



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**

**MONOGRAFÍA: PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO
EN: ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**

AUTOR: GUATEMAL AGUILAR JORGE WLADIMIR

DIRECTOR: ING. ALPÚSIG CUICHÁN, SILVIA EMPERATRIZ

LATACUNGA - 2021





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SINTONIZACIÓN DE UN CONTROLADOR PID POR EL MÉTODO LAMBDA



OBJETIVO GENERAL

Sintonizar un controlador PID por el método LAMBDA para la estación de temperatura.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la dinámica del proceso mediante pruebas de lazo abierto.
- Implementar un control PID con PLC mediante el software de programación Tía Portal.
- Definir el valor de las constantes del controlador PID utilizando el método de sintonización lambda.



CONTROLADOR PID

Es un sistema que realiza el control de una variable (Temperatura, flujo nivel, etc.) mediante un lazo de retro alimentación, siendo el lazo quien controla la variable final realizando la operación de diferencia entre la variable real y la variable. Donde la acción que realiza el componente P es asegurar una respuesta rápida, el componente I corrige el error de control y el componente D realiza un reajuste de manera inmediata cuando se presentan perturbaciones inesperadas.



SINTONÍA LAMBDA

Es una forma de control que dota a un controlador de acción proporcional, integral y derivativo (PID) con la capacidad de generar esfuerzos suaves de control que no provoquen oscilaciones al responder a cambios de ajuste de un valor fijado por el usuario.



DINÁMICA DEL PROCESO

La dinámica del proceso de un sistema de control es el resultado que se obtiene en la salida del controlador, cuando se ejecuta una variación en la entrada del sistema de proceso.



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

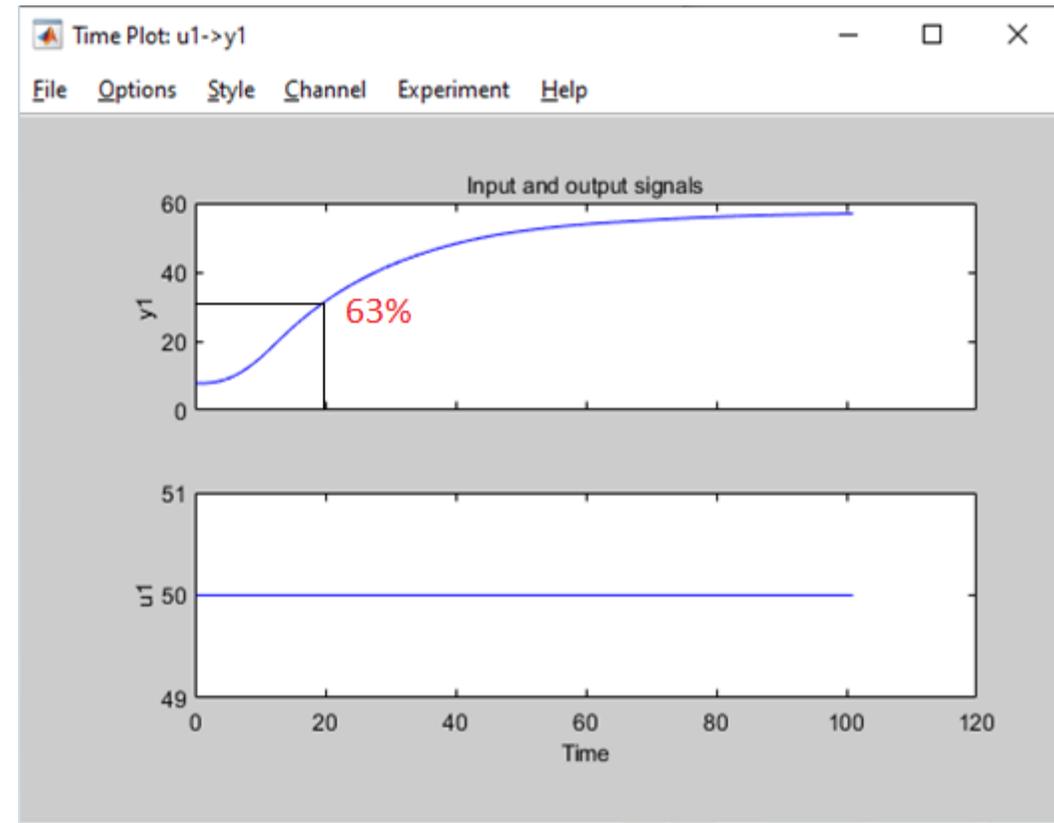
Es un modelo matemático que, a través de un cociente, relaciona la respuesta de un sistema (modelada o señal de salida) con una señal de entrada o excitación (también modelada). En la teoría de control, a menudo se usan las funciones de transferencia para caracterizar las relaciones de entrada y salida de componentes o de sistemas que se describen mediante ecuaciones diferenciales lineales e invariantes en el tiempo.



