUILD	8	
XTDMOV	Extended Moves in Use	CFG	CONS	0	
XTDREQ	Extended Moves Reques	CFG	CONS	1	

General Section

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
CNTDWN	Watchdog Countdown	GEN	LOCAL	0.	
CTOFF	Cycle Start Offset in Sec	GEN	CONS	0	
DMCFLG	Most Recent Error	GEN	LOCAL	0	
DSTSWC	Daylight-Saving Time Swi	GEN	LOCAL	0	
IABORT	Abort Indicator	GEN	LOCAL	0	

LICSTS	Minutes Until App License E	GEN	LOCAL	14400	
LPOBJ	Steady-State Objective Fu	GEN	WRITE	0.	""::"PLANTA\OBJETIVO":REAL:
LSTDAY	Last Run (Days)	GEN	LOCAL	0	
LSTSEC	Last Run (Seconds)	GEN	LOCAL	0	
LSTTIM	THISTM in Floating Point F	GEN	LOCAL	0.	
MVOSWC	MV Optimization Type	GEN	LOCAL	1	
NGDDEP	Minimum Good CVs	GEN	LOCAL	2	
NGDMAN	Minimum Good MVs	GEN	LOCAL	2	
ONREQ	Master ON/OFF Request	GEN	LOCAL	0	
ONSTS	Resulting State of ONRE	GEN	LOCAL	0	
PRDIND	Predictions Initialized Indic	GEN	LOCAL	0	
PRDOUT	Prediction Output Switch	GEN	LOCAL	2	
PRDSWC	Initialize Predictions Requ	GEN	LOCAL	0	
PRMODE	Diagnostic Print Mode	GEN	LOCAL	1	
PRTSWC	Diagnostic Print Switch	GEN	LOCAL	0	
SIMSWC	Simulation File Output Sw	GEN	LOCAL	1	
THISTM	Time of Last Run	GEN	LOCAL		
WHYOFF	Whyoff Message	GEN	LOCAL		

Independent Variable: RES (#001)

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
AWSCOD	Anti-Windup Indicator	MV	LOCAL	0	
BARIL	Plot Lower Limit (Manual S	VIEW	LOCAL	0.	
BARISC	Plot Default Scaling Meth	IND	LOCAL	1	
BARIU	Plot Upper Limit (Manual Sc	VIEW	LOCAL	0.	
CMOV	Current Move	MV	LOCAL	0.	
CRIIND	Critical Indicator	IND	LOCAL	1	
CST	Steady-State Cost	MV	LOCAL	0.	
DESCIND	Description	IND	LOCAL	RESISTENCIA	
ENGIND	Engineering Units	IND	CONS		
INDSTA	Status Indicator	IND	LOCAL	0	
LLINDM	Lower Operator Limit	MV	LOCAL	0.	
LMVENG	Lower Engineer Limit	MV	LOCAL	0.	
LOOPST	Loop Status	MV	LOCAL	1	
LPCRIT	Steady-State Criterion	MV	LOCAL	0	
LVLIND	Lower Validity Limit	IND	LOCAL	0.	
MANACT	Active Constraint Indicatio	MV	LOCAL	0	
MAXMOV	Maximum Move	MV	LOCAL	20.	
MDLIND	Model Tag	IND	CONS	RES	
MOVACC	Accumulated Moves	MV	LOCAL	0.	
MOVRES	Move Resolution	MV	LOCAL	0.	
MTGIND	Message Tag	IND	CONS	RES	
SREIND	Engineer Service Indicato	IND	LOCAL	1	
SRVIND	Operator Service Indicat	IND	LOCAL	1	
SSMAN	Steady-State Target	MV	WRITE	0.	
""::"PLANTA\RESISTENCIA_SST":REAL:					
SSSTEP	Maximum Steady-State	MV	LOCAL	20.	
SUPMOV	Move Suppression	MV	LOCAL	1.	
TYPMOV	Typical Move	IND	LOCAL	5.	
ULINDM	Upper Operator Limit	MV	LOCAL	20.	
UMVENG	Upper Engineer Limit	MV	LOCAL	25.	
UVLIND	Upper Validity Limit	IND	LOCAL	100.	
VIND	Current Input Value	PV	READ	0.	
""::"PLANTA\RESISTENCIA_VIND":REAL:					
VINDSP	Setpoint Output Value	PV	PWRITE	0.	
""::"PLANTA\RESISTENCIA_SP":REAL:					

Independent Variable: V8 (#002)

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
AWSCOD	Anti-Windup Indicator	MV	LOCAL	0	
BARIL	Plot Lower Limit (Manual S	VIEW	LOCAL	0.	
BARISC	Plot Default Scaling Meth	IND	LOCAL	1	
BARIU	Plot Upper Limit (Manual Sc	VIEW	LOCAL	0.	
CMOV	Current Move	MV	LOCAL	0.	

CRIIND	Critical Indicator	IND	LOCAL	1	
CST	Steady-State Cost	MV	LOCAL	10.	
DESCIND	Description	IND	LOCAL	Válvula de recircula	
ENGIND	Engineering Units	IND	CONS		
INDSTA	Status Indicator	IND	LOCAL	0	
LLINDM	Lower Operator Limit	MV	LOCAL	0.	
LMVENG	Lower Engineer Limit	MV	LOCAL	0.	
LOOPST	Loop Status	MV	LOCAL	1	
LPCRIT	Steady-State Criterion	MV	LOCAL	0	
LVLIND	Lower Validity Limit	IND	LOCAL	0.	
MANACT	Active Constraint Indicatio	MV	LOCAL	0	
MAXMOV	Maximum Move	MV	LOCAL	100.	
MDLIND	Model Tag	IND	CONS	V8	
MOVACC	Accumulated Moves	MV	LOCAL	0.	
MOVRES	Move Resolution	MV	LOCAL	0.	
MTGIND	Message Tag	IND	CONS	V8	
SREIND	Engineer Service Indicato	IND	LOCAL	1	
SRVIND	Operator Service Indicat	IND	LOCAL	1	
SSMAN	Steady-State Target	MV	WRITE	0.	""::"PLANTAIV8_SST":REAL:
SSSTEP	Maximum Steady-State	MV	LOCAL	100.	
SUPMOV	Move Suppression	MV	LOCAL	1.	
TYPMOV	Typical Move	IND	LOCAL	30.	
ULINDM	Upper Operator Limit	MV	LOCAL	100.	
UMVENG	Upper Engineer Limit	MV	LOCAL	100.	
UVLIND	Upper Validity Limit	IND	LOCAL	100.	
VIND	Current Input Value	PV	READ	0.	""::"PLANTAIV8_VIND":REAL:
VINDSP	Setpoint Output Value	PV	PWRITE	0.	""::"PLANTAIV8_SP":REAL:

Independent Variable: TT2 (#003)

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
BARIL	Plot Lower Limit (Manual S	VIEW	LOCAL	0.	
BARISC	Plot Default Scaling Meth	IND	LOCAL	1	
BARIU	Plot Upper Limit (Manual Sc	VIEW	LOCAL	0.	
CRIIND	Critical Indicator	IND	LOCAL	1	
DESCIND	Description	IND	LOCAL	Temperatura corrient	
ENGIND	Engineering Units	IND	CONS		
INDSTA	Status Indicator	IND	LOCAL	0	
LVLIND	Lower Validity Limit	IND	LOCAL	15.	
MDLIND	Model Tag	IND	CONS	TT2	
MTGIND	Message Tag	IND	CONS	TT2	
SREIND	Engineer Service Indicato	IND	LOCAL	1	
SRVIND	Operator Service Indicat	IND	LOCAL	2	
TYPMOV	Typical Move	IND	LOCAL	1.	
UVLIND	Upper Validity Limit	IND	LOCAL	20.	
VIND	Current Input Value	PV	READ	0.	""::"PLANTA\TT2":REAL:

Dependent Variable: TT4 (#001)

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
ACPRER	Accumulated Prediction E	DEP	LOCAL	0.	
BARDL	Plot Lower Limit (Manual S	VIEW	LOCAL	0.	
BARDSC	Plot Default Scaling Meth	DEP	LOCAL	1	
BARDU	Plot Upper Limit (Manual Sc	VIEW	LOCAL	0.	
CRIDEP	Critical Indicator	DEP	LOCAL	1	
CVLPQL	CV Lower Limit Solution	DEP	LOCAL	1	
CVLPQU	CV Upper Limit Solution	DEP	LOCAL	1	
CVRANKL	CV Rank - Lower Limit	DEP	LOCAL	10	
CVRANKU	CV Rank - Upper Limit	DEP	LOCAL	10	
DEP	Dependent Value	PV	READ	0.	""::"PLANTA\TT4":REAL:
DEPACT	Active Constraint Indicat	DEP	LOCAL	0	
DEPSTA	Status Indicator	DEP	LOCAL	0	
DESCDEP	Description	DEP	LOCAL	Temperatura de recir	
ECECMML	Move Calc Lower Equal Co	DEP	LOCAL	1.	
ECECMML	Move Calc Middle Equal Co	DEP	LOCAL	1.	

ECECMU	Move Calc Upper Equal Co	DEP	LOCAL	1.	
ECELPL	Steady-State Lower Equal	DEP	LOCAL	1.	
ECELP	Steady-State Upper Equal	DEP	LOCAL	1.	
ENGDEP	Engineering Units	DEP	CONS		
LDEPTG	Lower Limit	DEP	READ	17.	""::"PLANTA\TT4_LL":REAL:
LDPENG	Lower Engineer Limit	DEP	LOCAL	0.	
LVLDEP	Lower Validity Limit	DEP	LOCAL	0.	
MDLDEP	Model Tag	DEP	CONS	TT4	
MTGDEP	Message Tag	DEP	CONS	TT4	
MXNIMB	Maximum Imbalance Cycl	RAMP	LOCAL	0	
PREDER	Prediction Error	DEP	LOCAL	0.	
PREDINIT	Initialize Predictions Requ	DEP	LOCAL	0	
PRERHORIZ	Pred. Error Filter Time Horiz	DEP	LOCAL	0.	
PRERTAU	Pred. Error Filter Time Const	DEP	LOCAL	0.	
PRERTYPE	Prediction Error Filter Ty	DEP	LOCAL	0	
RAMPRT	Ramp Rate	RAMP	LOCAL	1.	
RAMPSP	Ramp Setpoint	RAMP	LOCAL	20.	
RHORIZ	Ramp Horizon	RAMP	LOCAL	0.	
ROTFAC	Ramp Rotation Factor	RAMP	LOCAL	.4	
SHPDEP	Shadow Price	DEP	LOCAL	1000.	
SRVDEP	Operator Service Indicat	DEP	LOCAL	1	
SSDEP	Steady-State Target	DEP	WRITE	0.	""::"PLANTA\TT4_SP":DBVL:
SSERR	Steady-State Error	DEP	LOCAL	0.	
TRANZL	Move Calc Lower Transit	DEP	LOCAL	0.	
TRANZU	Move Calc Upper Transiti	DEP	LOCAL	0.	
TRKDEP	Tracking Indicator	DEP	LOCAL	0	
UDEPTG	Upper Limit	DEP	READ	30.	""::"PLANTA\TT4_UL":REAL:
UDPENG	Upper Engineer Limit	DEP	LOCAL	50.	
UVLDEP	Upper Validity Limit	DEP	LOCAL	50.	

Dependent Variable: TT5 (#002)

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
ACPRER	Accumulated Prediction E	DEP	LOCAL	0.	
BARDL	Plot Lower Limit (Manual S	VIEW	LOCAL	0.	
BARDSC	Plot Default Scaling Meth	DEP	LOCAL	1	
BARDU	Plot Upper Limit (Manual Sc	VIEW	LOCAL	0.	
CRIDEP	Critical Indicator	DEP	LOCAL	1	
CVLPQL	CV Lower Limit Solution	DEP	LOCAL	1	
CVLPQU	CV Upper Limit Solution	DEP	LOCAL	1	
CVRANKL	CV Rank - Lower Limit	DEP	LOCAL	10	
CVRANKU	CV Rank - Upper Limit	DEP	LOCAL	10	
DEP	Dependent Value	PV	READ	0.	""::"PLANTA\TT5":REAL:
DEPACT	Active Constraint Indicat	DEP	LOCAL	0	
DEPSTA	Status Indicator	DEP	LOCAL	0	
DESCDEP	Description	DEP	LOCAL	Temperatura del depó	
ECECML	Move Calc Lower Equal Co	DEP	LOCAL	1.	
ECECMM	Move Calc Middle Equal Co	DEP	LOCAL	1.	
ECECMU	Move Calc Upper Equal Co	DEP	LOCAL	1.	
ECELPL	Steady-State Lower Equal	DEP	LOCAL	1.	
ECELP	Steady-State Upper Equal	DEP	LOCAL	1.	
ENGDEP	Engineering Units	DEP	CONS		
LDEPTG	Lower Limit	DEP	RDWRT	20.	""::"PLANTA\TT5_LL":REAL:
LDPENG	Lower Engineer Limit	DEP	LOCAL	18.	
LVLDEP	Lower Validity Limit	DEP	LOCAL	18.	
MDLDEP	Model Tag	DEP	CONS	TT5	
MTGDEP	Message Tag	DEP	CONS	TT5	
MXNIMB	Maximum Imbalance Cycl	RAMP	LOCAL	0	
PREDER	Prediction Error	DEP	LOCAL	0.	
PREDINIT	Initialize Predictions Requ	DEP	LOCAL	0	
PRERHORIZ	Pred. Error Filter Time Horiz	DEP	LOCAL	0.	
PRERTAU	Pred. Error Filter Time Const	DEP	LOCAL	0.	
PRERTYPE	Prediction Error Filter Ty	DEP	LOCAL	0	
RAMPRT	Ramp Rate	RAMP	LOCAL	1.	
RAMPSP	Ramp Setpoint	RAMP	LOCAL	25.	
RHORIZ	Ramp Horizon	RAMP	LOCAL	0.	
ROTFAC	Ramp Rotation Factor	RAMP	LOCAL	.4	

SHPDEP	Shadow Price	DEP	LOCAL	1000.	
SRVDEP	Operator Service Indic	DEP	LOCAL	1	
SSDEP	Steady-State Target	DEP	WRITE	0.	""::"PLANTA\TT5_SP":REAL:
SSERR	Steady-State Error	DEP	LOCAL	0.	
TRANZL	Move Calc Lower Transit	DEP	LOCAL	0.	
TRANZU	Move Calc Upper Transiti	DEP	LOCAL	0.	
TRKDEP	Tracking Indicator	DEP	LOCAL	0	
UDEPTG	Upper Limit	DEP	READ	50.	""::"PLANTA\TT5_UL":REAL:
UDPENG	Upper Engineer Limit	DEP	LOCAL	60.	
UVLDEP	Upper Validity Limit	DEP	LOCAL	60.	

Calc Declarations

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
ABSRES	User Defined Entry	USER	AWRITE	0.	
""::"PLANTA\RESISTENCIA":REAL:					
ABSV8	User Defined Entry	USER	AWRITE	0.	""::"PLANTA\V8":REAL:

Calc Functions

```

CALPUT: ABSRES = {IND:RES|VIND}+ {IND:RES|CMOV}
CALPUT: ABSV8 = {IND:V8|VIND}+ {IND:V8|CMOV}
CALGET: {IND:RES|CST} = 10* {IND:RES|VIND}
CALGET: {IND:V8|CST} = 2* {IND:V8|VIND}
CALGET: {DEP:TT4|RAMPSP} = ( {DEP:TT4|LDEPTG}+ {DEP:TT4|UDEPTG})/2
CALGET: {DEP:TT5|RAMPSP} = ( {DEP:TT5|LDEPTG}+ {DEP:TT5|UDEPTG})/2

```

Como se puede ver en el archivo adjunto existen multitud de parámetros a ajustar para diseñar un controlador que funcione correctamente, de hecho, el número de parámetros a configurar se ve incrementado para aquellas variables dependientes que son marcadas como variables tipo rampa. En el siguiente apartado se explicarán algunos de estos parámetros y luego se mostraran sus efectos sobre el proceso.

4.6.1 Parámetros de interés para la configuración del controlador.

Una vez explicado como funciona el controlador se va a proceder a explicar la función de algunos de los parámetros más importantes para la configuración del mismo. Posteriormente, en el apartado 4.11 se mostrarán también algunos de los efectos de cambios en ellos sobre los resultados de control.

Entre los parámetros de configuración de las variables independientes más relevantes se encuentran:

CRIIND: este parámetro se configura de forma independiente en ambas variables manipulables y sirve para indicar si la variable en cuestión es crítica para el control o no. Tanto la resistencia como la válvula se han señalado como variables críticas para el control, es decir, se les ha asignado el valor 1.

SREIND: Engineer service indicator para variable independiente. Parámetro binario que se configura de forma independiente en cada una de las variables manipulables y permite eliminar a la variable de los cálculos de control. Si SREIND=0 para una variable independiente, entonces DMCplus dejara de tenerla en cuenta en los cálculos de control. Si SREIND=1, entonces DMCplus empleará esta variable para los cálculos de control. Es importante destacar que este parámetro se ha puesto a 1 tanto para la resistencia como para la válvula.

SRVIND: Operations service indicator para variable independiente. Este parámetro puede tomar tres valores distintos:

- 0→ Fuera de servicio para el controlador DMCplus. (OFF)
- 1→ En servicio para el controlador DMCplus. (ON)
- 2→ Usada como perturbación. (FFW).

Es importante destacar que este parámetro se ha puesto a 1 tanto para la resistencia como para la válvula, y se le ha asignado el valor 2 para la perturbación TT2.

SUPMOV: Move Suppression Factor. Este parámetro que se configura de forma independiente en cada una de las variables manipulables se caracteriza por afectar a la agresividad del controlador en el movimiento de las mismas para alcanzar los objetivos de control. Un valor muy elevado indica mayor supresión es decir, menor movimiento de la variable manipulable. Se le ha dado valor 1 en ambas variables.

CST: Steady State cost. Es el coste en que se incurre al aumentar la variable manipulable en una unidad, se configura de forma independiente en cada una de las variables manipulables, y se le puede asignar un valor constante o se puede hacer dependiente del valor de la variable manipulable en cuestión. Para esta segunda opción únicamente hay que crear la función que se quiera en la sección Calc functions de DMCplus Build.

ULINDM: Manipulated variable upper operating limit used in control calculations. Este parámetro representa el límite superior de operación y su valor tiene que ser mayor o igual que el límite inferior (LLINDM), además debe cumplir que el valor de este parámetro debe estar incluido dentro de los límites ingenieriles.

UMVENG: Manipulated variable upper engineering limit. Parámetro que representa el límite superior de ingeniería y cuyo valor tiene que ser igual o superior al límite inferior de ingeniería (LMVENG) y que debe estar incluido dentro de los límites válidos para la variable manipulable.

UVLIND: Independent variable upper validity limit. Si el valor de la variable manipulable, el valor del límite de operación, o el valor del límite de ingeniería superan al valor asignado a este parámetro entonces, este valor será considerado como malo para el controlador. Lo mismo ocurre con el límite inferior de operación (LVLIND).

Así que, tras explicar estos límites que hay que definir para cada una de las variables independientes se concluye que:

$$\begin{aligned}ULINDM &\leq UMVENG \leq UVLIND \\LLINDM &\geq LMVENG \geq LVLIND\end{aligned}$$

Entre los parámetros de configuración de las variables dependientes cabe destacar:

UDEPTG: Dependent variable upper operating target used in control calculations. El valor de este parámetro tiene que ser igual o superior al valor inferior de operación (LDEPTG) y además tiene que estar dentro de los límites de ingeniería y de los límites validos de la variable dependiente.

UDPENG: Dependent variable upper engineering limit. Parámetro que representa el límite superior de ingeniería y cuyo valor tiene que ser igual o superior al límite inferior de ingeniería (LDPENG) y que debe estar incluido dentro de los límites válidos para la variable manipulable.

UVLDEP: Dependent variable upper validity limit. Si el valor de la variable dependiente, el valor del límite de operación, o el valor del límite de ingeniería superan al valor asignado a este parámetro entonces, el controlador considerará este valor como malo. Lo mismo ocurre con el límite inferior de operación (LVLDEP).

De forma análoga al caso de las variables manipulables se concluye que:

$$\begin{aligned}UDEPTG &\leq UDPENG \leq UVLDEP \\LDEPTG &\geq LDPENG \geq LVLDEP\end{aligned}$$

RAMPSP: Dependent variable ramp setpoint. Es el objetivo al que el controlador intentará conducir la variable tipo rampa. El rango válido de valores que se puede asignar a este parámetro es $LDEPTG \leq RAMPSP \leq UDEPTG$ por lo que para asignar un valor adecuado a este parámetro lo que se hace es emplear el apartado de ecuaciones de Build donde se calcula como el valor medio del límite inferior y superior de las variables dependientes $RAMPSP = (LDEPTG + UDEPTG)/2$.

RAMPRT: Dependent variable ramp rate. Parámetro a configurar únicamente en

variables dependientes tipo rampa; controla la agresividad con que el controlador intenta conducir una variable tipo rampa a su setpoint. Puede tomar valores entre 0 y 1, y se utiliza únicamente con variables tipo rampa. Se ha dado valor 1 a esta entrada en las dos variables dependientes.

MXNIMB: maximum number of ramp imbalance cycles allowed. Este parámetro sólo hay que configurarlo en las variables dependientes tipo rampa (en cada una de ellas de manera independiente), y especifica el número máximo de ciclos permitidos de desequilibrio o desajuste de la variable rampa en la resolución del LP o estado estacionario.

-1 → no intenta ajustar la rampa en la solución steady state.

0 → intenta equilibrar siempre la rampa en la solución del steady state.

>0 → permite el desajuste de la rampa en el steady state por el número de ciclos indicado.

ECE: Dependent variable equal concern error. Referente a equal concern errors hay que configurar cinco parámetros por cada una de las variables dependientes del sistema. Estos parámetros a configurar pueden ser de dos tipos, los equal concern error para el cálculo de la solución en régimen permanente (ECELPL y ECELPU) que influyen en las restricciones que el optimizador en régimen permanente relajará primero cuando no pueda encontrar una solución factible en el régimen permanente y los equal concern error para el cálculo de la acción de control (ECECML, ECECMM Y ECECMU), que determinan la agresividad con que las variables dependientes serán conducidas a los objetivos del régimen permanente. Posteriormente se explicarán con más detalle y se mostrarán los efectos de asignarles un valor u otro en los resultados de control.

CVRANK(L/U): Steady state rank for the limit for a dependent variable. Si se le asigna el valor 0, entonces el ranking no se usa en el controlador, pero debe ser 0 para todas las variables. Si se especifica este valor para todas las variables el comportamiento será análogo al DMC 5.02. Esta entrada es todo o nada, todos los CV ranks deben estar a 0 o ninguno a 0. En esta entrada se le ha asignado el mismo rango a las dos variables dependientes y en concreto se les ha asignado el valor por defecto de 10.

4.7 Simulación del controlador con el modelo Rampa y solución QP.

Una vez configurado el controlador lo que hay que hacer es simularlo antes de aplicarlo sobre la planta, así se podrán ajustar mejor los parámetros que lo requieran, para este cometido se recurre al módulo DMCplus Simulate. Para ver el correcto funcionamiento del controlador se van a simular cuatro ensayos que se realizarán posteriormente sobre la planta en tiempo real, en el siguiente apartado de la memoria se mostrarán los resultados. Hay que señalar que todos los resultados de simulación adjuntos son para el modelo con variables dependientes marcadas como Ramp.

