

6.- APLICACIÓN SOBRE PLANTA DE LABORATORIO

En este capítulo crearemos un controlador para aplicarlo sobre una planta del Laboratorio de Automática, en concreto la planta piloto. Realizaremos una serie de ensayos para comprobar el funcionamiento de los controladores que se crean usando DMCplus.

6.1.- Planta piloto

Se trata de una planta experimental del Laboratorio de Automática utilizada para que los alumnos tomen contacto con equipos reales así como para la experimentación de nuevas técnicas de control antes de ser implementadas en procesos más complejos.

Esa planta, que podemos ver en las figuras 6.1 y 6.2, por su concepción como ayuda a la



Figura 6.1.- Planta piloto



Figura 6.2.- Planta piloto

docencia y la investigación es bastante simple, constando de :

- Un depósito de agua, que dispone a su vez de una resistencia para calentar el agua.
- Un circuito de agua fría, mantenida a una temperatura de 18 °C mediante un refrigerador.
- Un circuito de agua caliente, mantenida constante por medio de un termo acumulador.
- Un circuito de recirculación del agua del depósito.
- Un intercambiador de calor que enfría el agua de la recirculación.

De forma esquemática la planta es la mostrada en la figura siguiente.

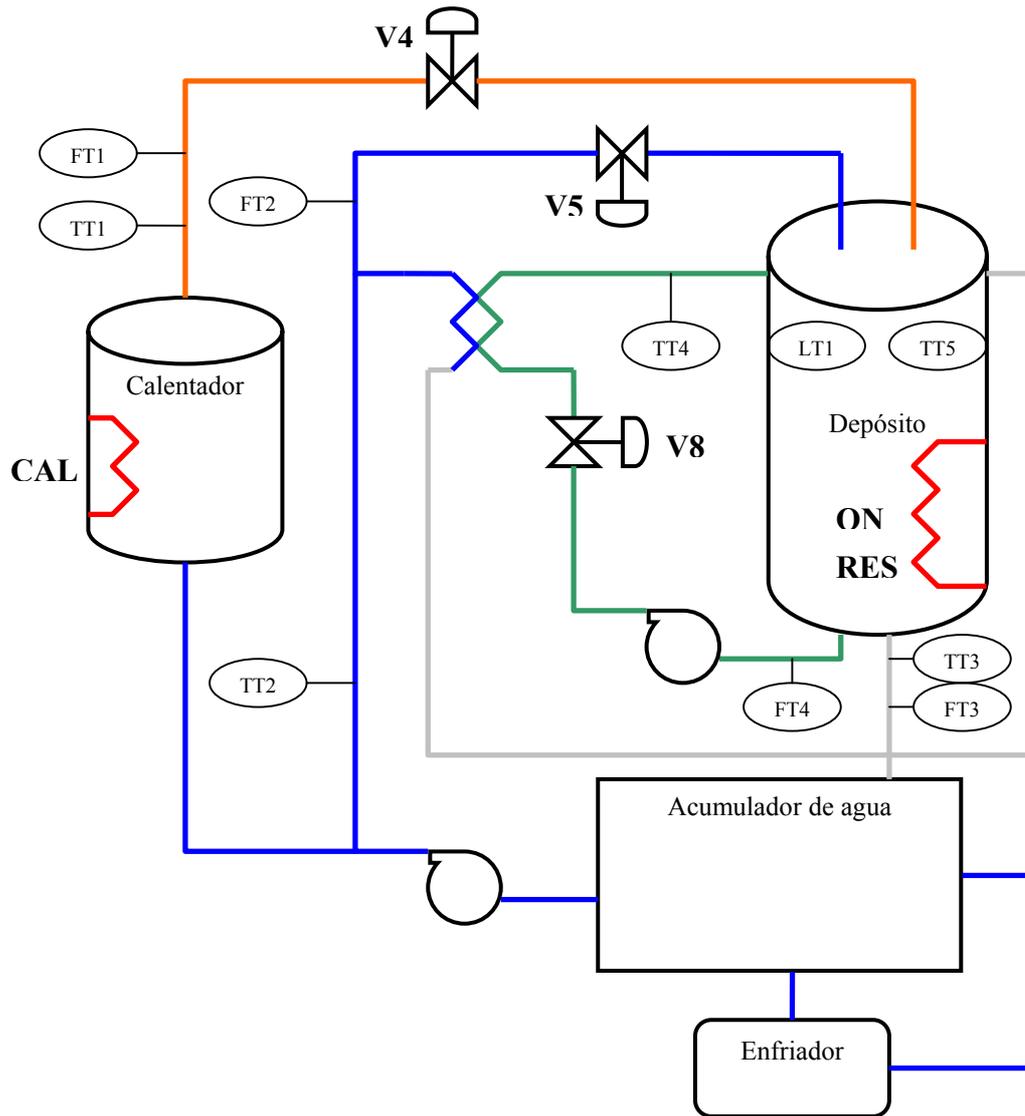


Figura 6.3.- Esquema de la planta

En la figura anterior, aparte de distinguirse claramente los tres circuitos del agua, están señaladas las variables de las que se dispone para trabajar con la planta. Éstas son:

- Variables no manipulables:
 - FT1 Caudal de la tubería de agua caliente
 - FT2 Caudal de la tubería de agua fría
 - FT3 Caudal de la tubería de agua de recirculación
 - TT1 Temperatura del agua caliente
 - TT2 Temperatura del agua fría
 - TT3 Temperatura del agua de salida
 - TT4 Temperatura del agua de recirculación
 - TT5 Temperatura del agua en el depósito

- LT1 Nivel de agua en el depósito
- Variables manipulables:
 - V4 Válvula de tubería del agua caliente
 - V5 Válvula de tubería del agua fría
 - V8 Válvula de tubería del agua de recirculación
 - CAL Encendido del calentador
 - ON Encendido de la resistencia del depósito
 - RES Porcentaje de resistencia utilizado

6.2.- Sistema a controlar

El sistema que se seleccionó para aplicar un controlador DMCplus fue el de la recirculación, es decir, un sistema multivariable simple de dos variables manipulables, la apertura de la válvula de recirculación V8 y la cantidad de resistencia del depósito RES, y dos variables a controlar, la temperatura de recirculación TT4 y la temperatura del agua del depósito TT5. Este sistema es el representado en la figura 6.4.

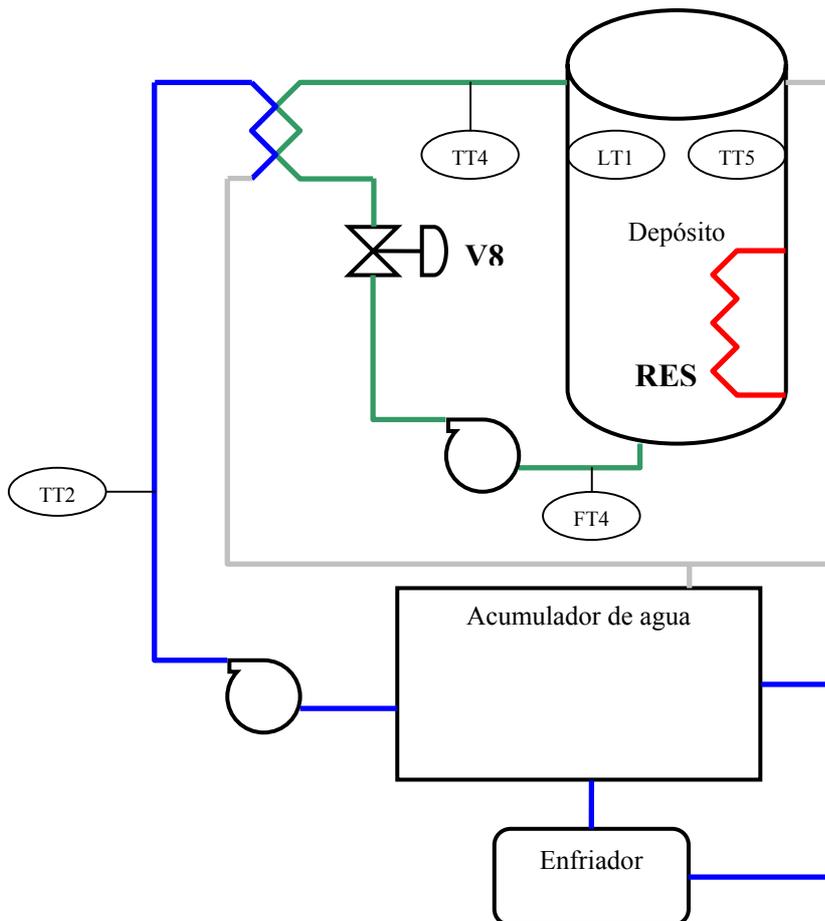


Figura 6.4.- Sistema a controlar

Para trabajar con este sistema han de tomarse las siguientes medidas:

- La temperatura del agua fría, TT2, que se usa para enfriar el agua de recirculación. Mediante el equipo de refrigeración del agua mantenemos TT2 en un rango entre 17 y 19 °C.
- El nivel del depósito. Para conseguir un nivel estable en el depósito basta con cerrar la válvula manual que posee y que cierra la salida de agua del depósito por la parte inferior del mismo. Así se mantiene el nivel constante en un valor marcado por el rebosadero del mismo, que son unos 95 cm.
- La señal ON de la resistencia estará en todo momento encendida, permitiendo que el controlador sólo tenga que variar el valor de la resistencia RES.
- Las válvulas V4 y V5 se mantendrán en todo momento cerradas.

6.3.- Implementación del control

En este apartado se procederá a implementar el controlador que mantenga controlado el sistema descrito anteriormente siguiendo los pasos indicados en capítulos anteriores de la presente memoria.

6.3.1.- Punto de operación

Lo primero que debe hacerse es buscar un punto de operación estable del sistema para identificarlo y trabajar alrededor de dicho punto. Este punto de operación se estableció de forma que las variables a controlar no tomaran valores demasiado peligrosos desde el punto de vista de operación, como por ejemplo temperaturas altas (~ 50 °C) en el depósito.

El punto de operación tomado fue el siguiente:

- V8 al 50%
- RES al 5%

Lo cual hace que las variables a controlar tomen los valores:

- TT4 alrededor de 20 °C
- TT5 entorno a los 23 °C

6.3.2.- Toma de datos

Se ensayó la planta para su posterior identificación aplicando un tren de escalones a las variables independientes o manipulables. Este tren de escalones es el de la figura 6.5.