SINTONIZACIÓN LAMBDA POR EL MÉTODO DEL ESCALÓN

Obtención del promedio del escalón de los valores generados en lazo abierto

Time - PV	Temperatura - PV	Time - CV	Temperatura - CV	PROMEDIO
5:50:43 PM	7.77859	5:50:43 PM	50	44.3663942
5:50:43 PM	7.77713	5:50:43 PM	50	
5:50:43 PM	7.77566	5:50:43 PM	50	
5:50:43 PM	7.77419	5:50:43 PM	50	
5:50:43 PM	7.77273	5:50:43 PM	50	
5:50:43 PM	7.77126	5:50:43 PM	50	
5:50:43 PM	7.77273	5:50:43 PM	50	
5:50:43 PM	7.77419	5:50:43 PM	50	
5:50:44 PM	7.77566	5:50:44 PM	50	
5:50:44 PM	7.77859	5:50:44 PM	50	
5:50:44 PM	7.78152	5:50:44 PM	50	
5:50:44 PM	7.78592	5:50:44 PM	50	
5:50:44 PM	7.79179	5:50:44 PM	50	
5:50:44 PM	7.79765	5:50:44 PM	50	
5:50:44 PM	7.80499	5:50:44 PM	50	
5:50:44 PM	7.81378	5:50:44 PM	50	
5:50:44 PM	7.82405	5:50:44 PM	50	
5:50:44 PM	7.83578	5:50:44 PM	50	
5:50:45 PM	7.84897	5:50:45 PM	50	
5:50:45 PM	7.86364	5:50:45 PM	50	
5:50:45 PM	7.87977	5:50:45 PM	50	
5:50:45 PM	7.89736	5:50:45 PM	50	
5:50:45 PM	7.91642	5:50:45 PM	50	
5:50:45 PM	7.93695	5:50:45 PM	50	
5:50:45 PM	7.95894	5:50:45 PM	50	
5:50:45 PM	7.9824	5:50:45 PM	50	



OBTENCIÓN DEL VALOR DEL 63% EN FORMA ASCENDENTE Y DESCENDENTE

VALOR DEL 63% ASCENDENTE

valor final Promediado – valor inicial

$$\Delta\% = \frac{\Delta * 63}{100}$$

$$\Delta 63\% = \Delta\% + \text{valor inicial}$$

VALOR DEL 63% DESCENDENTE

valor final Promediado – valor inicial

$$\Delta\% = \frac{\text{Valor final Promediado} * 37}{100}$$

$$\Delta 63\% = \text{valor inicial} - \Delta\%$$

Si el valor que se obtiene al realizar los cálculos correspondientes no concuerda con los valores obtenidos en las mediciones se recomienda seleccionar el que se aproxime más al valor del cálculo obtenido.



VALORES DE Td

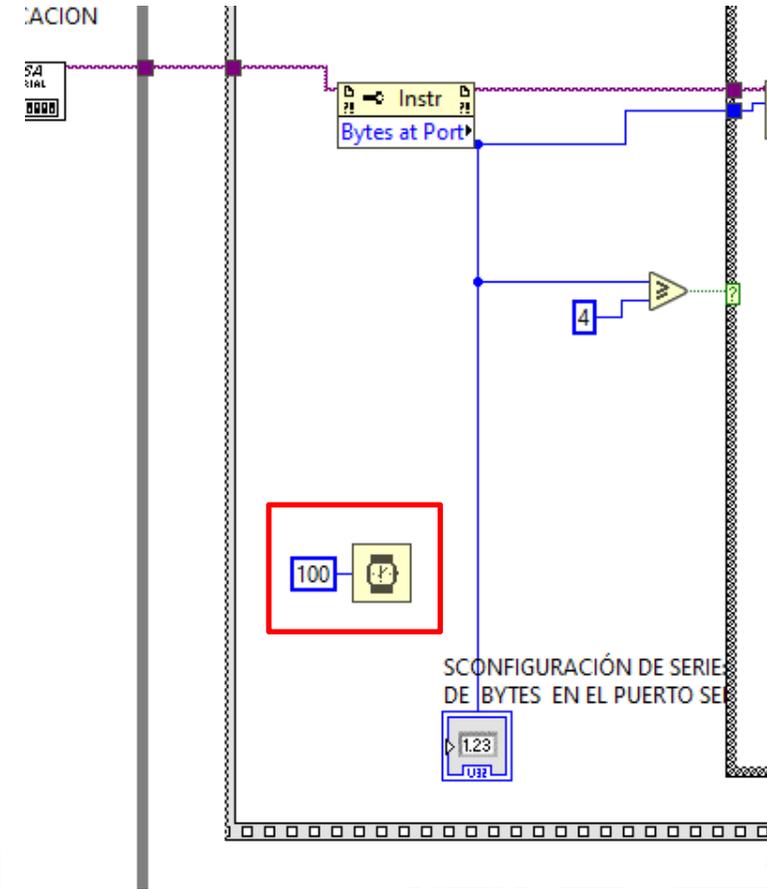
Observar la variación (PV) en las mediciones obtenidas, cuando se produzca un cambio de valor se debe contar el número de muestras que se obtuvieron hasta llegar a dicho cambio, y le restamos uno; se multiplica por el tiempo de muestreo en nuestro caso será de 100ms.

$$Td = (26 - 1) * 100ms$$

$$Td = 2500ms$$

Time - PV	Temperatura - PV	Time - CV	Temperatura - CV
5:50:43 PM	7.77859	5:50:43 PM	50
5:50:43 PM	7.77713	5:50:43 PM	50
5:50:43 PM	7.77566	5:50:43 PM	50
5:50:43 PM	7.77419	5:50:43 PM	50
5:50:43 PM	7.77273	5:50:43 PM	50
5:50:43 PM	7.77126	5:50:43 PM	50
5:50:43 PM	7.77273	5:50:43 PM	50
5:50:43 PM	7.77419	5:50:43 PM	50
5:50:44 PM	7.77566	5:50:44 PM	50
5:50:44 PM	7.77859	5:50:44 PM	50
5:50:44 PM	7.78152	5:50:44 PM	50
5:50:44 PM	7.78592	5:50:44 PM	50
5:50:44 PM	7.79179	5:50:44 PM	50
5:50:44 PM	7.79765	5:50:44 PM	50
5:50:44 PM	7.80499	5:50:44 PM	50
5:50:44 PM	7.81378	5:50:44 PM	50
5:50:44 PM	7.82405	5:50:44 PM	50
5:50:44 PM	7.83578	5:50:44 PM	50
5:50:45 PM	7.84897	5:50:45 PM	50
5:50:45 PM	7.86364	5:50:45 PM	50
5:50:45 PM	7.87977	5:50:45 PM	50
5:50:45 PM	7.89736	5:50:45 PM	50
5:50:45 PM	7.91642	5:50:45 PM	50
5:50:45 PM	7.93695	5:50:45 PM	50
5:50:45 PM	7.95894	5:50:45 PM	50
5:50:45 PM	7.9824	5:50:45 PM	50