❖ Ensayo A:

En esta primera simulación lo que se pretende es ver la evolución de las variables manipulables y controlables al limitar el rango de valores posibles para las temperaturas TT4 y TT5. Los valores introducidos para este ensayo son:

	Lím. Inferior	Lím.Superior	Valor actual
TT4	17	22	20
TT5	21	27	25
TT2	15	20	17
Resistencia	0	20	5
V8	0	100	50

Tabla 4.1

Los resultados gráficos de la simulación se muestran a continuación:

◆ Temperatura TT5:

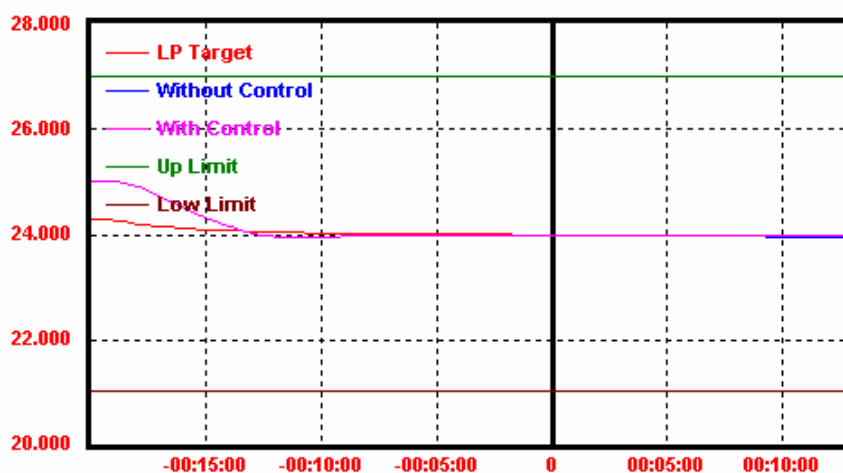


Figura 4.38

♦ Temperatura TT4:

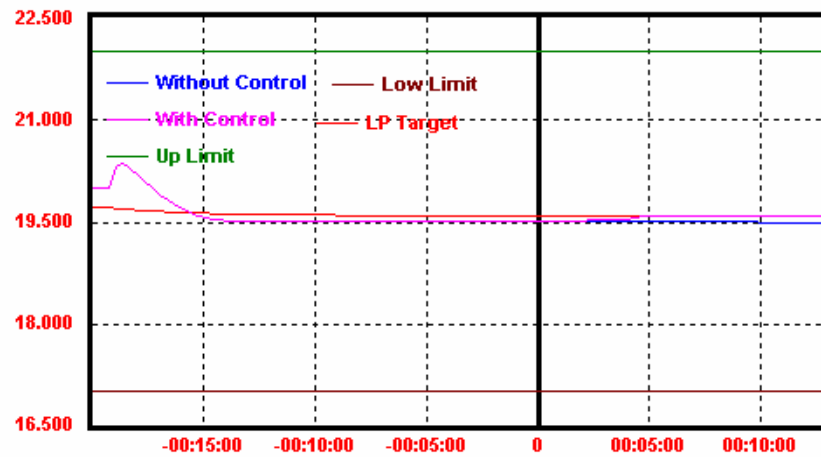


Figura 4.39

♦ Actuación Resistencia:

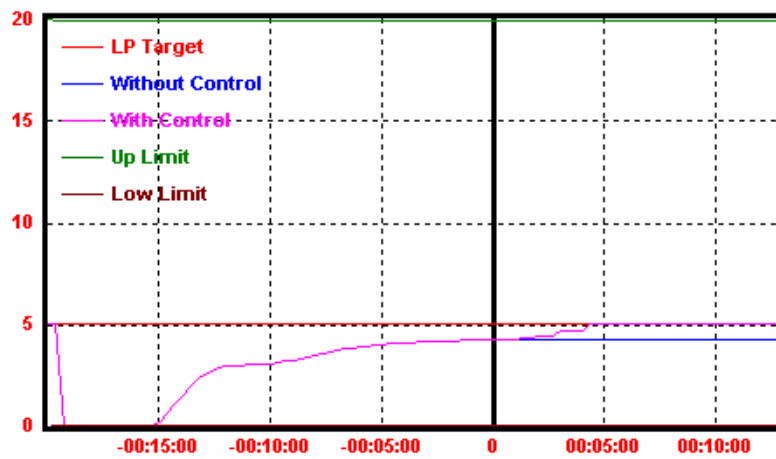


Figura 4.40

♦ Actuación V8:

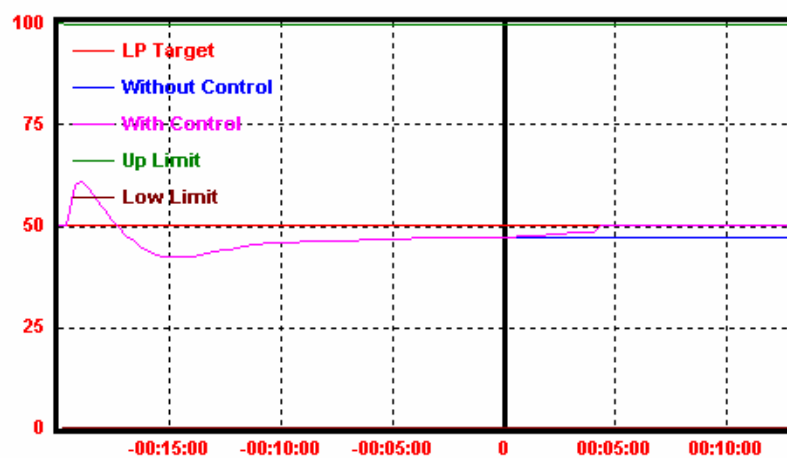


Figura 4.41

❖ Ensayo B:

En esta segunda simulación lo que se pretende es ver la evolución de las variables manipulables y controlables al limitar el rango de valores posibles para la temperatura TT5 y fijar el valor de la temperatura TT4 en un valor concreto. Los valores introducidos para este ensayo son:

	Lím. Inferior	Lím.Superior	Valor actual
TT4	23	23	20
TT5	21	27	25
TT2	15	20	17
Resistencia	0	20	5
V8	0	100	50

Tabla 4.2

Los resultados gráficos se muestran a continuación:

◆ Temperatura TT5:

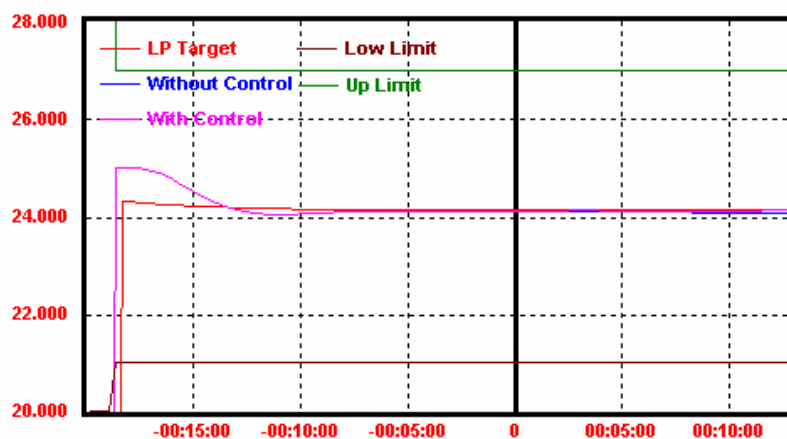


Figura 4.42

◆ Temperatura TT4:

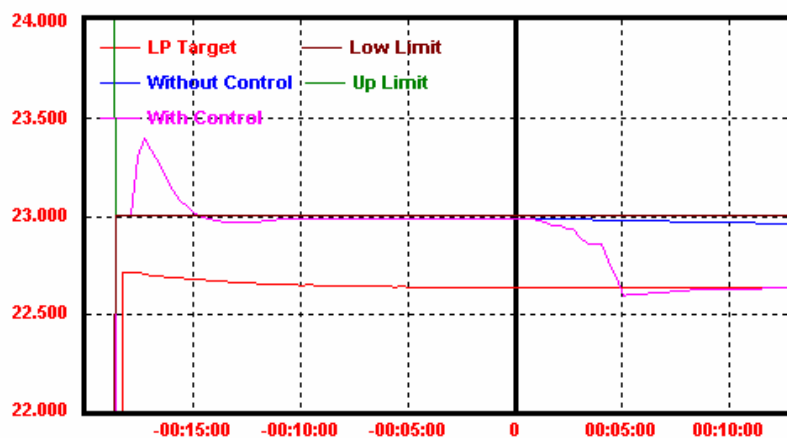


Figura 4.43

♦ Actuación de la resistencia:

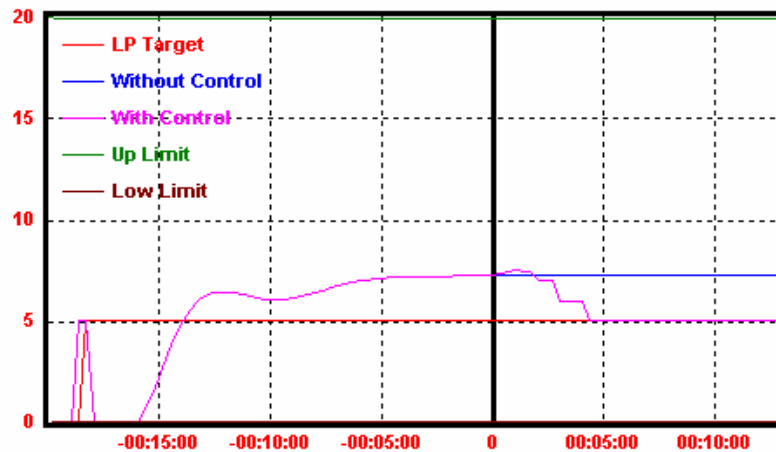


Figura 4.44

♦ Actuación de la válvula V8:

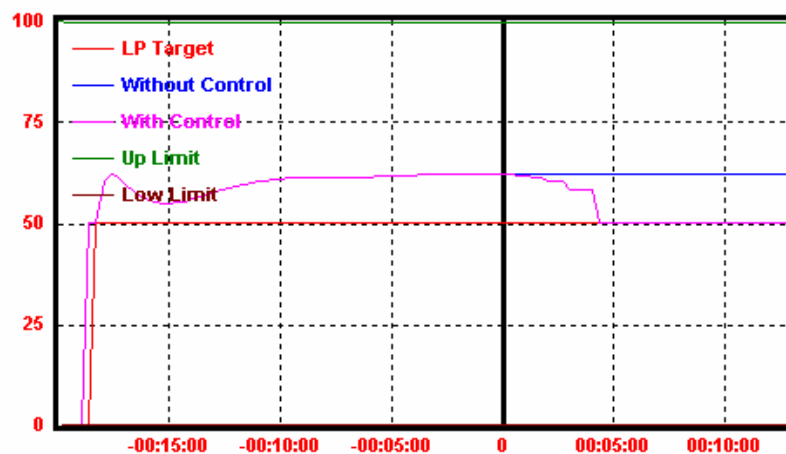


Figura 4.45

❖ Ensayo C:

En esta tercera simulación lo que se pretende es ver la evolución de las variables manipulables y controlables al limitar el rango de valores posibles para la temperatura TT4 y fijar el valor de la temperatura TT5 en un valor concreto. Los valores introducidos para este ensayo son:

	Lím. Inferior	Lím.Superior	Valor actual
TT4	18	25	22
TT5	25	25	25
TT2	15	20	17
Resistencia	0	20	5
V8	0	100	50

Tabla 4.3

Los resultados gráficos se muestran a continuación:

◆ Temperatura TT5:

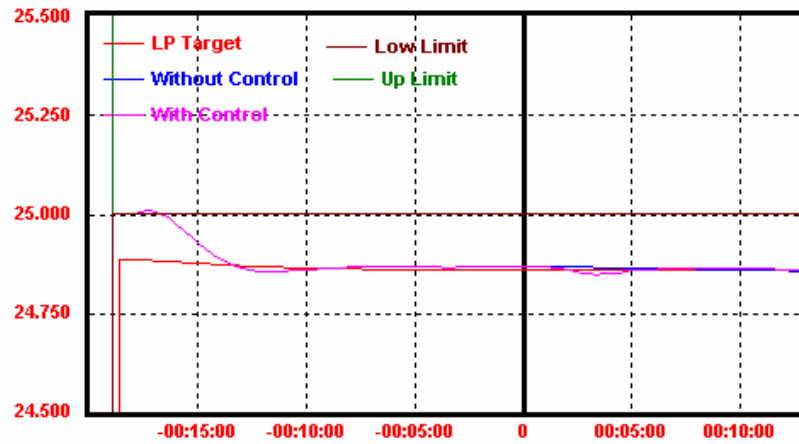


Figura 4.46

◆ Temperatura TT4:

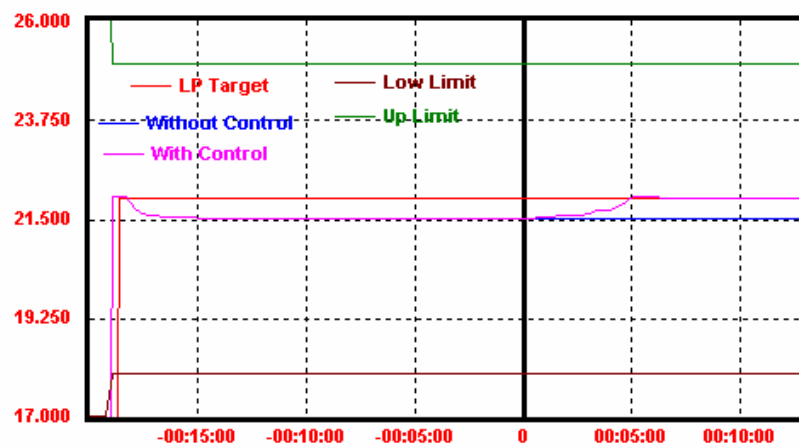


Figura 4.47

◆ Actuación de la resistencia:

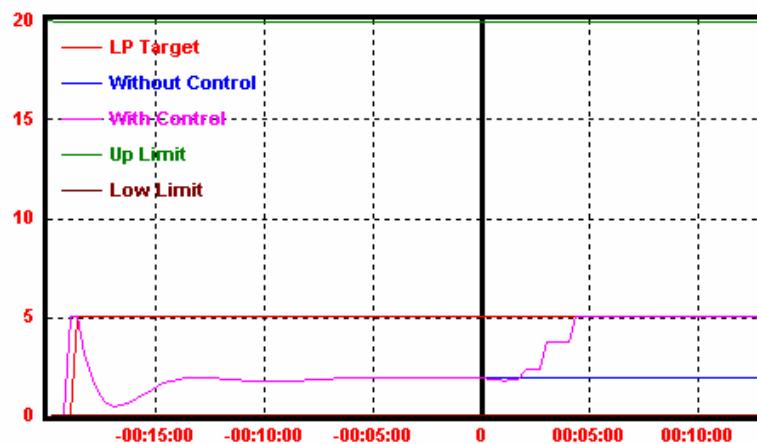


Figura 4.48

♦ Actuación de la válvula V8:

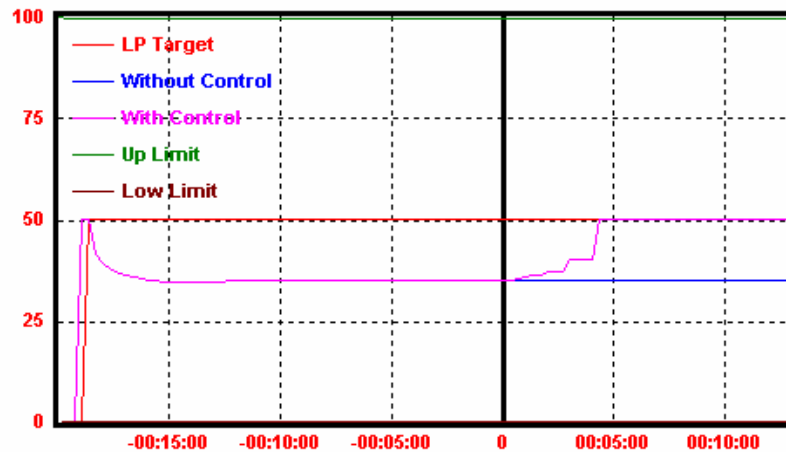


Figura 4.49

❖ Ensayo D:

En esta última simulación lo que se pretende es ver la evolución de las variables manipulables y controlables al limitar tanto la temperatura TT4 como la TT5 a unos valores concretos. Los valores introducidos para este ensayo son:

	Lím. Inferior	Lím.Superior	Valor actual
TT4	22	22	21
TT5	26	26	27
TT2	15	20	17
Resistencia	0	20	5
V8	0	100	50

Tabla 4.4

Los resultados gráficos se muestran a continuación:

♦ Temperatura TT5:

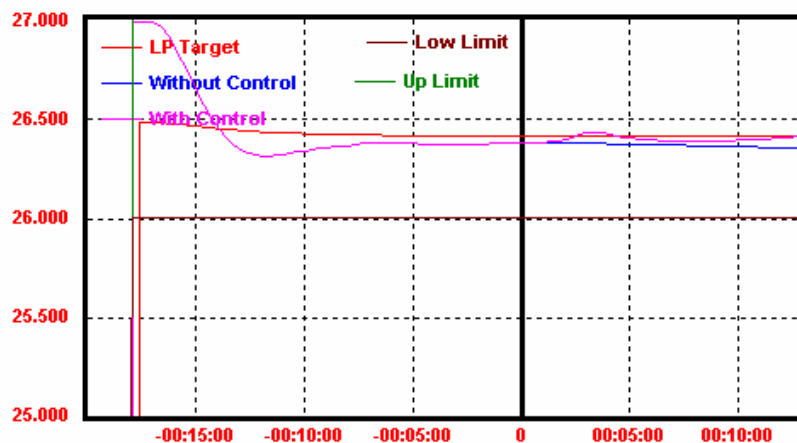


Figura 4.50

♦ Temperatura TT4:

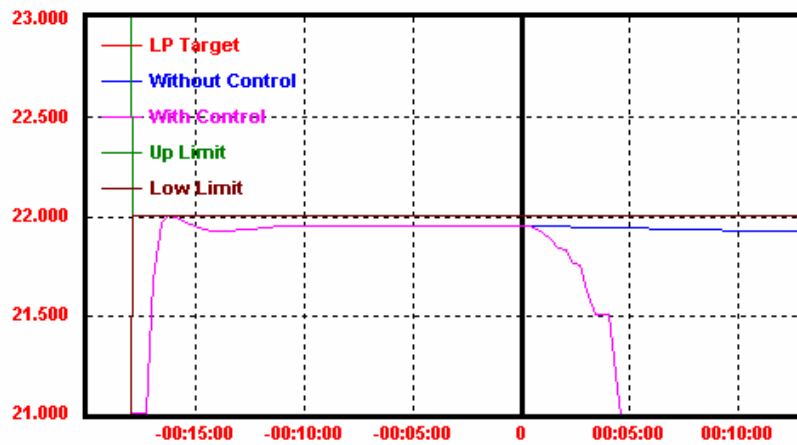


Figura 4.51

♦ Actuación de la resistencia:

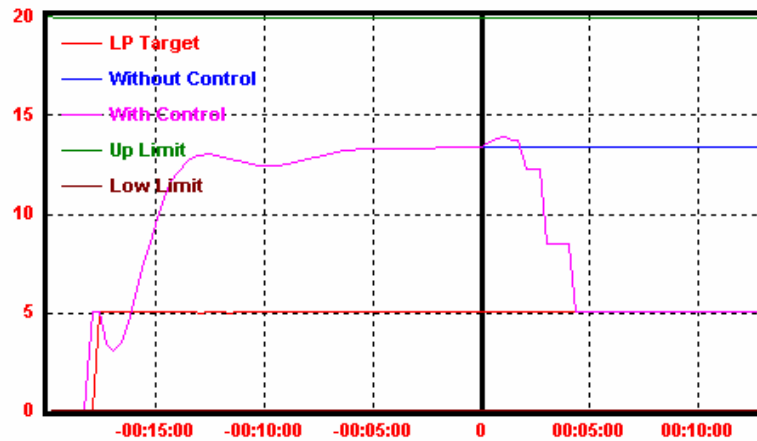


Figura 4.52

♦ Actuación de la válvula V8:

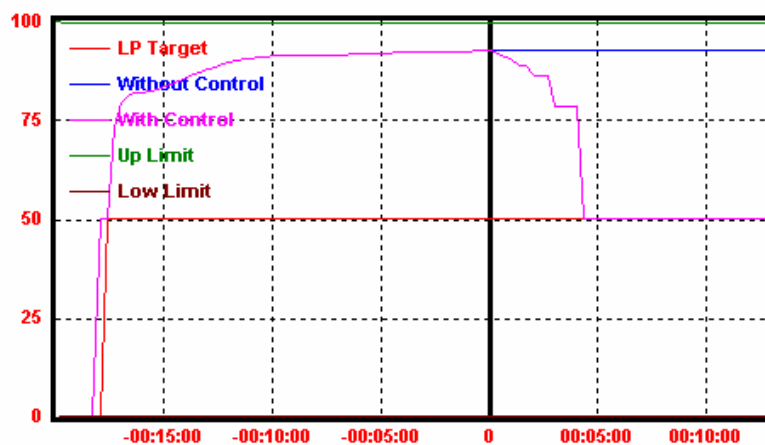


Figura 4.53

Para terminar de mostrar como funciona el módulo Simulate de DMCplus se adjunta el archivo que contiene la información correspondiente a la simulación del ensayo D.