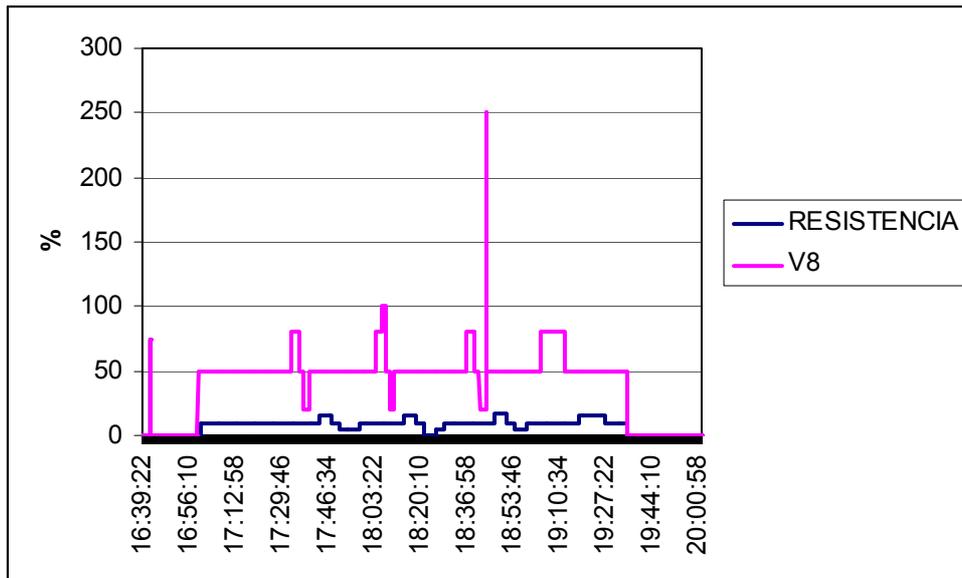


Figura 6.5.- Tren de escalones para el ensayo del sistema

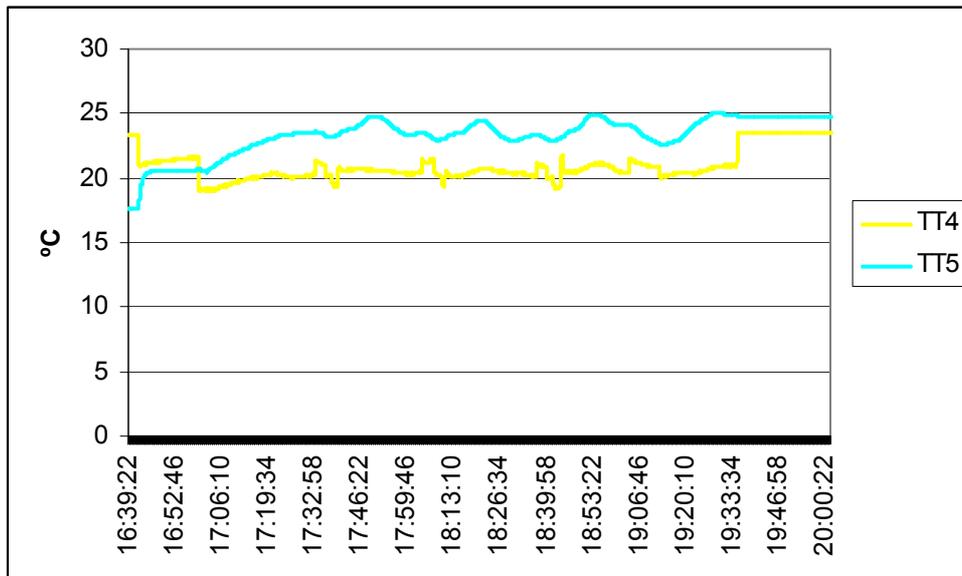


Figura 6.6.- Respuesta de temperaturas en el ensayo

El rango de valores utilizado es el siguiente:

- V8 entre 0 y 100%
- RES entre 0 y 20%

ARCHIVO DE CONFIGURACION PARA LA EXTRACCIÓN DE DATOS

Como ya sabemos, ha de crearse un archivo en el que se especifiquen los datos que se van a tomar de la planta. En nuestro caso se configuró de forma que se tomaran datos de todas las variables disponible de la planta completa, aunque en realidad no todos fueran necesarios.

A continuación se muestra el archivo de configuración utilizado, en el cual se puede observar: el dispositivo de comunicación Cim-IO, CIOOPCCUBE1; la lista de datos, tomada de forma general a -1; el tiempo de muestreo utilizado, 2 segundos; el número de muestreos totales, 5400 que dan para 3 horas de recolección, y el nombre de las variables que vamos a recoger.

```
!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:
```

Figura 6.7.- Archivo de configuración para Collect

6.3.3.- Modelado del sistema

Una vez extraídos los datos de la planta mediante Collect/Extract tenemos que identificar el sistema a controlar.

Como ya se comentó en su momento ésta es una tarea bastante crítica en la implementación del controlador, ya que el modelo que obtengamos se utiliza para realizar las predicciones de las señales, las cuales luego utiliza el controlador. Es por ello por lo que debe emplearse todo el tiempo necesario en esta tarea hasta conseguir un modelo que se aproxime con la máxima fidelidad al sistema real.

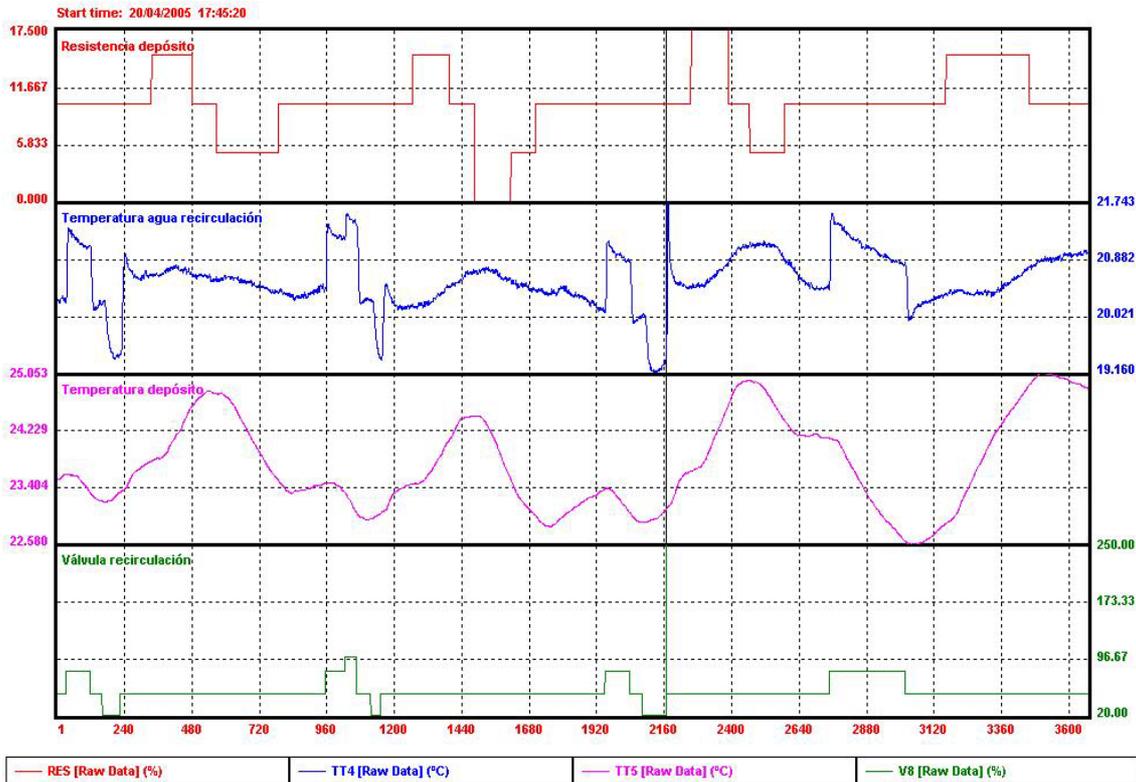


Figura 6.8.- Datos extraídos del ensayo del sistema

En la figura anterior podemos ver gráficamente los datos tomados durante el ensayo de la planta. Hay que hacer notar que los datos pueden llevar a veces algún error, como se ve en la figura 6.8 donde los valores de la válvula (en verde) llegan a tomar valores de más de 100% en un par de muestras. Por ello se deben analizar estos datos y adoptar las medidas necesarias para eliminar los errores.

Pasamos luego a tratar de identificar el sistema probando con diferentes casos de identificación. Es recomendable realizar varios casos de identificación con el objetivo de obtener la mejor identificación posible, probando con distintos tiempos de establecimiento, número de coeficientes y algoritmos de identificación.

Además es interesante tener algún conocimiento previo del sistema que se va a identificar, ya que nos permitirá reducir el rango de posibilidades en la identificación

del sistema, con el consiguiente ahorro de tiempo. Sin embargo no es imprescindible el conocimiento previo del sistema.

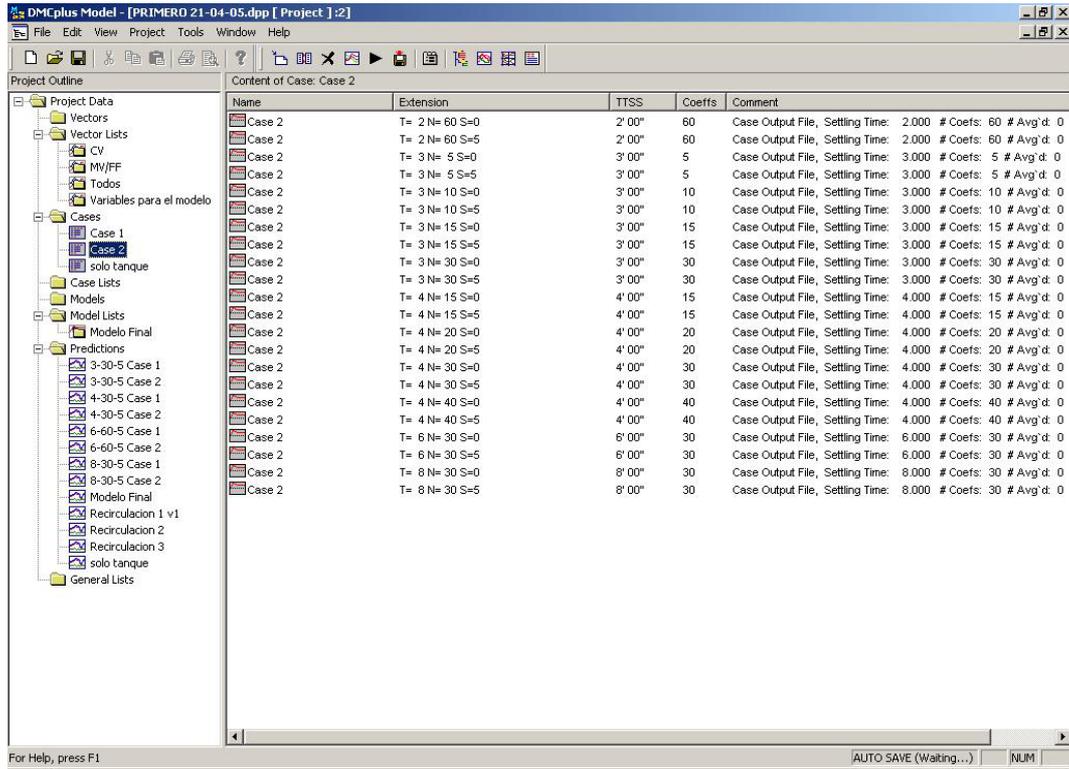


Figura 6.9.- Múltiples casos de identificación para obtener el mejor

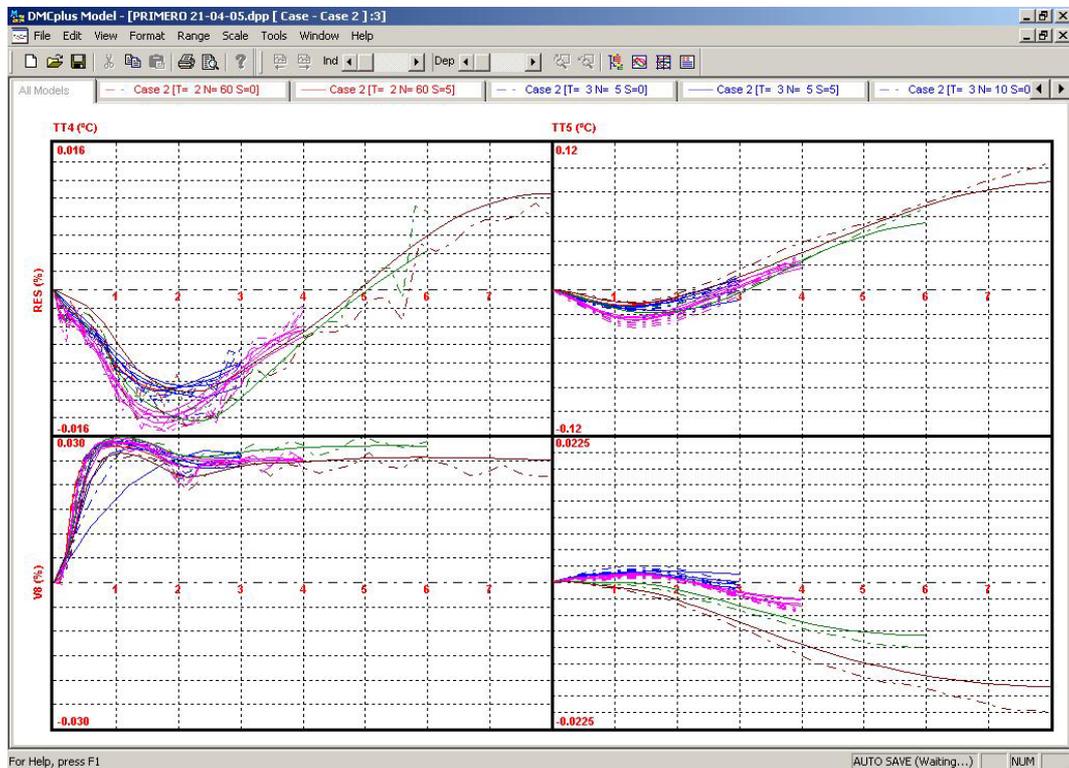


Figura 6.10.- Casos de identificación de forma gráfica

Finalmente creamos un modelo final del sistema que nos aproxima el sistema a controlar de forma aceptable. Nuestro modelo queda como se muestra a continuación.