Td=2500ms



VALOR DE TAO (ζ)

Realizar el mismo procedimiento que se hizo para el valor TD, sin embargo se debe comenzar desde el valor de cambio que se observo hasta llegar al valor del 63% obtenido.

5:51:00 PM	27.4853	5:51:00 PM	50
5:51:00 PM	27.6378	5:51:00 PM	50
5:51:00 PM	27.7903	5:51:00 PM	50
5:51:00 PM	27.9413	5:51:00 PM	50
5:51:00 PM	28.0909	5:51:00 PM	50
5:51:00 PM	28.2405	5:51:00 PM	50
5:51:00 PM	28.3886	5:51:00 PM	50
5:51:01 PM	28.5352	5:51:01 PM	50
5:51:01 PM	28.6818	5:51:01 PM	50
5:51:01 PM	28.8284	5:51:01 PM	50
5:51:01 PM	28.9751	5:51:01 PM	50
5:51:01 PM	29.1188	5:51:01 PM	50
5:51:01 PM	29.2625	5:51:01 PM	50
5:51:01 PM	29.4062	5:51:01 PM	50
5:51:01 PM	29.5499	5:51:01 PM	50
5:51:01 PM	29.6921	5:51:01 PM	50
5:51:01 PM	29.8343	5:51:01 PM	50
5:51:02 PM	29.9765	5:51:02 PM	50
5:51:02 PM	30.1173	5:51:02 PM	50
5:51:02 PM	30.2566	5:51:02 PM	50
5:51:02 PM	30.3959	5:51:02 PM	50
5:51:02 PM	30.5352	5:51:02 PM	50
5:51:02 PM	30.673	5:51:02 PM	50
5:51:02 PM	30.8094	5:51:02 PM	50

Tao=16800 m:

valor final Promediado – valor inicial

$$\Delta\% = \frac{\Delta * 63}{100}$$

$$\Delta\% = ((44.3666-7.7785)*63)/100$$

$$\Delta 63\% = \Delta\% + \text{valor inicial}$$

$$\Delta 63\% = 23.05050 + 7.7785$$

$$\Delta 63\% = 30.8290$$



OBTENCIÓN DE LOS VALORES DE SINTONÍA

VARIACIÓN DE LA VARIABLE DE PROCESO ($\Delta PV(\%)$)

- $\Delta PV = \text{valor final Promedio} - \text{valor inicial Promedio}$
- $\Delta PV = 91.6841506^\circ\text{C} - 44.3663942^\circ\text{C}$
- $\Delta PV = 47.3177564^\circ\text{C}$

Relacionar el rango de medición de la estación en relación al porcentaje de 0% a 100%

$$\text{LIMITE INFERIOR}(0\%) = 7.62^\circ\text{C}$$

$$\text{LIMITE SUPERIOR}(100\%) = 150^\circ\text{C}$$

- $\Delta 100\% = \text{limite superior} - \text{limite inferior}$
- $\Delta 100\% = 150^\circ\text{C} - 7.62^\circ\text{C}$
- **$\Delta 100\% = 142.38^\circ\text{C}$**

- $142.38^\circ\text{C} = 100\%$
- $47.3177564^\circ\text{C} = X$

$$\Delta PV\% = \frac{\Delta PV * 100\%}{142.38}$$

$$\Delta PV\% = \frac{47.3177564^\circ\text{C} * 100}{142.38^\circ\text{C}}$$

- **$\Delta PV\% = 33.2334$**



MEDICIÓN DEL SET POINT ($\Delta SP\%$)

Realizar una sustracción entre los valores de manipulación de la variable de control (SP), siendo nuestro primer valor 50 y el segundo 100.

$$\Delta SP\% = Valor\ final - Valor\ inicial$$

$$\Delta SP\% = 100 - 50\% = 50$$

$$\Delta SP\% = 50$$

KP

Realizar una división entre la $\Delta PV(\%)$ y la $\Delta SP\%$ para obtener el calor de KP que se utilizaran para obtener los valores de sintonización que se utilizara en el control de sintonía.

$$\Delta SP\% = \frac{\Delta PV(\%)}{\Delta SP\%}$$

$$\Delta SP\% = \frac{33.2334}{50}$$

$$\Delta SP\% = 0.6646$$



Los valores que se obtuvo de TD y TAO (τ) los convertimos a segundos, y procedemos a obtener el valor promedio de

	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	PRUEBA 6	PRUEBA 7	PRUEBA 8	PRUEBA 9	
ΔPV (%)	33.2334	-18.7506	21.8829	-12.4798	21.9308	-12.1731	23.7483	-13.1893	-37.7928	
ΔCV (%)	50	-60	70	-55	70	-55	70	-55	-55	PROMEDIO
KP	0.6647	0.3125	0.3126	0.2269	0.3133	0.2213	0.3393	0.2398	0.6871	0.3686
Td (s)	2.5	1.6	1.2	1.2	4.1	1.8	3.8	2.7	2.9	2.422
Tao (s)	16.8	18	14.7	17.2	22	17.7	25.2	17.1	34.4	20.36



VALORES DE SONTONÍA LAMBDA

VALOR LAMBDA (λ)

El primer factor lambda será igual al tiempo Tao que el valor es 20.36(s) y los demás se los irá multiplicando de acuerdo a número de pruebas que se realizaron se debe de multiplicar al factor lambda.