VERSION: 6.0.0

PROGRAM: QP1

SOURCE: DIAGNOSTIC

Time for Calculations (MM-DD-YYYY HH:MM:SS): 07-Mar-2006 09:41:18

CONTROLLER DATA

=====

CONTROLLER ON/OFF STATE - ON
CONTROLLER ON/OFF REQUEST (IN) - ON
CONTROLLER ON/OFF REQUEST - ON
CONTROL LICENSE STATUS - 0

CONTROLLER SHUTDOWN (1=SHUTDOWN)- 0

MINIMUM GOOD SUBCONTROLLERS - 0

ABORT INDICATOR (0=GOOD) - 0
GENERAL ERROR FLAG - 0

PREDICTION INIT. SWITCH - 0
PREDICTION INIT. INDICATOR - 0

PRINT FILE SWITCH - 1

NUMBER OF MISSED CYCLES - 0

MINIMUM NUMBER OF MANIPULATED - 2
MINIMUM NUMBER OF CONTROLLED - 2

CONTROLLER INTERVAL (SECONDS) - 20
COUNTDOWN RESET VALUE - 50.00000
MV OPTIMIZATION TYPE - QP
LP OBJECTIVE FUNCTION VALUE - -9435.702

MANIPULATED VARIABLES 1- 2

=====

RES V8

SRV SWITCH 1 1
ENG SWITCH 1 1

CRIT IND	1	1
DMC STAT	GOOD 0	GOOD 0
VALID HI	100.0000	100.0000
ENGR HIGH	25.0000	100.0000
OPER HI IN	20.0000	100.0000
OPER HIGH	20.0000	100.0000
VIND IN	13.7710	93.7858
VIND OUT	13.7745	93.7980
OPER LOW	0.0000	0.0000
OPER LO IN	0.0000	0.0000
ENGR LOW	0.0000	0.0000
VALID LO	0.0000	0.0000
TARGET	4.9861	49.9309
TGT RATIO	0.0000	0.0042
CURR MOVE	0.0035	0.0122
MANACT	0	0
RESOLUTN	0.0000	0.0000
MAX MOVE	20.0000	100.0000
SS STEP	20.0000	100.0000
SS COST	137.7099	187.5716
SS CRITER	0	0
LOOP STAT	1	1
AWS CODE	0	0
REVR5 IND	0	0
TRACK IND	0	0
SHD PRICE	0.0000	0.0000
MOVE SUPP	1.0000	1.0000
LP UNIT MV	3.5331	15.3404
CM UNIT MV	7.3228	34.5890
INDFLG	0	0

FUTMOV 1	13.7745	93.7980
FUTMOV 2	13.9725	93.1849
FUTMOV 3	14.1921	92.3683
FUTMOV 4	14.2684	91.4622
FUTMOV 5	14.0219	90.0644
FUTMOV 7	12.4981	87.3607
FUTMOV 10	8.6024	79.2139
FUTMOV 14	4.9862	49.9350

FEED FORWARD VARIABLES 3- 3

=====

TT2

SRV SWITCH 2

ENG SWITCH 1

CRIT IND 1
 DMC STAT GOOD 0
 VIND 17.0000
 VALID HI 20.0000
 VALID LO 15.0000
 INDFLG 0

DEPENDENT VARIABLES 1- 2
 =====

	TT4	TT5
	-----	-----
SRV SWITCH	1	1
ENG SWITCH	1	1
CRIT IND	1	1
DMC STAT	GOOD 0	GOOD 0
VALID HI	50.0000	60.0000
ENGR HIGH	50.0000	60.0000
OPER HI IN	22.0000	26.0000
OPER HIGH	22.0000	26.0000
DEP	21.9477	26.3897
DEP INPUT	21.9477	26.3897
OPER LOW	22.0000	26.0000
OPER LO IN	22.0000	26.0000
ENGR LOW	0.0000	18.0000
VALID LO	0.0000	18.0000
TARGET	20.6868	26.4212
CV RANK LO	10	10
CV RANK HI	10	10
CV TYPE LO	QP 1	QP 1
CV TYPE HI	QP 1	QP 1
DEPACT	RAMP 9	RAMP 9
LP ERROR	-1.3132	0.4212
SHD PRICE	0.0000	0.0000
PRED ERR	0.0000	0.0000
FILT TYPE	DMC 0	DMC 0
FILT CONST	0.0000	0.0000
FILT HORIZ	0.0000	0.0000
AV PR ERR	0.0000	0.0000
AC PR ERR	0.0000	0.0000
PRED INIT	NO 0	NO 0
TRACK IND	0	0
RAMP IND	1	1
ROTN FAC	0.4000	0.4000
RAMP RATE	1.0000	1.0000
RAMP STPT	22.0000	26.0000

RAMP HORIZ	1.0000	1.0000
IMB CYCLES	0	0
MAX IMBAL	0	0
RMP TGT HI	0.0000	0.0000
RMP TGT LO	0.0000	0.0000
RAMP TGT	0.0000	0.0000
DEPFLG	0	0
WT SS LOW	1.0000	1.0000
WT SS HIGH	1.0000	1.0000
WT CM LOW	1.0000	1.0000
WT CM MID	1.0000	1.0000
WT CM HIGH	1.0000	1.0000
DYN WEIGHT	1.0000	1.0000

TRN ZON LO	0.0000	0.0000
TRN ZON HI	0.0000	0.0000

ECE SS LO	1.0000	1.0000
ECE SS HI	1.0000	1.0000
ECE CM LO	1.0000	1.0000
ECE CM MID	1.0000	1.0000
ECE CM HI	1.0000	1.0000

PRED	1	21.9473	26.3899
PRED	2	21.9468	26.3900
PRED	3	21.9463	26.3901
PRED	4	21.9458	26.3903
PRED	5	21.9454	26.3904
PRED	6	21.9449	26.3905
PRED	7	21.9445	26.3906
PRED	8	21.9440	26.3908
PRED	10	21.9432	26.3910
PRED	12	21.9423	26.3913
PRED	15	21.9410	26.3917
PRED	20	21.9390	26.3924
PRED	25	21.9369	26.3930
PRED	32	21.9340	26.3940
PRED	39	21.9311	26.3950

PFMDEP	1	21.9476	26.3899
PFMDEP	2	21.9295	26.3902
PFMDEP	3	21.9026	26.3918
PFMDEP	4	21.8734	26.3953
PFMDEP	5	21.8294	26.4015
PFMDEP	6	21.8259	26.4100
PFMDEP	7	21.7478	26.4200

PFMDEP	8	21.7414	26.4338
PFMDEP	10	21.4829	26.4469
PFMDEP	12	21.4856	26.4363
PFMDEP	15	20.5496	26.4165
PFMDEP	20	20.6088	26.4019
PFMDEP	25	20.6555	26.3972
PFMDEP	32	20.6761	26.4033
PFMDEP	39	20.6868	26.4212

Non Standard Buffer Variables

BARISC001	1
DESCIND001	RESISTENCIA
ENGIND001	
BARISC002	1
DESCIND002	Válvula de recirculación
ENGIND002	
BARIL003	0.0000000
BARISC003	1
BARIU003	0.0000000
DESCIND003	Temperatura corriente intercambiador
ENGIND003	
BARDSC001	1
DESCDEP001	Temperatura de recirculación
ENGDEP001	
BARDSC002	1
DESCDEP002	Temperatura del depósito
ENGDEP002	
ABSRES	13.7745056
ABSV8	93.7979889

4.8 Ejecución en línea del controlador con el modelo Rampa y solución QP.

Tras las simulaciones, y una vez ajustado definitivamente el controlador sólo resta controlar la planta piloto en tiempo real. Para ello, se han realizado sobre la planta los mismos ensayos que se han simulado en el apartado anterior.

Es importante tener en cuenta que antes de comenzar con los experimentos hay que realizar los siguientes pasos:

1. Poner en marcha Cube y la planta piloto.
2. Iniciar CIM IO for OPC Interface para poder comunicar DMCplus con la planta. Este servicio se encuentra en:

Panel de Control\Servicios\CIM IO for OPC Interface

3. Crear una carpeta que incluya el archivo .ccf del controlador así como el archivo.mdl del modelo de sistema en el directorio:

C:\Archivos de programa\Aspentech\AC online\app

4. Cargar el controlador y ejecutarlo.

Como se ha mencionado anteriormente se van a realizar varios experimentos cuyo objetivo no es más que la consecución de unos valores por parte de las variables TT4 y TT5 comprobándose así el funcionamiento del control.

Es importante remarcar que este primer controlador busca las soluciones de Steady State con algoritmo QP, posteriormente se mostraran ensayos cuando la resolución es lineal para comparar los resultados.

❖ Experimento A:

En este primer experimento lo que se va a analizar es la actuación del controlador para mantener la temperatura del agua del depósito TT5, y la temperatura de la corriente de recirculación TT4, dentro de un rango de valores posibles para cada una de ellas. Los límites de operación que se indican en Cube son iguales a los de la simulación A y vienen dados en la siguiente tabla. El resto de valores que se daban en la simulación ahora son leídos del proceso a través de Cube.

	TT4	TT5
Lím. Inferior	17	21
Lím.superior	22	27

Tabla 4.5

En la figura 4.54 se representa la evolución de las variables controladas y de sus set points (señales de steady state target), además se representan también los límites superior e inferior marcados. Como se puede observar ambas temperaturas se mantienen dentro de los límites de operación que les han sido especificados.

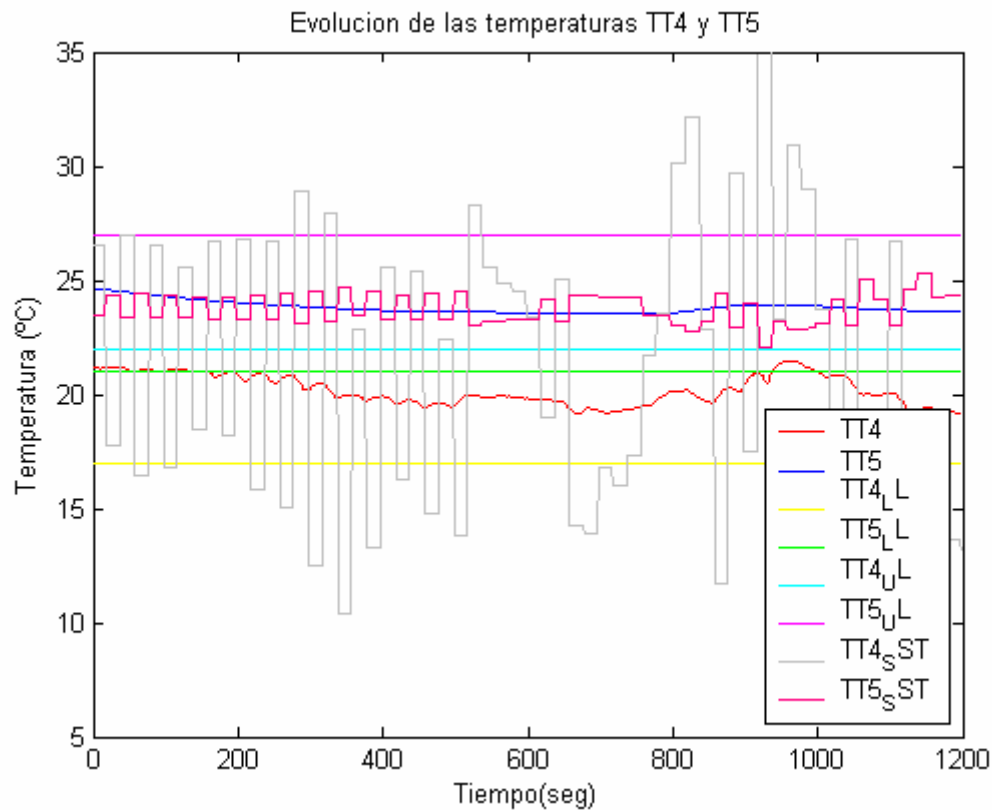


Figura 4.54

En la figura 4.55 se representa la evolución de las variables controlables V8 y Resistencia durante el ensayo, además se muestran también las evoluciones de las señales de steady state target de ambas variables. Basta con observar con un poco de detenimiento la figura para comprobar que los movimientos de las variables manipulables son bastante parecidos a los de steady state target pero una variación bastante menos brusca, es decir la amplitud de las señales de actuación sobre el sistema son menores que las de las señales de steady state target.

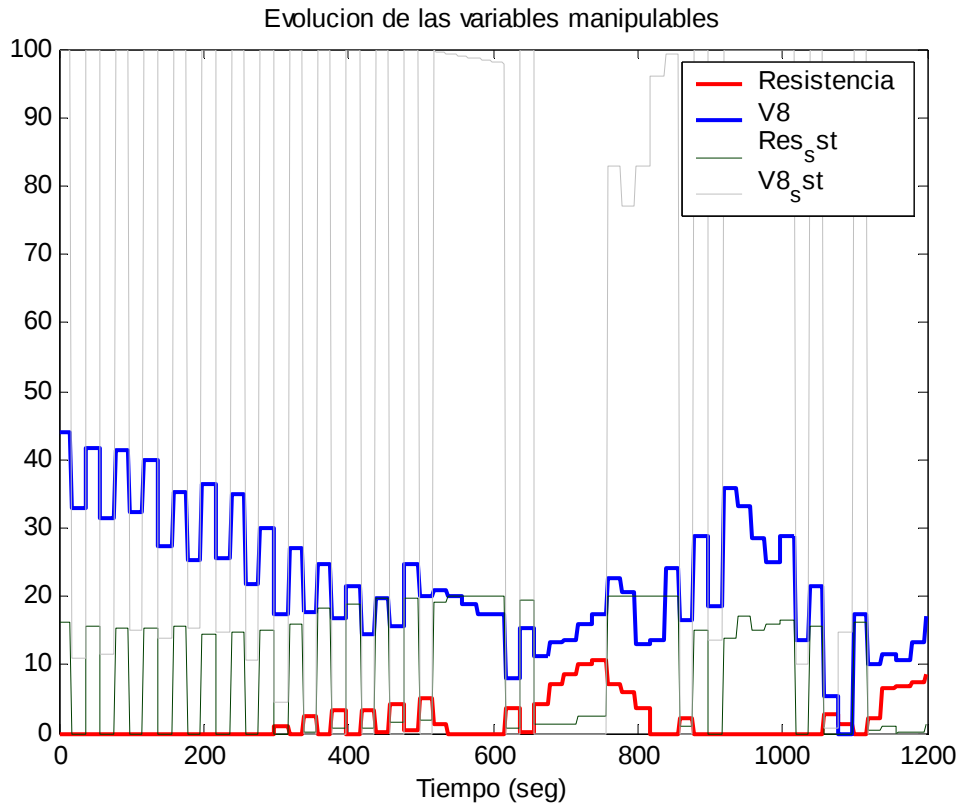


Figura 4.55

❖ Experimento B:

En este segundo experimento lo que se pretende es ver el comportamiento del controlador cuando se desea que la temperatura del agua de recirculación TT4, tenga un valor concreto. Al igual que ocurría con el experimento anterior, los límites de operación son los mismos que los de la simulación B y vienen dados en la siguiente tabla.

	TT4	TT5
Lim. Inferior	23	21
Lim.superior	23	27

Tabla 4.6

La figura 4.56 muestra la evolución de las variables controladas, y de los resultados obtenidos es importante destacar que el valor de TT4 no alcanza el objetivo fijado, sin embargo aunque dicha temperatura no llega al valor que se le ha asignado, si se mantiene muy próximo a él, y sólo hay que analizar la figura 4.57 para comprender el porqué de dichos resultados.

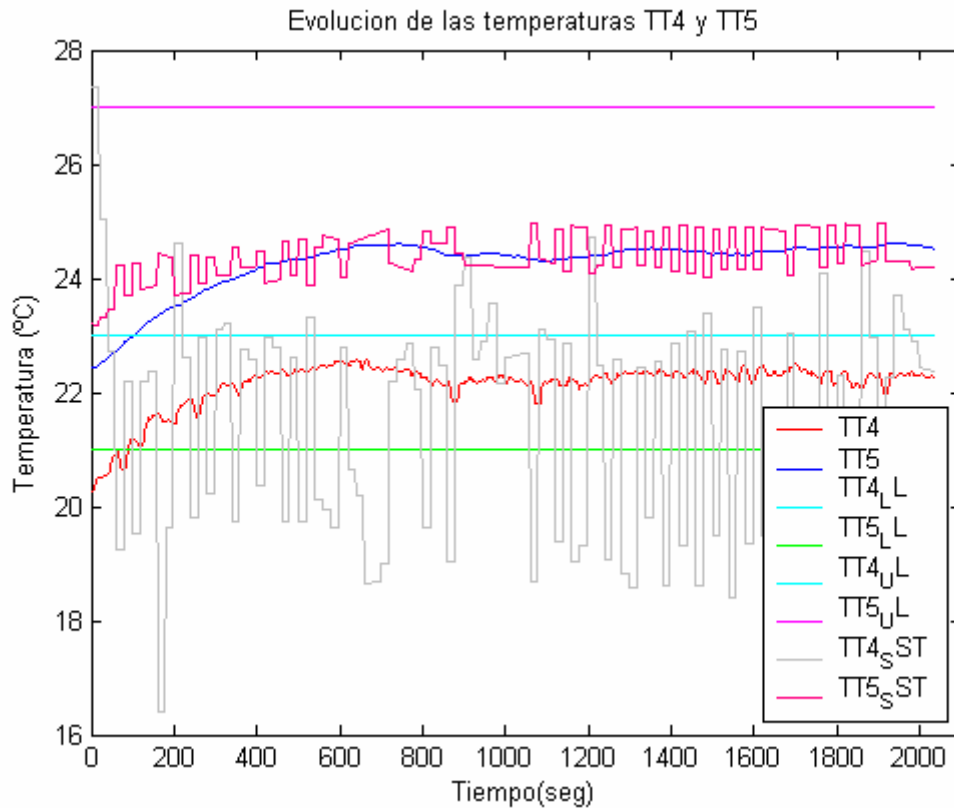


Figura 4.56

En la figura 4.57 se adjunta tanto la evolución de las variables manipulables como de sus steady state target. Si se hace un análisis simultáneo de las figuras 4.56 y 4.57 se puede concluir que el que la temperatura TT4 no alcance el valor de 23°C que le ha sido designado está justificado por el hecho de que las variables manipulables están actuando al máximo de sus posibilidades, es decir el controlador ha saturado, y no puede trabajar en el punto de funcionamiento que le ha sido especificado. Esto se debe a las restricciones impuestas al controlador en los valores permitidos para la resistencia, ya que el valor máximo que puede tomar se ha limitado a un 20%. Si se observa la figura se puede comprobar como los movimientos de la variable manipulable V8 son muy parecidos a los movimientos de su steady state target pero con una amplitud menor al igual que ocurría en el experimento A, sin embargo, no ocurre lo mismo con los movimientos de la Resistencia ya que ésta mantiene un valor casi constante a lo largo del experimento.

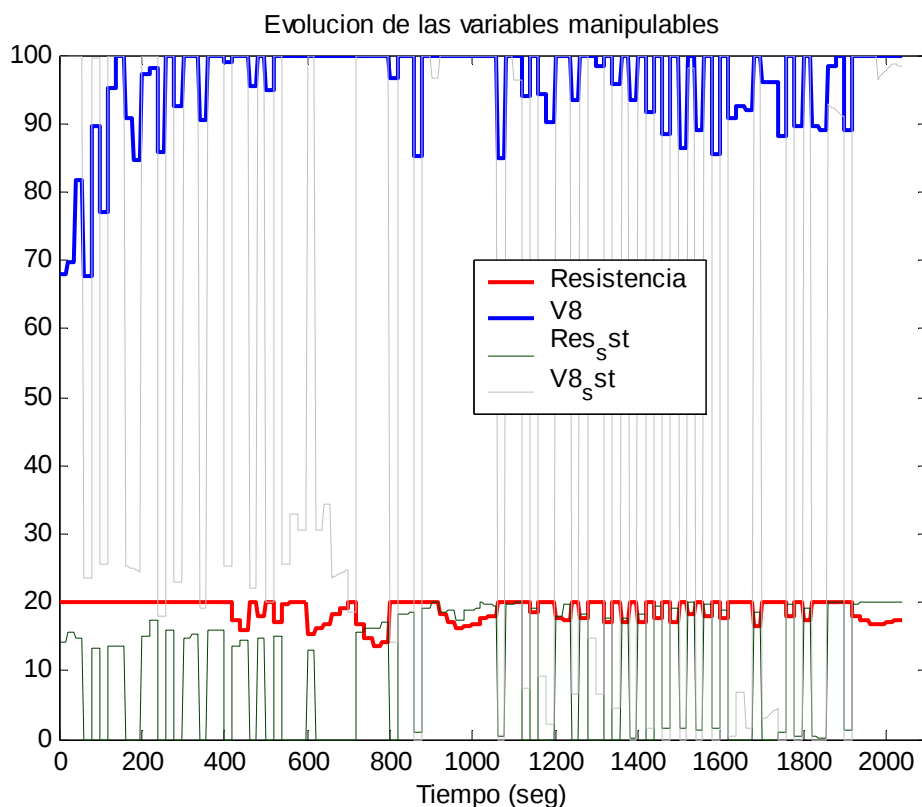


Figura 4.57

❖ Experimento C:

Este tercer experimento lo que pretende al igual que en la simulación C es fijar la temperatura del interior de depósito permitiendo la variación de la temperatura de la corriente de recirculación. Por tanto los límites de operación que se aplican a este experimento son los mismos que los de la simulación C y vienen dados en la siguiente tabla.

	TT4	TT5
Lim. Inferior	18	25
Lim.superior	25	25

Tabla 4.7

Se puede ver en la figura 4.58 que la temperatura del depósito oscila alrededor de la temperatura fijada con una amplitud muy pequeña, mientras que el valor de la temperatura de la corriente de recirculación se mantiene intermedio dentro del rango permitido, con lo que se concluye que el controlador actúa satisfactoriamente.

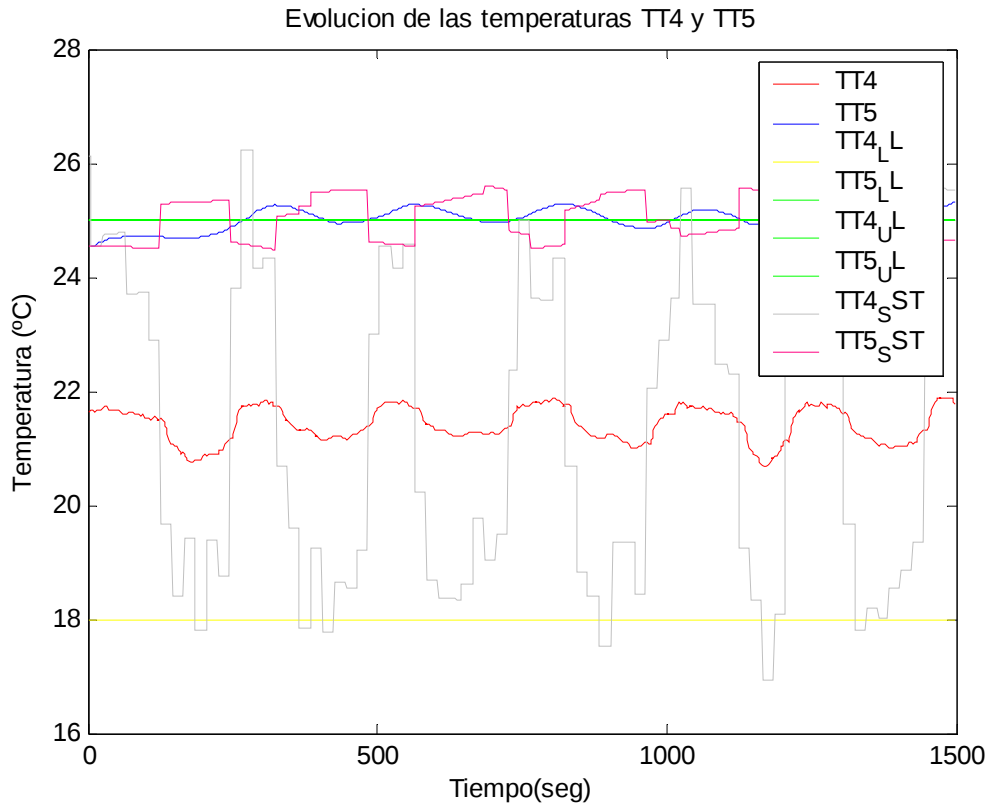


Figura 4.58

En la figura 4.59 se representa la evolución de todas las señales relacionadas con las variables manipulables. Si se comparan estas acciones de control con las adjuntas en las figuras 4.55 y 4.57 se puede comprobar como la frecuencia de oscilación de los movimientos es mucho menor que en los experimentos anteriores. Además la evolución de las actuaciones se produce en torno a los valores medios posibles de actuación de ambas variables manipulables. Se puede ver también como las dos variables siguen la dinámica de los steady state target que les marca el controlador.

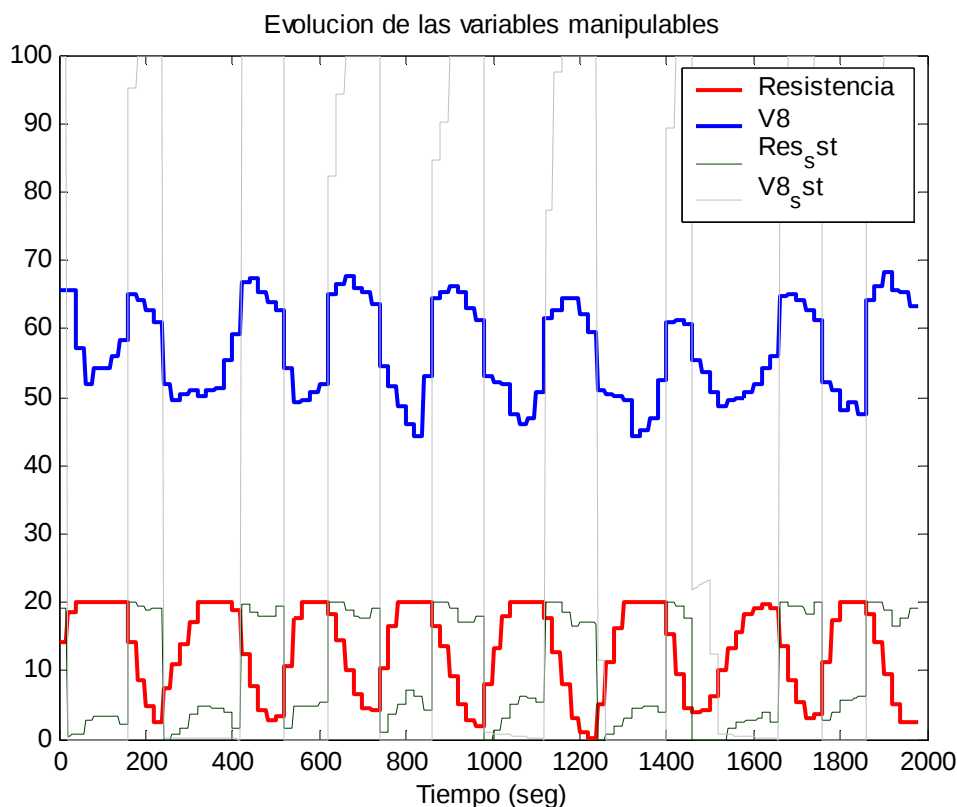


Figura 4.59

❖ Experimento D:

En este cuarto experimento, al igual que en la simulación D lo que se pretende es ver el comportamiento del controlador cuando se fijan las dos temperaturas en una valor concreto. Los valores en los que se desea mantener dichas temperaturas vienen dados en la siguiente tabla.