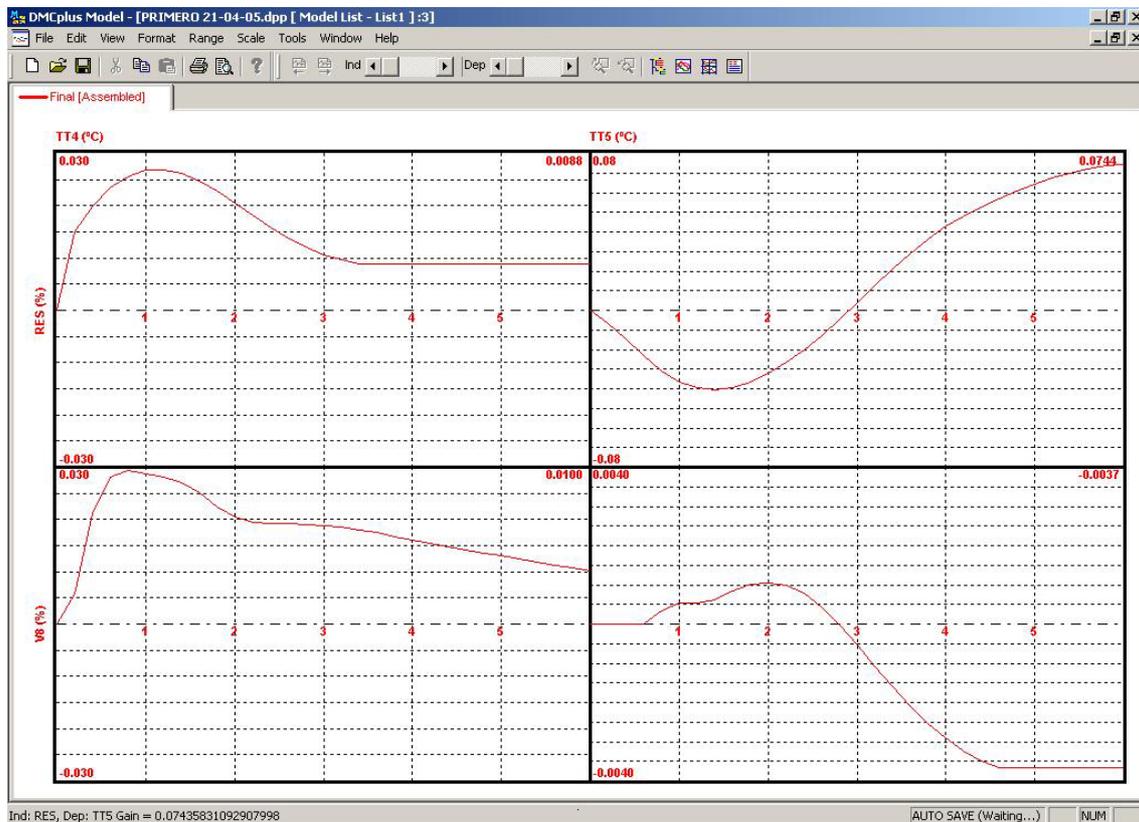


Figura 6.11.- Modelo final del sistema (V8,RESISTENCIA)-(TT4,TT5)

El modelo anterior se obtuvo tras añadir curvas provenientes de varios casos de identificación distintos así como de una serie de modificaciones realizadas sobre las mismas curvas de respuesta. Para la realización de estas modificaciones nos apoyamos en las predicciones generadas por el modelo, en las cuales podemos ver el ajuste de los valores predichos por el modelo y los datos reales tomados de la planta.

En este modelo se tiene que el tiempo de establecimiento o de Steady State es de 6 minutos, dando un margen suficiente para que la temperatura del depósito pueda estabilizarse de forma adecuada. Además las ganancias en el Steady State:

$$\begin{matrix} & \text{TT4} & \text{TT5} \\ \text{RES} & \begin{bmatrix} 0.0088 & 0.0744 \end{bmatrix} \\ \text{V8} & \begin{bmatrix} 0.0100 & -0.0037 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

siendo estos valores las ganancias en régimen permanente. Aunque los valores parezcan extraños debe recordarse que se han usado como valores típicos de cambio de las variables el 5% y el 50% para RES y V8 respectivamente y 1 °C para las dos temperaturas.

También puede parecer extraña la forma que adquieren algunas curvas de respuesta, aunque ha de tenerse en cuenta que estamos trabajando en un entorno real, en el cual no suelen obtenerse resultados demasiado parecidos a los estudiados teóricamente. Sin embargo basta comprobar la predicción generada por el modelo que se ha utilizado para ver que es un modelo aceptable del sistema.

Nuestro modelo final genera las predicciones mostradas en la figura 6.12, en las cuales se aprecia que la dinámica del sistema real queda bastante bien reflejada.

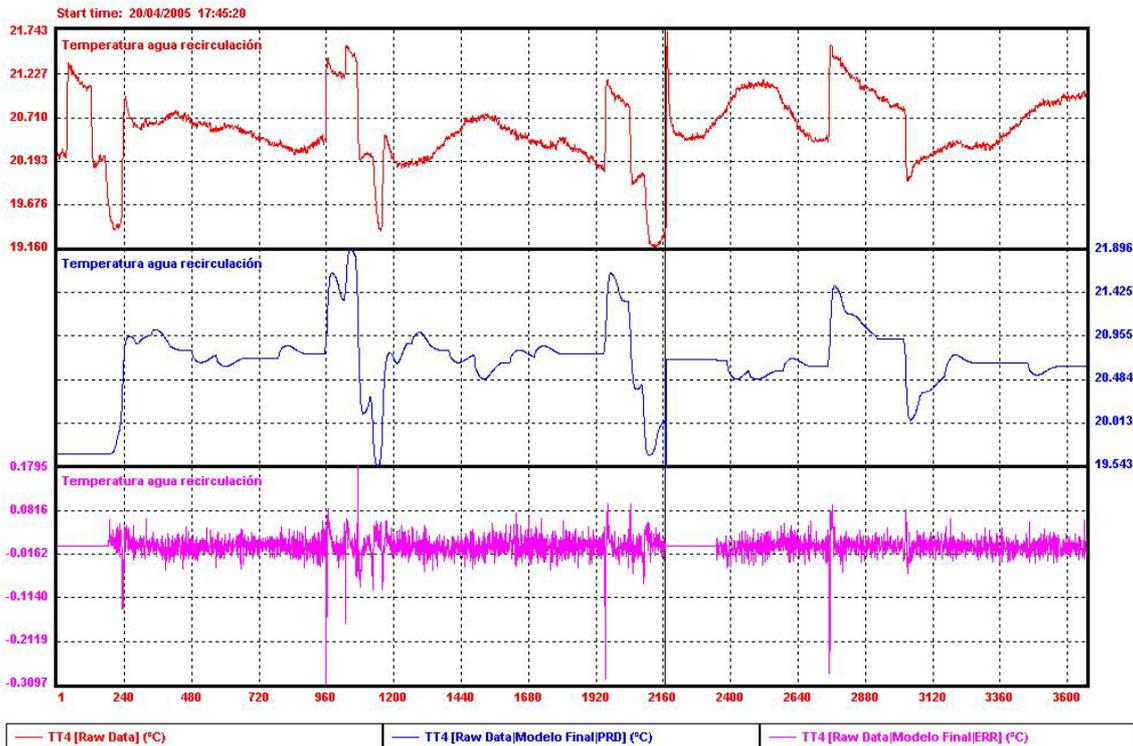


Figura 6.12.- Predicciones y datos reales para TT4

El otro aspecto que nos interesa del modelo, aparte de su dinámica es su ganancia. Volviendo a la predicción del modelo se observa que las ganancias referentes a TT4 (real en rojo, predicción en azul, error en rosa) están bien ajustadas ya que los picos observados en los datos y en la predicción son bastante parecidos en forma y tamaño. Sin embargo para la temperatura del depósito TT5 (real en rojo, predicción en azul, error en azul) los valores de las ganancias no son los adecuados, ya que si observamos el gráfico como en el caso anterior vemos que aunque la dinámica se aproxima bien no es ése el caso de los valores que se alcanzan.

Con todo, como se verá más adelante, utilizando el modelo mostrado anteriormente, el sistema puede ser controlado de manera muy aceptable.

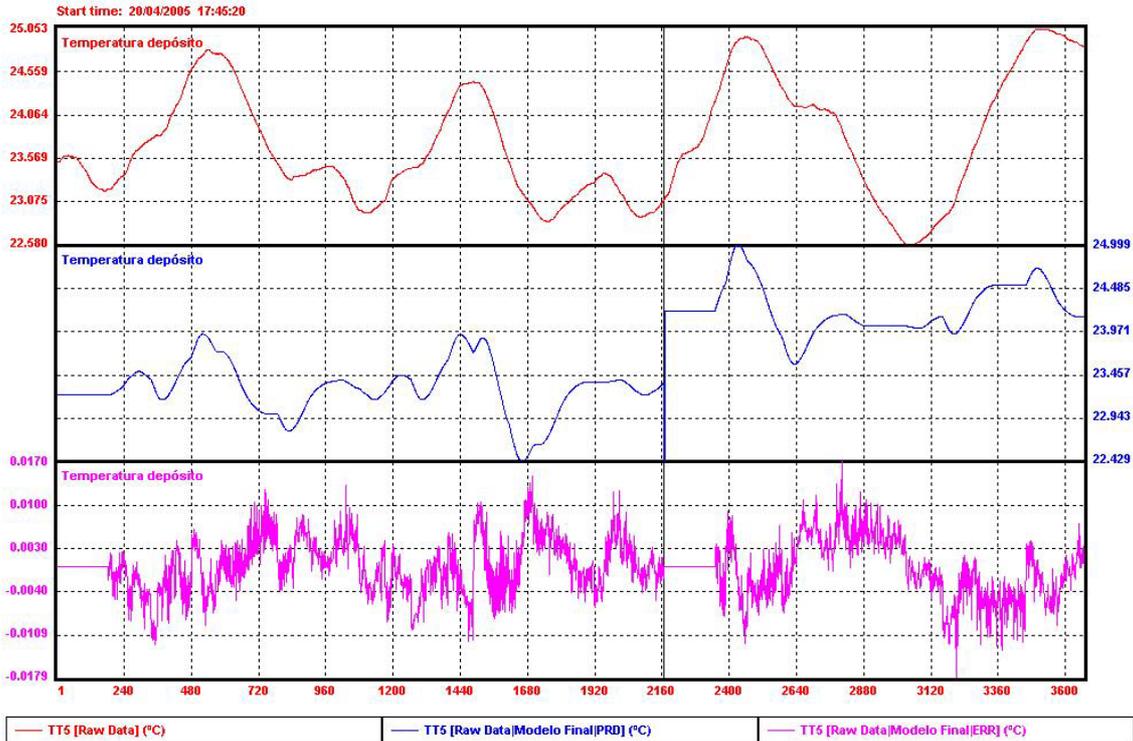


Figura 6.13.- Predicciones y datos reales para TT5

6.3.4.- Configuración del controlador

Obtenido el modelo del sistema que vamos a controlar hemos de configurar el control que queremos ejercer. Para ello daremos los valores que deseemos a las entradas de Build correspondientes.

En nuestro caso se optó por:

- Solución del punto de operación: solución lineal (Linear Program, LP).
- Ranking de restricciones: un único grupo con las limitaciones de las dos variables controlables.
- Costes de las variables manipulables: para la válvula V8 se tomó un valor de 10, mientras que a la resistencia, debido a que es un elemento mucho más delicado que la válvula, se le asignó un coste variable con su uso, siendo

$$CST = 10 \cdot RESISTENCIA$$

- Límites de operación de las variables manipulables: se tomaron fijos en unos valores que aseguraran una operación de la planta de forma segura. Dichos valores fueron

	V8	RESISTENCIA
Límite inferior	0	0
Límite superior	100	20

- Límites para las variables a controlar: estos son los límites que definen el rango en el que debe encontrarse el punto de operación de las variables. Se definieron de forma que fueran leídos desde Cube, dejando así la posibilidad de modificarse de forma interactiva.

A continuación pueden verse de forma detallada todas las entradas definidas en nuestro controlador gracias al resumen generados por Build.

ENTRADAS DEL CONTROLADOR

CCF Summary for DMCplus Controller CONTROLFINAL

Report generated by DMCplus Build on 17-may-05 16:25:09

File Names

CCF: controlfinal.ccf
Model: ModeloFinal.mdl
Template: default.tcc

Controller Size

2 Independents (2 MVs, 0 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_VIND
V8	MV	REAL PLANTA\V8_VIND

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	6.0	
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	12	
DEFSOLT	Default Rank Group Soluti	CFG	BUILD	0	
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	2	
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		ModeloFinal.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	6	
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	LOCAL	0.	
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	0	
NGDDEP	Minimum Good CVs	GEN	LOCAL	2	
NGDMAN	Minimum Good MVs	GEN	LOCAL	1	
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	CONS	0.	
DESCIND	Description	IND	LOCAL		Resistencia del depó
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	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 Indicat	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.	""::"PLANTA\V8_SST":REAL:
SSSTEP	Maximum Steady-State	MV	LOCAL	100.	
SUPMOV	Move Suppression	MV	LOCAL	1.	
TYPMOV	Typical Move	IND	LOCAL	25.	
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.	
""::"PLANTA\V8_VIND":REAL:					
VINDSP	Setpoint Output Value	PV	PWRITE	0.	""::"PLANTA\V8_SP":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	Temperatura de recibir	
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	LOCAL	17.	
LDPENGL	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	
SHPDEP	Shadow Price	DEP	LOCAL	1000.	
SREDEP	Engineer Service Indicato	DEP	LOCAL	1	
SRVDEP	Operator Service Indicat	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	LOCAL	30.	
UDPENGL	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	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	
ECELPU	Steady-State Upper Equal	DEP	LOCAL	1	
ENGDEP	Engineering Units	DEP	CONS	°C	
LDEPTG	Lower Limit	DEP	LOCAL	20.	
LDPENGL	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	
SHPDEP	Shadow Price	DEP	LOCAL	1000.	
SREDEP	Engineer Service Indicato	DEP	LOCAL	1	
SRVDEP	Operator Service Indicat	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	LOCAL	50.
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":DBVL:

Calc Functions

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

6.3.5.- Simulación del controlador

Este es el paso previo que debe darse antes de ejecutarse el controlador sobre la planta con el fin de asegurarnos de que su funcionamiento va a ser el adecuado y modificar si es necesario aquellos parámetros del controlador que necesiten un ajuste.

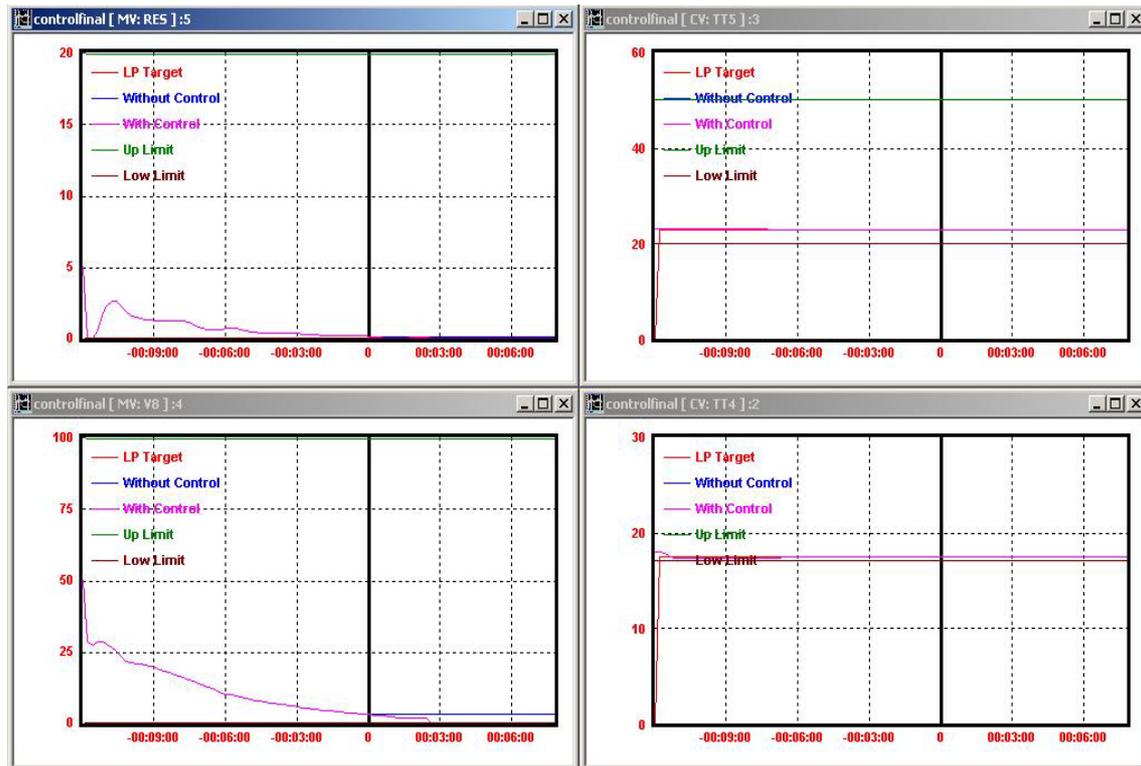


Figura 6.14.- Simulación del controlador

En esta simulación pudimos comprobar un correcto funcionamiento del controlador, pese a las limitaciones el modelo ya comentadas y que sabíamos que se arrastraban desde entonces.

Como ejemplo de la simulación realizada se muestra en la página siguiente el resumen generado por Simulate de la simulación de la figura 6.14.

Current Time: 17-May-2005 16:37:44

VERSION: 6.0.0

PROGRAM: controlfinal

SOURCE: DIAGNOSTIC

Time for Calculations (MM-DD-YYYY HH:MM:SS): 17-May-2005
16:34:19

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	-	1
MINIMUM NUMBER OF CONTROLLED	-	2
CONTROLLER INTERVAL (SECONDS)	-	12
COUNTDOWN RESET VALUE	-	30.00000
MV OPTIMIZATION TYPE	-	LP
LP OBJECTIVE FUNCTION VALUE	-	-32.47025

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	0.1801	3.2146
VIND OUT	0.1691	3.0885
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	0.0000	0.0000
TGT RATIO	0.0003	0.0002
CURR MOVE	-0.0110	-0.1261
MANACT	LOW 2	LOW 2
RESOLUTN	0.0000	0.0000
MAX MOVE	20.0000	100.0000
SS STEP	20.0000	100.0000
SS COST	1.8007	10.0000
SS CRITER	0	0
LOOP STAT	1	1
AWS CODE	0	0
REVR5 IND	0	0
TRACK IND	0	0
SHD PRICE	1.8007	10.0000
MOVE SUPP	1.0000	1.0000
LP UNIT MV	14.8373	120.4852
CM UNIT MV	31.4805	60.1505
INDFLG	0	0
FUTMOV 1	0.1691	3.0885
FUTMOV 2	0.1453	2.9835
FUTMOV 3	0.1122	2.8930
FUTMOV 4	0.0770	2.7799
FUTMOV 5	0.0431	2.5395
FUTMOV 7	0.0357	2.1367
FUTMOV 10	0.1301	1.7961
FUTMOV 14	0.0001	0.0002

DEPENDENT VARIABLES 1- 2

=====

	TT4 °C	TT5 °C
	-----	-----
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	30.0000	50.0000
OPER HIGH	30.0000	50.0000
DEP	17.4370	22.8235
DEP INPUT	17.4370	22.8235
OPER LOW	17.0000	20.0000
OPER LO IN	17.0000	20.0000
ENGR LOW	0.0000	18.0000
VALID LO	0.0000	18.0000
TARGET	17.4558	22.8123
CV RANK LO	10	10
CV RANK HI	10	10
CV TYPE LO	LP 0	LP 0
CV TYPE HI	LP 0	LP 0
DEPACT	0	0
LP ERROR	0.0000	0.0000
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

Puesta en marcha de herramienta de control DMC en una planta de laboratorio

AV PR ERR	0.0000	0.0000
AC PR ERR	0.0000	0.0000
PRED INIT	NO 0	NO 0
TRACK IND	0	0
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	17.4386	22.8228
PRED	2	17.4422	22.8220
PRED	3	17.4464	22.8212
PRED	4	17.4507	22.8205
PRED	5	17.4547	22.8199
PRED	6	17.4583	22.8194
PRED	7	17.4617	22.8189
PRED	8	17.4648	22.8185
PRED	10	17.4697	22.8178
PRED	12	17.4738	22.8171
PRED	15	17.4791	22.8161
PRED	20	17.4855	22.8149
PRED	25	17.4887	22.8140
PRED	32	17.4895	22.8138
PRED	39	17.4895	22.8138

PFMDEP	1	17.4377	22.8228
PFMDEP	2	17.4383	22.8223
PFMDEP	3	17.4390	22.8221
PFMDEP	4	17.4395	22.8221
PFMDEP	5	17.4388	22.8225
PFMDEP	6	17.4377	22.8229
PFMDEP	7	17.4369	22.8233
PFMDEP	8	17.4341	22.8233
PFMDEP	10	17.4362	22.8213
PFMDEP	12	17.4389	22.8180
PFMDEP	15	17.4089	22.8157
PFMDEP	20	17.4093	22.8139
PFMDEP	25	17.4297	22.8127
PFMDEP	32	17.4411	22.8138
PFMDEP	39	17.4520	22.8131

Non Standard Buffer Variables

BARISC001	1
DESCIND001	Resistencia del depósito
ENGIND001	%
BARISC002	1
DESCIND002	Válvula de recirculación
ENGIND002	%
BARDSC001	1

DESCDEP001	Temperatura de recirculación
ENGDEP001	°C
BARDSC002	1
DESCDEP002	Temperatura del depósito
ENGDEP002	°C
ABSRES	0.1690691
ABSV8	3.0884686

Controller Interface Message Log -- DUMP

Para mayor información sobre las entradas mostradas dirigirse al anexo correspondiente.

6.3.6.- Aplicación del control

Tras haber realizado la simulación y haber comprobado que el funcionamiento del controlador se correspondía con lo que deseamos se procedió a la ejecución en línea del controlador.

Para ello lo primero que tenemos que hacer es poner en marcha Cube y la planta, así como lanzar la interface OPC de Cim-IO para poder comunicar con la planta.

Seguidamente hay que crear una carpeta en el directorio

C:\Archivos de programa\AspenTech\AC Online\app\

en la que introduciremos nuestro controlador .ccf y el modelo asociado .mdl, en nuestro caso “CONTROL.CCF” y “MODELOFINAL.MDL”.

Una vez creada la carpeta simplemente se cargó el nuevo controlador y se lanzó su ejecución, la cual comenzó desde el mismo momento ya que las entradas ONREQ y ONSTS no encontraron problemas para el comienzo del controlador.

6.4.- Resultados del control

En este apartado se mostrarán algunos resultados obtenidos al ejercer el control DMC sobre el sistema descrito en los apartados anteriores.

6.4.1.- Solución LP (Linear Program)

Como ya se comentó, se utilizó un controlador que obtenía las soluciones de forma lineal. Se realizaron varios ensayos del controlador de forma que se forzara la consecución de unos valores por parte de las variables dependientes TT4 y TT5, comprobándose así el funcionamiento del control mediante DMCplus.

PRIMER ENSAYO

En las figuras 6.15 y 6.16 se muestran los movimientos de las variables manipulables y controlables del sistema cuando especificamos los siguientes límites de operación para las variables TT4 y TT5:

	TT4	TT5
Límite inferior	17	20
Límite superior	22	30

Puede observarse un comportamiento bastante aceptable del controlador, en concreto para la variable TT5 se ve que ésta sigue de forma fiel al Set Point (SP) marcado por el controlador y situado en un valor cercano al límite inferior. Sin embargo, aunque la variable TT4 también sigue claramente a su SP, éste se va fuera de los límites de operación especificados. En estos casos el control nos indicaría esta situación aunque no deja de actuar debido a que el rango válido de operación y el rango de ingeniería (entradas LDPENG, LVLDEP, UDPENG y UVLDEP) se definieron con valores mayores que engloban al rango de operación, por lo que el controlador seguirá ejecutándose e intentando hacer regresar a las variables a su zona de operación. Hay que recordar que no siempre es posible encontrar un punto de operación válido para todas las variables.

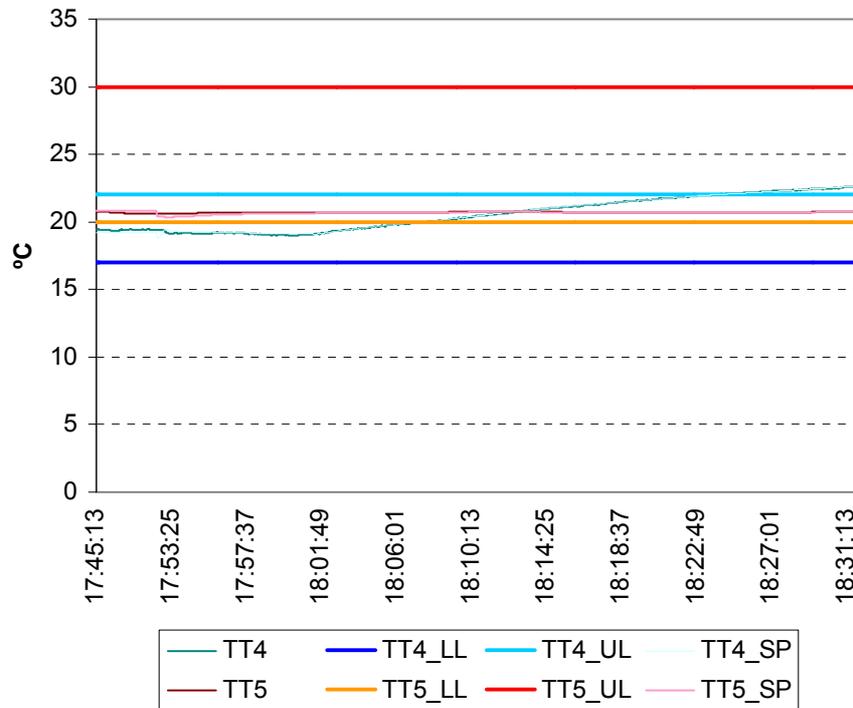


Figura 6.15.- Evolución de las variables

De todas formas el experimento en cuestión tuvo el problema comentado debido a que se comenzó la ejecución del control antes de que el sistema hubiese estado en un punto estable, con lo cual las variables aún no se habían establecido en un valor fijo.

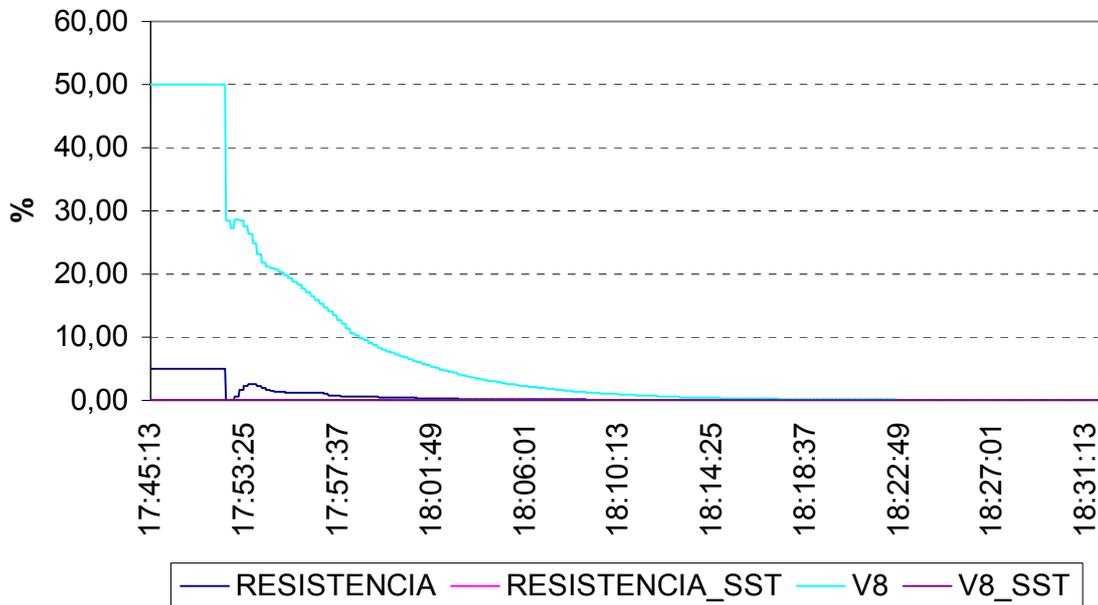


Figura 6.16.- Señales de control aplicadas

En cuanto a las señales de control podemos destacar que en el gráfico no aparecen los valores de Steady State (SS) de ninguna de las dos variables. Esto se debe a que ambos valores son nulos, es decir, el controlador ha establecido que ambas variables han de ser conducidas a cero, cosa que se observa también en la evolución de sus valores.

SEGUNDO ENSAYO

En este caso, como se puede ver en la tabla, se forzó a que la temperatura de recirculación adquiriese un valor fijo. Por el contrario se relajó el rango para la temperatura en el depósito con el fin de permitir que el controlador pudiese conducir a TT4 al valor especificado sin problemas.

	TT4	TT5
Límite inferior	23	20
Límite superior	23	35

Se trata de ver la capacidad que tiene el controlador para encontrar una solución válida del problema cuando se le obliga a que alguna variable tenga un valor fijo.

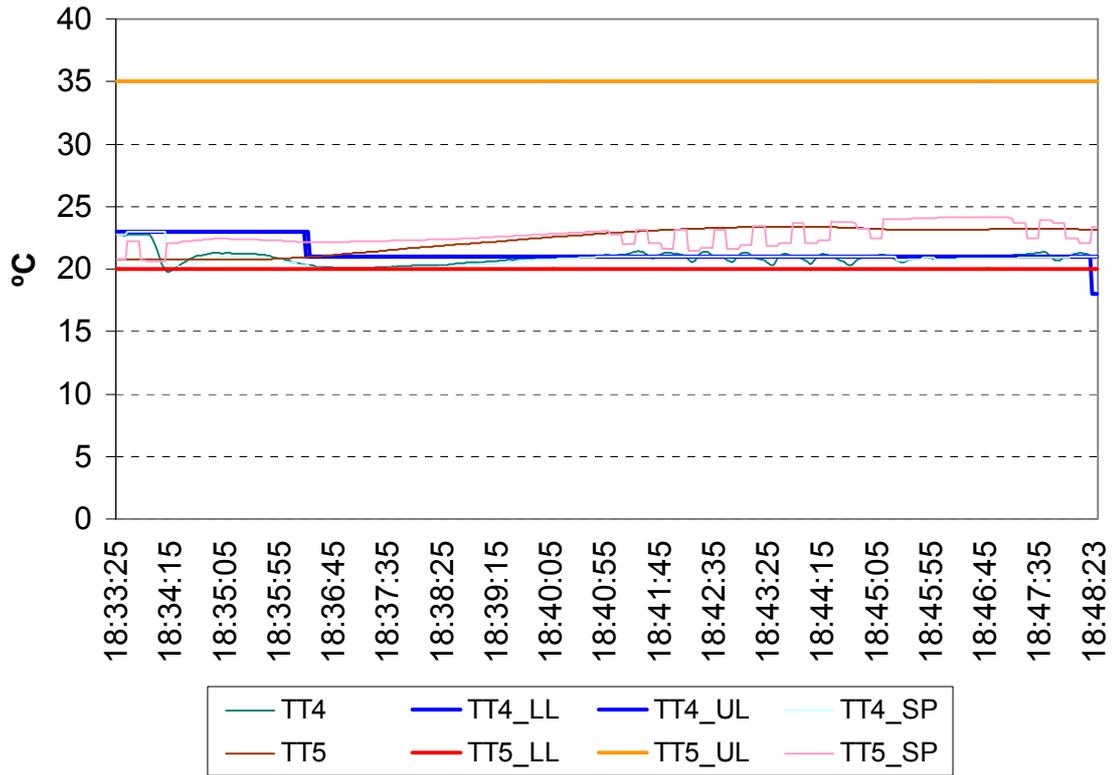


Figura 6.17.- Evolución de las variables

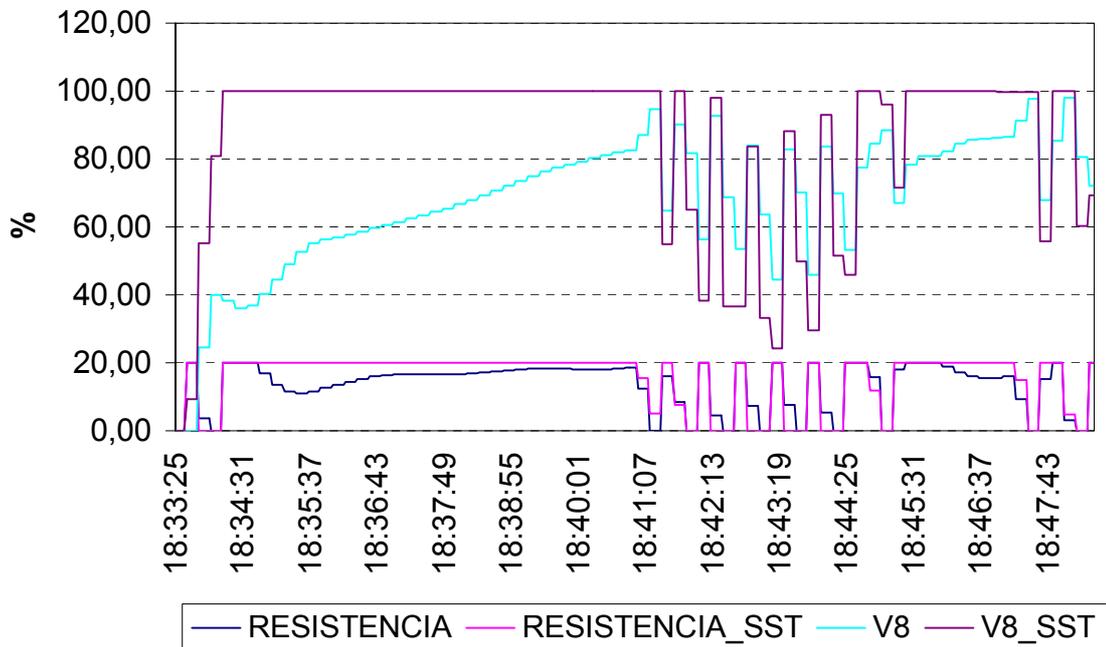


Figura 6.18.- Señales de control aplicadas

Puede observarse que el control de las temperaturas se lleva a cabo de forma adecuada, es decir, mantiene a la variable TT5 dentro del rango definido para su punto de operación mientras que la temperatura de recirculación, con las oscilaciones propias de

los procesos reales, se ajusta de forma más que aceptable al valor que se especificó. Por otro lado ha de comentarse la evolución que presentan las variables manipulables. Salta a la vista que ambas variables siguen en gran medida a sus valores SS aunque a veces no llegan a alcanzarlo completamente. Esto se debe al funcionamiento propio del control predictivo. El controlador establece un valor SS al que debe conducirse a la variable manipulable al final del horizonte de predicción (recordemos que pusimos 6 minutos). Entonces el propio controlador comienza a mover las variables con el propósito de dirigir las a dichos valores, aunque no de forma drástica, ya que los movimientos fuertes de las variables están restringidos en la configuración del controlador. De esta forma, cuando la variable comienza a dirigirse a su punto SS, el controlador puede que cambie su SS a otro nuevo para mantener las temperaturas en los valores dados, por lo que también debe cambiar la evolución de las variables manipulables sin que éstas llegaran a alcanzar el punto SS anterior.

TERCER ENSAYO

Éste es el caso contrario al anterior, es decir, se marca un valor fijo para la temperatura dentro del depósito mientras que se mantiene un rango relativamente amplio para la temperatura de recirculación.

	TT4	TT5
Límite inferior	18	25
Límite superior	22	25

En este experimento en principio podríamos suponer que vamos a tener problemas ya que si recordamos, el modelo que estamos utilizando de nuestro sistema tenía ciertas limitaciones en cuanto a la ganancia de la temperatura del depósito ante cambios de las variables independientes. Por lo tanto este es un buen experimento para ver la capacidad de control de los controladores realizados con DMCplus.

Sin embargo al analizar los resultados mostrados en las figuras 6.19 y 6.20 vemos que el controlador que estamos utilizando responde satisfactoriamente a las imposiciones que se le dieron. La temperatura de recirculación se mantiene dentro del rango especificado, aunque a veces roce uno de los límites (siempre que se abre la válvula V8 para refrigerar el depósito). Y, aún más importante, es observar cómo la temperatura del depósito se mantiene en el valor dado al controlador antes de comenzar su ejecución.

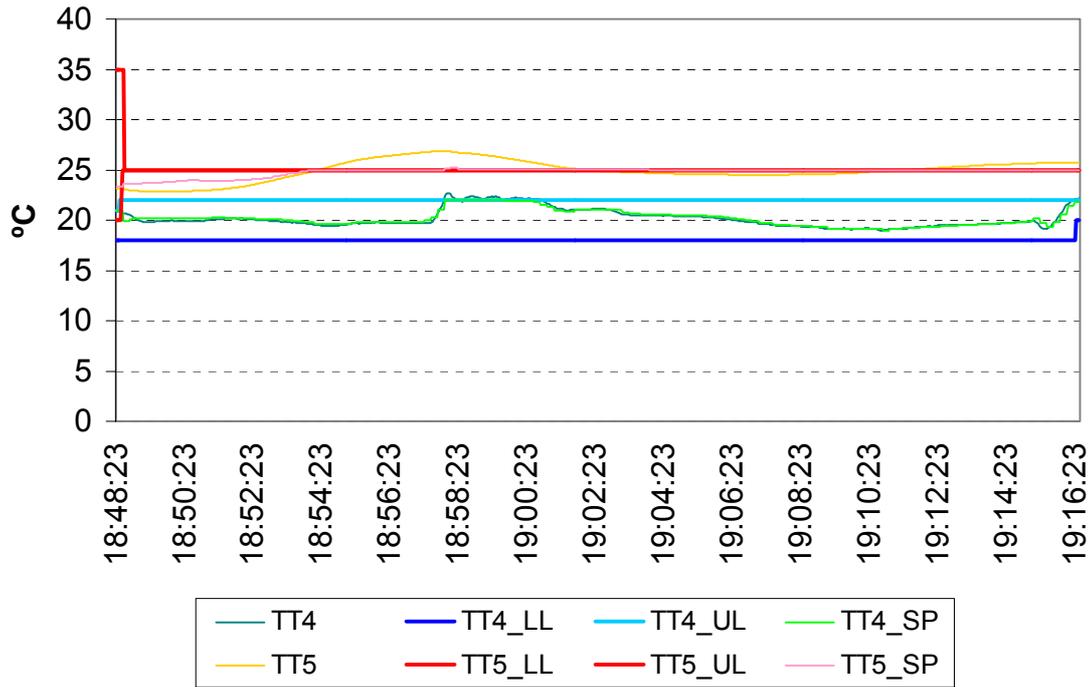


Figura 6.19.- Evolución de las variables

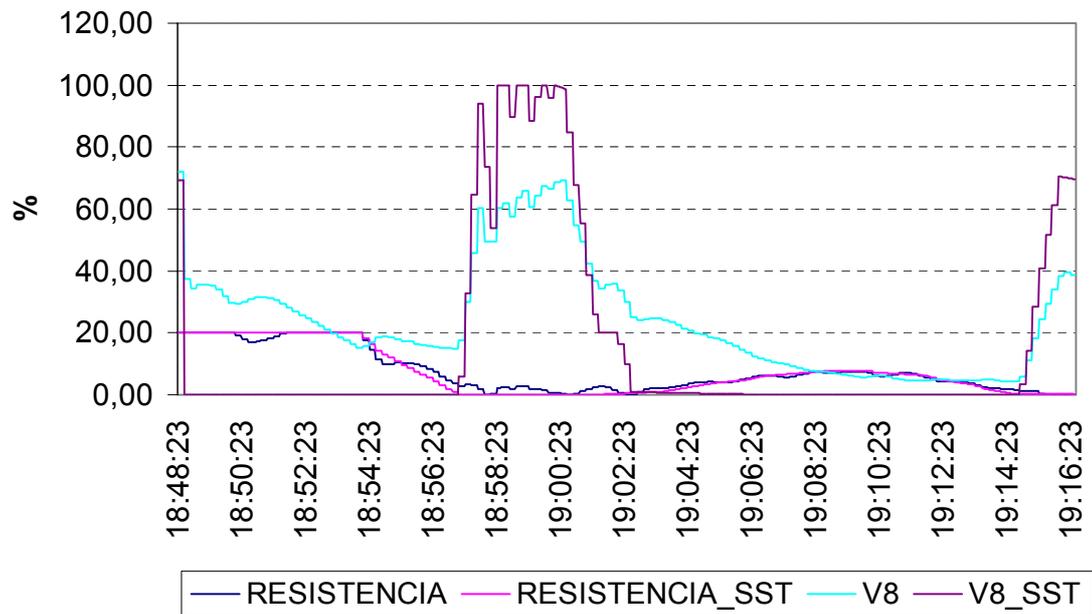


Figura 6.20.- Señales de control aplicadas

CUARTO ENSAYO

Por último en cuanto a la solución lineal se refiere, se probó a controlar la planta de forma que se le especificaban al controlador los valores de las dos temperaturas.

	TT4	TT5
Límite inferior	22	27
Límite superior	22	27

Éste es el caso que más problemas podía tener a priori a la hora de ejecutar el control, ya que se trata de restringir en gran medida la capacidad de búsqueda de solución del problema al controlador.

Sin embargo puede observarse en lo gráficos el resultado, el cual disipa todas las dudas que pudiésemos tener en un principio.

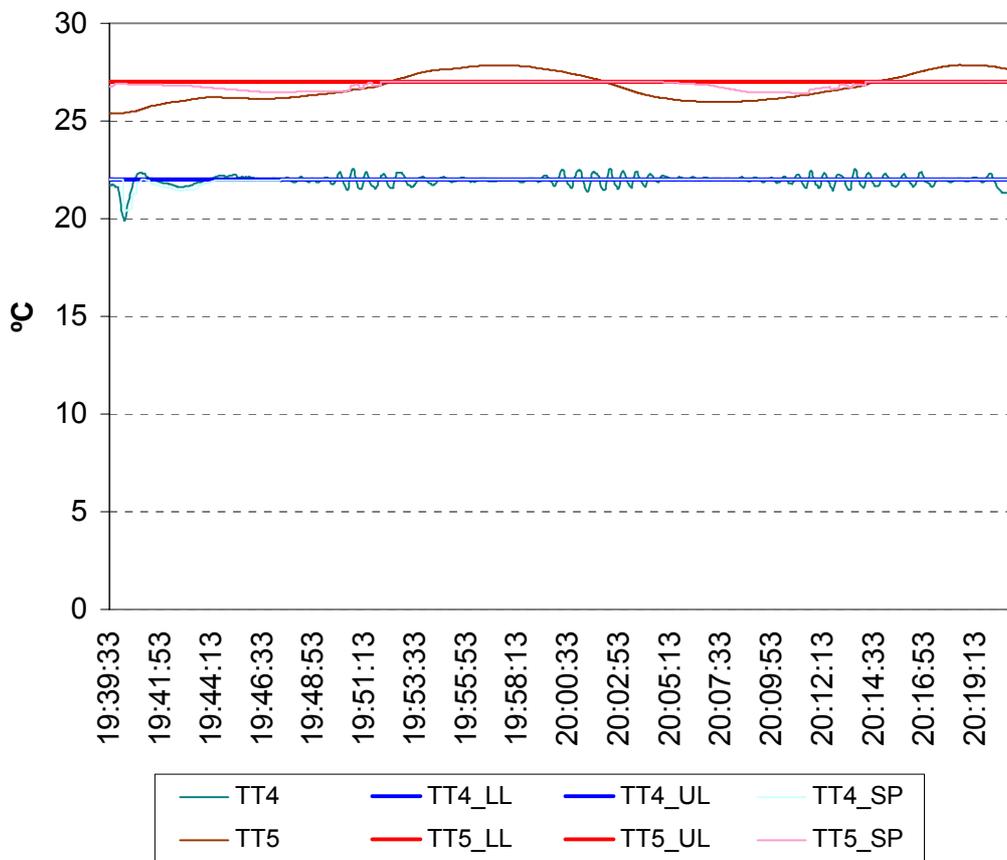


Figura 6.21.- Evolución de las variables

En la figura 6.21 podemos ver con claridad que el controlador lleva a cabo su tarea conforme a los valores especificados, es decir, conduciendo a las temperaturas a los valores que deseábamos. Aunque en dicha gráfica se observa una pequeña oscilación de las temperaturas alrededor de los SP, éstas son algo normal en los procesos de control reales.

En cuanto a las variables manipulables no hay nada nuevo que decir salvo que en este caso necesitan mayores movimientos para poder mantener las variables en sus valores.

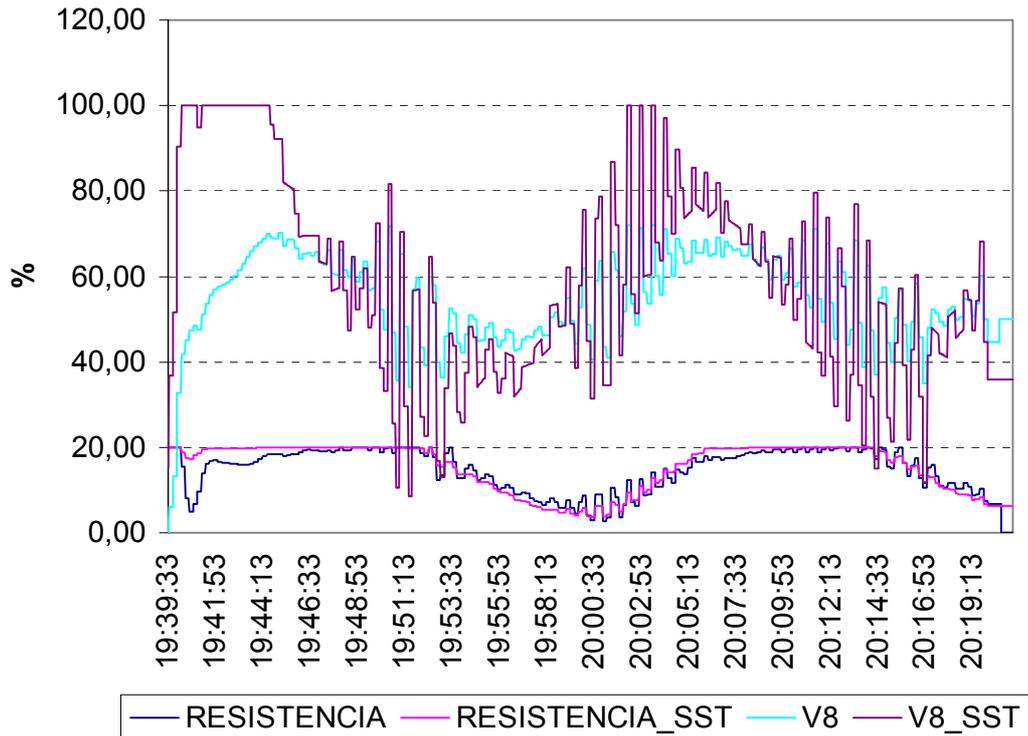


Figura 6.22.- Señales de control aplicadas

6.4.2.- Solución QP (Quadratic Program)

En este caso se realizaron experimentos del mismo tipo que en apartado 6.4.1 pero resolviendo el problema de control de forma cuadrática para probar el funcionamiento del controlador con este tipo de soluciones.

PRIMER ENSAYO

	TT4	TT5
Límite inferior	17	20
Límite superior	22	27

Una vez introducidos los límites para las temperaturas y ejecutado el controlador sobre la planta se comprobó un correcto funcionamiento del sistema ya que las variables TT4 y TT5 se mantienen dentro de los rangos de temperatura especificados, como se muestra en la figura 6.23, además los valores recogidos para las dos temperaturas siguen de manera bastante fiel a los SP marcados por el controlador.

En cuanto a las variables V8 y RESISTENCIA puede verse en este caso que también se ajustan a sus valores de SS, aunque como es normal no lo alcancen cuando cambia de

antes de que se haya cumplido el tiempo de los 6 minutos establecidos en el modelado.

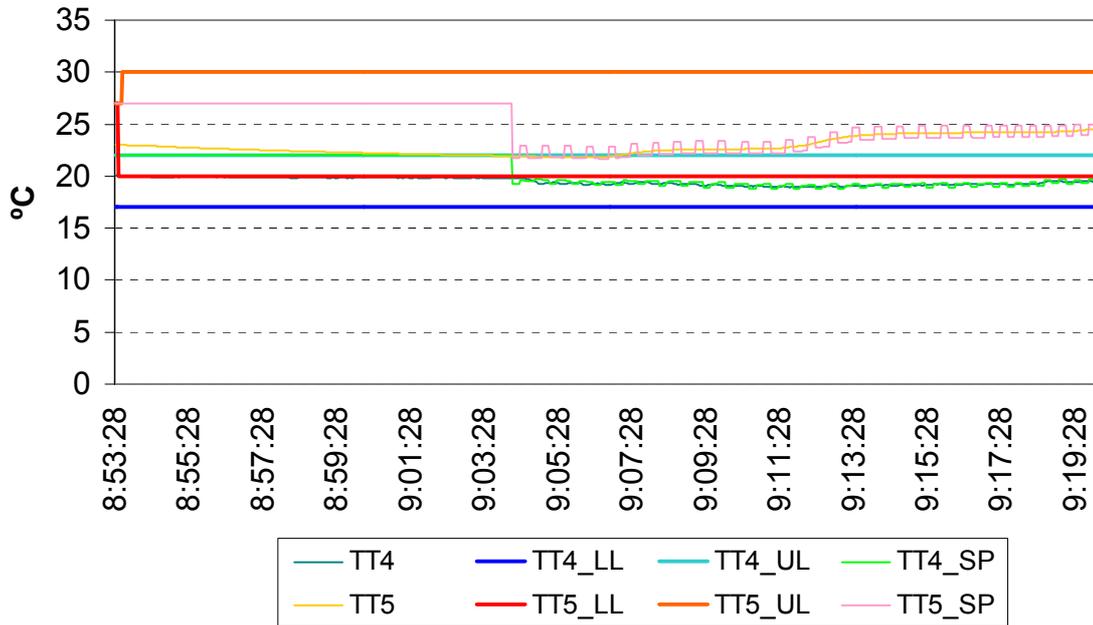


Figura 6.23.- Evolución de las variables

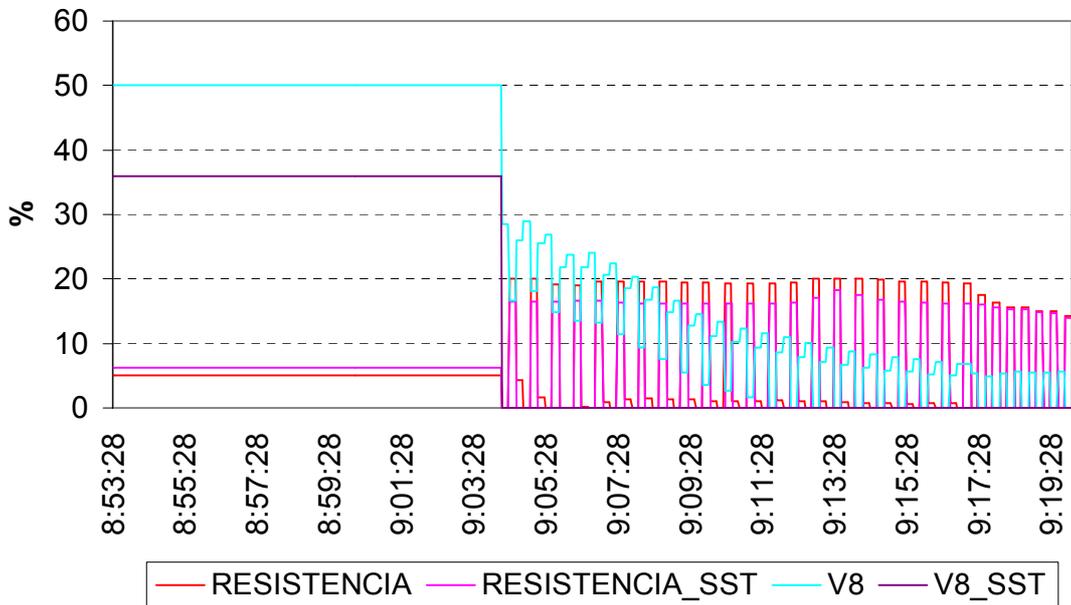


Figura 6.24.- Señales de control aplicadas

SEGUNDO ENSAYO

En este segundo ensayo volvemos a forzar a las temperaturas a que tomen un valor fijo, en este caso la temperatura de recirculación, que se establece en 22 °C mientras se deja un rango amplio para la temperatura dentro del depósito.

	TT4	TT5
Límite inferior	22	20
Límite superior	22	30

Como puede comprobarse en la figura 6.25, la temperatura de recirculación se adapta con facilidad al valor propuesto. Por el otro lado, la temperatura del depósito se mantiene en unos valores dentro del rango dado, siempre cercano al valor medio del mismo, por lo que no existe peligro de que abandone el rango válido de operación.

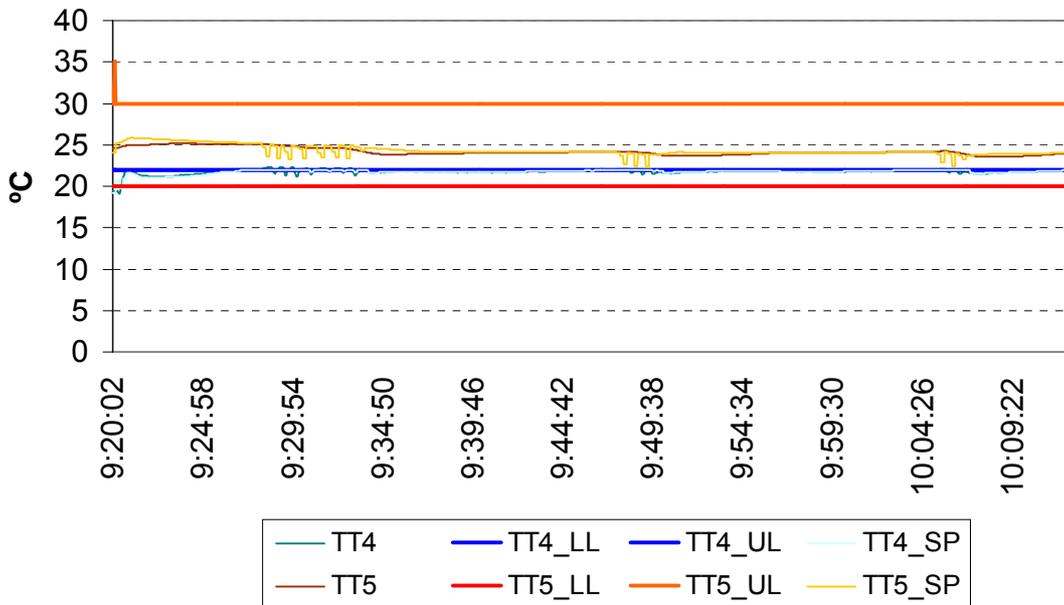


Figura 6.25.- Evolución de las variables

Podemos ver que en este caso las variables manipulables no requieren excesivos movimientos para situar las temperaturas en los valores establecidos. Los movimientos que efectúan se realizan con vistas a situar a TT4 en el valor de los 22 °C siempre que esta temperatura decae un poco. Así se comprueba que las pequeñas oscilaciones en los valores de las temperaturas coinciden con los movimientos de las variables manipulables. Además estos movimientos se realizan de forma más o menos periódica, lo cual es debido a que la temperatura TT4 baja de los 22 °C al pasar de manera

constante por el intercambiador de calor, por lo que cada cierto tiempo ha de incrementarse dicha temperatura.

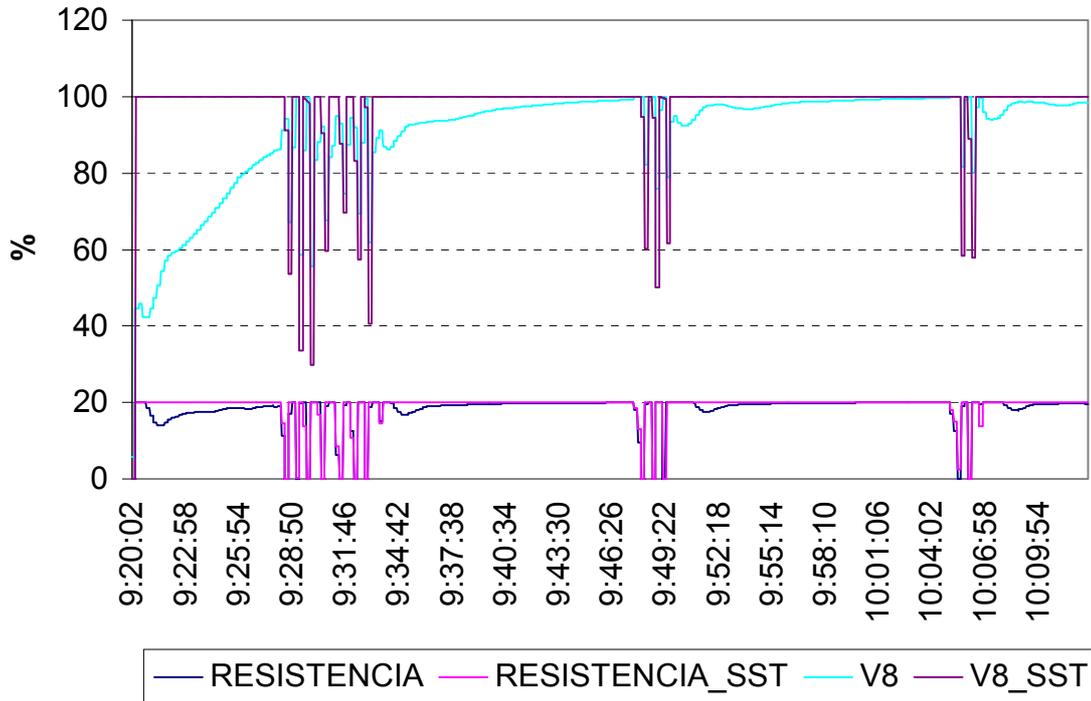


Figura 6.26.- Señales de control aplicadas

TERCER ENSAYO

Al igual que se hizo en el apartado 6.4.1, este experimento es justamente el contrario al realizado en el segundo ensayo del controlador. Se estableció un rango de operación válido para la temperatura de recirculación, mientras que se especificó una temperatura fija para la temperatura del agua dentro del depósito.

	TT4	TT5
Límite inferior	18	25
Límite superior	22	25

Centrándonos en las figuras 6.27 y 6.28 puede decirse que de nuevo el controlador cumple con las especificaciones dadas para su funcionamiento. Como algo a reseñar puede decirse que se aprecian momentos en los que TT4 roza el límite superior, aunque sin mayores problemas. Ésto ocurre cuando para regular TT5 es necesario abrir la válvula de recirculación, lo cual introduce en la recirculación agua caliente.

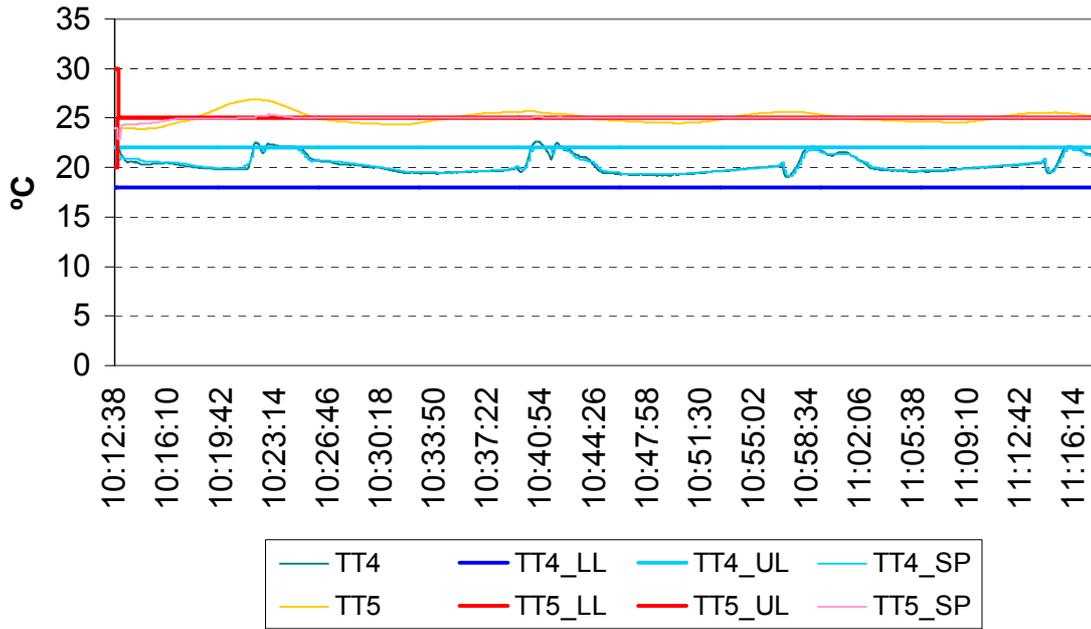


Figura 6.27.- Evolución de las variables

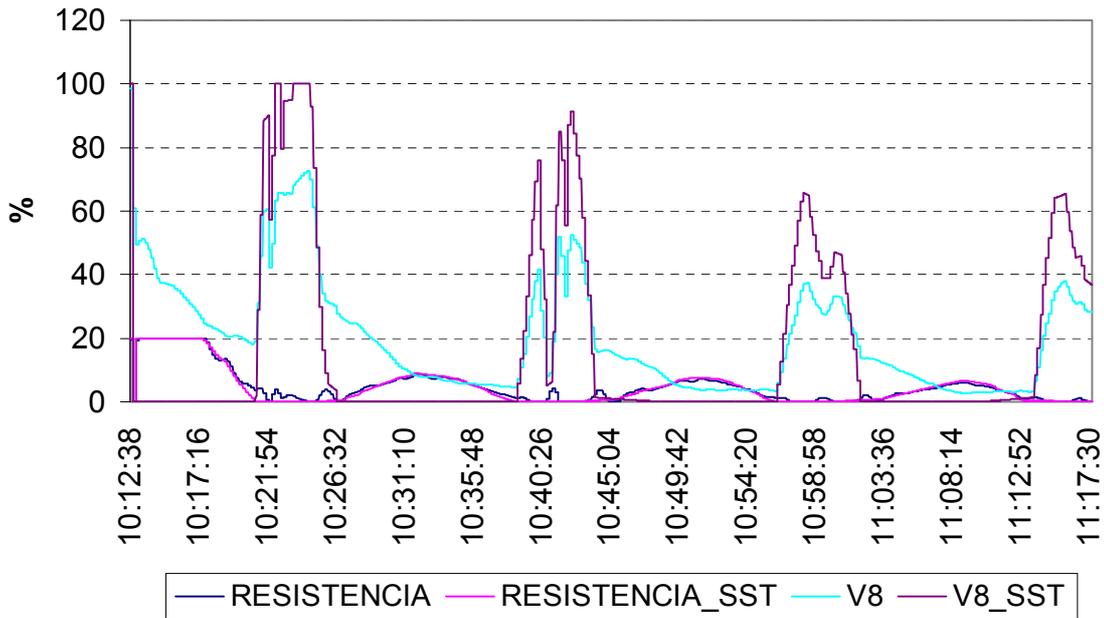


Figura 6.28.- Señales de control aplicadas

CUARTO ENSAYO

Por último se realizó el experimento que más problemas pudiera dar, es decir, hacer que el controlador mantenga las dos temperaturas en un valor fijo. Dichos valores son los que se muestran en la siguiente tabla.

	TT4	TT5
Límite inferior	22	27
Límite superior	22	27

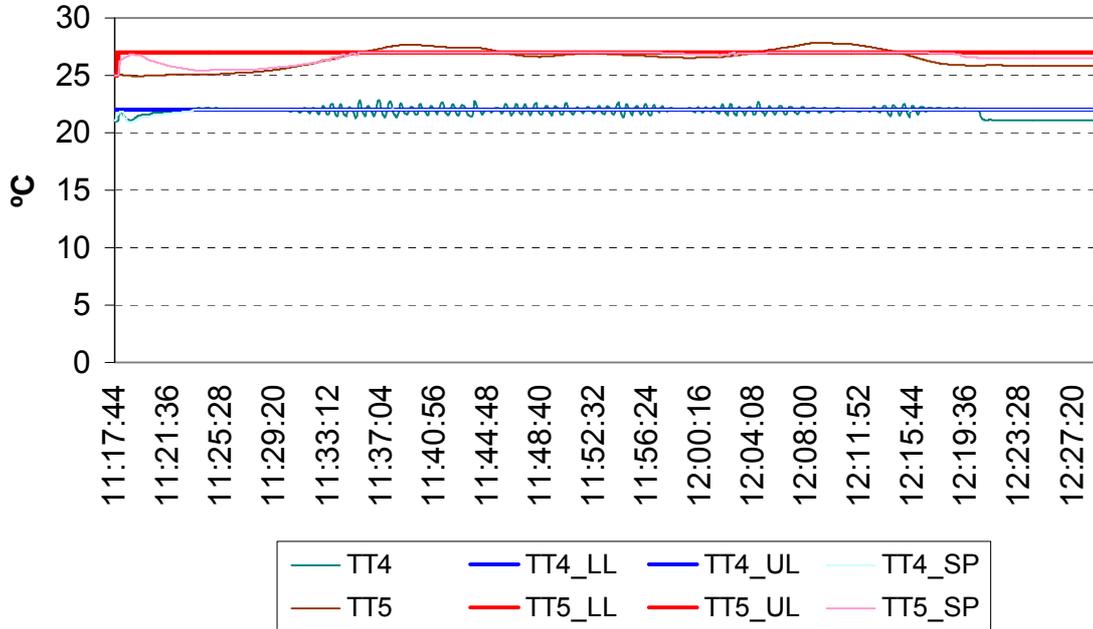


Figura 6.29.- Evolución de las variables

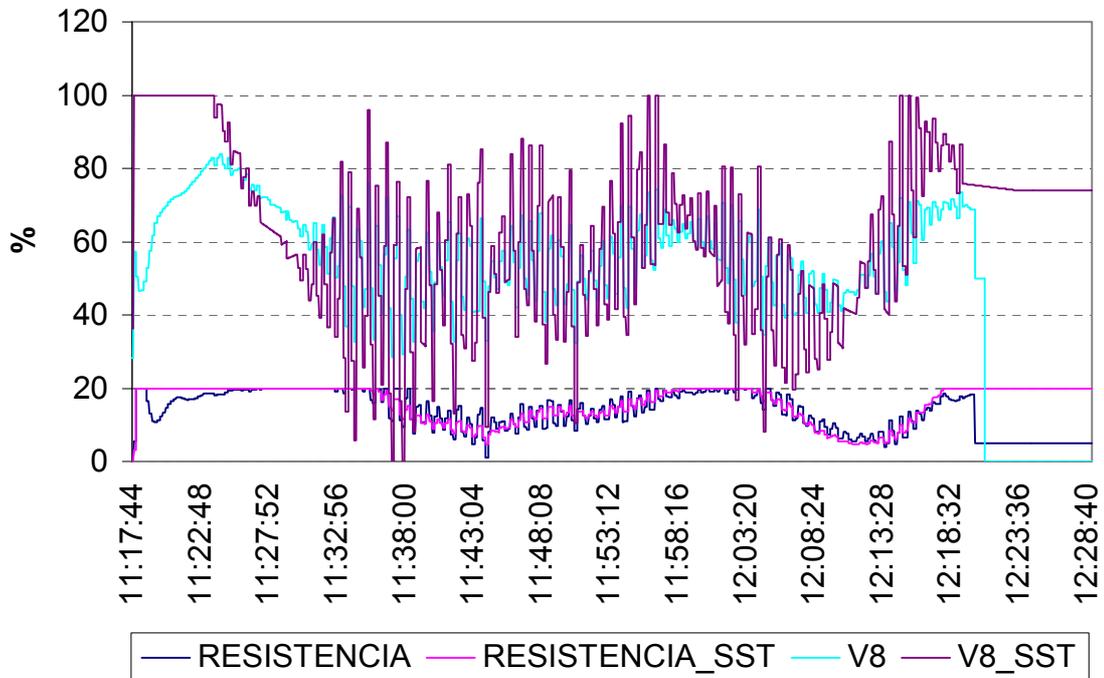


Figura 6.30.- Señales de control aplicadas

Simplemente con observar los resultados mostrados en las figuras anteriores queda de relieve que el funcionamiento del controlador es totalmente aceptable, considerando ahora también las consideraciones dadas en otros apartados sobre las pequeñas oscilaciones de las variables de temperatura y el alcance de los SS por parte de las variables manipulables V8 y RESISTENCIA.

Únicamente reseñar que los movimientos que se observan más o menos a partir de las 18:20 no corresponden a movimientos generados por el controlador sino que a partir de ese momento el controlador ya se había desconectado y se apagó la planta, de ahí que todas las variables se mantengan fijas en un valor constante hasta el final.