TIEMPO INTEGRAL (Ti)

Para obtener el tiempo integral (Ti) se hizo una igualdad representado el tiempo integral el valor del tiempo Tao (τ) en todas las pruebas realizadas.

VALOR DE GANANCIA PROPORCIONAL (Kc)

Para obtener la ganancia proporcional del sistema de lo debe hacer en base a la siguiente formula y realizar el cálculo correspondiente de acuerdo al número de pruebas realizadas

$$Kc = \frac{\text{Promedio}(Tao)}{((\text{Promedio de } (Kp)) * (\text{factor lambda} + \text{promedio de } (Td)))}$$

$$Kc = \frac{20.36}{0.3686147 * (20.36 + 2.422)}$$

$$Kc = 2.42445024$$



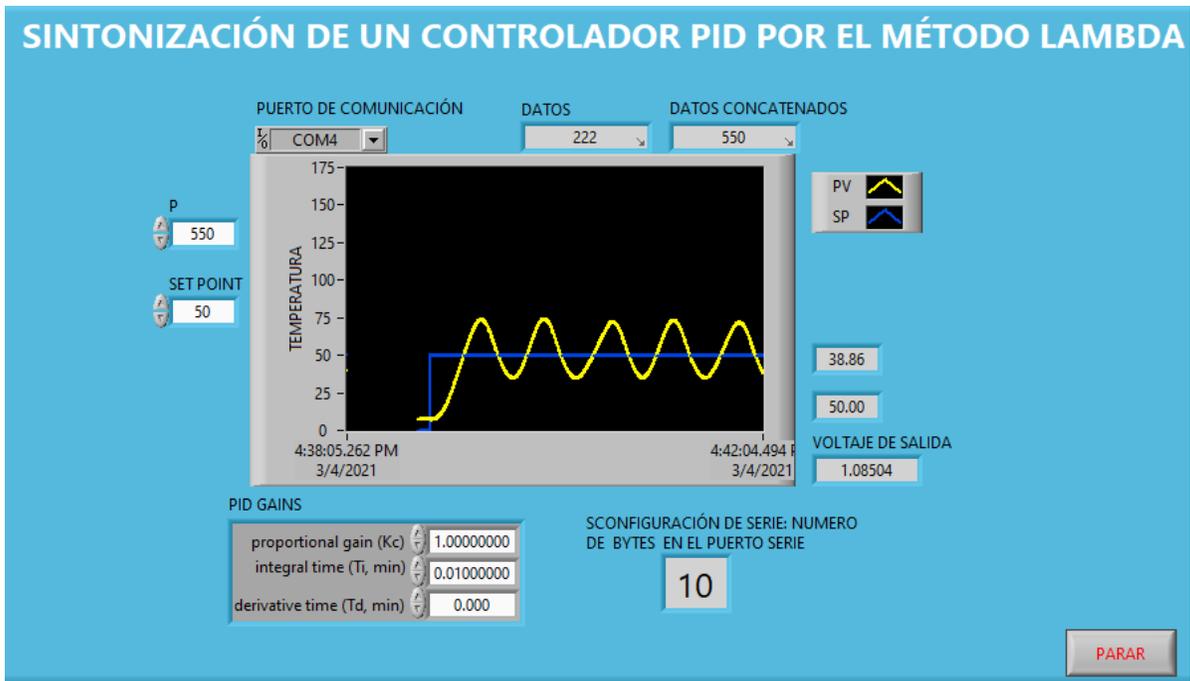
VALORES DE SINTONÍA QUE SE UTILIZARAN EN EL SISTEMA DE CONTROL

f	λ	Ti=Tao	Kc
1	20.36	20.36	2.42437033
2	40.71	20.36	1.28025739
3	61.07	20.36	0.86978635
4	81.42	20.36	0.65862168
5	101.78	20.36	0.52995939
6	122.13	20.36	0.44335051
7	142.49	20.36	0.38107339
8	162.84	20.36	0.33413737
9	183.2	20.36	0.29749546