	TT4	TT5
Lim. Inferior	22	26
Lim.superior	22	26

Tabla 4.8

Como se puede observar en la figura 4.60 el controlador consigue mantener ambas temperaturas en los valores especificados con una amplitud de oscilación pequeña con lo que se puede concluir que su funcionamiento es adecuado y que el punto de operación que se le ha especificado a la planta es válido.

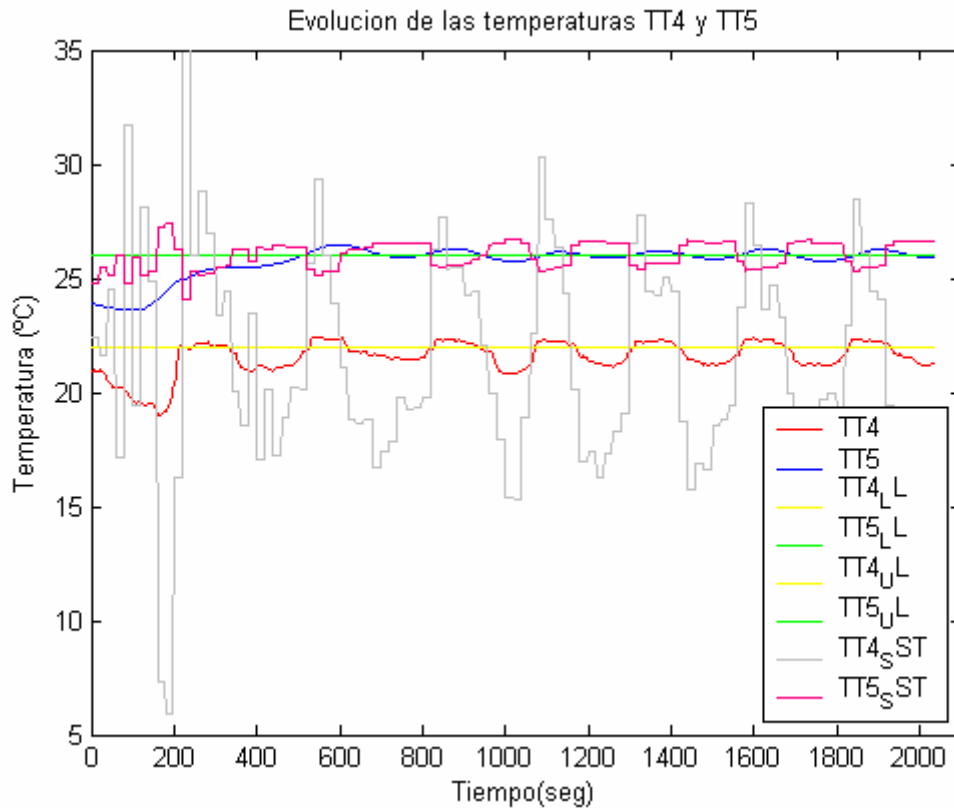


Figura 4.60

De la figura 4.61 se deducen conclusiones similares a las del caso C. Sin embargo, si se compara el resultado de este experimento con el de la gráfica semejante del experimento C (figura 4.59) se puede ver como los valores que presenta la resistencia en este experimento son algo mayores que en el caso anterior y esto es lógico ya que en esta ocasión se ha fijado la temperatura del agua de depósito 1 °C por encima del caso anterior con lo que la actuación de la resistencia deberá ser algo mayor.

Analizando conjuntamente las figuras 4.60 y 4.61 se puede ver como al comienzo del ensayo la temperatura TT5 está bastante por debajo de los 26°C marcados por lo que la resistencia toma el valor máximo permitido y la válvula se cierra. Al recircular menos agua la transferencia de calor es más efectiva de ahí el descenso de TT4. Una vez se ha alcanzado el punto de funcionamiento marcado la evolución del sistema es periódica tanto en la evolución de las variables controladas como de las manipulables.

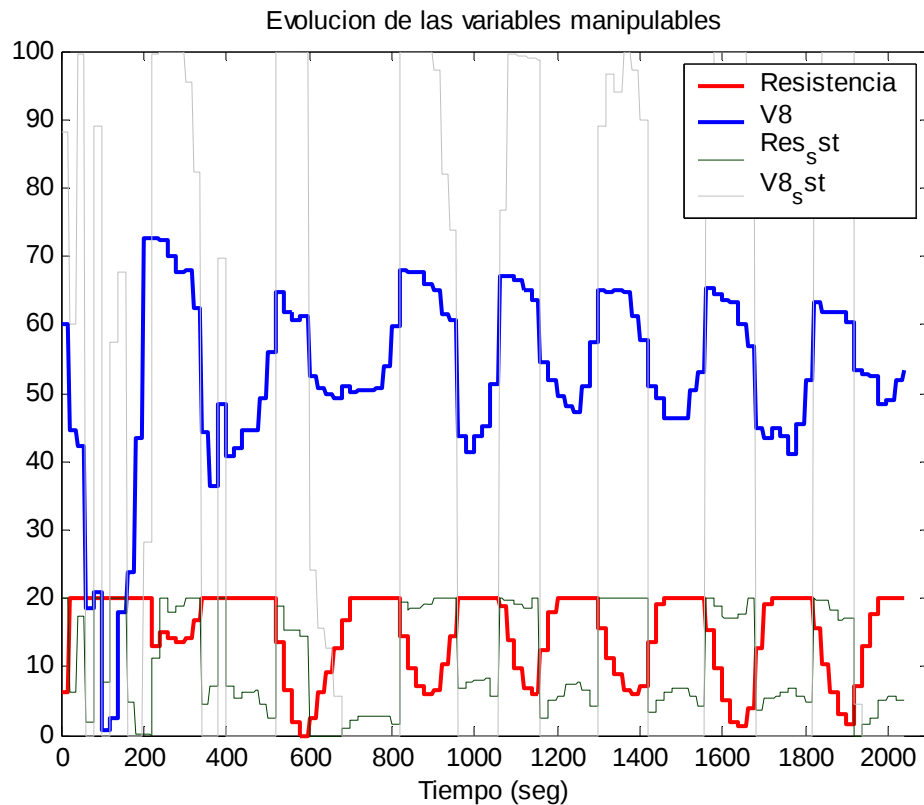


Figura 4.61

4.9 Ejecución en línea del controlador con el modelo no rampa y solución QP.

En este apartado se van a mostrar los resultados que se han obtenido con este segundo controlador que se caracteriza por emplear el modelo del sistema en el que las variables dependientes no son declaradas como rampa, además está configurado para la resolución del steady state solver mediante el algoritmo QP.

A continuación se adjunta el archivo resumen de configuración de las entradas del nuevo controlador.

CCF Summary for DMCplus Controller NORAMPMODEL

Report generated by DMCplus Build on 06-mar-06 19:14:49

File Names

CCF: norampmodel.ccf
Model: Modelo_sin_ramp.Assembled.mdl
Template: default.tcc

Controller Size

3 Independents (2 MVs, 1 FFs)

2 Dependents (0 Ramps, 0 Intermittent Signals)

Selected Options

User defined Entries exist

Connect Protocol: CIMIO

Default device: CIOOPCCUBE1

Default unit: 1

Independent Variable Summary

Name	Type	VIND Source & Tagname	
RES	MV	REAL	PLANTA\RESISTENCIA
V8	MV	REAL	PLANTA\V8
TT2	FFW	REAL	PLANTA\TT2

Dependent Variable Summary

Name	Type	DEP Source & Tagname	
TT4	Normal	REAL	PLANTA\TT4
TT5	Normal	REAL	PLANTA\TT5

Config Section

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
BLDTEMP	Template File Name	BLD	BUILD	DEFAULT.TCC	
BLDVERS	Build Version Used on La	BLD	BUILD	6.	
CLPENB	Enable Composite Particip	CFG	CONS	0	
CLPSHOW	Include Composite Informat	BLD	CONS	0	
CNCDEV	Default Cim-IO Logical De	CNC	CONS	CIOOPCCUBE1	
CNCFMT	Default Format Code for	CNC	CONS	UT	
CNCHOST	Connect Protocol in Use	CNC	CONS	CIMIO	
CNCUNIT	Default Cim-IO Unit Numb	CNC	CONS	1	
CTLINT	Application Interval in Se	INIT	CONS	20	
DEFSOLT	Default Rank Group Soluti	CFG	BUILD	1	
ETENB	Enable External Targets	CFG	CONS	0	
ETSHOW	Include External Target Info	BLD	CONS	0	
FPENB	Output Moves and Predict	CFG	CONS	0	
INTSUM	Use Internal Summation o	CFG	CONS	0	
IPMIND	Number of MVs	INIT	CONS	2	
IPNCI	Number of Intervals to Ste	CFG	CONS	30	
IPNDEP	Number of Dependents	INIT	CONS	2	
IPNEQ	Number of Equations	INIT	CONS	15	
IPNMOV	Number of Future Moves	INIT	CONS	8	
IPNSUB	Number of Subcontroller	CFG	CONS	0	
IPSKIP	Number of Predictions per	CFG	CONS	1	
IPTIND	Number of Independents	INIT	CONS	3	
IPXCTH	Number of Intervals in Tim	CFG	CONS	43	
IPXNCI	Number of Coefficients in	CFG	CONS	30	
LISTSZ	List Size Maximum for Co	CNC	CONS	99	
MDLNAM	Model Filename	INIT	CONS	Modelo_sin_ramp.Asse	
NORMOV	Normalized Moves in Us	CFG	CONS	1	
OMSGBY	Optional Message Bytes	MSG	CONS	0	
OMSGLN	Optional Message Total L	MSG	CONS	0	
OMSGSG	Optional Message Segment	MSG	CONS	0	
SSMINS	Minutes to Steady State	INIT	CONS	10	
UBYTES	Total User Defined Entry B	BLD	BUILD	8	
XTDMOV	Extended Moves in Use	CFG	CONS	0	
XTDREQ	Extended Moves Reques	CFG	CONS	1	

General Section

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
CNTDWN	Watchdog Countdown	GEN	LOCAL	0.	
CTOFF	Cycle Start Offset in Sec	GEN	CONS	0	
DMCFLG	Most Recent Error	GEN	LOCAL	0	

DSTSWC	Daylight-Saving Time Swi	GEN	LOCAL	0
IABORT	Abort Indicator	GEN	LOCAL	0
LICSTS	Minutes Until App License E	GEN	LOCAL	14400
LPOBJ	Steady-State Objective Fu	GEN	WRITE	0.
""::"PLANTA\OBJETIVO":REAL:				
LSTDAY	Last Run (Days)	GEN	LOCAL	0
LSTSEC	Last Run (Seconds)	GEN	LOCAL	0
LSTTIM	THISTM in Floating Point F	GEN	LOCAL	0.
MVOSWC	MV Optimization Type	GEN	LOCAL	1
NGDDEP	Minimum Good CVs	GEN	LOCAL	2
NGDMAN	Minimum Good MVs	GEN	LOCAL	2
ONREQ	Master ON/OFF Request	GEN	LOCAL	0
ONSTS	Resulting State of ONRE	GEN	LOCAL	0
PRDIND	Predictions Initialized Indic	GEN	LOCAL	0
PRDOUT	Prediction Output Switch	GEN	LOCAL	2
PRDSWC	Initialize Predictions Requ	GEN	LOCAL	0
PRMODE	Diagnostic Print Mode	GEN	LOCAL	1
PRTSWC	Diagnostic Print Switch	GEN	LOCAL	0
SIMSWC	Simulation File Output Sw	GEN	LOCAL	1
THISTM	Time of Last Run	GEN	LOCAL	
WHYOFF	Whyoff Message	GEN	LOCAL	

Independent Variable: RES (#001)

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
AWSCOD	Anti-Windup Indicator	MV	LOCAL	0	
BARIL	Plot Lower Limit (Manual S	VIEW	LOCAL	0.	
BARISC	Plot Default Scaling Meth	IND	LOCAL	1	
BARIU	Plot Upper Limit (Manual Sc	VIEW	LOCAL	0.	
CMOV	Current Move	MV	LOCAL	0.	
CRIIND	Critical Indicator	IND	LOCAL	1	
CST	Steady-State Cost	MV	LOCAL	0.	
DESCIND	Description	IND	LOCAL	RES	
ENGIND	Engineering Units	IND	CONS	%	
INDSTA	Status Indicator	IND	LOCAL	0	
LLINDM	Lower Operator Limit	MV	LOCAL	0.	
LMVENG	Lower Engineer Limit	MV	LOCAL	0.	
LOOPST	Loop Status	MV	LOCAL	1	
LPCRIT	Steady-State Criterion	MV	LOCAL	0	
LVLIND	Lower Validity Limit	IND	LOCAL	0.	
MANACT	Active Constraint Indicatio	MV	LOCAL	0	
MAXMOV	Maximum Move	MV	LOCAL	20.	
MDLIND	Model Tag	IND	CONS	RES	
MOVACC	Accumulated Moves	MV	LOCAL	0.	
MOVRES	Move Resolution	MV	LOCAL	0.	
MTGIND	Message Tag	IND	CONS	RES	
SREIND	Engineer Service Indicato	IND	LOCAL	1	
SRVIND	Operator Service Indicat	IND	LOCAL	1	
SSMAN	Steady-State Target	MV	WRITE	.1	
""::"PLANTA\RESISTENCIA_SST":REAL:					
SSSTEP	Maximum Steady-State	MV	LOCAL	20.	
SUPMOV	Move Suppression	MV	LOCAL	1.	
TYPMOV	Typical Move	IND	LOCAL	50.	
ULINDM	Upper Operator Limit	MV	LOCAL	20.	
UMVENG	Upper Engineer Limit	MV	LOCAL	50.	
UVLIND	Upper Validity Limit	IND	LOCAL	100.	
VIND	Current Input Value	PV	READ	0.	
""::"PLANTA\RESISTENCIA":REAL:					
VINDSP	Setpoint Output Value	PV	PWRITE	0.	
""::"PLANTA\RESISTENCIA_SP":REAL:					

Independent Variable: V8 (#002)

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
AWSCOD	Anti-Windup Indicator	MV	LOCAL	0	
BARIL	Plot Lower Limit (Manual S	VIEW	LOCAL	0.	

BARISC	Plot Default Scaling Meth	IND	LOCAL	1	
BARIU	Plot Upper Limit (Manual Sc	VIEW	LOCAL	0.	
CMOV	Current Move	MV	LOCAL	0.	
CRIIND	Critical Indicator	IND	LOCAL	1	
CST	Steady-State Cost	MV	LOCAL	0.	
DESCIND	Description	IND	LOCAL	V8	
ENGIND	Engineering Units	IND	CONS	%	
INDSTA	Status Indicator	IND	LOCAL	0	
LLINDM	Lower Operator Limit	MV	LOCAL	0.	
LMVENG	Lower Engineer Limit	MV	LOCAL	0.	
LOOPST	Loop Status	MV	LOCAL	1	
LPCRIT	Steady-State Criterion	MV	LOCAL	0	
LVLIND	Lower Validity Limit	IND	LOCAL	0.	
MANACT	Active Constraint Indicat	MV	LOCAL	0	
MAXMOV	Maximum Move	MV	LOCAL	0.	
MDLIND	Model Tag	IND	CONS	V8	
MOVACC	Accumulated Moves	MV	LOCAL	0.	
MOVRES	Move Resolution	MV	LOCAL	0.	
MTGIND	Message Tag	IND	CONS	V8	
SREIND	Engineer Service Indicato	IND	LOCAL	1	
SRVIND	Operator Service Indicat	IND	LOCAL	1	
SSMAN	Steady-State Target	MV	WRITE	.1	""::"PLANTAIV8_SST":REAL:
SSSTEP	Maximum Steady-State	MV	LOCAL	50.	
SUPMOV	Move Suppression	MV	LOCAL	1.	
TYPMOV	Typical Move	IND	LOCAL	50.	
ULINDM	Upper Operator Limit	MV	LOCAL	100.	
UMVENG	Upper Engineer Limit	MV	LOCAL	100.	
UVLIND	Upper Validity Limit	IND	LOCAL	100.	
VIND	Current Input Value	PV	READ	0.	""::"PLANTAIV8":REAL:
VINDSP	Setpoint Output Value	PV	PWRITE	0.	""::"PLANTAIV8_SP":REAL:

Independent Variable: TT2 (#003)

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
BARIL	Plot Lower Limit (Manual S	VIEW	LOCAL	0.	
BARISC	Plot Default Scaling Meth	IND	LOCAL	1	
BARIU	Plot Upper Limit (Manual Sc	VIEW	LOCAL	0.	
CRIIND	Critical Indicator	IND	LOCAL	1	
DESCIND	Description	IND	LOCAL	TT2	
ENGIND	Engineering Units	IND	CONS		
INDSTA	Status Indicator	IND	LOCAL	0	
LVLIND	Lower Validity Limit	IND	LOCAL	15.	
MDLIND	Model Tag	IND	CONS	TT2	
MTGIND	Message Tag	IND	CONS	TT2	
SREIND	Engineer Service Indicato	IND	LOCAL	1	
SRVIND	Operator Service Indicat	IND	LOCAL	2	
TYPMOV	Typical Move	IND	LOCAL	1.	
UVLIND	Upper Validity Limit	IND	LOCAL	20.	
VIND	Current Input Value	PV	READ	0.	""::"PLANTA\TT2":REAL:

Dependent Variable: TT4 (#001)

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
ACPRER	Accumulated Prediction E	DEP	LOCAL	0.	
BARDL	Plot Lower Limit (Manual S	VIEW	LOCAL	0.	
BARDSC	Plot Default Scaling Meth	DEP	LOCAL	1	
BARDU	Plot Upper Limit (Manual Sc	VIEW	LOCAL	0.	
CRIDEP	Critical Indicator	DEP	LOCAL	1	
CVLPQL	CV Lower Limit Solution	DEP	LOCAL	0	
CVLPQU	CV Upper Limit Solution	DEP	LOCAL	0	
CVRANKL	CV Rank - Lower Limit	DEP	LOCAL	10	
CVRANKU	CV Rank - Upper Limit	DEP	LOCAL	10	
DEP	Dependent Value	PV	READ	0.	""::"PLANTA\TT4":REAL:
DEPACT	Active Constraint Indicat	DEP	LOCAL	0	
DEPSTA	Status Indicator	DEP	LOCAL	0	

DESCDEP	Description	DEP	LOCAL	TT4	
ECECML	Move Calc Lower Equal Co	DEP	LOCAL	1.	
ECECMM	Move Calc Middle Equal Co	DEP	LOCAL	1.	
ECECMU	Move Calc Upper Equal Co	DEP	LOCAL	1.	
ECELPL	Steady-State Lower Equal	DEP	LOCAL	1.	
ECELPU	Steady-State Upper Equal	DEP	LOCAL	1.	
ENGDEP	Engineering Units	DEP	CONS	°C	
LDEPTG	Lower Limit	DEP	READ	0.	""::"PLANTA\TT4_LL":REAL:
LDPENG	Lower Engineer Limit	DEP	LOCAL	0.	
LVLDEP	Lower Validity Limit	DEP	LOCAL	0.	
MDLDEP	Model Tag	DEP	CONS	TT4	
MTGDEP	Message Tag	DEP	CONS	TT4	
PREDER	Prediction Error	DEP	LOCAL	0.	
PREDINIT	Initialize Predictions Requ	DEP	LOCAL	0	
PRERHORIZ	Pred. Error Filter Time Horiz	DEP	LOCAL	0.	
PRERTAU	Pred. Error Filter Time Const	DEP	LOCAL	0.	
PRERTYPE	Prediction Error Filter Ty	DEP	LOCAL	0	
SRVDEP	Operator Service Indicatt	DEP	LOCAL	1	
SSDEP	Steady-State Target	DEP	WRITE	0.	""::"PLANTA\TT4_SP":REAL:
SSERR	Steady-State Error	DEP	LOCAL	0.	
TRANZL	Move Calc Lower Transit	DEP	LOCAL	0.	
TRANZU	Move Calc Upper Transiti	DEP	LOCAL	0.	
TRKDEP	Tracking Indicator	DEP	LOCAL	0	
UDEPTG	Upper Limit	DEP	READ	0.	""::"PLANTA\TT4_UL":REAL:
UDPENG	Upper Engineer Limit	DEP	LOCAL	50.	
UVLDEP	Upper Validity Limit	DEP	LOCAL	50.	

Dependent Variable: TT5 (#002)

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
ACPRER	Accumulated Prediction E	DEP	LOCAL	0.	
BARDL	Plot Lower Limit (Manual S	VIEW	LOCAL	0.	
BARDSC	Plot Default Scaling Meth	DEP	LOCAL	1	
BARDU	Plot Upper Limit (Manual Sc	VIEW	LOCAL	0.	
CRIDEP	Critical Indicator	DEP	LOCAL	1	
CVLPQL	CV Lower Limit Solution	DEP	LOCAL	0	
CVLPQU	CV Upper Limit Solution	DEP	LOCAL	0	
CVRANKL	CV Rank - Lower Limit	DEP	LOCAL	5	
CVRANKU	CV Rank - Upper Limit	DEP	LOCAL	5	
DEP	Dependent Value	PV	READ	0.	""::"PLANTA\TT5":REAL:
DEPACT	Active Constraint Indicatt	DEP	LOCAL	0	
DEPSTA	Status Indicator	DEP	LOCAL	0	
DESCDEP	Description	DEP	LOCAL	TT5	
ECECML	Move Calc Lower Equal Co	DEP	LOCAL	1.	
ECECMM	Move Calc Middle Equal Co	DEP	LOCAL	1.	
ECECMU	Move Calc Upper Equal Co	DEP	LOCAL	1.	
ECELPL	Steady-State Lower Equal	DEP	LOCAL	1.	
ECELPU	Steady-State Upper Equal	DEP	LOCAL	1.	
ENGDEP	Engineering Units	DEP	CONS	°C	
LDEPTG	Lower Limit	DEP	READ	20.	""::"PLANTA\TT5_LL":REAL:
LDPENG	Lower Engineer Limit	DEP	LOCAL	18.	
LVLDEP	Lower Validity Limit	DEP	LOCAL	18.	
MDLDEP	Model Tag	DEP	CONS	TT5	
MTGDEP	Message Tag	DEP	CONS	TT5	
PREDER	Prediction Error	DEP	LOCAL	0.	
PREDINIT	Initialize Predictions Requ	DEP	LOCAL	0	
PRERHORIZ	Pred. Error Filter Time Horiz	DEP	LOCAL	0.	
PRERTAU	Pred. Error Filter Time Const	DEP	LOCAL	0.	
PRERTYPE	Prediction Error Filter Ty	DEP	LOCAL	0	
SRVDEP	Operator Service Indicatt	DEP	LOCAL	1	
SSDEP	Steady-State Target	DEP	WRITE	0.	""::"PLANTA\TT5_SP":REAL:
SSERR	Steady-State Error	DEP	LOCAL	0.	
TRANZL	Move Calc Lower Transit	DEP	LOCAL	0.	
TRANZU	Move Calc Upper Transiti	DEP	LOCAL	0.	
TRKDEP	Tracking Indicator	DEP	LOCAL	2	
UDEPTG	Upper Limit	DEP	READ	0.	""::"PLANTA\TT5_UL":REAL:
UDPENG	Upper Engineer Limit	DEP	LOCAL	60.	

UVLDEP Upper Validity Limit DEP LOCAL 60.

Calc Declarations

Name	Description	Type	Keyword	Value	Entity
ABSRES	User Defined Entry	USER	AWRITE	0.	
ABSRES	""::"PLANTA\RESISTENCIA":REAL:				
ABSV8	User Defined Entry	USER	AWRITE	0.	""::"PLANTA\V8":REAL:

Calc Functions

CALPUT: ABSRES = {IND:RES|VIND}+ {IND:RES|CMOV}
 CALPUT: ABSV8 = {IND:V8|CMOV}+ {IND:V8|VIND}
 CALGET: {IND:RES|CST} = 10* {IND:RES|VIND}
 CALGET: {IND:V8|CST} = 2* {IND:V8|VIND}

Una vez adjuntada la configuración del controlador se muestran los resultados experimentales obtenidos al realizar sobre la planta piloto los cuatro experimentos realizados con el primer controlador.