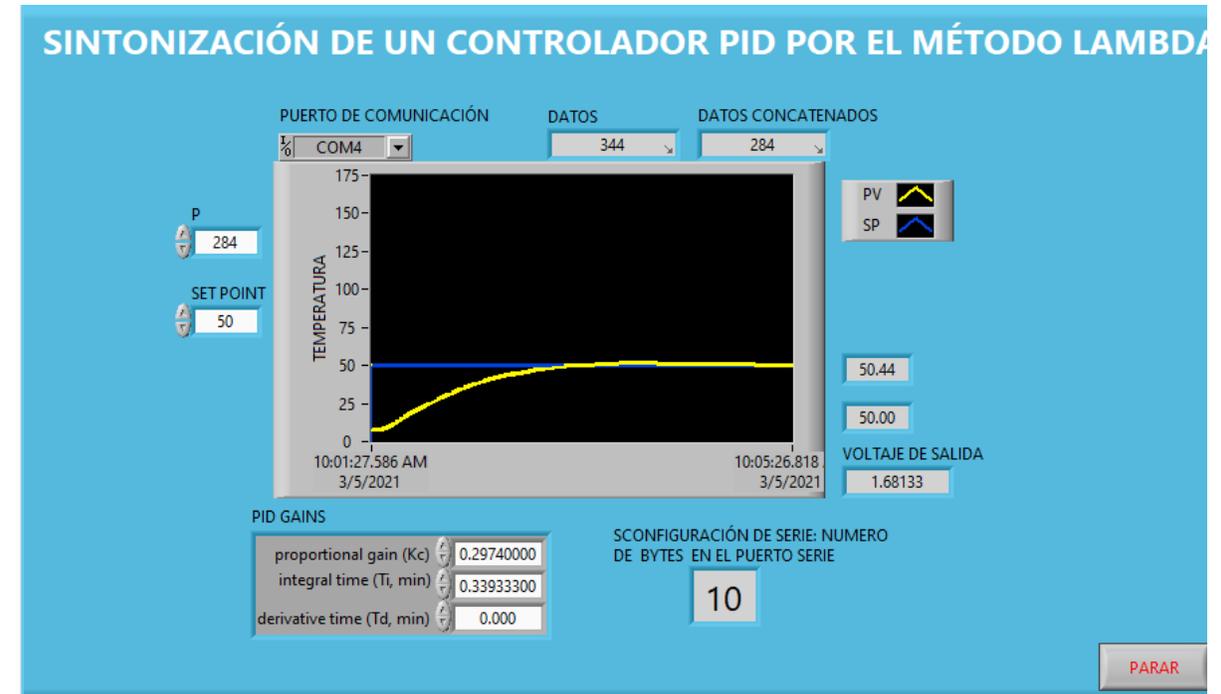


RESULTADOS DE LOS DATOS OBTENIDOS

ANTES

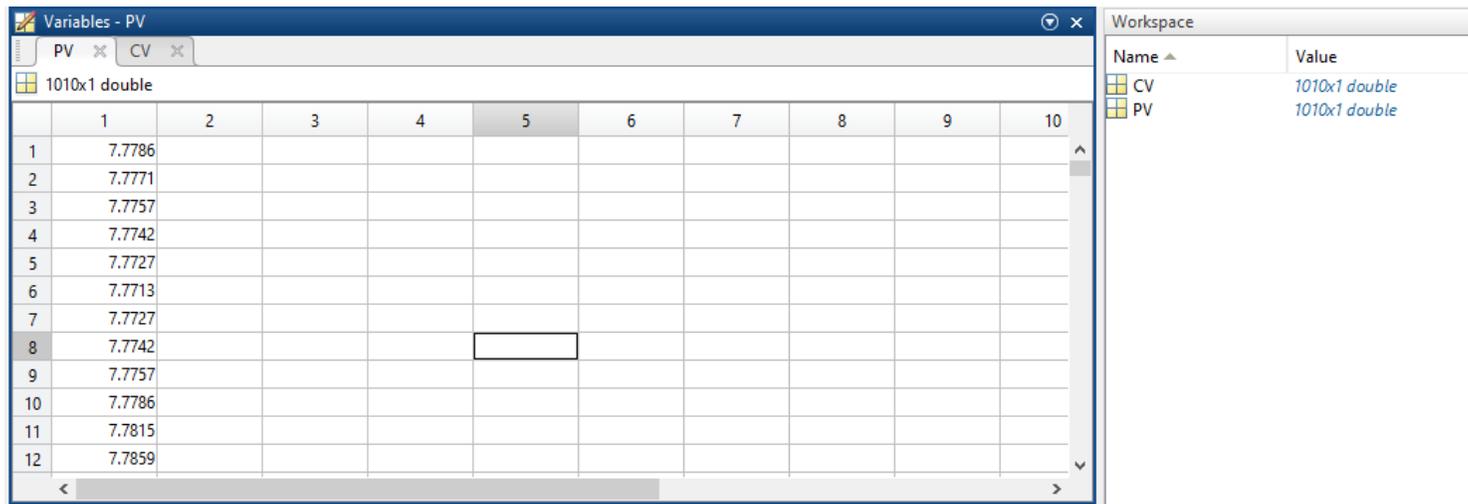


DESPUÉS



SINTONÍA LAMBDA POR PROGRAMACIÓN

Se debe obtener datos experimentales, en este caso solo tomaremos uno solo número de pruebas y los crearemos una tabla de datos en Matlab que representan los datos de la variable.



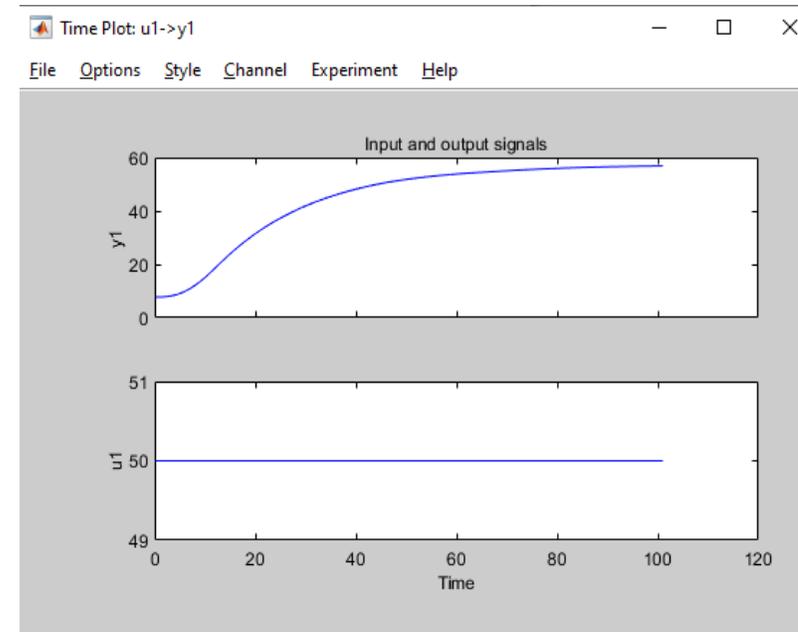
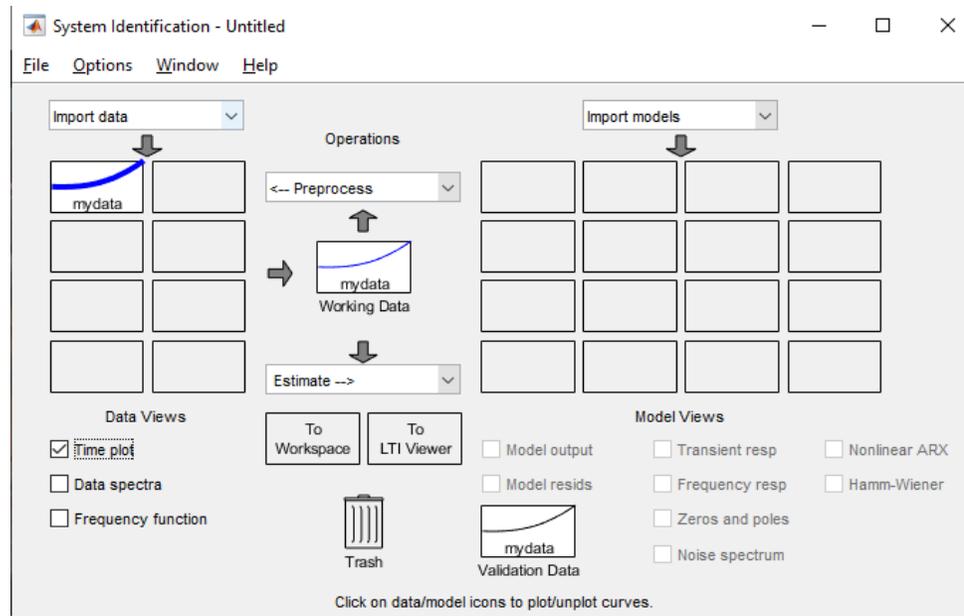
The screenshot shows the MATLAB workspace with two variables: CV and PV, both of type 1010x1 double. The PV variable is expanded to show a column of 12 data points. The values are: 7.7786, 7.7771, 7.7757, 7.7742, 7.7727, 7.7713, 7.7727, 7.7742, 7.7757, 7.7786, 7.7815, and 7.7859.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7.7786									
2	7.7771									
3	7.7757									
4	7.7742									
5	7.7727									
6	7.7713									
7	7.7727									
8	7.7742									
9	7.7757									
10	7.7786									
11	7.7815									
12	7.7859									



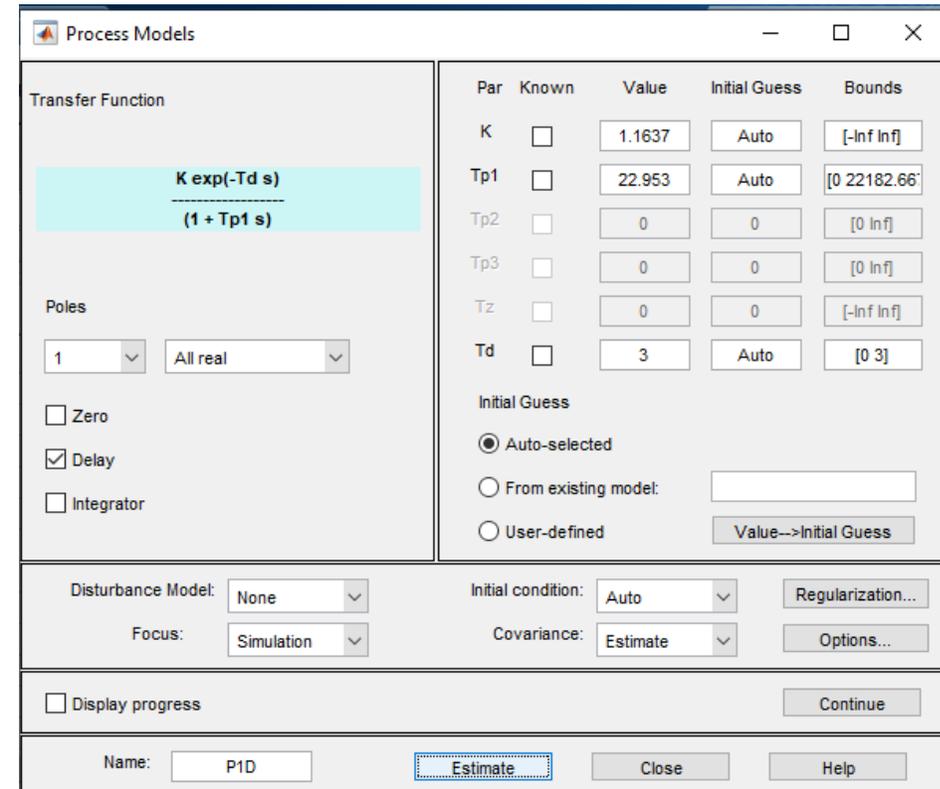
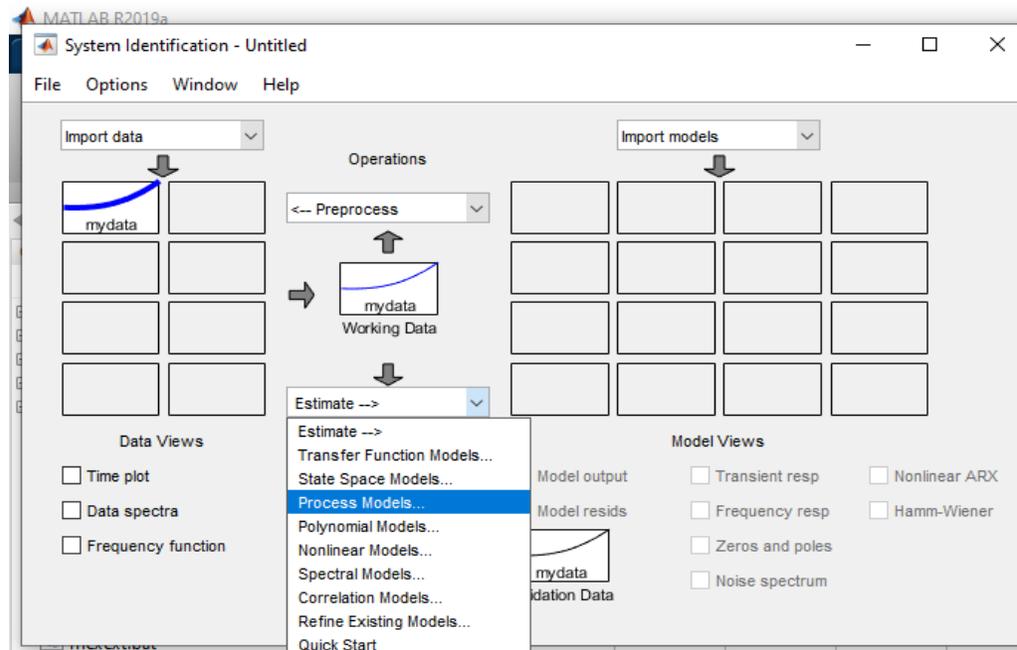
VISUALIZACIÓN DE LA SEÑAL DE LOS DATOS IMPORTADOS