❖ Experimento A:

Al igual que en experimento A del apartado 4.8 se va a analizar la actuación del controlador para mantener la temperatura del agua del depósito TT5 y la temperatura de la corriente de recirculación TT4, dentro de un rango de valores posibles para cada una de ellas. El rango de valores para ambas temperaturas viene dado en la tabla 4.9.

	TT4	TT5
Lím. Inferior	17	21
Lím.superior	22	27

Tabla 4.9

En la figura 4.62 se representa la evolución de las variables controladas y de sus set points (señales SST), además se muestran también los límites superior e inferior de cada temperatura. Como se puede observar, a pesar de que se ha empleado un modelo distinto del sistema ambas temperaturas se mantienen dentro de los límites de operación que les han sido especificados. Si se compara el resultado del controlador con el equivalente obtenido cuando se empleaba el modelo con las variables controladas tipo rampa (ver figura 4.54) se puede apreciar claramente que la amplitud de oscilación del setpoint para la variable TT4 es mucho menor en este segundo caso, y esto se debe a que al marcar la evolución de una temperatura como rampa la ganancia inmediata tras

aplicar un escalón a una variable manipulable es mayor, por ello las señales de steady state target distan tanto de la evolución real del sistema en el apartado anterior.

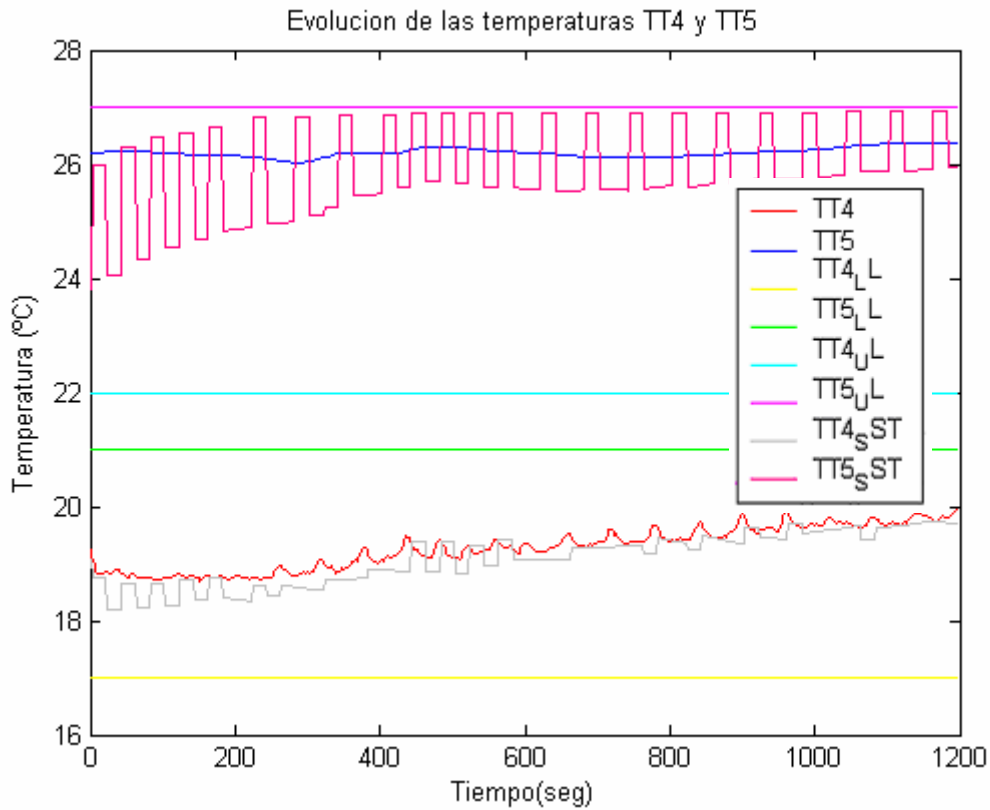


Figura 4.62

En la figura 4.63 se representa la evolución de las variables controlables V8 y Resistencia durante el ensayo, además se indican también las evoluciones de las señales de steady state target de ambas variables. Basta con observar con un poco de detenimiento la figura para comprobar que los movimientos de las variables manipulables son bastante parecidos a los de steady state target pero una variación menos brusca. Analizando conjuntamente las figuras 4.62 y 4.63 se comprueba que el progresivo aumento de la temperatura TT4 se debe a que la apertura de la válvula es muy pequeña, de hecho durante mucho tiempo su grado de apertura es menor al 5% y cuando esto ocurre el caudal de recirculación es tan pequeño que apenas se logra disminuir la temperatura del interior del depósito y por ello la temperatura TT4 va aumentando progresivamente. Esta situación no se mantendría indefinidamente puesto que llegado el momento el controlador actuaría para no sobrepasar los límites de operación especificados.

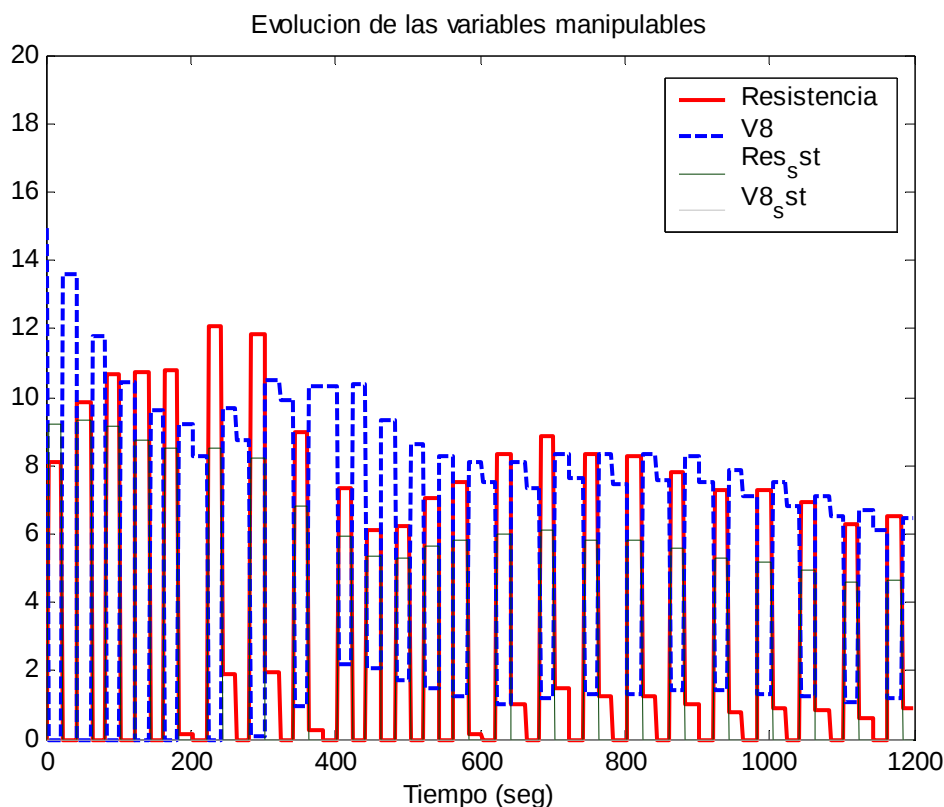


Figura 4.63

❖ Experimento B:

Nuevamente este experimento consiste en ejecutar el controlador para ajustar la temperatura del agua de recirculación TT4 a un valor concreto. Los límites de operación se dan en la tabla 4.10.

	TT4	TT5
Lim. Inferior	23	21
Lim.superior	23	27

Tabla 4.10

La figura 4.64 muestra la evolución de las variables controladas, y se puede observar como la temperatura TT4 no llega al valor que se le ha asignado, es decir, ocurre lo mismo que en el experimento B del apartado 4.8. Sin embargo al emplear un modelo distinto la evolución de las señales difiere de las presentadas en el apartado anterior. Se puede ver también como la temperatura de recirculación sufre una oscilación transitoria hasta establecerse con un valor final ligeramente inferior al deseado.

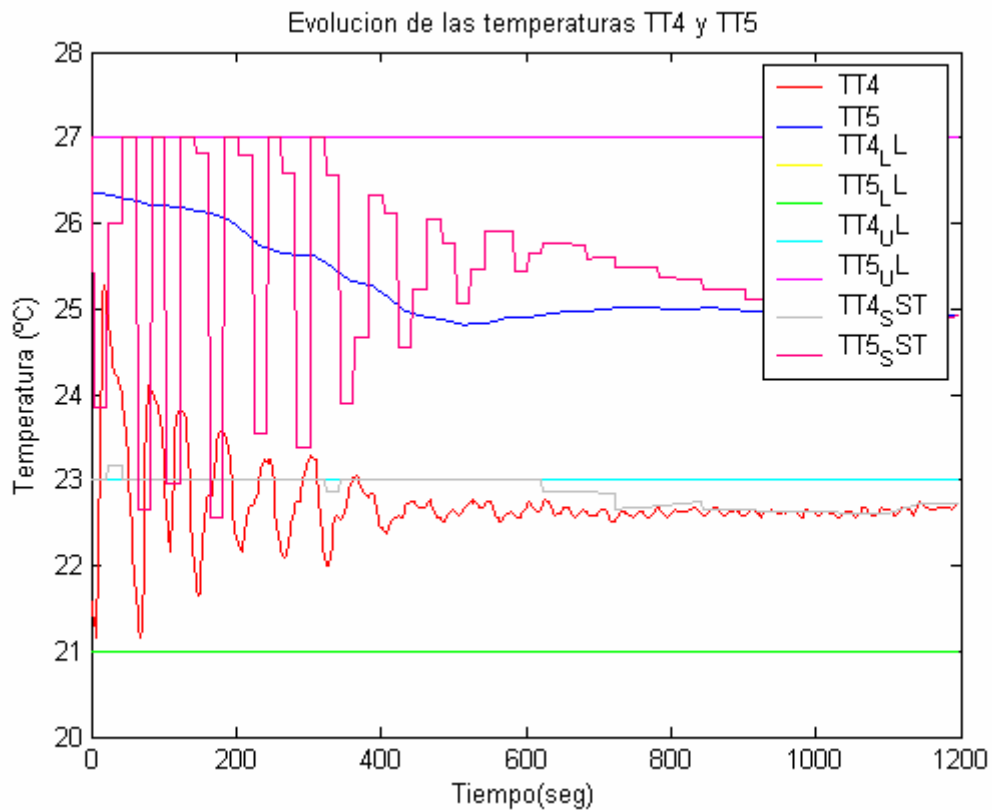


Figura 4.64

En la figura 4.65 se adjunta tanto la evolución de las variables manipulables como de sus señales de steady state target. Si se observa la figura y se analiza conjuntamente con la figura 4.64 se puede verificar que el motivo de que la temperatura TT4 no alcance el objetivo marcado se debe a la limitación en la actuación impuesta a la resistencia de un 20% de su valor máximo, por lo que no se puede conseguir el punto de funcionamiento deseado ya que el controlador satura.

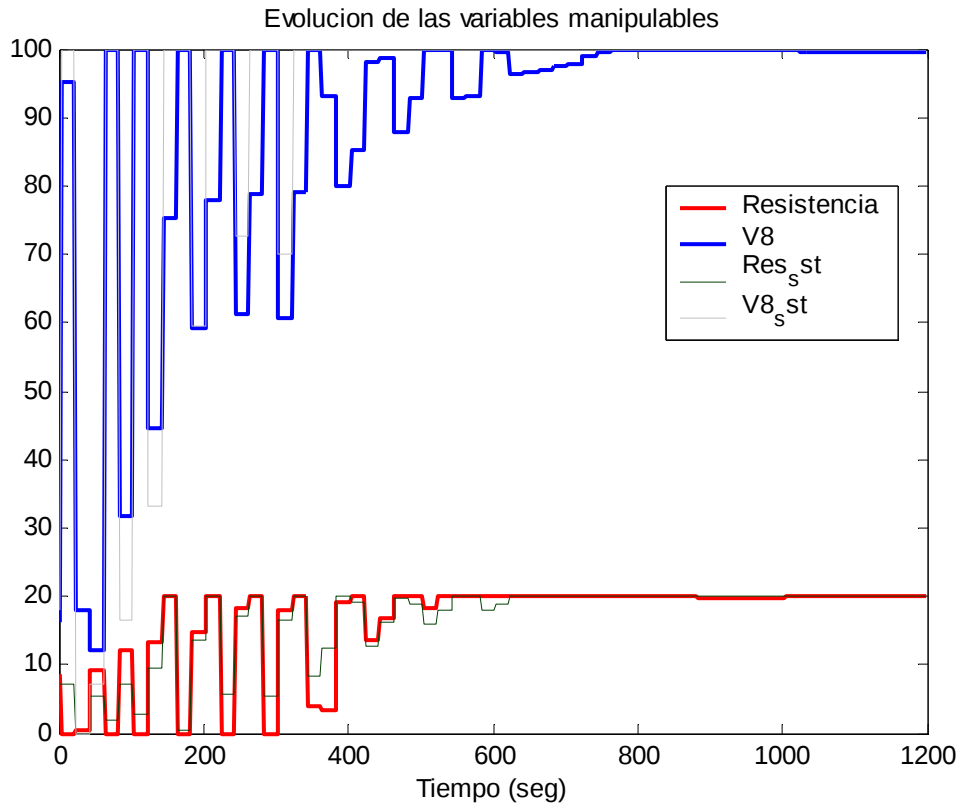


Figura 4.65

❖ Experimento C:

Del mismo modo que ocurría en el experimento C del modelo rampa el objetivo de este ensayo es fijar la temperatura del interior de depósito permitiendo la variación de la temperatura de la corriente de recirculación. Los límites de operación vienen dados en la siguiente tabla.

	TT4	TT5
Lim. Inferior	18	25
Lim.superior	25	25

Tabla 4.11

Se puede ver en la figura 4.66 que el setpoint de TT5 en este caso tiene un valor constante que coincide con los 25°C en que se quiere fijar la temperatura del depósito y que la temperatura se puede decir que casi se establece en dicho valor, ya que la desviación que se produce es mínima. En cuanto a la temperatura TT4 cabe destacar que también sigue con fidelidad a su setpoint manteniéndose a lo largo de todo el ensayo dentro de los límites de operación especificados.

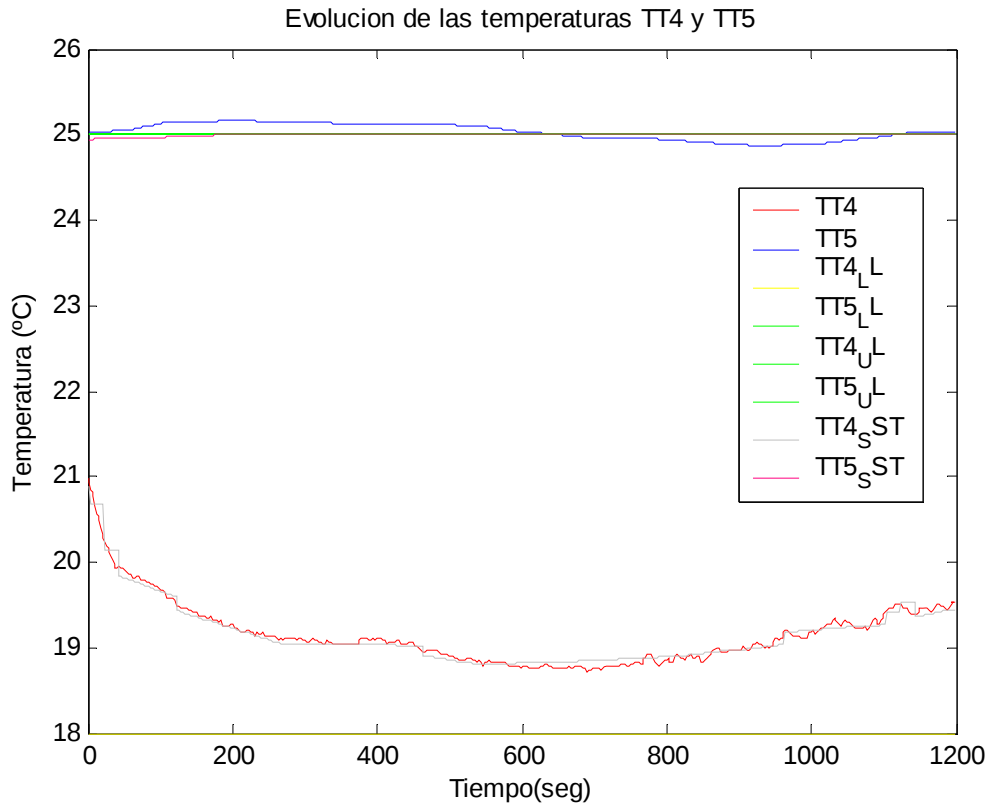


Figura 4.66

En la figura 4.67 se representa la evolución de todas las señales relacionadas con las variables manipulables y en ella se puede comprobar como los cambios en las señales de control tanto de la resistencia como de la válvula son muy pequeños. Se puede apreciar como la evolución de la actuación de la resistencia se produce en torno a su steady state target. En cuanto a la válvula se puede comprobar que permanece cerrada a lo largo de casi todo el ensayo, abriéndose un poco cuando la temperatura TT5 empieza a descender por debajo de 25°C y volviéndose a cerrar cuando alcanza de nuevo esta temperatura.

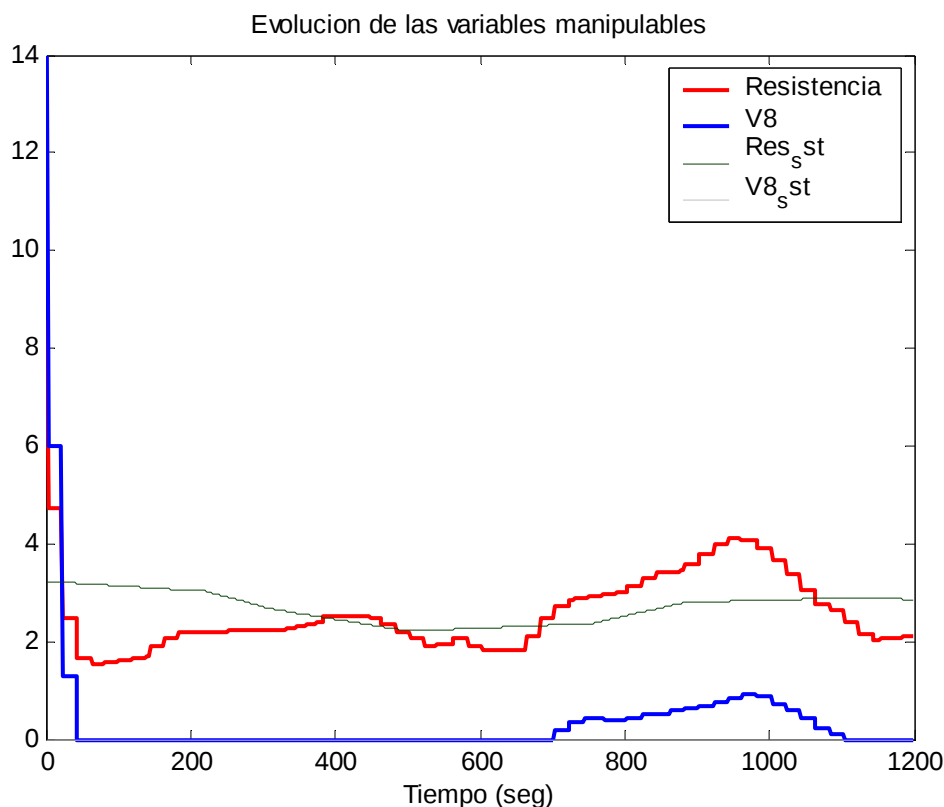


Figura 4.67

❖ Experimento D:

En este último ensayo, al igual que en el experimento D del controlador con el modelo rampa se pretende analizar el comportamiento del controlador cuando se fijan las temperaturas TT4 y TT5 en una valor concreto. Los valores en los que se desea mantener dichas temperaturas vienen dados en la tabla 4.12.

	TT4	TT5
Lim. Inferior	22	26
Lim.superior	22	26

Tabla 4.12

Como se puede observar en la figura 4.68 el controlador consigue mantener ambas temperaturas en los valores especificados con una oscilación mínima. En la grafica además se puede ver como el controlador conduce la temperatura TT5 a los 26°C marcados con poca sobreoscilación aunque de forma un poco lenta puesto que tarda unos 13 minutos en estabilizar el sistema.

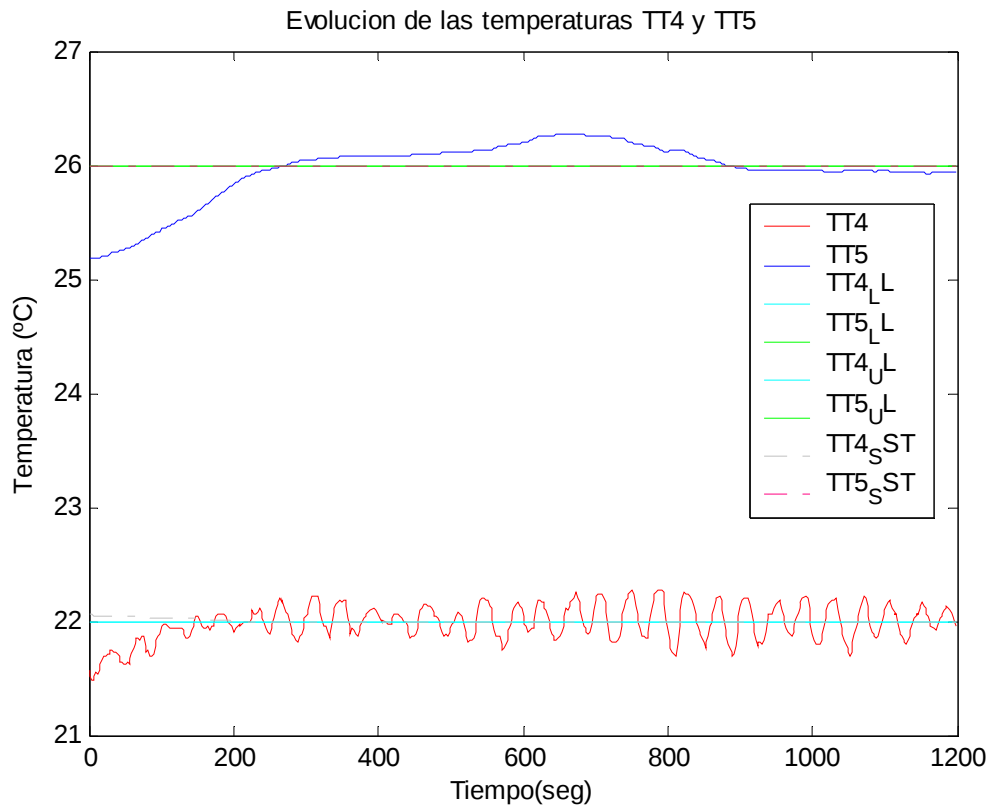


Figura 4.68

En la figura 4.69 se comprueba que la evolución de cada una de las variables manipulables sigue a sus respectivos setpoint (marcados por el controlador), y que nuevamente al igual que en todos los ensayos realizados con este segundo modelo del sistema las variaciones en la actuación de las variables manipulables son mucho más pequeñas que en el caso de emplear el modelo en rampa de la planta.

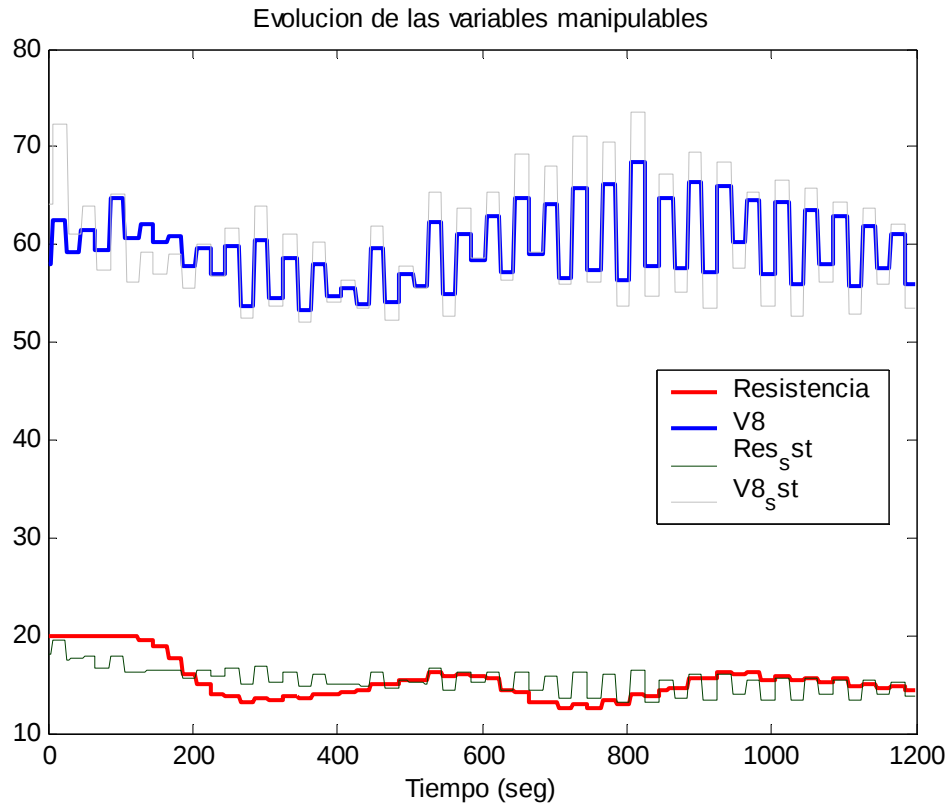


Figura 4.69

Si se comparan los resultados de estos cuatro experimentos con los obtenidos en el apartado 4.8 es lógico pensar que la oscilación en la evolución de las variables tanto controladas como manipulables en dicho apartado anterior se debe al hecho de que las variables dependientes están marcadas como variables tipo rampa en el modelo del sistema por lo que esto condiciona el tipo de actuación que aplica el controlador y como consecuencia la evolución de las temperaturas.

4.10 Ejecución en línea del controlador con solución LP y modelo rampa.

En este apartado se van a mostrar los resultados de un tercer controlador, similar al primero, cuya única diferencia es que en esta ocasión el steady state solver adoptará solución lineal. El archivo de configuración de los parámetros del controlador es el mismo que en el primer caso, con la única diferencia de que en esta ocasión se marcará solución LP en lugar de QP, es por este motivo por el que no se adjunta otra vez. Para

analizar las diferencias entre los resultados de los controles LP y QP los ensayos que se van a realizar para este control son los mismos que los realizados con el control QP.

❖ Experimento 1:

Se analiza nuevamente la actuación del controlador para mantener la temperatura de agua del depósito TT5, y la temperatura de la corriente de recirculación TT4, dentro de un rango de valores posibles para cada una de ellas.

	TT4	TT5
Lím. Inferior	17	21
Lím.superior	22	27

Tabla 4.13

En la figura 4.70 se comprueba que las temperaturas evolucionan dentro de los límites especificados en casi todo momento por lo que el ensayo se considera satisfactorio. Si se compara la evolución de las señales con el experimento A realizado con el control QP (figura 4.54) se puede observar que la evolución de las temperaturas es bastante parecida al caso del controlador con solución QP, con la pequeña diferencia de que los valores de TT4 son ligeramente inferiores. Además en este ensayo hay un periodo de un minuto aproximadamente en que la temperatura TT4 está fuera del rango permitido, sin embargo, a pesar de esto el controlador no deja de actuar porque no se han rebasado los límites ingenieriles que se han definido previamente en el archivo de configuración del controlador.

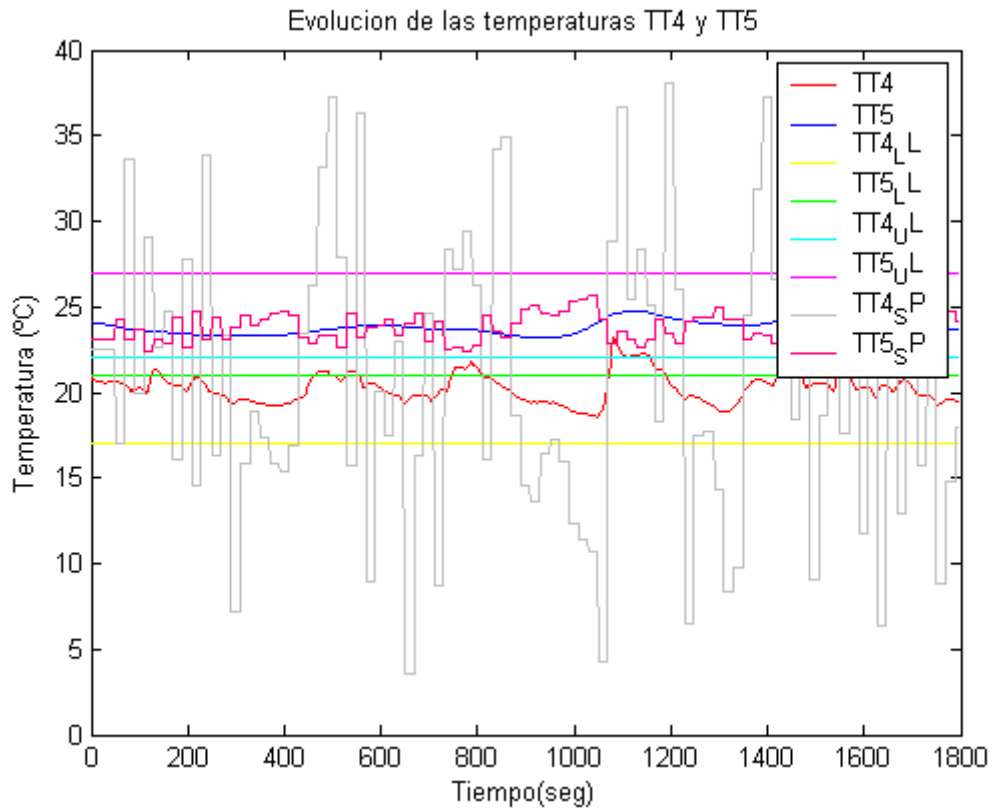


Figura 4.70

En cuanto a las variables manipulables se destaca que con la solución lineal sus movimientos tienen una mayor amplitud y variación que en el caso de solución cuadrática (ver figura 4.55) lo que hace pensar que posiblemente el valor de la función objetivo sea mayor para este tipo de solución que para el caso de solución QP ya que los valores medios que toman la resistencia y la válvula a lo largo del experimento son mayores que en caso de solución QP. Esta afirmación se verá confirmada más adelante en el apartado 5 de la memoria donde se hará una comparación de los valores de la función objetivo para cada uno de los controladores en cada experimento.

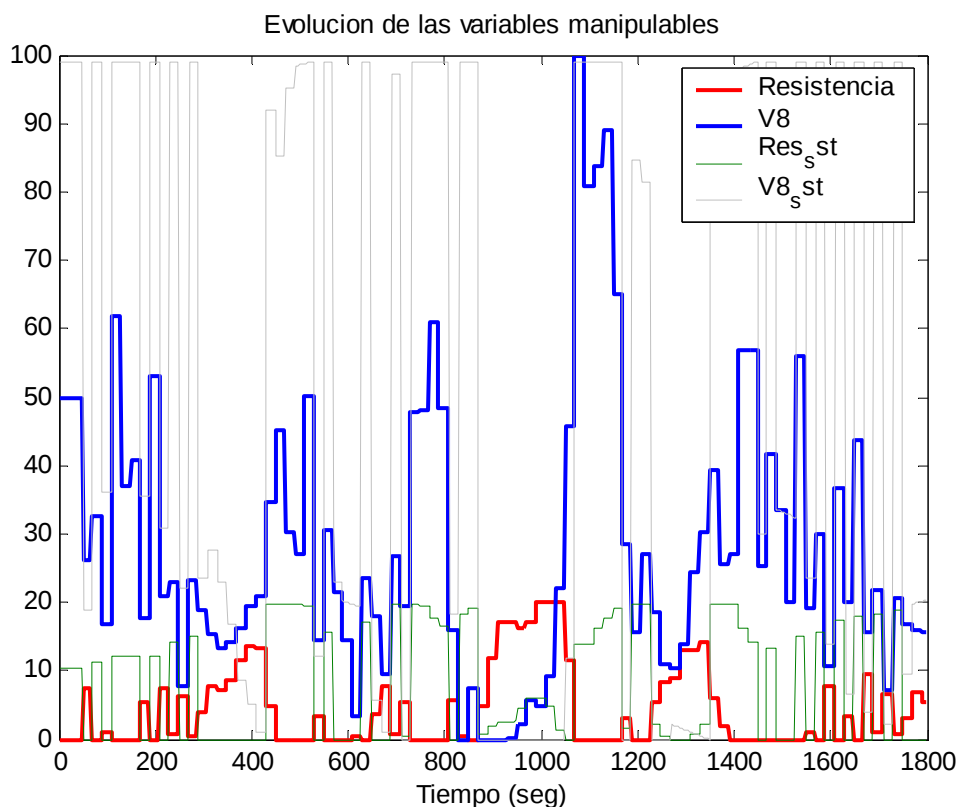


Figura 4.71

❖ Experimento 2:

Al igual que en el experimento 2 de los controladores anteriores, lo que se pretende es ver la actuación del controlador para que la temperatura del agua de recirculación TT4, tenga un valor determinado. Sin embargo en esta ocasión este experimento difiere del experimento B en que los límites especificados son distintos ya que con los anteriores no se podía fijar la temperatura de recirculación en el valor deseado.

	TT4	TT5
Lim. Inferior	23	21
Lim.superior	23	27

Tabla 4.14

Como se puede observar en la figura 4.72 que representa las variables dependientes en este ensayo, se consigue fijar la temperatura de recirculación en 21°C con unas oscilaciones mínimas propias de cualquier proceso real.

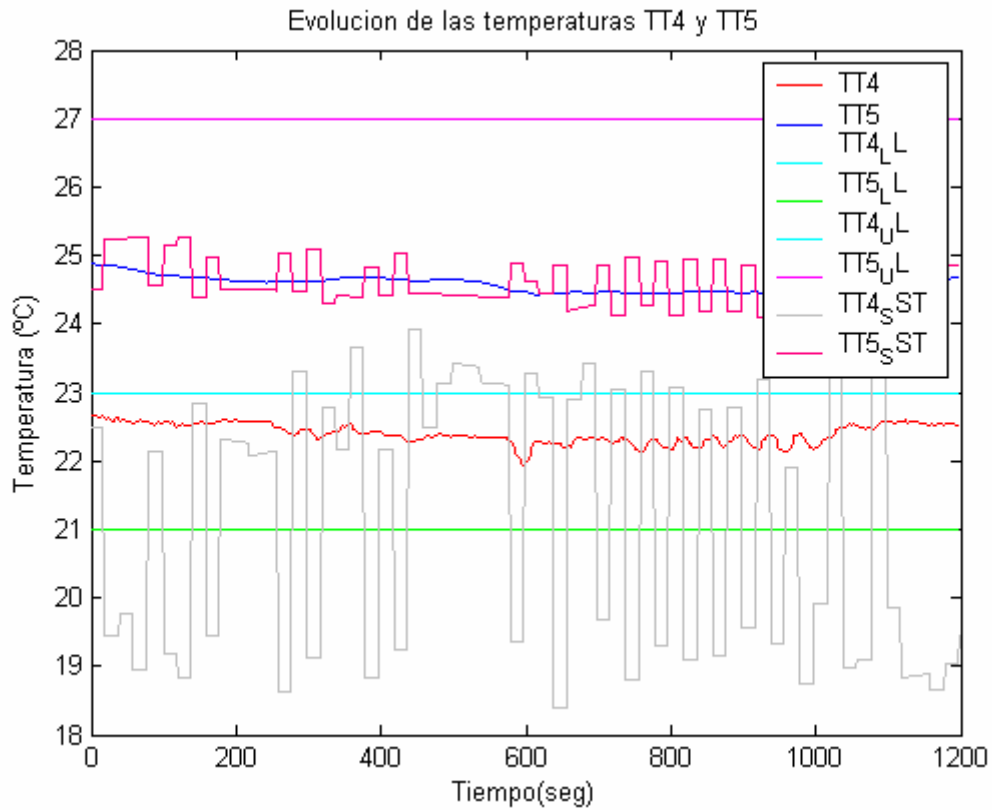


Figura 4.72

En cuanto a las variables manipulables destacar que se puede comprobar a través de la figura 4.73 que nuevamente su actuación es muy forzada y que no se logra el punto de operación especificado. Si se compara la evolución de las señales con las obtenidas en el primer controlador (ver figura 4.57) se puede ver como en esta ocasión los valores que toma la válvula son más constantes estado casi en todo momento abierta al 100%. En cuanto a la resistencia comentar que su evolución es similar a la representada en la figura 4.57 una vez que se ha estabilizado el sistema. Sin embargo se espera que el valor medio de la función objetivo sea menor que en el mismo ensayo pero con solución QP. Esto se podrá comprobar en el apartado 5 de la memoria.

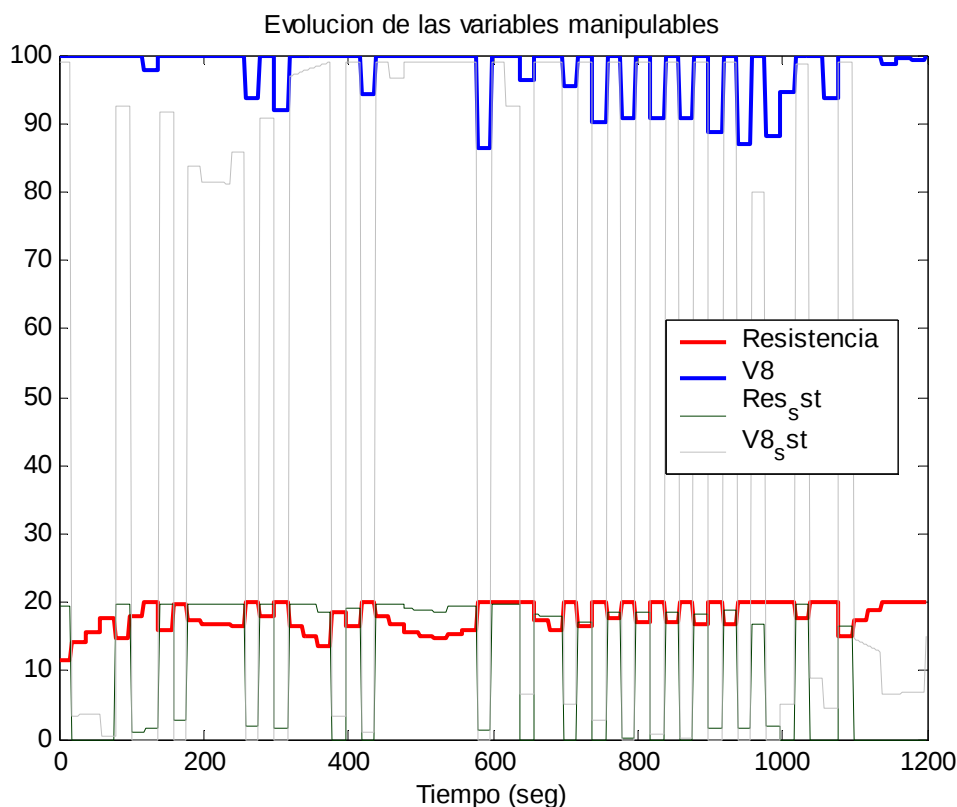


Figura 4.73

❖ Experimento 3:

El objetivo de este ensayo es fijar la temperatura del interior de depósito permitiendo la variación de la temperatura de la corriente de recirculación. Los límites que se imponen son los mismos que los del experimento C de los apartados anteriores.

	TT4	TT5
Lim. Inferior	18	25
Lim.superior	25	25

Tabla 4.15

Se puede ver como la temperatura del depósito oscila alrededor de la temperatura fijada pero con una amplitud muy pequeña, mientras que el valor de la temperatura de la corriente de recirculación se mantiene intermedio dentro del rango permitido, con lo que nuevamente se puede decir que el controlador actúa satisfactoriamente.

Si se compara este ensayo con el experimento representado en la figura 4.58 se observa que en ambos casos el comportamiento de las temperaturas es muy similar variando más las señales de steady state target en caso de emplear solución lineal.

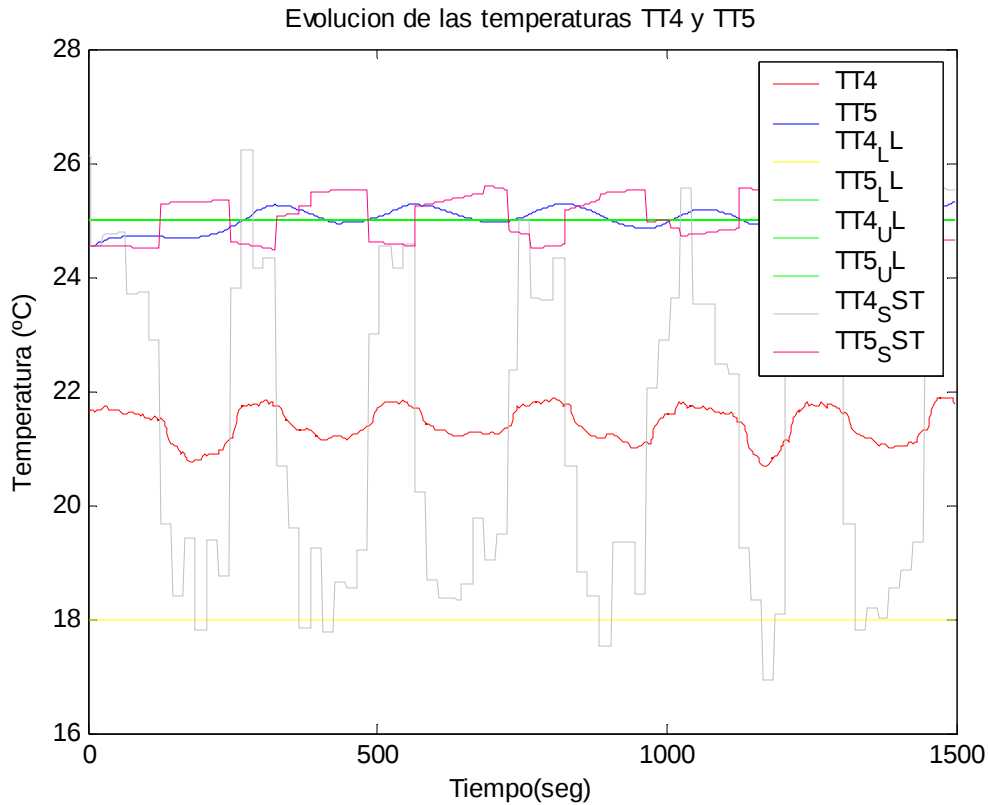


Figura 4.74

Comparando las señales correspondientes a las variables manipulables representadas en la figura 4.75 con las del experimento C del caso con solución QP (figura 4.59) se puede ver como los movimientos de la válvula V8 tienen una amplitud mayor cuando la solución empleada por el controlador en línea es lineal lo que lleva a concluir que el valor medio de la función objetivo será menor cuando se adopta solución QP. Esta afirmación se podrá comprobar más adelante en el apartado 5 de la memoria.

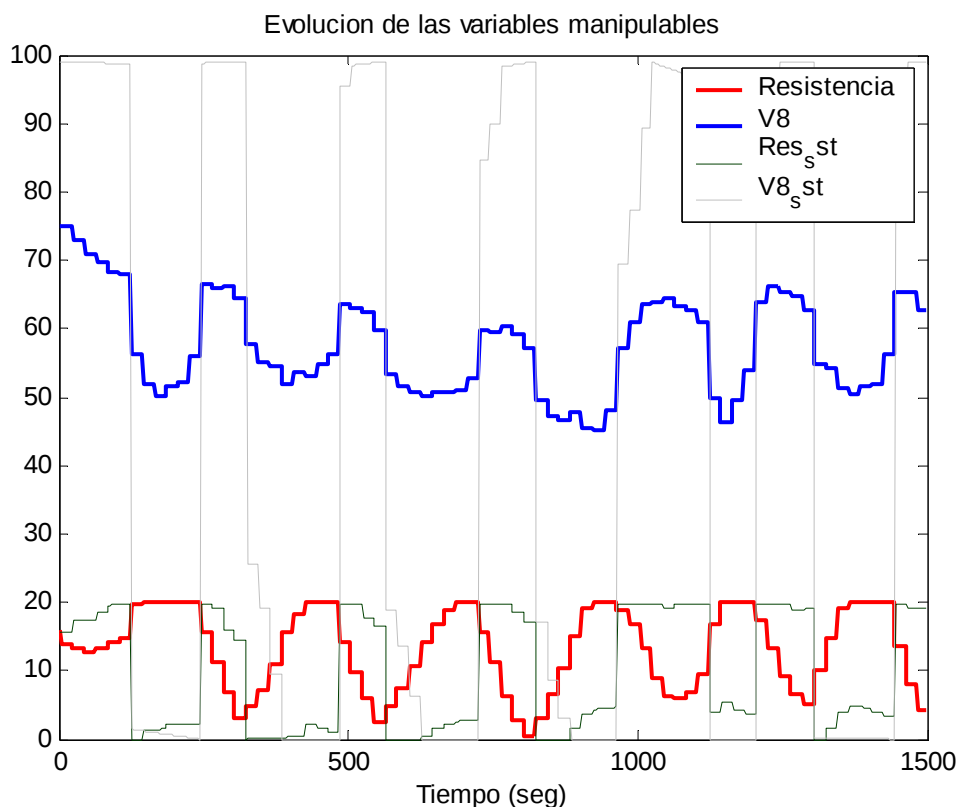


Figura 4.75

❖ Experimento 4:

En este cuarto ensayo, lo que se pretende es ver el comportamiento del controlador cuando se fijan las dos temperaturas en un valor concreto. Análogamente al procedimiento de los ensayos anteriores los límites fijados para ambas temperaturas son los mismos que los del experimento D.

	TT4	TT5
Lim. Inferior	22	26
Lim.superior	22	26

Tabla 4.16

En la figura 4.76 se puede ver como el controlador consigue fijar las temperaturas en los valores especificados con una amplitud de oscilación mínima aunque algo mayor que la presentada en el experimento D (figura 4.60). También son algo mayores en este ensayo las variaciones de los valores de SST.

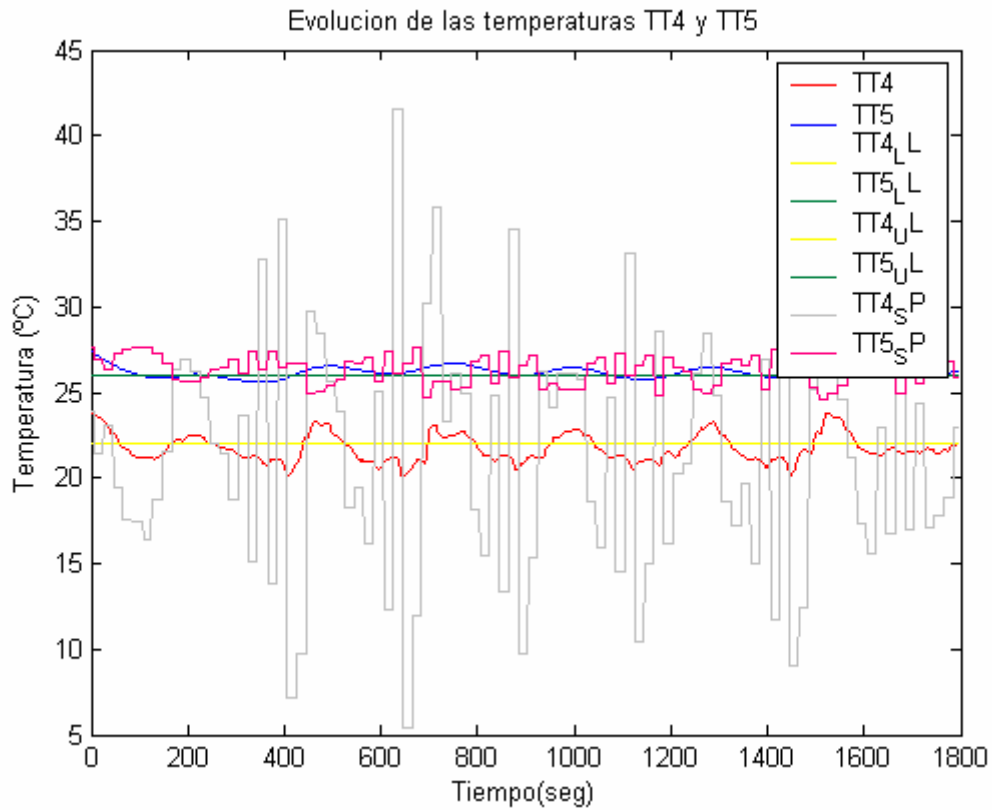


Figura 4.76

En cuanto a la actuación de las variables manipulables representada en la figura 4.77 hay que decir que la frecuencia con que varía la actuación es más rápida que en el caso de optar por solución cuadrática, lo mismo ocurre con la amplitud de las actuaciones pues en este caso también ocurre que son mayores que en el caso en que se adoptaba solución QP, sin embargo los valores medios de las actuaciones de la resistencia y de la válvula en este caso son menores que en el mismo ensayo pero con solución QP por lo que es de esperar que el valor medio de la función objetivo en el control con solución lineal sea menor. Esto también se podrá comprobar en el apartado 5 de la memoria.

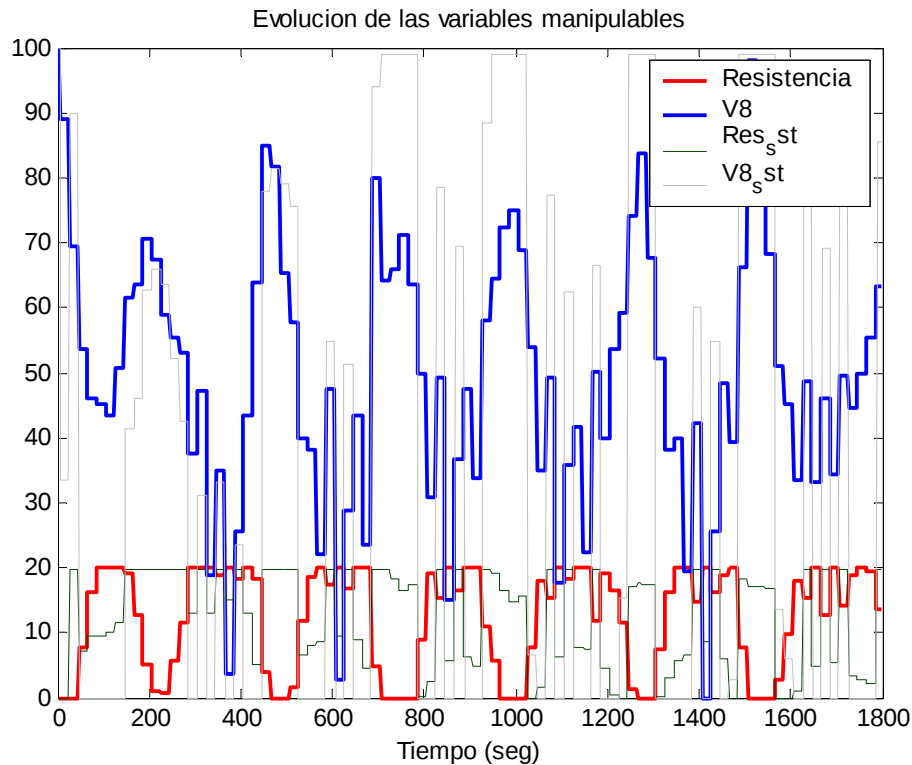


Figura 4.77

4.11 Efecto de algunos parámetros de configuración en el controlador.

Una vez explicado como funciona el controlador y tras haber mostrado los resultados de la actuación del mismo sobre la planta piloto en tres casos concretos se van a mostrar también algunos de los efectos provocados por los cambios en la asignación de valores de algunos de los parámetros de control más importantes. Para mostrar la repercusión del cambio en estos parámetros sobre el sistema, en lugar de recurrir a las simulaciones se ha recurrido a crear tantos controladores como cambios se han querido hacer sobre el archivo .CCF de partida y se han aplicado estos nuevos controles sobre la planta para poder mostrar datos reales. En todos los casos se ha realizado el experimento en que se fijan las dos temperaturas ya que es el más complejo.

4.11.1. Efecto de Move Suppression Factor (SUPMOV).

Para mostrar el efecto que tiene el aumentar el valor de este parámetro sobre la actuación del controlador se han realizado dos controles distintos, y en cada uno se ha aumentado el SUPMOV de una de las variables independientes de 1 a 10. En la figura 4.78 se aumenta SUPMOV de la resistencia y en la figura 4.79 se aumenta SUPMOV de la válvula.

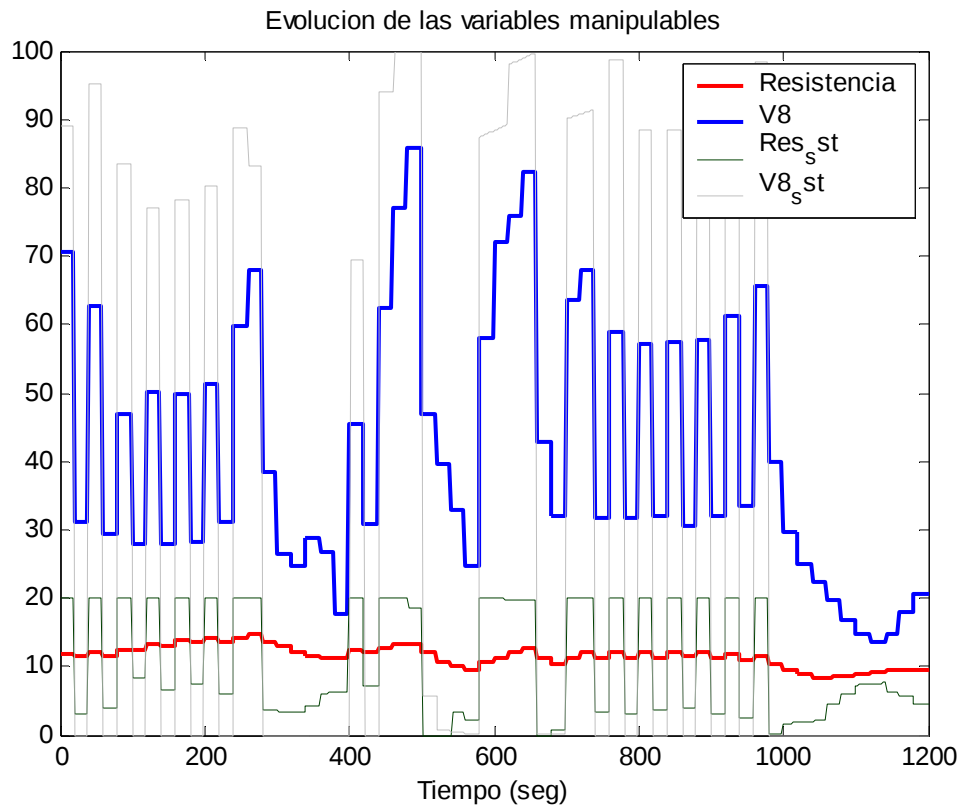


Figura 4.78

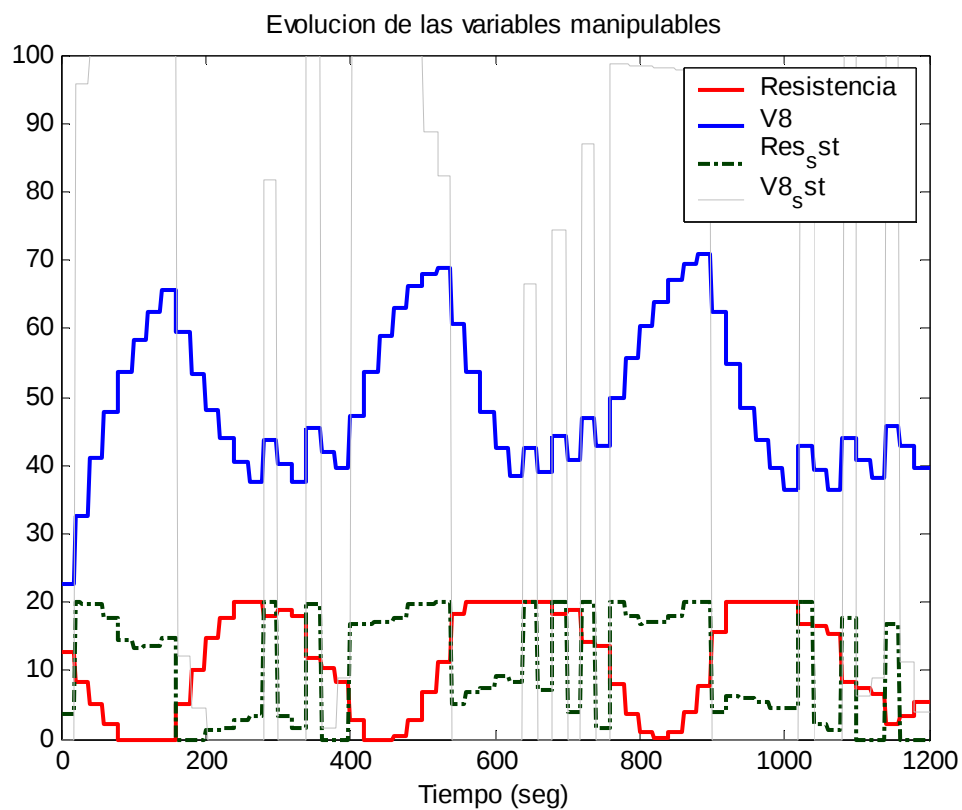


Figura 4.79

Basta comparar las gráficas de las figuras 4.78 y 4.79 con la figura 4.61 para ver que el efecto de aumentar SUPMOV es una mayor supresión en los movimientos de las variables manipulables ya que la variación de los movimientos en la resistencia y en la válvula disminuye considerablemente al aumentar este parámetro.

4.11.2. Efecto de Equal Concern Error (ECE).

Como se ha comentado anteriormente en el apartado 4.6.1 los equal concern errors pueden ser de dos tipos, los equal concern error para el cálculo de la solución en régimen permanente ECELPL y ECELPU, y los equal concern error para el cálculo de la acción de control ECECML, ECECMM Y ECECMU. El rango de valores que se puede asignar a los parámetros referentes a equal concern error es de 10^{-6} a 10^6 .

En primer lugar se va a explicar brevemente como funciona este segundo tipo de equal concern error.

En los cálculos dinámicos o de las acciones de control, los ECE son usados como pesos sobre las variables dependientes. Una vez que el objetivo en régimen permanente es calculado, el controlador sigue una secuencia de pasos para determinar un ECE medio. DMCplus ofrece la posibilidad de introducir tres parámetros de Equal Concern Error para el cálculo dinámico, inferior, medio y superior, así como la posibilidad de incluir zonas de transición. Los pasos seguidos por DMCplus son los siguientes:

1. Crea una trayectoria de primer orden desde la posición actual de la variable manipulable hasta su objetivo en permanente.
2. Usando esta trayectoria determina la evolución resultante de la variable dependiente.
3. Calcula un valor medio del equal concern error que utilizará posteriormente en el cálculo de los movimientos también conocido como cálculo dinámico.
4. Repite este proceso con cada una de las variables dependientes.
5. Una vez que se ha encontrado un valor medio de ECE para cada una de las variables a controlar el controlador usa estos valores en el cálculo de los movimientos sobre las variables manipulables.

El espacio de operación, en función de los ECE está dividido en tres zonas o regiones (inferior, media y superior). Por lo que estas tres regiones estén separadas entre si por otras dos zonas o regiones denominadas zonas de transición cuyo tamaño se

asigna a través de los parámetros TRANZL y TRANZU. Como se acaba de señalar el tamaño de la zona de transición es variable, pudiendo incluso ser nulo. Los valores de ECE normalmente son constantes en cada región del espacio de operación ver la figura 4.80, y por tanto cuando las zonas de transición son nulas se producen discontinuidades o saltos en el paso de la zona inferior a la media así como en el paso de la zona media a la superior.

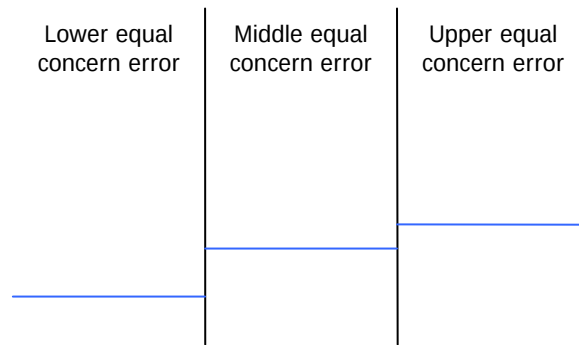


Figura 4.80

Cuando las zonas de transición tienen un tamaño no nulo el valor de ECE cambia de forma lineal desde la región inferior a la media y desde la región media a la superior. Esto se puede ver en la figura 4.81

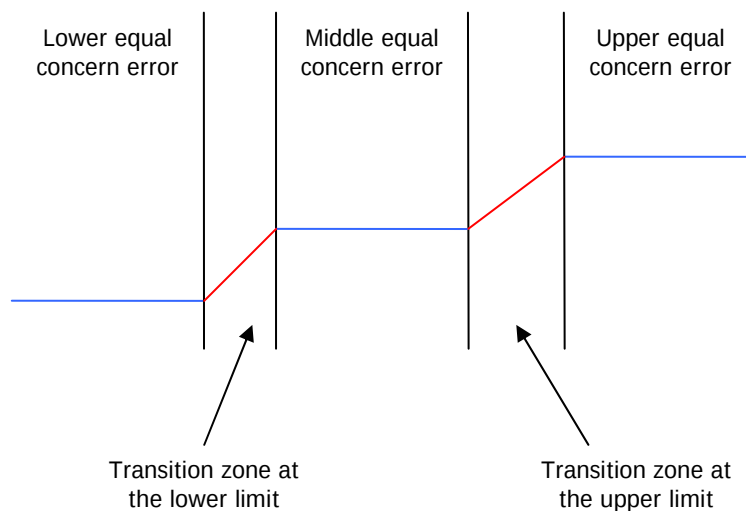


Figura 4.81

Existen dos posibilidades de solapamiento entre zonas de transición, si se solapan las zonas de transición y la prolongación de las funciones de ECE de las regiones inferior y superior se cortan entonces el ECE toma valores de forma continua de una

línea a la siguiente con un cambio de pendiente en la intersección. Si las líneas no se encuentran, entonces una línea recta se traza desde el ECE inferior al ECE superior, el valor medio es ignorado en este caso, este caso se representa en la figura 4.82.

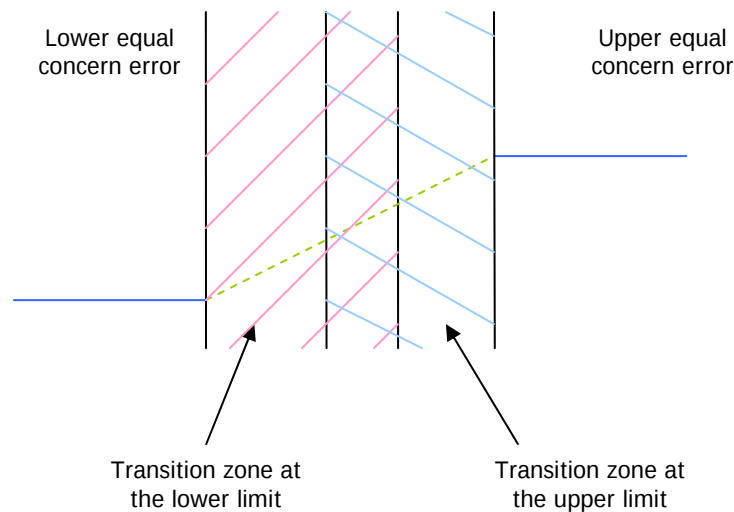


Figura 4.82

A continuación se van a mostrar los efectos en los resultados de control que se obtienen al cambiar estos parámetros.

Es importante destacar que cuanto más bajo sean los valores asignados a los ECE mejores serán los resultados de control obtenidos.

En el caso representado en la figura 4.83 se ha aumentado el valor del parámetro ECECML correspondiente a la temperatura de recirculación TT4 de 1 a 10, y efectivamente si se compara con los resultados representados en la figura 4.60, en el caso aquí representado los resultados obtenidos del control de dicha temperatura son peores ya que existe una mayor desviación de la temperatura según el límite inferior.

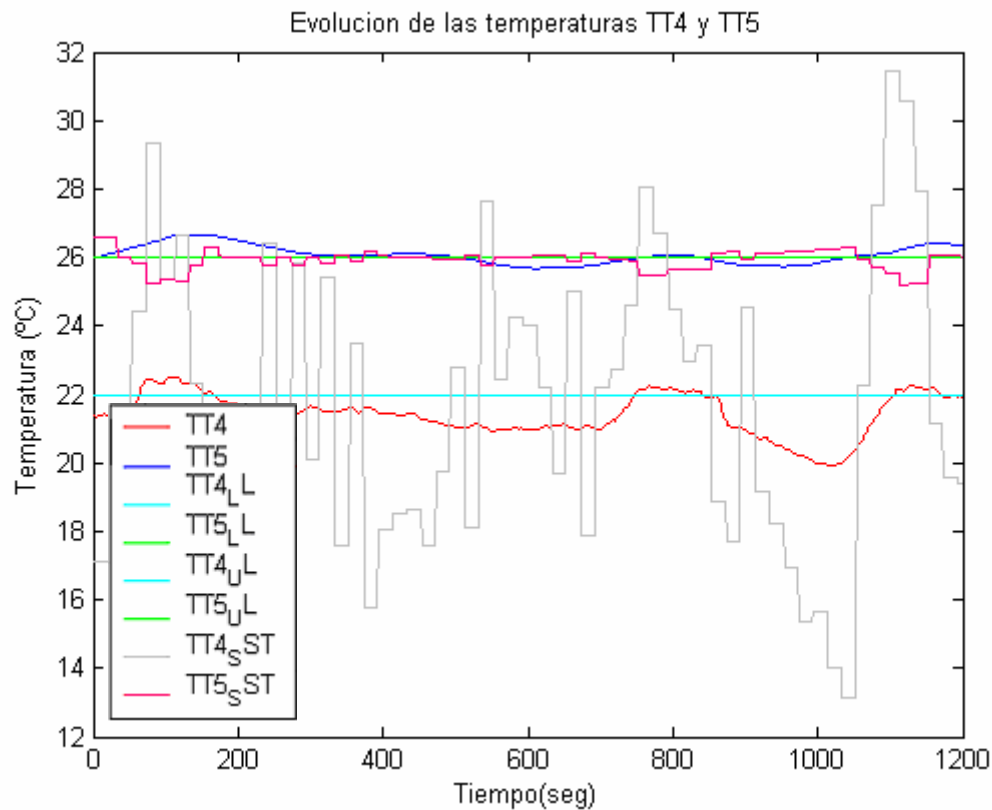


Figura 4.83

Lo mismo se puede comprobar en el caso representado en la figura 4.84 donde se ha aumentado el valor del parámetro ECECMU correspondiente a la temperatura de recirculación TT4 de 1 a 10, sin embargo, en esta ocasión, si se compara con los resultados representados en la figura 4.60, en el caso aquí representado los resultados obtenidos del control de dicha temperatura son peores aunque en esta ocasión la desviación de la temperatura marcada para TT4 es por el límite superior.

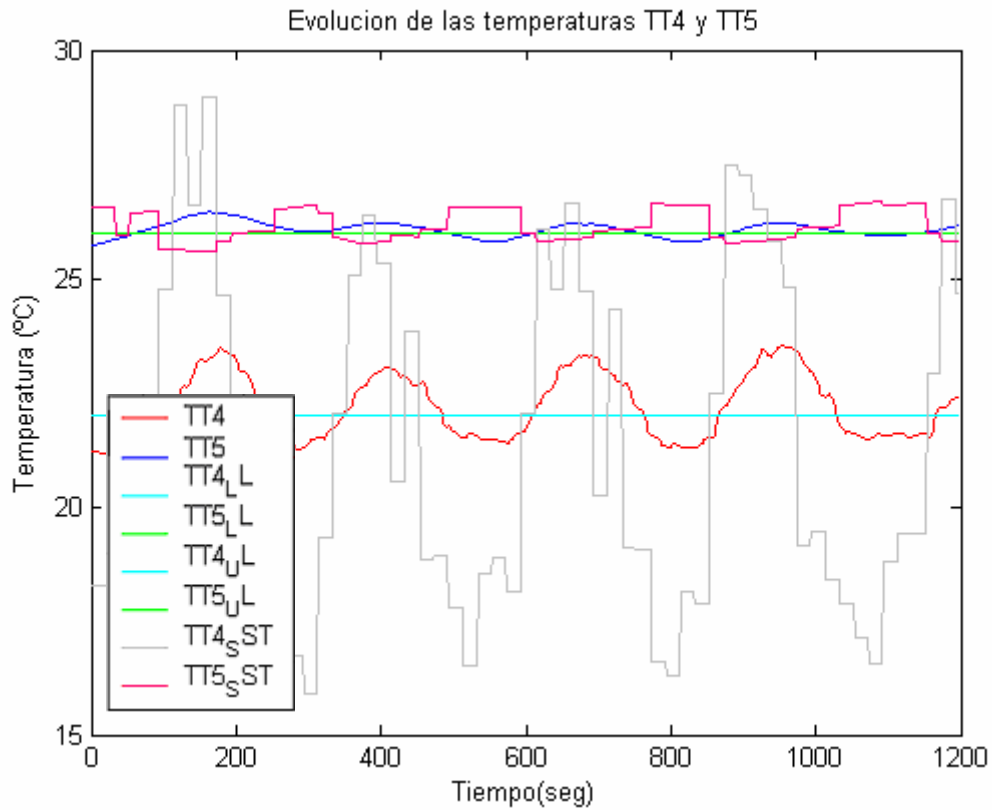


Figura 4.84

Resultados similares se obtienen cuando se modifican estos parámetros de configuración del controlador para la variable dependiente TT5, no se adjuntan los resultados obtenidos por poder comprobarse claramente en las figuras 4.83 y 4.84.

Cabe mostrar también en la presente memoria el efecto de los ya mencionados parámetros ECELPL y ECELPU que como se dijo anteriormente en ellos se basa el LP para relajar las restricciones a la hora de encontrar una solución factible para el problema.

En la figura 4.85 se puede ver que al aumentar el valor del parámetro ECELPL de 1 a 10 los valores mínimos de la señal de Steady State Target de la variable TT5 (TT5_SST) son menores que en que en el ensayo presentado en la figura 4.60, desviándose la señal del objetivo en régimen permanente por debajo de los 26°C en que se quiere fijar la temperatura TT5. También se puede comprobar como la evolución de la temperatura TT5 toma en casi todo el ensayo valores ligeramente inferiores a los 26°C.

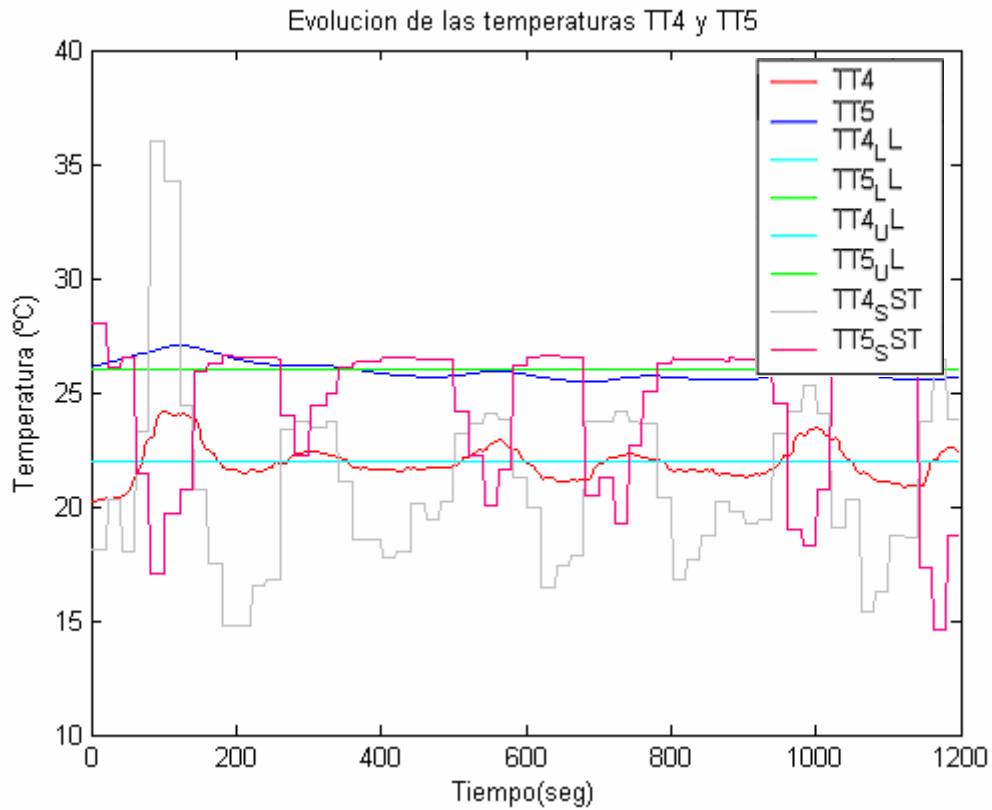


Figura 4.85

Algo similar ocurre cuando se aumenta el valor asignado al parámetro ECELPV. En la figura 4.86 se puede ver que al aumentar el valor de dicho parámetro de 1 a 10 los valores máximos de la señal de Steady State Target de la variable TT5 (TT5_SST) son mayores que en el ensayo presentado en la figura 4.60, desviándose en esta ocasión la señal del objetivo en régimen permanente por encima de los 26°C en que se pretende fijar la temperatura TT5. También se puede observar como a lo largo de este experimento la evolución de la temperatura TT5 sigue tomando valores ligeramente por superiores a 26°C.

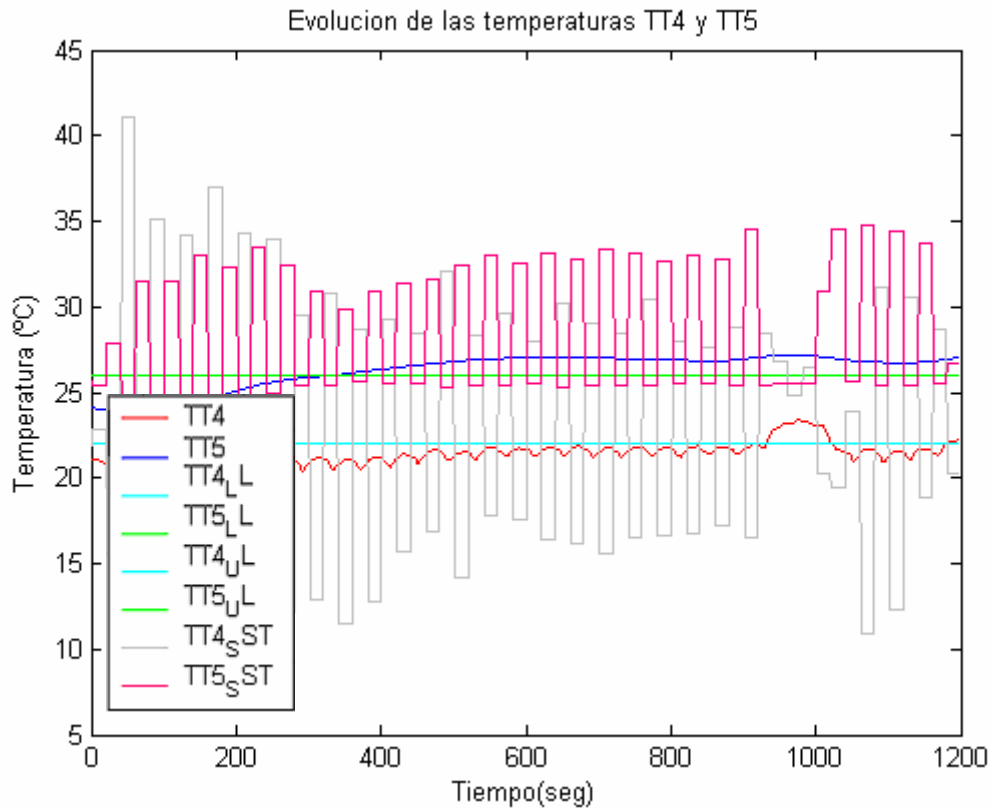


Figura 4.86

Observando los resultados de control presentados para ver los efectos de modificar los parámetros ECE se concluye que cuanto menores sean los valores asignados a dichos parámetros a la hora de configurar el controlador mejores serán los resultados obtenidos.

4.11.3. Efecto de Controlled Variables Rank limits (CVRANK).

Para mostrar el efecto que tiene sobre la actuación del controlador el asignar a este parámetro un valor distinto de cero únicamente hay que ver cada uno de los ensayos que se han mostrado con anterioridad a lo largo del presente trabajo ya que como se puede comprobar en los archivos de configuración adjuntos en los tres controladores a ambos parámetros se les ha dado valor 10. Sin embargo en este punto se van a mostrar los resultados de dos controles distintos que son iguales al que emplea modelo rampa y solución QP con la única diferencia de que en cada uno de ellos se ha cambiado el valor asignado a los parámetros CVRANKL y CVRANKU de una de las variables

dependientes de 10 a 5. En la figura 4.87 se muestran los resultados cuando se varían estos parámetros para la temperatura del depósito TT5. Si se comparan los resultados mostrados en esta figura con los presentados en 4.60 se puede comprobar que a penas hay diferencias entre ambos, ya que únicamente se ve una pequeña variación en los valores máximo y mínimo que toma la señal de setpoint de la variable TT4, además de que parece que la temperatura de recirculación oscila alrededor del valor que se le ha marcado cada vez con una amplitud menor.

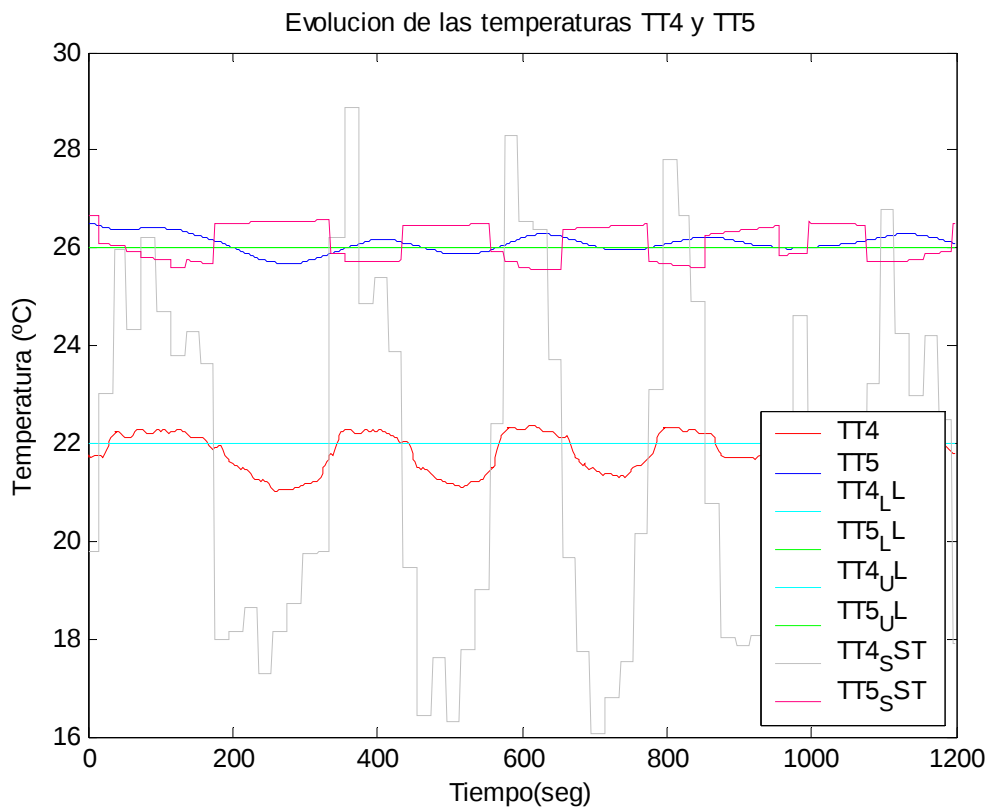


Figura 4.87

En la figura 4.88 se muestra la evolución de las variables manipulables para el caso que se está tratando y se comprueba comparando con la figura 4.61 que las actuaciones son similares.

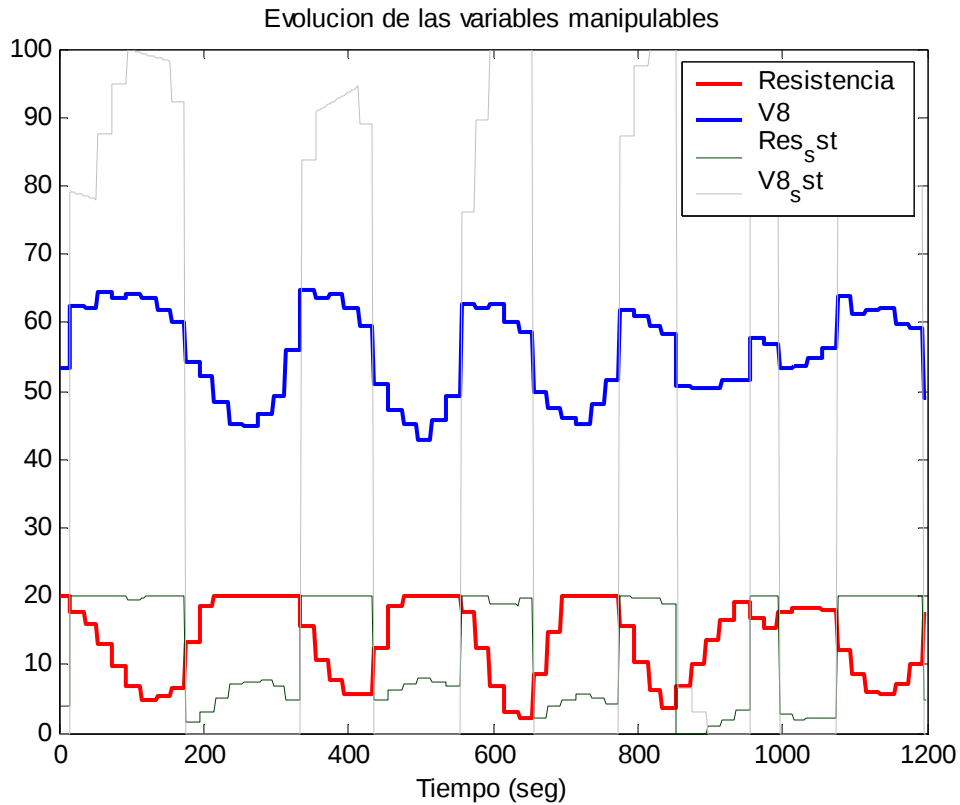


Figura 4.88

En la figura 4.89 se muestran los resultados cuando se varían estos parámetros para la temperatura de recirculación TT4. Si se comparan los resultados mostrados en esta figura con los presentados en 4.60 se puede comprobar que en esta ocasión si existen notables diferencias entre ambos ya que la evolución de la temperatura TT4 es igual a la de la temperatura TT5 pero con una oscilación en forma de ruido de alta frecuencia. Se puede comprobar como a baja frecuencia la evolución de TT4 y TT5 es la misma.

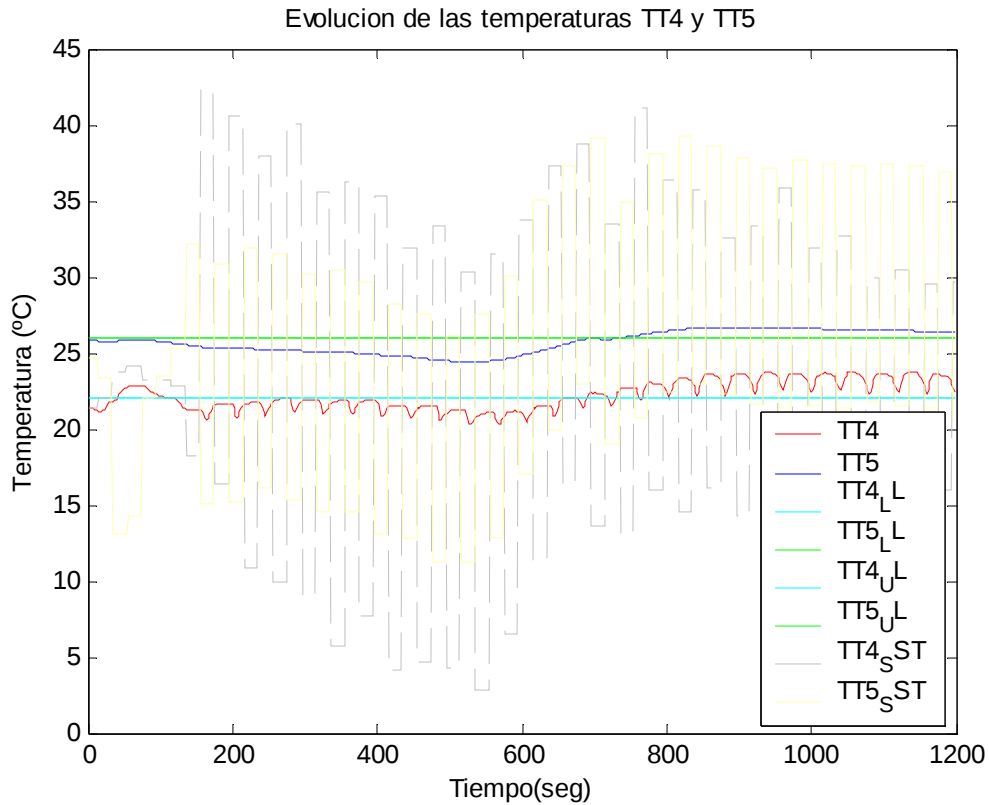


Figura 4.89

En cuanto a la evolución de las variables manipulables se puede comprobar en la figura 4.90 como las actuaciones tienen una frecuencia de cambio similar a la que presentan las variables dependientes lo que es totalmente lógico. Además el que sea de más baja frecuencia la oscilación de las temperaturas alrededor de los valores que se les ha marcado provoca que las actuaciones de tanto de la válvula como de la resistencia no sean alrededor de un único punto medio sino que en función del instante que se este considerando se puede ver que los valores medios de las actuaciones varían.

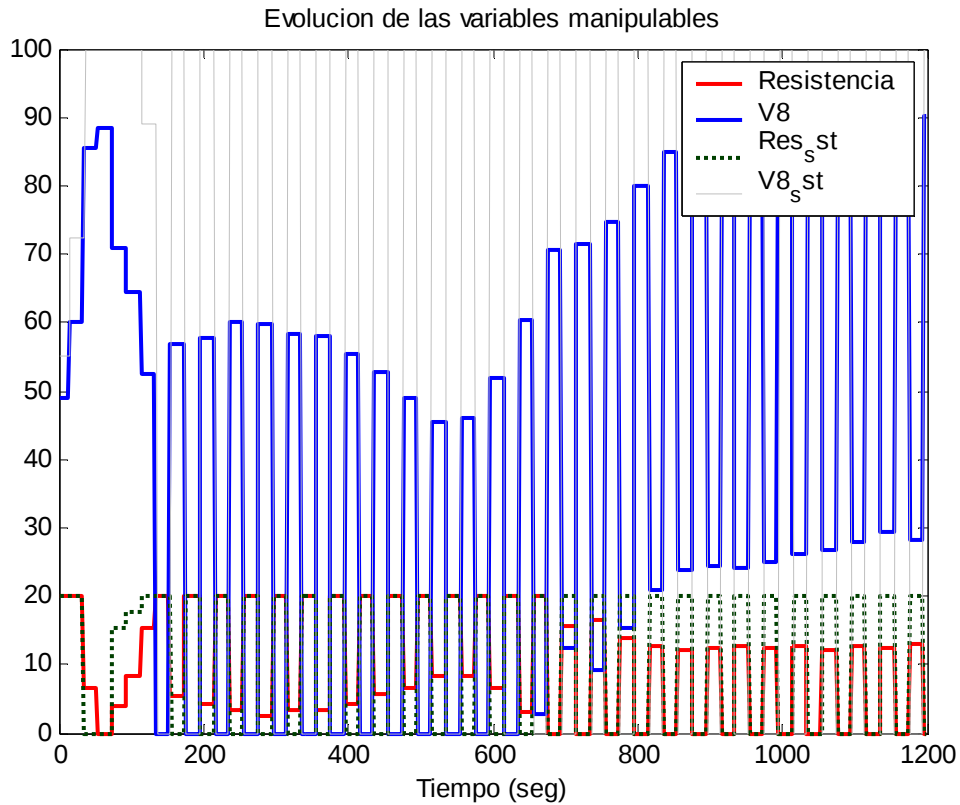


Figura 4.90

4.12 Control de las temperaturas TT4 y TT5 mediante uso exclusivo de V8.

En este apartado se van a mostrar los resultados de un nuevo controlador con solución QP y que emplea el modelo en rampa del sistema. Este controlador se caracteriza por emplear únicamente una variable de control que va a ser la válvula de la corriente de recirculación V8. La resistencia se va a fijar al 20% de su capacidad, para calentar el agua del depósito y únicamente mediante el control de V8 poder conseguir la temperatura deseada para la corriente de recirculación. Se han realizado dos ensayos análogos al cuarto caso presentado en los controladores anteriores. En el primero de ellos el rango de valores de temperatura permitido para TT4 y TT5 era el mismo que el empleado para los experimentos D de los apartados 4.8, 4.9 y 4.10. Sin embargo se comprobó que el sistema no podía trabajar en el punto de operación marcado, por ello se decidió cambiar los valores de ambos rangos y fijar un nuevo punto de operación. Estos nuevos valores en que se pretenden fijar TT4 y TT5 se adjuntan en la tabla 4.17, y sólo se van a presentar los resultados correspondientes a este último ensayo.

	TT4	TT5
Lim. Inferior	24	30
Lim.superior	24	30

Tabla 4.17

En la figura 4.91 se muestra como el nuevo controlador consigue mantener la temperatura del depósito en el valor de 30°C que se le ha especificado sin embargo no consigue ajustar la temperatura de la corriente de recirculación con la misma eficiencia, aunque los valores que toma oscilan alrededor de los 24°C con una amplitud de algo más de 1°C.

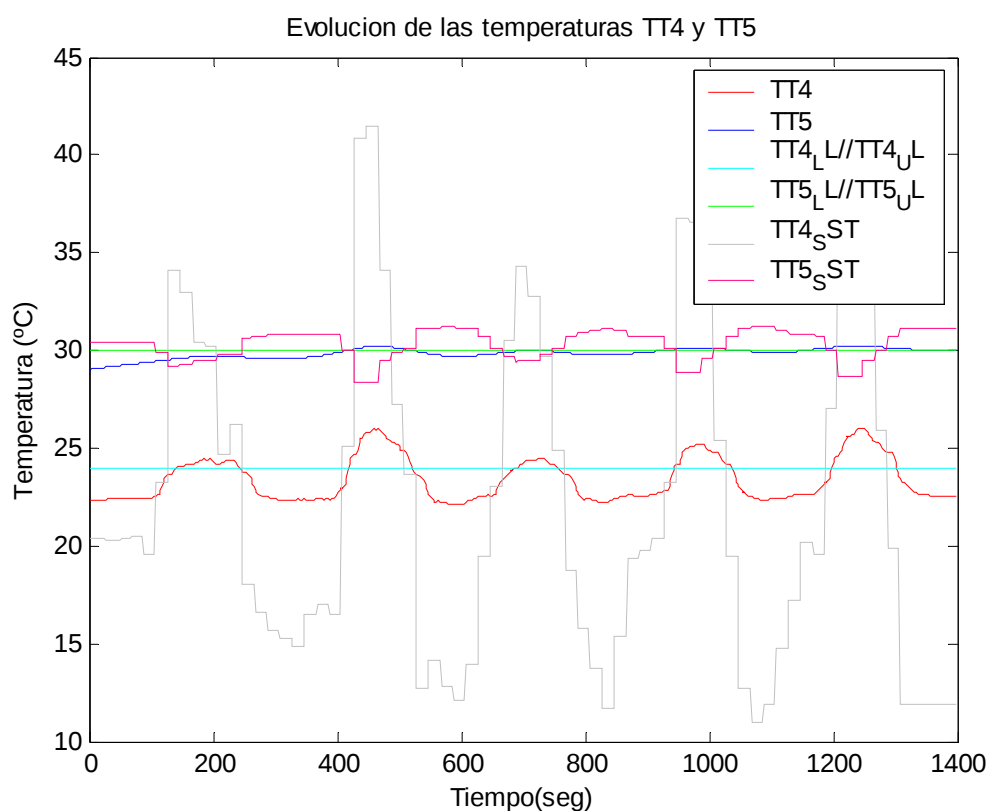


Figura 4.91

En cuanto a las variables manipulables representadas en la figura 4.92 se puede comprobar como también en esta ocasión la evolución de la válvula V8 sigue con bastante fidelidad a su steady state target. Los valores que toma esta variable oscilan en torno al 60% y se puede ver también como los aumentos en la temperatura TT4 se corresponden con los intervalos en que se abre la válvula. Con el valor del 20% en que se ha ajustado la resistencia es posible mantener la temperatura del depósito en 30°C.

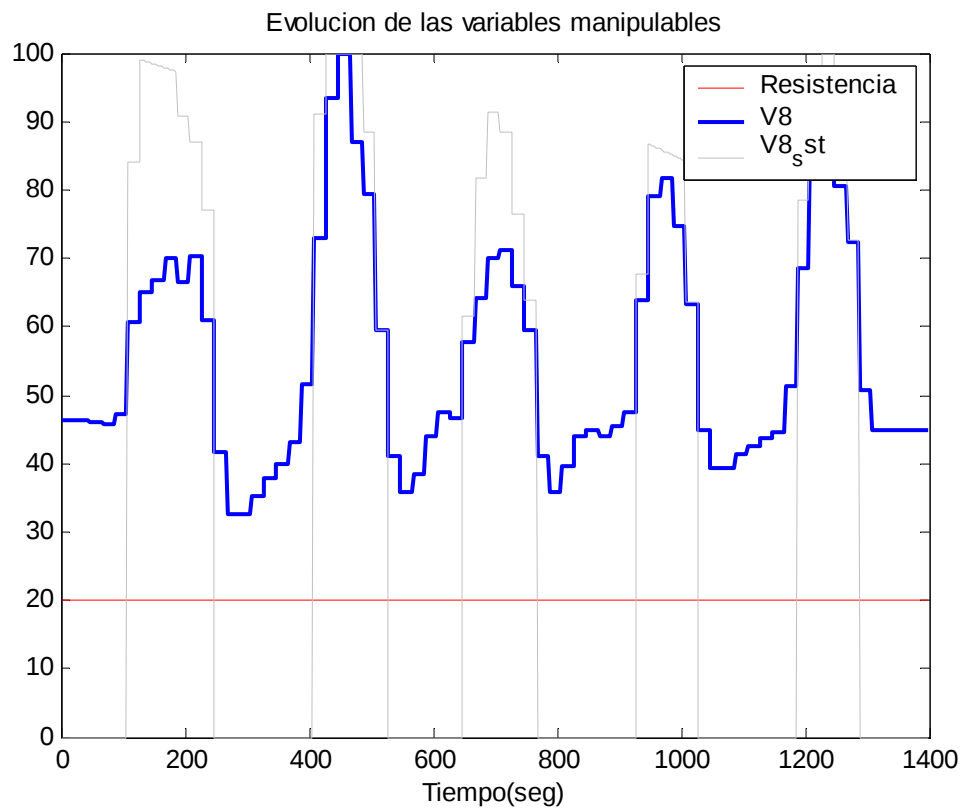


Figura 4.92