Importar los datos que se crearon en el command window al system Identification para visualizar la señal que se genera con los datos del SP y PV y los generamos.



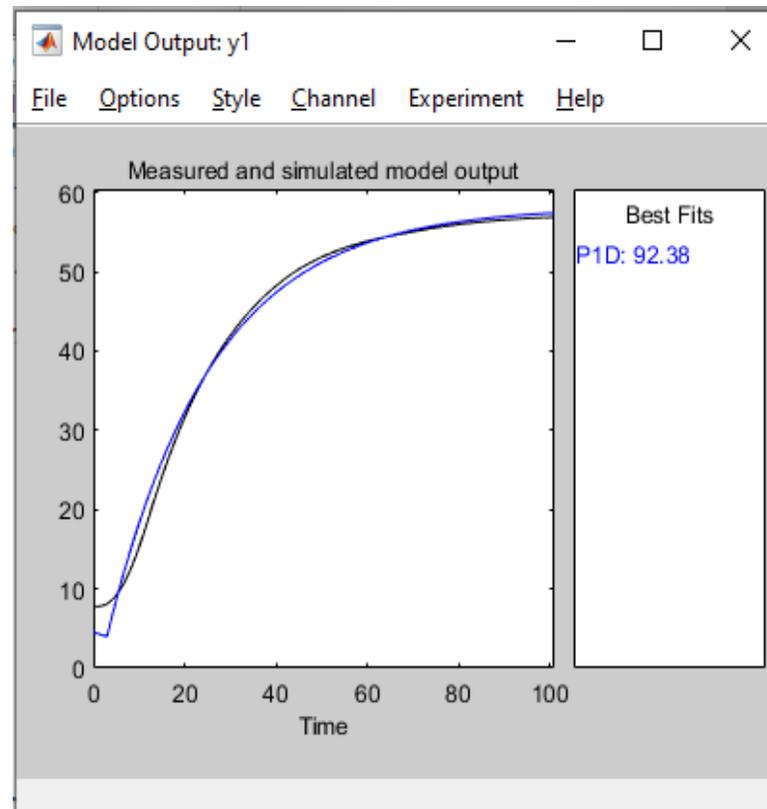
MODELO DE PROCESO

modelo representa los parámetros que se van a utilizar para realizar un control estable, obteniendo la función de transferencia que genera Matlab



SALIDA DEL MODELO DE PROCESO

Al generar el modelo del proceso a partir de los datos que importaron de CV y PV el software Matlab tiene la capacidad de generar la señal de salida que se obtendrá en el proceso a partir de los datos de entrada generados.



Data/model Info: PID

Model name: PID

Color: [0,0,1]

$G(s) = \frac{K_p}{1 + T_{p1}s} * \exp(-T_d s)$

$K_p = 1.1637$
 $T_{p1} = 22.953$

Diary and Notes

```
% Import mydata  
Opt = procestOptions;  
PID = procest(mydata, 'PID', Opt);
```

Show in LTI Viewer

Present Export Close Help



CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PARA LOS VALORES DE SINTONIZACIÓN

El código de programación que se utilizara en Matlab será para obtener los valores que se utilizaran en el control del sistema siendo $T_d=0$ debido a que el control que se esta realizando es de temperatura, el cambio de temperatura es lenta.

```
function [Kc,Ti,Td] = lambdaTunning(K,T,L)
lambda = 3*T;
Kc=T/(K*(L+lambda));
% ti es igual T tiempo de muestreo del lazo abierto o del Ti
Ti= T;
Td=0;
end
```



VALORES DE SINTONÍA ECONTRADOS

AL realizar la programación en el command window escribiremos una fila de programación que permitirá obtener el valor de control del controlador PID para la estación de temperatura.

Tener en cuenta las unidades de tiempo que van a utilizar en el controlador debido a que Matlab trabaja con el tiempo en segundos.

```
>> [Kc,Ti,Td] = lambdaTunning(1.163745128384899,22.953028455605622,3)

Kc =

    0.2745

Ti =

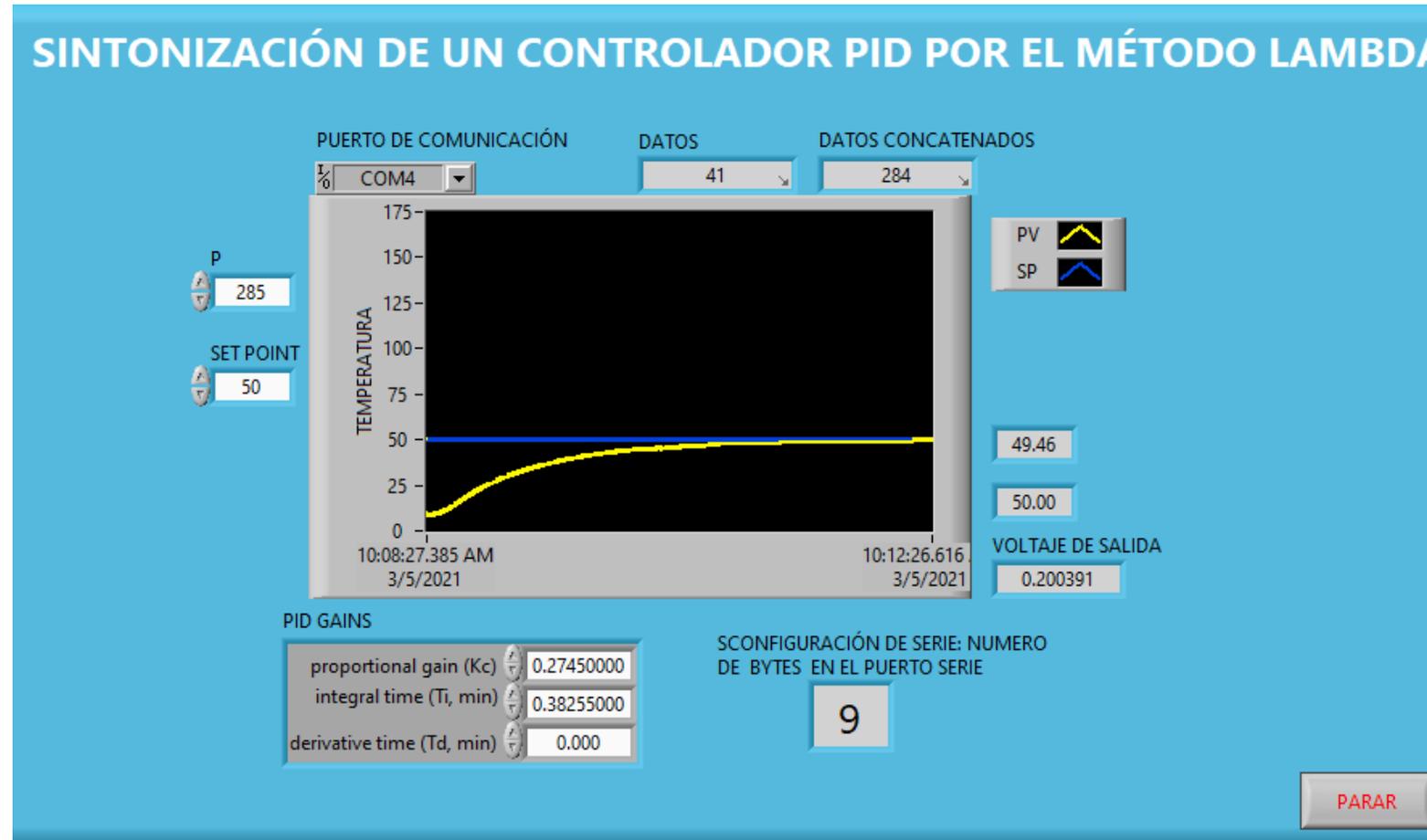
    22.9530

Td =

    0
```



GRÁFICA OBTENIDA A PARTIR DE LOS DATOS ENCONTRADOS



CONCLUSIONES

- El método de sintonía lambda permite obtener una respuesta de la variable de proceso (PV) más estable y más rápida de acuerdo al valor de referencia que el operario haya manipulado en la variable de control acelerando la producción.
- Para realizar un control de temperatura es más eficiente realizarlo con controlador PI y no con un PID, debido a que la temperatura presenta un tiempo de respuesta demasiado lento presentando perturbaciones al momento de realizar su control.
- El método de sintonía lambda presenta un parámetro que se denomina constante en función del tiempo en un controlador de lazo cerrado, siendo su función principal la de disminuir o aumentar el tiempo de respuesta del sistema teniendo una producción más eficiente.



RECOMENDACIONES

- Cuando se inicie la comunicación serial asegurarse de que los puertos que se crearon con anterioridad estén designados para realizar la comunicación, provocando en ocasiones que no se puedan comunicar los softwares que se requieren para el envío de los datos.
- Al obtener las constantes de sintonización asegurarse que el valor obtenido en los tiempos T_d y T_i estén en la misma unidad de medida que la del software que se está utilizando para realizar el control de sintonía.
- Realizar un gran número de pruebas para obtener datos y realizar los procedimientos anteriores, siendo que si más pruebas se realiza menor serán las constantes de sintonización que se requieran obteniendo un control más estable evitando sobre impulsos del sistema.



**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA