



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES
NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA



TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL
CONTROL DE TEMPERATURA EN UN PROCESO EXPERIMENTAL

TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECÁNICO

AUTOR: JUBER DAVID SARANGO PELÁEZ

DIRECTOR: ING. JULIO CÉSAR CUENCA TINITANA, Mg. Sc

LOJA - ECUADOR

2014

CERTIFICACIÓN

Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **"Diseño y construcción de un banco de pruebas para el control de temperatura en un proceso experimental"**, previa a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica, realizado por el señor egresado: **Juber David Sarango Peláez**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 03 de abril de 2014



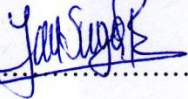
Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **Juber David Sarango Peláez**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Autor: Juber David Sarango Peláez

Firma: 

Cédula: 1900425180

Fecha: 03 de abril de 2014

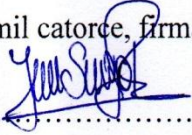
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo **Juber David Sarango Peláez**, declaro ser autor de la tesis titulada: **“Diseño y construcción de un banco de pruebas para el control de temperatura en un proceso experimental”**, como requisito para optar al grado de: Ingeniero Electromecánico; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de abril del dos mil catorce, firma del autor.

Firma: 

Autor: Juber David Sarango Peláez

Cédula: 1900425180

Dirección: Catacocha y Sucre

Correo electrónico: jdas.88@hotmail.com

Teléfono: 072606074

Celular: 0985302373

DATOS COMPLEMENTARIOS.

Director de tesis: Ing. Julio Cuenca Tinitana, Mg. Sc

Tribunal de grado: Ing. Gonzalo Riofrío Cruz, Mg. Sc

Ing. Darwin Tapia Peralta, Mg. Sc

Ing. Manuel Ayala Chauvín, Mg. Sc.

PENSAMIENTO

“La vida no está hecha de deseos y si de los actos de cada uno”

Paulo Coelho

DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental en toda mi educación, por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida, por todo el apoyo incondicional brindado en el transcurso de mi vida.

A mis hermanos porque he contado con su apoyo en todo momento.

También dedico este proyecto a mi enamorada, por ser la alegría y amor en mi vida y por alentarme cuando lo necesité.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres por todo el esfuerzo que hicieron para que este trabajo se realice sin inconvenientes.

Gracias a mi enamorada, hermanos, amigos y compañeros que estuvieron en todo momento para brindarme su ayuda.

Agradezco de manera especial al director de tesis quien con sus conocimientos y apoyo supo guiar el desarrollo de la presente tesis desde el inicio hasta su culminación.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

TABLA DE CONTENIDOS

a.-TÍTULO	1
b. RESUMEN	2
c.- INTRODUCCIÓN	4
d.- REVISIÓN DE LITERATURA	5
d.1 CAPÍTULO I: SISTEMAS DE CONTROL DE TEMPERATURA	5
d.1.1 Introducción	5
d.1.2 Sistemas de control	5
d.1.2.1 Generalidades	5
d.1.2.2 Definiciones.....	6
d.1.2.2.1 Variable controlada	6
d.1.2.2.2 Variable manipulada.....	6
d.1.2.2.3 Set-Point	6
d.1.2.2.4 Plantas.....	6
d.1.2.2.5 Procesos	6
d.1.2.2.6 Sistemas	6
d.1.2.2.7 Perturbaciones	7
d.1.2.2.8 Control realimentado	7
d.1.3 Lazos de control.....	7
d.1.3.1 Componentes del lazo de control.....	7
d.1.3.1.1 Elemento primario o sensor	7
d.1.3.1.2 Transductor	7
d.1.3.1.3 Convertidor	7
d.1.3.1.4 Transmisor	7
d.1.3.2 Lazo abierto y lazo cerrado	8
d.1.3.2.1 Lazo abierto	8
d.1.3.2.2 Lazo cerrado.....	8
d.1.4 Sistemas de Control de Temperatura	8
d.1.4.1 Sensores de temperatura.....	9
d.1.4.1.1 Analógicos	9
d.1.4.1.2 Digitales	11
d.1.5 Clasificación de los sistemas de control.....	13

d.1.5.1 Según su dimensión	13
d.1.5.1.1 Sistemas de parámetros concentrados	13
d.1.5.1.2 Sistemas de parámetros distribuidos	13
d.1.5.2 Según el conocimiento de sus parámetros	13
d.1.5.2.1 Sistemas determinísticos.....	13
d.1.5.2.2 Sistemas estocásticos.....	13
d.1.5.3 Según el carácter de transmisión en el tiempo	13
d.1.5.3.1 Sistemas continuos	13
d.1.5.3.2 Sistemas discretos.....	14
d.1.5.4 Según la presencia de linealidad.....	14
d.1.5.4.1 Sistemas lineales	14
d.1.5.4.2 Sistemas no lineales.....	14
d.1.5.5 Según el comportamiento en el tiempo	14
d.1.5.5.1 Sistemas invariantes en el tiempo	14
d.1.5.5.2 Sistemas variantes en el tiempo	14
d.1.5.6 Según sus aplicaciones.....	15
d.1.5.6.1 Sistemas servomecánicos.....	15
d.1.5.6.2 Sistemas secuenciales	15
d.1.5.6.3 Sistemas numéricos	15
d.2 CAPÍTULO II: MODELADO E IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS.....	16
d.2.1 Introducción	16
d.2.2 Modelado de sistemas	16
d.2.3 Tipos de modelos	16
d.2.3.1 Modelos estocásticos y determinísticos	16
d.2.3.2 Modelos lineales y no lineales.....	17
d.2.3.3 Modelos variantes e invariantes en el tiempo	17
d.2.3.4 Modelos continuos y discretos	17
d.2.3.4.1 Tiempo continuo	17
d.2.3.4.2 Tiempo discreto.....	17
d.2.4 Representación de modelos	18
d.2.4.1 Ecuaciones de estado	18
d.2.4.1.1 Ecuación diferencial	18

d.2.4.1.2 Ecuación diferencial de primer orden: Ecuaciones de estado.....	18
d.2.4.2 Modelo de función de transferencia.....	19
d.2.4.2.1 Transformación de Laplace.....	19
d.2.4.2.2 Función de Transferencia.....	20
d.2.5 Métodos de obtención de modelos.....	21
d.2.5.1 Método analítico	21
d.2.5.2 Método experimental	22
d.2.6 Identificación de sistemas.....	22
d.2.6.1 Proceso de identificación sistemas	22
d.2.6.1.1 Obtención de datos de entrada - salida.	22
d.2.6.1.2 Tratamiento previo de los datos registrados.	22
d.2.6.1.3 Elección de la estructura del modelo.....	22
d.2.6.1.4 Obtención de los parámetros del modelo.....	23
d.2.6.1.5 Validación del modelo.	23
d.2.6.2 Métodos de identificación de sistemas	23
d.2.6.2.1 Dependiendo de la aplicación.	23
d.2.6.2.2 Dependiendo del criterio de ajuste de los parámetros.	23
d.2.6.3 Identificación de sistemas con Matlab.....	24
d.2.6.3.1 Introducción al Toolbox de Identificación.....	24
d.2.6.3.2 Datos de entrada-salida.....	24
d.2.6.3.3 Tratamientos previo de los datos.....	25
d.2.6.3.4 Identificación de modelos	25
d.2.6.3.5 Validación de modelos	25
d.2.6.4 Simulación de sistemas con Matlab.....	25
d.2.6.4.1 El entorno de Simulink	26
d.2.6.4.2 Etapas para la simulación de un sistema.....	26
d.3 CAPÍTULO III: SISTEMAS DE CONTROL PID Y ADQUISICIÓN DE DATOS	
.....	27
d.3.1 Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)	27
d.3.1.1 Introducción.....	27
d.3.1.2 Parámetros de control	28
d.3.1.2.1 Ganancia proporcional (K_p)	28

d.3.1.2.2 Constante de tiempo integral (T_i)	28
d.3.1.2.3 Constante de tiempo derivativa (T_d)	28
d.3.1.3 Acciones de control	28
d.3.1.3.1 Acción proporcional (P)	28
d.3.1.3.2 Acción integral (I)	28
d.3.1.3.3 Acción derivativa (D)	29
d.3.1.4 Sintonización de controladores PID	29
d.3.1.4.1 Método de Cohen - Coon.....	29
d.3.1.4.2 Método de Ziegler - Nichols	30
d.3.1.5 Selección del controlador	31
d.3.1.5.1 Lazos de caudal o de presión	31
d.3.1.5.2 Lazos de nivel	31
d.3.1.5.3 Lazos de temperatura.....	31
d.3.1.5.4 Lazos de composición	32
d.3.1.5.5 Procesos integradores	32
d.3.1.5.6 Control en cascada.....	32
d.3.2 Adquisición de datos	32
d.3.2.1 Introducción	32
d.3.2.2 Tipos de sistemas adquisición de datos.....	32
d.3.2.2.1 Data Logger	33
d.3.2.2.2 Tarjetas DAQ	34
d.3.2.2.3 Tarjeta Arduino	34
d.3.2.3 Etapas de la adquisición de datos	36
d.3.2.3.1 Etapa de transductores	36
d.3.2.3.2 Etapa de transmisión.....	36
d.3.2.3.3 Etapa de acondicionamiento	36
d.3.2.3.4 Etapa de adquisición.....	37
d.3.2.3.5 Etapa de procesamiento	37
e.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
e.1 Materiales	38
e.1.1 Materiales del proyecto práctico	38
e.1.2 Materiales del documento.....	38

e.2 Métodos.....	39
e.2.1 Descripción de la planta.....	39
e.2.1.1 Esquema	39
e.2.1.2 Elementos	40
e.2.1.2.1 Tanques	40
e.2.1.2.2 Computador.....	40
e.2.1.2.3 Tarjeta Arduino Mega 2560	41
e.2.1.2.4 Sensores de temperatura DS18B20	42
e.2.1.2.5 Sensores de nivel tipo flotador	43
e.2.1.2.6 Circuito integrado ULN2803	44
e.2.1.2.7 Circuito para conexión de sensores	45
e.2.1.2.8 Circuito de optoacopladores.....	46
e.2.1.2.9 Bombas	47
e.2.1.2.10 Electroválvulas	47
e.2.1.2.11 Resistencia eléctrica.....	48
e.2.1.3 Montaje.....	50
e.2.1.4 Funcionamiento	51
e.2.2 Modelado e identificación del proceso	52
e.2.3 Descripción del controlador	55
e.2.4 Implementación del controlador en LabVIEW	58
e.3 Valoración económica.....	59
f.- RESULTADOS	61
f.1 Modelo matemático de la planta	61
f.2 Controlador PID	64
f.3 Implementación del controlador PID	66
g.- DISCUSIÓN.....	67
h.- CONCLUSIONES	68
i.- RECOMENDACIONES	69
j.- BIBLIOGRAFÍA	70
k. ANEXOS	73
Anexo 1. Programación de la tarjeta Arduino Mega 2560 para la adquisición de datos.	
.....	73

Anexo 2. Programación de la tarjeta Arduino Mega 2560 para el control automático del proceso.	78
Anexo 3. Datos adquiridos de la planta.....	84
Anexo 4. Diagrama eléctrico de control y fuerza	118
Anexo 5. Manual de operación del banco de pruebas para el control de temperatura.	119
Anexo 6. Anteproyecto.....	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Termistor	9
Figura 2. RTD.....	10
Figura 3. Termocupla.....	10
Figura 4. Sensor de temperatura LM35.....	11
Figura 5. Sensor de temperatura DS18B20 impermeabilizado	12
Figura 6. Control PID de una planta	27
Figura 7. Respuesta al escalón de la planta	30
Figura 8. Oscilación sostenida con período P_{cr}	31
Figura 9 Data Logger	33
Figura 10. Tarjeta DAQ	34
Figura 11. Arduino Mega 2560	34
Figura 12. Sistema de adquisición de datos	36
Figura 13. Esquema de la planta.....	39
Figura 14. Tanques de la planta.....	40
Figura 15. Computador Toshiba Satellite U505	40
Figura 16. Tarjeta Arduino Mega 2560.....	41
Figura 17. Sensor de temperatura DS18B20	42
Figura 18. Esquema de conexión del sensor de temperatura	42
Figura 19. Sensor de nivel tipo flotador.....	43
Figura 20. Esquema de conexión del sensor de nivel	43
Figura 21. Circuito ULN2806	44
Figura 22. Circuito integrado ULN2806.....	44
Figura 23. Circuito para la conexión de sensores	45
Figura 24. Circuito para la conexión de sensores	45
Figura 25. Circuito de optoacopladores	46
Figura 26. Circuito de optoacopladores	46
Figura 27. Bombas Pedrollo	47
Figura 28. Electrovalvula	47
Figura 29. Resistencia eléctrica	48
Figura 30. Estructura de la planta	50
Figura 31. Ubicación de los componentes	50

Figura 32. Montaje del sistema eléctrico	51
Figura 33. Planta del proceso de control.....	51
Figura 34. Panel frontal del VI, página 1	52
Figura 35. Panel frontal del VI, página 2	53
Figura 36. Diagrama de bloques	53
Figura 37. Workspace de Matlab.....	54
Figura 38. System Identification Tool	54
Figura 39. Estructura del modelo.....	55
Figura 40. Ventanas de trabajo de Simulink	55
Figura 41. Bloques del modelo.....	56
Figura 42. Parámetros de la función de transferencia.....	56
Figura 43. Diagrama de bloques del modelo.....	57
Figura 44. Ajuste del controlador	57
Figura 45. Controlador PID.....	58
Figura 46. Panel frontal.....	58
Figura 47. Diagrama de bloques.....	59
Figura 48. Función de transferencia.....	61
Figura 49. Gráfica de salida del modelo	62
Figura 50. Análisis residual del modelo.....	62
Figura 51. Respuesta temporal	63
Figura 52. Respuesta en frecuencia	63
Figura 53. Gráfica de polos y ceros	64
Figura 54. Simulación del modelo	64
Figura 55. Parámetros del controlador PID.....	65
Figura 56. Gráfica de salida del scope de Simulink	65
Figura 57. Gráfica de la temperatura	66
Figura 58. Componentes del banco de pruebas.....	120
Figura 59. Puerto COM 11	121
Figura 60. Entorno de programación Arduino.....	121
Figura 61. Selección de la tarjeta Arduino Mega 2560.....	122
Figura 62. Cargar el programa a la tarjeta.....	122
Figura 63. Diagrama de bloques	123

Figura 64. Diagrama de bloques	123
--------------------------------------	-----

a.-TÍTULO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL CONTROL
DE TEMPERATURA EN UN PROCESO EXPERIMENTAL

b. RESUMEN

Este trabajo de tesis considera el diseño y construcción de un banco de pruebas para el control de temperatura, con la finalidad de poder realizar prácticas y complementar los principios teóricos adquiridos.

El banco de pruebas consta de dos bombas, dos electroválvulas, cuatro depósitos para almacenar, calentar y la circulación de agua mediante tubería cuatritubo, está montado en una estructura de tipo metálica; además se utilizó tres sensores de temperatura DS18B20 y siete sensores de nivel tipo flotador, los programas computacionales utilizados en la programación son Arduino, LabVIEW y Matlab, además se utilizó la tarjeta Arduino Mega 2560 como interfaz entre el banco de pruebas y la computadora.

Se desarrollaron varios instrumentos virtuales para adquisición y control del banco experimental. Mediante técnicas de identificación de sistemas se procedió al modelado del proceso. Con los datos obtenidos del experimento de identificación, con la ayuda de la herramienta Simulink de Matlab se obtuvo el modelo que representa la dinámica del proceso y se logró simular su comportamiento. Se sintetizó el algoritmo de control en base al modelo del sistema y finalmente se implementó en LabVIEW.

Además, en el presente proyecto de tesis se ha elaborado el manual de operación con el propósito de facilitar al estudiante la manipulación del banco de pruebas.

SUMMARY

This thesis considers the design and construction of a test for temperature control, with the aim of being able to practice and complement the theoretical principles acquired.

The test consists of two pumps, two valves, four tanks for storing, heating and circulation of water through a pipe, is mounted in a metal structure type; plus three temperature sensors DS18B20 seven float type level sensors are used, computer programs are used in programming Arduino, LabVIEW and Matlab, plus the Arduino Mega 2560 board is used as an interface between the test and the computer.

Multiple virtual instruments for acquisition and experimental control were developed bank. Using system identification techniques proceeded to process modeling. With data obtained from the identification experiment, with the help of Matlab Simulink model representing the dynamics of the process and to simulate their behavior was achieved was obtained. Control algorithm based on the model of the system is synthesized and finally implemented in LabVIEW.

In this thesis project has been developed with the operating manual to facilitate the handling of student test.

c.- INTRODUCCIÓN

Debido a que cada día avanzan los procesos industriales de producción, se ha vuelto imprescindible el estudio de la automatización, ya sea para la medición de las variables físicas y su posterior supervisión como para el control de dichos procesos.

Por lo cual se ha tomado en consideración el control de la variable temperatura en un proceso experimental, donde se seleccionaron los componentes necesarios y adecuados para el montaje del banco de pruebas, en el mismo los estudiantes tendrán la posibilidad de hacer prácticas para comprender de una mejor manera un control de procesos.

El sistema de control implementado permite visualizar la medición de temperatura de un proceso en tiempo real, así mismo se puede almacenar estos datos para su posterior análisis, además se cuenta con el accionamiento automático de todos los actuadores de acuerdo al proceso establecido.

Para el desarrollo del presente trabajo de tesis se ha considerado los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Construir un banco de pruebas automatizado para el control de temperatura en un proceso experimental.

Objetivos específicos

- Construir el banco de pruebas para el control de temperatura.
- Obtener el modelo matemático que represente la dinámica del proceso.
- Implementar el sistema de control de temperatura.
- Realizar prácticas de funcionamiento y toma de datos de la variable temperatura.

d.- REVISIÓN DE LITERATURA

d.1 CAPÍTULO I: SISTEMAS DE CONTROL DE TEMPERATURA

d.1.1 Introducción

Los primeros controladores de temperatura se dieron con la llegada de la revolución industrial, ya que en dichos años las personas necesitaban ciertos fluidos a una determinada temperatura. Con el pasar de los años y con la ayuda de la teoría de control se han diseñado diferentes tipos de controladores.

En la actualidad existen muchos procesos industriales que requieren un cierto controlador de temperatura. Por esta razón los controladores de temperaturas se han ido mejorando y han llegado a tomar un papel muy importante a nivel industrial. (León, y otros, 2012)

d.1.2 Sistemas de control

d.1.2.1 Generalidades

Desde el punto de vista de la teoría de control, un sistema está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales de salida en función de señales o datos de entrada.

Es importante resaltar el hecho de que no es necesario conocer el funcionamiento interno, o cómo actúan entre sí los diversos elementos, para caracterizar el sistema. Para ello, sólo se precisa conocer la relación que existe entre la entrada y la salida del proceso que realiza el mismo. El aspecto más importante de un sistema es el conocimiento de su dinámica, es decir, como se comporta la señal de salida frente a una variación de la señal de entrada. Un conocimiento preciso de la relación entrada/salida permite predecir la respuesta del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorarla.

En vista de todo lo expuesto, se puede definir un sistema de control como el conjunto de elementos que interactúan para conseguir que la salida de un proceso se comporte tal y como se desea, mediante una acción de control. (Gomariz, y otros, 1998)

d.1.2.2 Definiciones

Al analizar los sistemas de control se deben definir ciertos conceptos básicos:

d.1.2.2.1 Variable controlada

La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y control. Por lo común, la variable controlada es la salida del sistema.

d.1.2.2.2 Variable manipulada

La variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.

d.1.2.2.3 Set-Point

Valor al que se desea mantener una variable de proceso.

d.1.2.2.4 Plantas

Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, el propósito de la cual es ejecutar una operación particular.

d.1.2.2.5 Procesos

Se define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado. Se llamará proceso a cualquier operación que se va a controlar.

d.1.2.2.6 Sistemas

Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no necesariamente es físico. El concepto de sistema

se puede aplicar a fenómenos abstractos y dinámicos, como los que se encuentran en la economía.

d.1.2.2.7 Perturbaciones

Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y es una entrada.

d.1.2.2.8 Control realimentado

El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia. (Ogata, 2010)

d.1.3 Lazos de control

Un lazo de control requiere la ocurrencia de tres tareas:

- Medida
- Comparación
- Ajuste

d.1.3.1 Componentes del lazo de control

d.1.3.1.1 Elemento primario o sensor

Es el primer elemento en un lazo de control el cual mide la variable de proceso.

d.1.3.1.2 Transductor

Convierte una señal física en una eléctrica.

d.1.3.1.3 Convertidor

Convierte una señal de un dominio a otro.

d.1.3.1.4 Transmisor

Convierte la lectura de un sensor en una señal estándar que pueda ser transmitida.

d.1.3.2 Lazo abierto y lazo cerrado

d.1.3.2.1 Lazo abierto

La variable de proceso no es comparada y se genera una acción independientemente de las condiciones de la misma.

d.1.3.2.2 Lazo cerrado

Existe cuando la variable de proceso es medida, comparada con el set-point y se genera una acción tendiente a corregir cualquier desviación respecto del mismo. (Vignoni, 2002)

Existen dos tipos: de realimentación positiva y de realimentación negativa.

- **Realimentación positiva**

Es aquella en donde la señal realimentada se suma a la señal de entrada. Se conoce también como regenerativa, no se aplica en el campo de control de procesos industriales.

- **Realimentación negativa**

Es aquella en donde la señal realimentada, se resta de la señal de entrada, generando un error, el cual debe ser corregido. Este es el caso común utilizado en el campo del control de procesos industriales. (Mendiburu, 2003)

d.1.4 Sistemas de Control de Temperatura

Muchos procesos industriales requieren el control preciso de la temperatura para producir resultados de calidad o prevenir sobrecalentamientos, rupturas, explosiones y otros tipos de problemas.

Actualmente se dispone de una gran variedad de dispositivos e instrumentos para la medición precisa de la temperatura, los cuales proporcionan una indicación visual o una señal de realimentación mecánica o eléctrica que puede ser utilizada en un sistema de lazo cerrado para permitir el control automático de procesos térmicos. (Arraya, 2009)

d.1.4.1 Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en señales eléctricas que son procesados por un equipo eléctrico o electrónico.

Los sensores de temperatura pueden clasificarse en:

d.1.4.1.1 Analógicos

Los sensores más comunes de este tipo son:

a. Termistores



Figura 1. Termistor

Fuente: <http://www.brielco.net/>

El termistor está basado en que el comportamiento de la resistencia de los semiconductores, es variable en función de la temperatura.

Existen los termistores tipo NTC y los termistores tipo PTC. En los primeros, al aumentar la temperatura, disminuye la resistencia. En los PTC, al aumenta: la temperatura, aumenta la resistencia.

El principal problema de los termistores es que no son lineales según la temperatura por lo que es necesario aplicar fórmulas complejas para determinar la temperatura según la corriente que circula y son complicados de calibrar.

b. RTDs



Figura 2. RTD

Fuente: <http://www.coleparmer.com/>

Un RTD es un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.

Los metales empleados normalmente como RTD son platino, cobre, níquel y molibdeno.

De entre los anteriores, los sensores de platino son los más comunes por tener mejor linealidad, más rapidez y mayor margen de temperatura.

c. Termopares



Figura 3. Termocupla

Fuente: <http://www.directindustry.es/>

El termopar, también llamado termocupla y que recibe este nombre por estar formado por dos metales, es un instrumento de medida cuyo principio de funcionamiento es el efecto termoeléctrico.

Un material termoeléctrico permite transformar directamente el calor en electricidad, o bien generar frío cuando se le aplica una corriente eléctrica.

El termopar genera una tensión que está en función de la temperatura que se está aplicando al sensor. Midiendo con un voltímetro la tensión generada, conoceremos la temperatura.

Los termopares tienen un amplio rango de medida, son económicos y están muy extendidos en la industria. El principal inconveniente estriba en su precisión, que es pequeña en comparación con sensores de temperatura RTD o termistores. (Medirtemperatura, 2013)

d.1.4.1.2 Digitales

Dentro de los sensores de temperatura digitales se encuentran:

a. Sensor de temperatura LM35

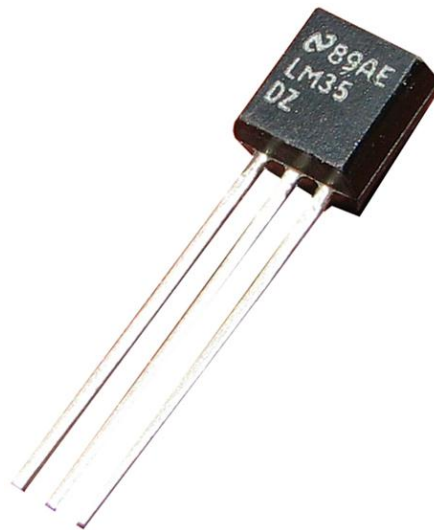


Figura 4. Sensor de temperatura LM35

Fuente: <http://www.trastejant.es/>

El LM35 es un sensor de temperatura integrado de precisión, cuya tensión de salida es linealmente proporcional a temperatura en °C. El LM35 por lo tanto tiene una ventaja sobre los sensores de temperatura lineal calibrada en grados Kelvin. El LM35 no requiere ninguna calibración externa o ajuste para proporcionar una precisión típica. El dispositivo se ajusta y calibra durante el proceso de producción. La baja impedancia de salida, la salida lineal y la precisa calibración inherente, permiten la creación de circuitos de lectura o control especialmente sencillos. El LM35 puede funcionar con alimentación simple o alimentación doble.

Características

- Factor de escala lineal de +10 mV / °C.
- 0,5 °C de precisión a +25 °C.
- Rango de trabajo: -55 °C a +150 °C.
- Apropriado para aplicaciones remotas.
- Funciona con alimentaciones entre 4 V y 30 V.
- Menos de 60 µA de consumo.
- Bajo auto-calentamiento.
- Baja impedancia de salida, 0,1 W para cargas de 1 mA. (Díaz, 2012)

b. Sensor de temperatura DS18B20 impermeabilizado



Figura 5. Sensor de temperatura DS18B20 impermeabilizado

Fuente: <http://www.openhacks.com/>

El sensor es apto hasta los 125 °C, el cable tiene una cubierta de PVC por lo que se sugiere mantenerlo debajo de 100 °C. Como es digital, no hay ninguna degradación de la señal incluso a largas distancias.

Como cada DS18B20 contiene un número de serie único, pueden existir varios DS18B20 en el mismo bus 1-Wire. Esto permite colocar sensores de temperatura en diferentes lugares.

Características

- Interfaz de 1-Wire para comunicación.
- No requiere componentes externos.
- Puede ser alimentado a través de la línea de datos.
- El rango de voltajes de alimentación es de 3 V a 5.5 V.
- Realiza mediciones desde -55 °C hasta 125 °C.

- ± 0.5 °C desde -10 °C hasta +85 °C.
- Memoria seleccionable de 9 a 12 bits.
- Convierte la temperatura a una palabra digital de 12 bits en 750 ms. (Openhacks, 2013)

d.1.5 Clasificación de los sistemas de control

Los sistemas de control pueden ser clasificados, basándose en varios criterios:

d.1.5.1 Según su dimensión

d.1.5.1.1 Sistemas de parámetros concentrados

Son aquellos que pueden ser descritos por ecuaciones diferenciales ordinarias. También son conocidos como sistemas de dimensión finita.

d.1.5.1.2 Sistemas de parámetros distribuidos

Son aquellos que requieren ecuaciones en diferencia. También son conocidos como sistemas de dimensión infinita.

d.1.5.2 Según el conocimiento de sus parámetros

d.1.5.2.1 Sistemas determinísticos

En estos sistemas se conocen exactamente el valor que corresponde a los parámetros.

d.1.5.2.2 Sistemas estocásticos

En este caso, la forma de conocer algunos o todos los valores de los parámetros, es por medio de métodos probabilísticos

d.1.5.3 Según el carácter de transmisión en el tiempo

d.1.5.3.1 Sistemas continuos

Son aquellos descritos mediante ecuaciones diferenciales, donde las variables poseen un valor para todo tiempo posible dentro de un intervalo de tiempo finito. Está referido a las señales analógicas, y su comportamiento matemático es similar a una onda continua.

d.1.5.3.2 Sistemas discretos

Son aquellos descritos mediante ecuaciones en diferencia, y solo poseen valores para determinados instantes de tiempo, separados por intervalos dados por un período constante.

Está referido a las señales digitales, y su comportamiento matemático es similar a un tren de pulsos.

d.1.5.4 Según la presencia de linealidad

d.1.5.4.1 Sistemas lineales

Son aquellos cuyo comportamiento está definido por medio de ecuaciones diferenciales lineales, es decir, los coeficientes son constantes o funciones de la variable independiente. Deben cumplir con el principio de superposición.

d.1.5.4.2 Sistemas no lineales

En caso de que una o más de las ecuaciones diferenciales no sean lineal, todo el sistema será no lineal. También se considerará como sistema no lineal a aquellos para los cuales el principio de superposición no sea válido.

d.1.5.5 Según el comportamiento en el tiempo

d.1.5.5.1 Sistemas invariantes en el tiempo

Ocurre cuando todos sus parámetros son constantes, y por tanto se mantiene en un estado estacionario permanentemente. Se define por ecuaciones diferenciales cuyos coeficientes son constantes.

d.1.5.5.2 Sistemas variantes en el tiempo

Ocurre cuando uno o más de sus parámetros varía en el tiempo, y por lo tanto no se mantiene en estado estacionario. Se define por ecuaciones diferenciales cuyos coeficientes son funciones del tiempo.

d.1.5.6 Según sus aplicaciones

d.1.5.6.1 Sistemas servomecánicos

Son aquellos en donde la variable controlada es la posición o el incremento de la posición con respecto al tiempo.

d.1.5.6.2 Sistemas secuenciales

Son aquellos en donde un conjunto de operaciones preestablecidas es ejecutado en un orden dado.

d.1.5.6.3 Sistemas numéricos

Está referido a sistemas de control que almacenan información numérica, la cual incluye algunas variables del proceso codificadas por medio de instrucciones. (Mendiburu, 2003)

d.2 CAPÍTULO II: MODELADO E IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS

d.2.1 Introducción

La identificación de sistemas permite construir modelos matemáticos de sistemas dinámicos basados en datos obtenidos; esto se logra ajustando parámetros de un modelo dado hasta que su salida coincida lo más posible con la salida medida. (Tervenet, 2012)

Debido a que los sistemas dinámicos abundan en nuestro medio ambiente, las técnicas de identificación de sistemas han cobrado gran relevancia en diversas áreas del conocimiento donde se requiere de un modelo preciso para fines de análisis, predicción, simulación, diseño y control.

En particular, las técnicas de control actuales requieren de modelos matemáticos cada vez más exactos para el análisis y el diseño. (Kunush, 2003)

d.2.2 Modelado de sistemas

En el estudio de sistemas de control se debe modelar sistemas dinámicos y analizar las características dinámicas. (Ogata, 2010)

Un modelo básicamente es una herramienta que permite predecir el comportamiento de un sistema sin necesidad de experimentar sobre él. (Lopez, 2010)

d.2.3 Tipos de modelos

Se pueden describir los siguientes tipos de modelos:

d.2.3.1 Modelos estocásticos y determinísticos

En ocasiones se sabe que existen variables que afectan el sistema, pero no es posible predecir el valor que estas puedan tomar; una de las alternativas para hacer frente a estos casos consiste en considerar que esa variable es aleatoria y buscar técnicas basadas en la teoría de probabilidades para analizar el sistema. Un modelo que incluya variables aleatorias es un modelo estocástico, mientras que modelos exentos de aleatoriedad se denominan: modelos -determinísticos.

d.2.3.2 Modelos lineales y no lineales

La linealidad es una propiedad que pueden tener o no las funciones; realmente se trata de dos propiedades agrupadas bajo un mismo nombre. Estas propiedades son:

a. Proporcionalidad: Esto significa que en los modelos lineales al duplicar las entradas se duplican las salidas.

b. Superposición: Esto significa que en los modelos lineales de varias entradas, las salidas pueden conocerse calculando por separado el efecto de cada entrada y sumando sus resultados.

d.2.3.3 Modelos variantes e invariantes en el tiempo

Un modelo se dice invariante en el tiempo cuando las propiedades del sistema modelado se consideran constantes en el tiempo. En caso contrario se dice variante en el tiempo. La variación se refiere a las propiedades (parámetros) del sistema, no de las señales que le afectan (variables).

d.2.3.4 Modelos continuos y discretos

Para describir el comportamiento de sistemas dinámicos es posible definir la variable tiempo o en dos formas distintas:

d.2.3.4.1 Tiempo continuo

Se considera que el tiempo t es una variable continua que puede tomar cualquier valor real, aunque generalmente se restringe a los valores positivos ($t \in \mathbb{R}^+$). Las variables resultan ser descritas por funciones que van de los reales positivos a los reales ($f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}$).

d.2.3.4.2 Tiempo discreto

Se considera que el tiempo k es una variable discreta, es decir, que solo toma valores en ciertos puntos de la recta real. Usualmente estos instantes están espaciados de forma regular en un intervalo T . De esta forma k es una variable entera, generalmente positiva ($k \in \mathbb{Z}^+$).

Las variables resultan ser descritas por funciones que van de los enteros positivos a los reales

$(f: \mathbb{Z}^+ \rightarrow \mathbb{R})$, es decir, son sucesiones. (Duarte, 2001)

d.2.4 Representación de modelos

Los modelos pueden ser representados de varias formas:

d.2.4.1 Ecuaciones de estado

d.2.4.1.1 Ecuación diferencial

Una ecuación diferencial es una ecuación en la que intervienen derivadas (y/o integrales). La variable que mide el tiempo (t) varía continuamente ($t \in \mathbb{R}$). (Duarte, 2001)

Por ejemplo. Un circuito eléctrico en serie se puede representar por la ecuación diferencial:

$$Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int i(t)dt = e(t) \quad (1)$$

En donde R es la resistencia, L la inductancia, C la capacitancia, $i(t)$ la corriente en la red y $e(t)$ el voltaje aplicado.

En general, la ecuación diferencial de un sistema de n -ésimo orden se escribe como:

$$\frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} = f(t) \quad (2)$$

d.2.4.1.2 Ecuación diferencial de primer orden: Ecuaciones de estado

En general, una ecuación diferencial de n -ésimo orden se puede descomponer en n ecuaciones diferenciales de primer orden. Ya que, en principio, las ecuaciones diferenciales de primer orden son más fáciles de resolver que otras de orden más alto, existen razones por las que las ecuaciones diferenciales de primer orden se emplean en los estudios analíticos de sistemas de control.

Para la ecuación diferencial de la ecuación (2), se tiene:

$$\begin{aligned}
x_1(t) &= y(t) \\
x_2(t) &= \frac{dy(t)}{dt} \\
&\vdots \\
x_n(t) &= \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}}
\end{aligned} \tag{3}$$

Entonces la ecuación diferencial de n-ésimo orden se descompone en n ecuaciones de primer orden:

$$\begin{aligned}
\frac{dx_1(t)}{dt} &= x_2(t) \\
\frac{dx_2(t)}{dt} &= x_3(t) \\
&\vdots \\
\frac{dx_n(t)}{dt} &= -a_0 x_1(t) - a_1 x_2(t) - \dots - a_{n-2} x_{n-1}(t) - a_{n-1} x_n(t) + f(t)
\end{aligned} \tag{4}$$

La última ecuación se obtiene al igualar el término de la derivada de mayor orden en la ecuación (2) con el resto de términos. En teoría de los sistemas de control, el conjunto de ecuaciones diferenciales de primer orden de la ecuación (4) se conoce como ecuaciones de estado. (Kuo, 1996)

d.2.4.2 Modelo de función de transferencia

El modelo matemático de función de transferencia se obtiene aplicando la transformación de Laplace a las ecuaciones diferenciales que modelizan un sistema lineal de parámetros constantes. (González, 2012)

d.2.4.2.1 Transformación de Laplace

La transferencia de Laplace es una de las herramientas matemáticas utilizadas para la solución de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales. Tiene dos características atractivas:

- a.** La solución de la ecuación homogénea y la solución particular se obtienen en sola operación.

b. Convierte la ecuación diferencial en una ecuación algebraica en s . Entonces es posible manipular la ecuación algebraica mediante reglas algebraicas simples, para obtener la solución en el dominio s . La solución final se obtiene tomando la transformada inversa de Laplace.

Dada la función real $f(t)$ que satisface la condición:

$$\int_0^{\infty} |f(t)e^{-\sigma t}| dt < \infty \quad (5)$$

Para alguna σ real finita, la transformada de Laplace de $f(t)$ se define como:

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt \quad (6)$$

o

$$F(s) = \text{transformada de Laplace de } f(t) = L[f(t)] \quad (7)$$

La variable s se denomina el operador de Laplace, que es una variable compleja; esto es:

$$s = \sigma + jw \quad (8)$$

La ecuación (6) también se conoce como transformada de Laplace unilateral, ya que la integral se evalúa desde $t = 0$ hasta ∞ . Esto simplemente significa que toda la información contenida en $f(t)$ antes de $t = 0$ se ignora o considera cero. (Kuo, 1996)

d.2.4.2.2 Función de Transferencia

La función de transferencia de un sistema descrito mediante una ecuación diferencial lineal e invariante en el tiempo se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida (función de respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función de excitación) bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero.

Considérese el sistema lineal e invariante en el tiempo descrito mediante la siguiente ecuación diferencial:

$$a_0 y^n + a_1 y^{n-1} + \dots + a_{n-1} y + a_n y = b_m x^m + b_1 x^{m-1} + \dots + b_{m-1} x + b_m x$$

$$(n \geq m) \quad (9)$$

Donde y es la salida del sistema y x es la entrada. La función de transferencia de este sistema es el cociente de la transformada de Laplace de la salida y la transformada de Laplace de la entrada cuando todas las condiciones iniciales son cero, o

$$\text{Función de transferencia} = G(s) = \frac{L[\text{salida}]}{L[\text{entrada}]} \quad (10)$$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n} \quad (11)$$

A partir del concepto de función de transferencia, es posible representar la dinámica de un sistema mediante ecuaciones algebraicas en s . Si la potencia más alta de s en el denominador de la función de transferencia es igual a n , el sistema se denomina sistema de orden n -ésimo.

La aplicación del concepto de función de transferencia está limitada a los sistemas descritos mediante ecuaciones diferenciales lineales invariantes en el tiempo; sin embargo, el enfoque de la función de transferencia se usa extensamente en el análisis y diseño de dichos sistemas. (Ogata, 2010)

d.2.5 Métodos de obtención de modelos

Para obtener el modelo de un sistema existen dos métodos principales:

d.2.5.1 Método analítico

Se trata de un método teórico, en el cual se aplica las leyes físicas correspondientes a cada componente del sistema, que en conjunto forman una estructura o función matemática. (Mendiburu, 2006)

El modelado teórico tiene un campo de aplicación restringido a procesos muy sencillos de modelar, o a aplicaciones en que no se requiera gran exactitud en el modelo obtenido. (Lopez, 2010)

d.2.5.2 Método experimental

Consiste en la identificación de los parámetros, mediante el análisis de datos de entrada y salida, estimando valores posibles que se ajusten al sistema.

El proceso experimental es denominado Identificación de Sistemas, y corresponde a la planta o proceso que se desea analizar, consiste en recoger datos de la variable de salida con su correspondiente dato de entrada que provocó dicha salida, para luego mediante algoritmos matemáticos aproximar una función de transferencia, la cual debe generar una salida (estimada) similar a la salida sensada, y dependiendo de la diferencia entre ambas (error) se dará validez a la función obtenida, o se tendrá que recalcular con nuevos valores en los algoritmos matemáticos de análisis. (Mendiburu, 2006)

d.2.6 Identificación de sistemas

Se entiende por identificación de sistemas a la obtención de forma experimental de un modelo que reproduzca con suficiente exactitud, para los fines deseados, las características dinámicas del proceso objeto de estudio.

d.2.6.1 Proceso de identificación sistemas

El proceso de identificación comprende los siguientes pasos:

d.2.6.1.1 Obtención de datos de entrada - salida.

Para ello se debe excitar el sistema mediante la aplicación de una señal de entrada y registrar la evolución de sus entradas y salidas durante un intervalo de tiempo.

d.2.6.1.2 Tratamiento previo de los datos registrados.

Los datos registrados están generalmente acompañados de ruidos indeseados u otro tipo de imperfecciones que puede ser necesario corregir antes de iniciar la identificación del modelo.

d.2.6.1.3 Elección de la estructura del modelo.

Si el modelo que se desea obtener es un modelo paramétrico o no paramétrico, es decir el siguiente paso es determinar la estructura deseada para dicho modelo.

d.2.6.1.4 Obtención de los parámetros del modelo.

A continuación se procede a la estimación de los parámetros de la estructura que mejor ajustan la respuesta del modelo a los datos de entrada-salida obtenidos experimentalmente.

d.2.6.1.5 Validación del modelo.

El último paso consiste en determinar si el modelo obtenido satisface el grado de exactitud requerido para la aplicación en cuestión. (Mendiburu, 2006)

d.2.6.2 Métodos de identificación de sistemas

Los métodos de identificación pueden clasificarse según distintos criterios:

d.2.6.2.1 Dependiendo de la aplicación.

a. Métodos de identificación off-line, utilizados en aquellas aplicaciones en que no se requiera un ajuste continuado del modelo. En estos casos, se realiza la identificación previa de la planta, considerándose que la validez de los parámetros obtenidos no se verá alterada con el paso del tiempo.

b. Métodos de identificación on-line, en los que los parámetros se van actualizando continuamente a partir de los nuevos datos de entrada y salida obtenidos durante la evolución del proceso. Estos métodos son muy utilizados en sistemas de control adaptivo.

d.2.6.2.2 Dependiendo del criterio de ajuste de los parámetros.

Existen diversos métodos matemáticos para ajustar los parámetros de una estructura a un conjunto de datos de entrada-salida. Algunos de los más utilizados en el campo de la identificación son:

a. Método de mínimo cuadrados

b. Método de las variables instrumentales. (Ljung, 1999)

d.2.6.3 Identificación de sistemas con Matlab

d.2.6.3.1 Introducción al Toolbox de Identificación

Matlab dispone de una amplia colección de funciones aplicables al campo de la identificación de sistemas, agrupadas en el System Identification Toolbox (ident), que constituyen una herramienta de gran utilidad para la identificación y modelado de sistemas dinámicos.

Estas funciones incluyen diferentes algoritmos para el ajuste de parámetros en todo tipo de modelos lineales.

Así mismo, permiten examinar las propiedades de los modelos obtenidos, e incluso realizar un pre procesamiento de los datos utilizados para la identificación, en caso de que sea necesario.

Las versiones del Toolbox de Identificación a partir de la 4.0 permiten trabajar en dos modos distintos:

a. Modo comando. En este modo, se trabaja directamente desde la ventana de comandos de Matlab, realizando llamadas a las diferentes funciones que componen el Toolbox de Identificación.

b. Mediante Interfaz de Usuario. El Toolbox de Identificación proporciona un interfaz gráfico de usuario (GUI) que facilita el trabajo con las funciones anteriores, realizando llamadas a las mismas de forma transparente al usuario, sin necesidad de llamarlas desde la línea de comandos.

Para arrancar el interfaz de usuario (GUI), basta con teclear en la línea de comandos de Matlab: >> ident.

d.2.6.3.2 Datos de entrada-salida

Como es sabido, todo proceso de identificación parte de un conjunto de datos de entrada-salida obtenido en forma experimental a partir del sistema que se pretende modelar.

Generalmente, solo se utiliza una parte de esos datos para realizar la identificación del modelo, y los restantes se reservan para realizar la validación del mismo.

Los datos anteriores suelen encontrarse almacenados en ficheros *ascii*, que pueden ser cargados en el Workspace de Matlab mediante la función *load* para el posterior trabajo con los mismos.

Todas las funciones del Toolbox de Identificación que requieren como parámetro los datos de entrada-salida, deben recibir dichos datos en una matriz de dos columnas y N filas, siendo N el número de datos (muestras) de entrada-salida registrados. En la primera columna deben aparecer las salidas en sucesivos periodos de muestreo y en la segunda las correspondientes entradas.

d.2.6.3.3 Tratamientos previo de los datos

El Toolbox de Identificación proporciona un conjunto de funciones que permiten realizar diferentes tratamientos de los datos de entrada-salida, para hacerlos lo más adecuado posible al proceso de identificación. Entre ellas existen funciones de filtrado, eliminación de valores medios, etc.

d.2.6.3.4 Identificación de modelos

A partir de los datos de entrada-salida es posible obtener representaciones de a planta, tales como su respuesta en frecuencia (análisis espectral), análisis de correlación, etc.

d.2.6.3.5 Validación de modelos

Los métodos de validación proporcionados por el Toolbox de Identificación se basan en la simulación del modelo obtenido, y la comparación entre su salida y la respuesta real del sistema. (Lopez, 2010)

d.2.6.4 Simulación de sistemas con Matlab

Para la simulación, análisis y modelado de sistemas dinámicos, contamos con Simulink, que acompaña a Matlab, en forma de toolbox. Su interface gráfica permite ver los modelos.

Simulink soporta sistemas lineales, no lineales, continuos, discretos e hibridos. (Gil, 2003)

d.2.6.4.1 El entorno de Simulink

El programa Simulink se inicia haciendo clic en el icono o desde la ventana de comandos de Matlab mediante la orden: >> simulink.

Al ejecutar Simulink, aparece una ventana que corresponde al navegador de librerías, donde se muestran todas las librerías disponibles, cada una de estas contiene bloques elementales con los que se pueden construir los sistemas a simular.

Simulink emplea diagrama de bloques para representar sistemas dinámicos, para construir estos diagramas existen esencialmente cuatro tipos de objetos:

- a.** Fuentes: emisoras de información
- b.** Proceso: elementos que realizan alguna operación
- c.** Destinos: receptores de información
- d.** Conexiones unidireccionales: líneas

d.2.6.4.2 Etapas para la simulación de un sistema

Para simular un sistema, se deben insertar en la ventana de simulación los distintos componentes con los que se va a construir el modelo. A continuación se describen los siguientes pasos:

- a.** Creación del modelo
- b.** Introducción de bloques en el modelo
- c.** Configuración de los parámetros en los bloques del modelo
- d.** Interconexión de elementos

Para visualizar los resultados el bloque más útil es el “Scope” que simula el comportamiento de un osciloscopio. (Lopez, 2008)

d.3 CAPÍTULO III: SISTEMAS DE CONTROL PID Y ADQUISICIÓN DE DATOS

d.3.1 Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)

d.3.1.1 Introducción

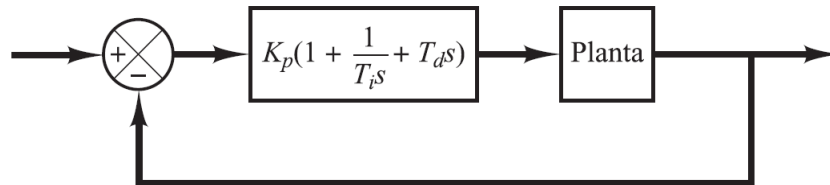


Figura 6. Control PID de una planta

Fuente: Ogata, Katsuhiko. "Ingeniería de Control Moderna"

Un sistema de control está compuesto de la planta y el controlador principalmente, de estos los más utilizados en la industria son los controladores PID.

La estructura de un controlador PID es simple, aunque su simpleza es también su debilidad, dado que limita el rango de plantas donde pueden controlar en forma satisfactoria (existe un grupo de plantas inestables que no pueden ser estabilizadas con ningún miembro de la familia PID). (Mazzone, 2012)

Los controladores PID resultan más útiles en los sistemas de control cuando el modelo matemático de la planta no se conoce y por lo tanto, no se puede emplear métodos de diseño analítico. (Ogata, 2010)

La popularidad de los controladores PID se pueda atribuir parcialmente a su comportamiento robusto en un rango amplio de condiciones de operación y también a su simplicidad funcional que permita operarlos de una forma simple y directa. Para implementar un controlador de este tipo, se deben determinar tres parámetros para el proceso dado: ganancia proporcional, ganancia integral y ganancia derivativa. (Dorf, y otros, 2005)

El controlador PID combina las tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativo (D). La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_p \frac{de(t)}{dt} \quad (12)$$

Donde u es la variable de control, e es el error, los parámetros del controlador son: la ganancia proporcional K_p , el tiempo integral T_i y el tiempo derivativo T_d . (Morilla, 2007)

d.3.1.2 Parámetros de control

d.3.1.2.1 Ganancia proporcional (K_p)

Es la constantes de proporcionalidad en la acción de control proporcional. Si tenemos K_p pequeña entonces la acción proporcional pequeña, en cambio, si K_p grande entonces la acción proporcional grande.

d.3.1.2.2 Constante de tiempo integral (T_i)

El tiempo requerido para qua la acción integral contribuya a la salida del controlador en una cantidad igual a la acción proporcional. Si tenemos T_i pequeño entonces la acción integral grande, en cambio, si T_i grande entonces la acción integral pequeña.

d.3.1.2.3 Constante de tiempo derivativa (T_d)

El tiempo requerido para que la acción proporcional contribuya a la salida del controlador en una cantidad igual a la acción derivativa. Si tenemos T_d pequeño entonces la acción derivativa pequeña, en cambio, si T_d grande entonces la acción derivativa grande.

d.3.1.3 Acciones de control

d.3.1.3.1 Acción proporcional (P)

La respuesta proporcional es la base de los tres modos de control, si los otros dos, control integral y control derivativo estén presentes, éstos son sumados a la respuesta proporcional. Produce una señal de control proporcional a la señal de error.

d.3.1.3.2 Acción integral (I)

Proporciona una corrección para compensar las perturbaciones y mantener la variable controlada en el punto de consigna.

d.3.1.3.3 Acción derivativa (D)

Anticipa el efecto de la acción proporcional para estabilizar más rápidamente la variable controlada después de cualquier perturbación. (Morilla, 2007)

d.3.1.4 Sintonización de controladores PID

El diseño de controladores se realiza en función del conocimiento del proceso, es decir, a partir del modelo del proceso y del esquema de control. Si no se dispone de la información antes descrita se plantea el use de reglas de sintonización para controladores, PID, donde la función de transferencia del controlador PID es de la forma: (Montbrun, 2010)

$$G_c(s) = \left(1 + T_p s + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (13)$$

Ziegler y Nichols propusieron reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional

K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , basados en las características de respuesta transitoria de una planta dada. La determinación de los parámetros de los controladores PID o sintonía de controladores PID la pueden realizar mediante experimentos sobre la planta. (Ogata, 2010)

Hay dos métodos denominados reglas de sintonización de Cohen - Coon y Ziegler - Nichols, fundamentados en la experimentación.

d.3.1.4.1 Método de Cohen - Coon

En este método, se obtiene experimentalmente la respuesta de la planta al aplicar un escalón unitario. Si la planta no incluye integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta al escalón unitario puede tener el aspecto de una curva en forma de S, en el caso en que la curva no presente esta forma, no se puede aplicar el método. (Ogata, 2010)

La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan trazando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y

determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y con la línea $c(t)=K$, tal como se muestra en la Figura 7:

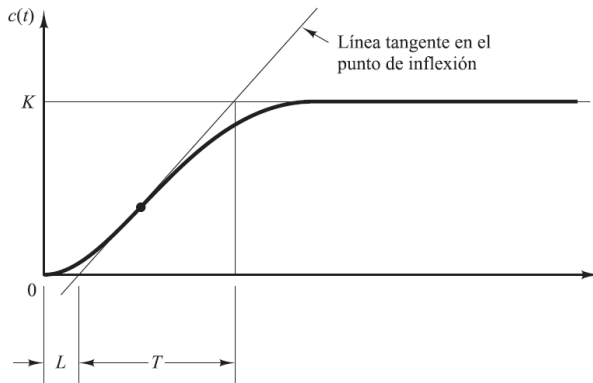


Figura 7. Respuesta al escalón de la planta

Fuente: Ogata, Katsuhiko. "Ingeniería de Control Moderna"

Entonces la función de transferencia se puede aproximar por un sistema de primer orden con atraso de transporte.

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1} \quad (14)$$

Una vez identificado los parámetros del proceso, se obtienen los parámetros del controlador, utilizando la Tabla 1:

Tabla 1: Regla de sintonía basada en la respuesta escalón de la planta

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Fuente: Ogata, Katsuhiko. "Ingeniería de Control Moderna"

d.3.1.4.2 Método de Ziegler - Nichols

En este método, primero se fija $T_i = \infty$ y $T_d = 0$. Usando solamente la acción del controlador proporcional, se incrementa K_p desde cero hasta un valor crítico K_{cr} , en donde la salida presenta por primera vez oscilaciones sostenidas. Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , entonces no se puede

aplicar este método. La ganancia crítica K_{cr} , y el período P_{cr} correspondiente se determinan experimentalmente (véase la Figura 8).

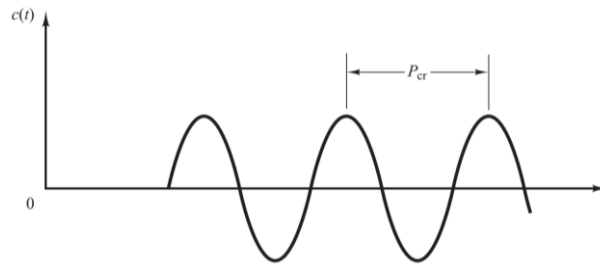


Figura 8. Oscilación sostenida con período P_{cr}

Fuente: Ogata, Katsuhiko. "Ingeniería de Control Moderna"

Ziegler - Nichols sugirieron que se establecieran los valores de los parámetros K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que se muestra en la Tabla 2: (Ogata, 2010)

Tabla 2: Regla de sintonía basada en la ganancia crítica K_{cr} y período crítico P_{cr}

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Fuente: Ogata, Katsuhiko. "Ingeniería de Control Moderna"

d.3.1.5 Selección del controlador

Para la selección del controlador tenemos las siguientes consideraciones:

d.3.1.5.1 Lazos de caudal o de presión

Dinámicas rápidas, sin retardos y perturbaciones de alta frecuencia: PI.

d.3.1.5.2 Lazos de nivel

Combinación de varias dinámicas, sin retardo y perturbaciones de media frecuencia: PI o PID.

d.3.1.5.3 Lazos de temperatura

Dinámicas lentas, con o sin retardo y perturbaciones de baja frecuencia: PI o PID.

d.3.1.5.4 Lazos de composición

Predomina el retardo debido al analizador: PI.

d.3.1.5.5 Procesos integradores

Procesos térmicos o ciertos lazos de nivel: PD o PID. :

d.3.1.5.6 Control en cascada

En el lazo primario: PI o PID; en el lazo secundario: P o PD. (Morilla, 2007)

d.3.2 Adquisición de datos

d.3.2.1 Introducción

Conforme se perfeccionan o desarrollan nuevos procesos científicos y productivos, en diversos sistemas aparece una gran cantidad de magnitudes físicas cuyo conocimiento y regulación resultan fundamentales. (Escribano, y otros, 2008)

La adquisición de datos es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema de adquisición de datos consiste de sensores, hardware de medidas y un PC con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas de adquisición de datos basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable. (NationalInstruments, 2013)

d.3.2.2 Tipos de sistemas adquisición de datos

Hay varios tipos de sistemas de adquisición de datos:

d.3.2.2.1 Data Logger



Figura 9 Data Logger

Fuente: <http://www.picotech.com/>

Los registradores de datos (Data Loggers) son sistemas que operan de forma independiente (stand-alone), la única función del ordenador es el volcado de datos adquiridos. (Lajara, y otros, 2007)

Estos dispositivos registran datos en tiempo real o en relación a la ubicación por medio de instrumentos y sensores propios o externos. Casi todos están basados en micro controladores.

Por lo general son pequeños, usando batería de larga duración, portátiles, conteniendo un microprocesador y una memoria interna para almacenamiento de datos así como sensores.

Algunos registradores de datos se comunican con una computadora y utilizan software específico para activar el registro de datos, ver y analizar los datos recogidos, mientras que otros tienen un dispositivo de interfaz local que puede ser utilizado como un dispositivo independiente.

Los registradores de datos varían entre los de propósito general para una amplia gama de aplicaciones a los dispositivos de medición muy específicos para medir en un medio ambiente o aplicaciones particulares.

Uno de los principales beneficios del uso de registradores de datos es la capacidad para recopilar automáticamente datos las 24 horas del día. Tras la activación, los registradores de datos normalmente se dejan sin vigilancia para medir y registrar la información durante toda la duración del periodo de seguimiento. (Datalogger's, 2010)

d.3.2.2.2 Tarjetas DAQ



Figura 10. Tarjeta DAQ

Fuente: <http://infoind-etsid-upv.blogspot.com/>

Las tarjetas DAQ (Data Acquisition) no operan de forma independiente sino que necesitan un ordenador para gobernadas, las hay internas y externas. (Lajara, y otros, 2007)

El hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico- digital (ADC) y un bus de PC. Varios dispositivos DAQ incluyen otras funciones para automatizar sistemas de medidas y procesos. (NationalInstruments, 2013)

d.3.2.2.3 Tarjeta Arduino



Figura 11. Arduino Mega 2560

Fuente: <http://arduino.cc>

El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica basada en el ATmega2560. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador, simplemente al conectar a un ordenador con un cable USB, o alimentarla con un adaptador de corriente AC a DC para empezar.

a. Características

- Microcontroladores: ATmega2560
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Voltaje de entrada 7-12 V
- Voltaje de entrada: 6-20 V
- Pines de entrada/salida: 54 (15 salidas PWM)
- Pines de entrada analógica: 16
- Corriente continua para las E/S: 40 mA
- Corriente continua para pin 33 V 50 mA
- Memoria Flash: 256 KB, 8 KB utilizarlo por el gestor de arranque
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Velocidad del reloj: 16 MHz

b. Programación

El Mega Arduino se puede programar con el software Arduino. Los programas hechos con Arduino se dividen en tres partes principales: estructura; valores (variables y constantes), y funciones. El lenguaje de programación Arduino se basa en C/C++.

c. Comunicación

El Arduino Mega 2560 tiene una serie de facilidades para la comunicación con un ordenador, otro Arduino, u otros microcontroladores.

Se utiliza la comunicación serial entre la placa Arduino y un ordenador u otros dispositivos.

Todas las placas Arduino tienen al menos un puerto serie. Se comunica a través de los

pines digitales 0 (RX) y 1 (TX), así como con el ordenador mediante USB. Por lo tanto, si utilizas estas funciones, no puedes usar los pines 0 y 1 como entrada o salida digital.

Además se puede utilizar el monitor del puerto serie incorporado en el entorno Arduino para comunicarte con la placa Arduino. (Arduino, 2013)

d.3.2.3 Etapas de la adquisición de datos



Figura 12. Sistema de adquisición de datos

Fuente: <http://www.ni.com/>

La señal física pasa por una serie de etapas para poder ser leída por la computadora, estas son:

d.3.2.3.1 Etapa de transductores

Los transductores son dispositivos que convierten una señal física en señales eléctricas de voltaje o corriente.

d.3.2.3.2 Etapa de transmisión

Permite enviar las señales de salida de una etapa hacia otra situada en una localización remota. Para distancias no excesivas, es común emplear un bucle de corriente 4-20 mA para la transmisión de las señales

d.3.2.3.3 Etapa de acondicionamiento

Contiene circuitos electrónicos encargados de transformar las señales de sensado en nuevas variables eléctricas, de forma que sean más fáciles de tratar por el resto de etapas del sistema.

Implica filtrado de ruido, escalonamiento, ajuste al rango del convertidor A/D, etc.

d.3.2.3.4 Etapa de adquisición

Efectúa la transformación de la información analógica a un formato digital, lo que hace posible un posterior procesamiento y almacenamiento mediante el uso de una computadora.

d.3.2.3.5 Etapa de procesamiento

Tiene lugar dentro de la computadora, consiste en la realización de operaciones sobre la información digital obtenida: decisiones para el control de un sistema, detección de situaciones de alarma, corrección de medidas, almacenamiento y reportes de información, etc. (Mendiburu, 2006)

e.- MATERIALES Y MÉTODOS

e.1 Materiales

e.1.1 Materiales del proyecto práctico

- Depósitos
- Tubería cuatritubo
- Bombas
- Electroválvulas
- Resistencia
- Sensores
- Cable flexible
- Canaleta ranurada
- Interruptor termomagnético
- Fusible
- Contactores
- Relés térmicos
- Componentes electrónicos

e.1.2 Materiales del documento

- Pendrive
- Laptop
- Cámara digital
- Documentos virtuales
- Documentos físicos de consulta
- Datos obtenidos mediante el experimento

e.2 Métodos

Para el desarrollo del proyecto de tesis se ha tenido previsto:

e.2.1 Descripción de la planta

e.2.1.1 Esquema

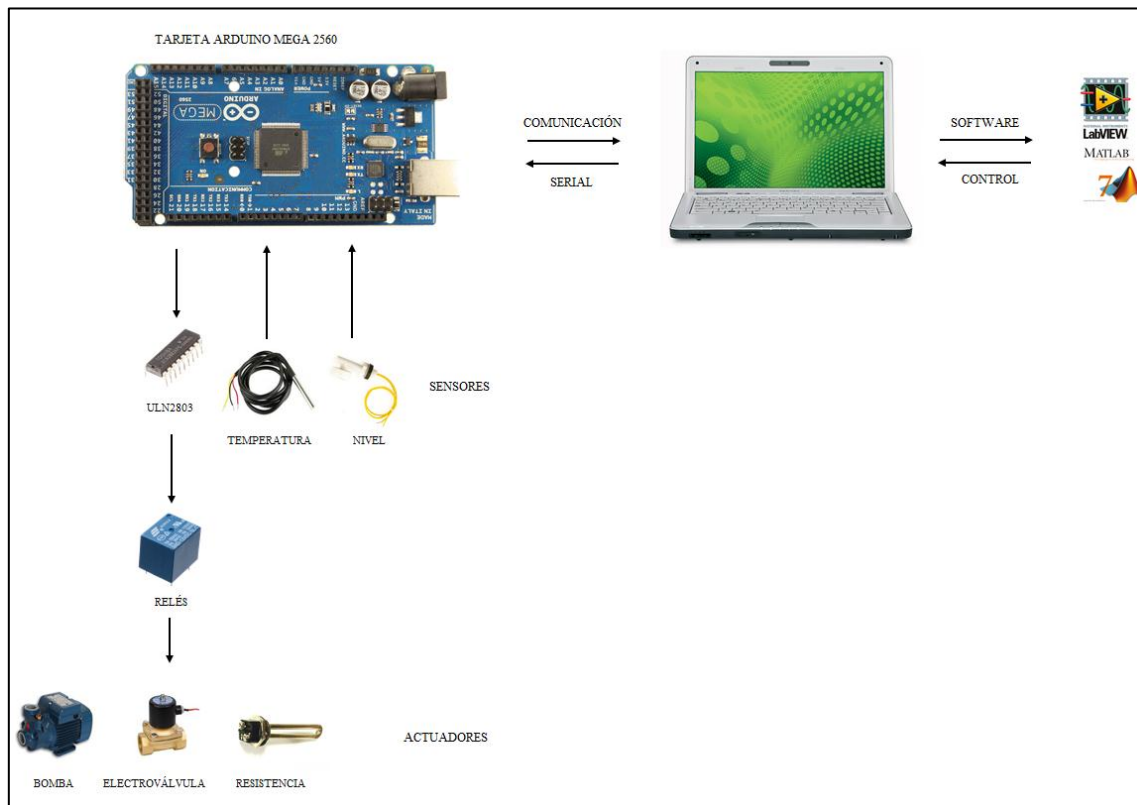


Figura 13. Esquema de la planta

Fuente: El autor

En la Figura 13 se muestra como se encuentran conectados todos los componentes de la planta.

La tarjeta Arduino Mega 2560 permite el control de los relés que accionan los actuadores a través del circuito integrado ULN 2803.

El control de la planta es monitoreado desde el computador mediante instrumentos virtuales los cuales permiten la adquisición de datos de procesos, visualización la lectura de los sensores y el control automático de los actuadores.

e.2.1.2 Elementos

Los elementos principales que conforman la planta se enumeran a continuación:

e.2.1.2.1 Tanques



Figura 14. Tanques de la planta

Fuente: El autor

Para el proceso se tiene un tanque plástico de 40 litros este será para el almacenamiento de agua, otro tanque circular de acero inoxidable de 28,27 litros en el cual se realizará el calentamiento del líquido y los otros dos tanques cuadrados de vidrio templado de 22,5 litros serán para la circulación del agua.

e.2.1.2.2 Computador

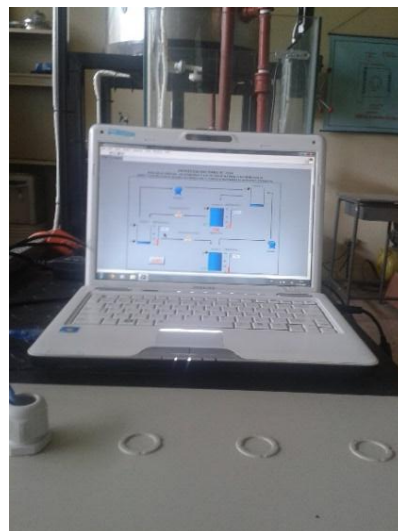


Figura 15. Computador Toshiba Satellite U505

Fuente: El autor

En el computador se instalaron previamente los programas Arduino, LabVIEW y Matlab, necesarios para realizar el control de temperatura.

De la misma manera se instalaron los toolkits, Control Desing and Simulation y PID and Fuzzy Logic para LabVIEW 2012, estas herramientas son usados en la implementación del controlador PID, los cuales fueron descargados del servidor NI (NationalInstruments, 2013)

e.2.1.2.3 Tarjeta Arduino Mega 2560



Figura 16. Tarjeta Arduino Mega 2560

Fuente: El autor

La comunicación entre la tarjeta y computador es serial para ello crea automáticamente un puerto virtual COM único para cada tarjeta, el cual es preciso identificar ya que es necesario en la programación.

En los Anexos 1 y 2 se puede observar la programación de la tarjeta que se utilizó para el desarrollo del proyecto, la cual se realizó con el software Arduino, el mismo que se descargó desde la página de Arduino (Arduino, 2013), luego se carga el programa desarrollado en la tarjeta y se procede a la programación en LabVIEW.

e.2.1.2.4 Sensores de temperatura DS18B20



Figura 17. Sensor de temperatura DS18B20

Fuente: El autor

Se cuenta con tres sensores DS18B20 para la lectura de temperatura gracias a que estos sensores cuentan con interfaz 1-wire, se pueden conectar los tres sensores en paralelo utilizando el mismo bus de datos de un solo cable, estarán conectados al terminal número 2 de la tarjeta.

Los sensores se encuentran alimentados a 5 V, voltaje que es proporcionado por la tarjeta Arduino.

Estos sensores emiten señales digitales, para la programación es necesario incluir las librerías DallasTemperature y OneWire se las puede descargar de la página de Arduino. (Arduino, 2013)

En la Figura 18 se tiene el esquema de conexión del sensor de temperatura:

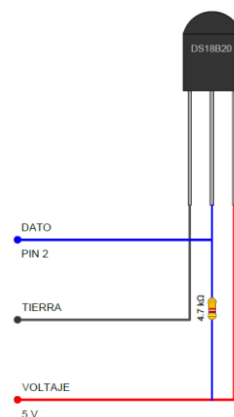


Figura 18. Esquema de conexión del sensor de temperatura

Fuente: El autor

e.2.1.2.5 Sensores de nivel tipo flotador



Figura 19. Sensor de nivel tipo flotador

Fuente: El autor

Se emplearon siete sensores de nivel tipo flotador para visualizar el llenado y vaciado del líquido en los diferentes tanques, los terminales habilitados para su conexión van desde el terminal 3 hasta el 10.

Los sensores están alimentados por una fuente de corriente continua de 12 V, estos son usados para controlar las funciones de las bombas y de las electroválvulas durante el transcurso de todo el proceso.

A continuación se puede observar el esquema de conexión del sensor:

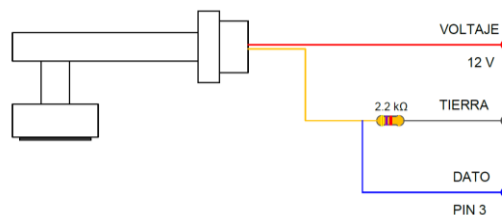


Figura 20. Esquema de conexión del sensor de nivel

Fuente: El autor

e.2.1.2.6 Circuito integrado ULN2803

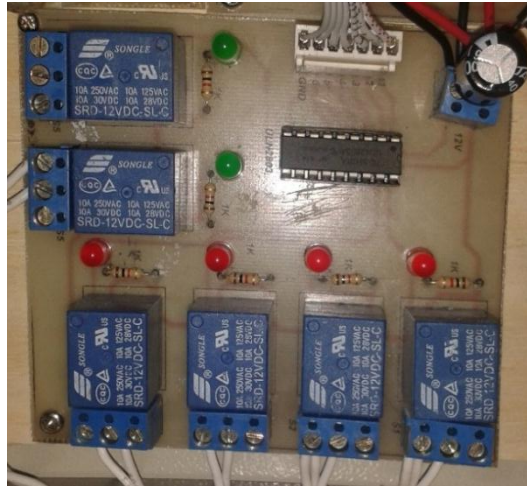


Figura 21. Circuito ULN2806

Fuente: El autor

Este circuito permite comandar los relés que accionan las bombas, electroválvulas y resistencia.

El circuito cuenta con alimentación a través de una fuente de 12 V, de la misma manera se encuentran alimentados los relés.

En la Figura 22 se observa el diagrama de conexión del circuito:

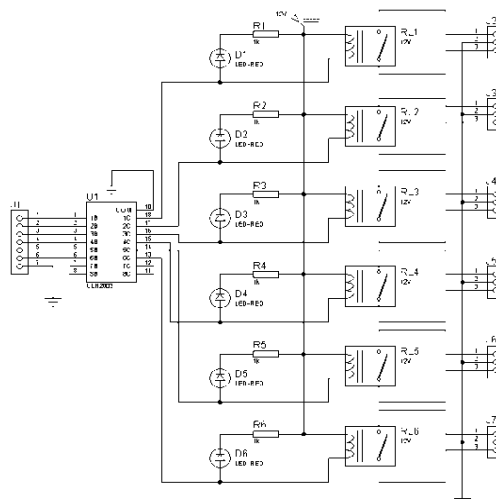


Figura 22. Circuito integrado ULN2806

Fuente: El autor

e.2.1.2.7 Circuito para conexión de sensores

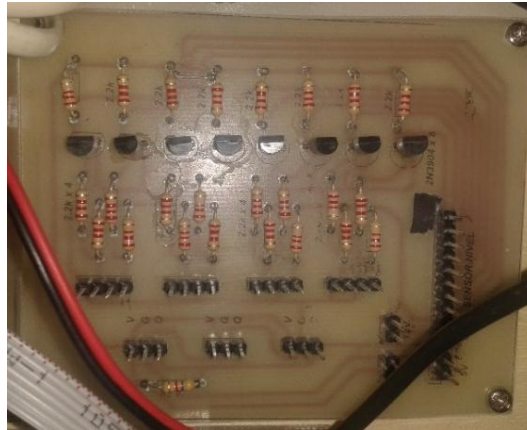


Figura 23. Circuito para la conexión de sensores

Fuente: El autor

En la Figura 23 se muestra el circuito donde están conectados los sensores de temperatura DS18B20 y los sensores de nivel tipo flotador, consta de resistencias para la protección de los sensores, así como de transistores 2N3904 para la amplificación de la señal debido a que los sensores se encuentran a distancias considerables de la tarjeta Arduino.

A continuación se presenta el esquema de conexión del circuito.

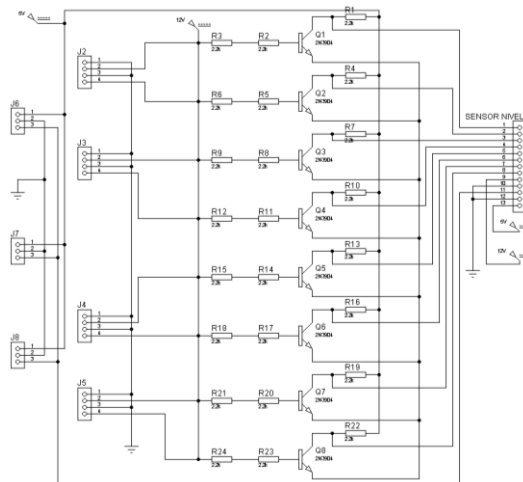


Figura 24. Circuito para la conexión de sensores

Fuente: El autor

e.2.1.2.8 Circuito de optoacopladores



Figura 25. Circuito de optoacopladores

Fuente: El autor

Debido al ruido eléctrico producido por las bobinas de los relés se implementó un circuito de optoacopladores 4N25 para eliminar dicho ruido, los mismos están alimentados a 12 V y cuentan con resistencias para su protección.

El diagrama de conexión del circuito se muestra en la siguiente figura:

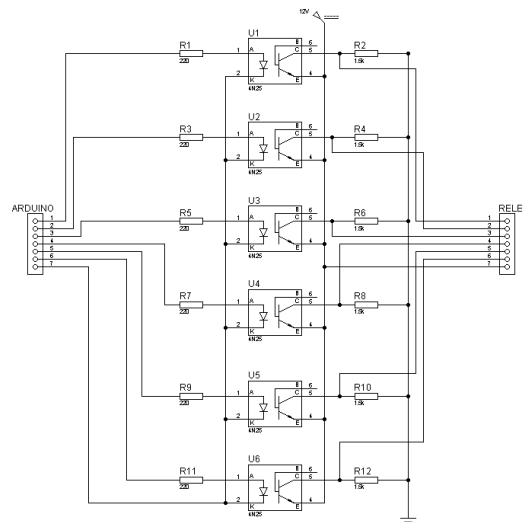


Figura 26. Circuito de optoacopladores

Fuente: El autor

e.2.1.2.9 Bombas



Figura 27. Bombas Pedrollo

Fuente: El autor

En el proceso de control de temperatura se tiene dos bombas Pedrollo de 0,5 HP su alimentación es de 110 V.

Antes de iniciar el funcionamiento de las bombas estas se deben cebar, es decir, llenar de líquido la tubería de succión. Una de las bombas permite el inicio del proceso y la otra se encarga de la recirculación del líquido.

e.2.1.2.10 Electroválvulas

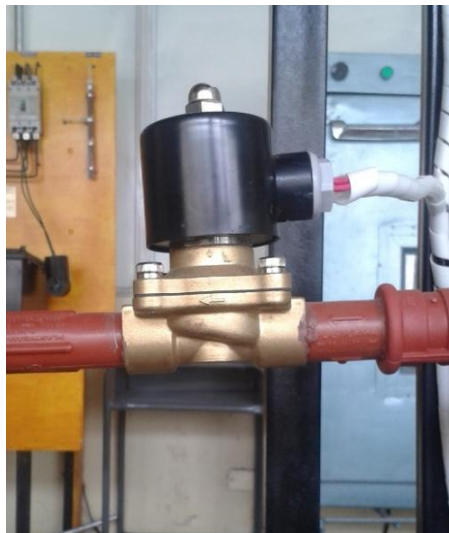


Figura 28. Electroválvula

Fuente: El autor

En la planta se cuenta con dos electroválvulas de ½ pulgada que permiten el control del líquido, estas trabajan a una temperatura máxima de 80 °C, una presión de 0 kg/cm² hasta 10 kg/cm² y son alimentadas a 110 V.

e.2.1.2.11 Resistencia eléctrica



Figura 29. Resistencia eléctrica

Fuente: El autor

Para el calentamiento del líquido se utilizó una resistencia eléctrica, para determinar la potencia de la resistencia se procedió de la siguiente manera:

$$Q = mc\Delta T \quad (15)$$

Donde:

Q : Energía calorífica

m : Masa del agua

c : Calor específico del agua

ΔT : Variación de temperatura

El volumen con el que se trabajará es de 21 205,75 cm³ (21,21 lt) ya que es lo máximo que se llenara el tanque en el que se calentara el agua, con lo que tenemos:

$$m = \rho v \quad (16)$$

Donde:

m : Masa

ρ : Densidad

v : Volumen

$$m = \left(1 \frac{g}{cm^3}\right) (21\,205,75\, cm^3)$$

$$m = 21\,205,75\, g$$

$$Q = (21\,205,75\, g) \left(1 \frac{cal}{g^{\circ}C}\right) (60 - 18)^{\circ}C$$

$$Q = 890\,641,52\, cal$$

Estas calorías se las transforma a joule, se sabe que $1\, cal = 4,187\, J$:

$$E = \frac{4,187\, J}{1\, cal} (890\,641,52\, cal)$$

$$E = 3\,729\,116\, J$$

Se calcula la potencia de la resistencia en un tiempo de 12 minutos:

$$P = \frac{E}{t} \tag{17}$$

Donde:

P : Potencia de la resistencia

E : Energía

t : Tiempo

$$P = \frac{3\,729\,116\, J}{720\, s}$$

$$P = 5\,179,3\, W$$

Conocida la potencia se buscó en el mercado y se adquirió la más cercana al valor, una resistencia tubular sumergible de 6 000 W con alimentación a 220 V, antes de encender la resistencia se debe verificar que el líquido la cubra totalmente para evitar daños.

e.2.1.3 Montaje

El montaje de la planta empieza por la construcción de la estructura metálica donde se ubicaran todos los componentes que intervendrán en el proceso de control.



Figura 30. Estructura de la planta

Fuente: El autor

Después se realizó la instalación de la tubería cuatritubo y se ubicaron tanques, bombas y electroválvulas donde les corresponde.



Figura 31. Ubicación de los componentes

Fuente: El autor

Luego se efectuó el montaje del sistema eléctrico para el control de temperatura, este cuenta con las debidas protecciones para todos los elementos que actúan en el proceso.



Figura 32. Montaje del sistema eléctrico

Fuente: El autor

Finalmente se comprobó el funcionamiento de cada uno de los componentes.



Figura 33. Planta del proceso de control

Fuente: El autor

e.2.1.4 Funcionamiento

El proceso inicia con el accionamiento de la bomba que lleva el agua desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque donde se la calentará mediante la resistencia, este accionamiento dependerá de los sensores de nivel instalados.

Para llevar el agua hasta el tanque donde se va a realizar el control de temperatura se debe abrir una electroválvula permitiendo el flujo de agua, hasta que la temperatura llegue a ser la adecuada el agua permanecerá recirculando.

El controlador desarrollado actúa directamente sobre la resistencia, ya que al recibir la lectura de temperatura del proceso este la compara con la temperatura de referencia establecida en el set-point, si la temperatura está dentro de lo establecido la resistencia se apagará caso contrario continuara encendida hasta que se cumpla con esta temperatura de referencia.

e.2.2 Modelado e identificación del proceso

En el software LabVIEW se elaboró un instrumento virtual (VI) el cual permite el control de los actuadores así como la adquisición de datos de la variable temperatura.

En la Figura 34 y Figura 35 se puede observar el panel frontal del instrumento virtual, en estas pantallas se muestra la lectura de los sensores de nivel y temperatura, además se observa los botones para el accionamiento de las bombas, electroválvulas y resistencias.

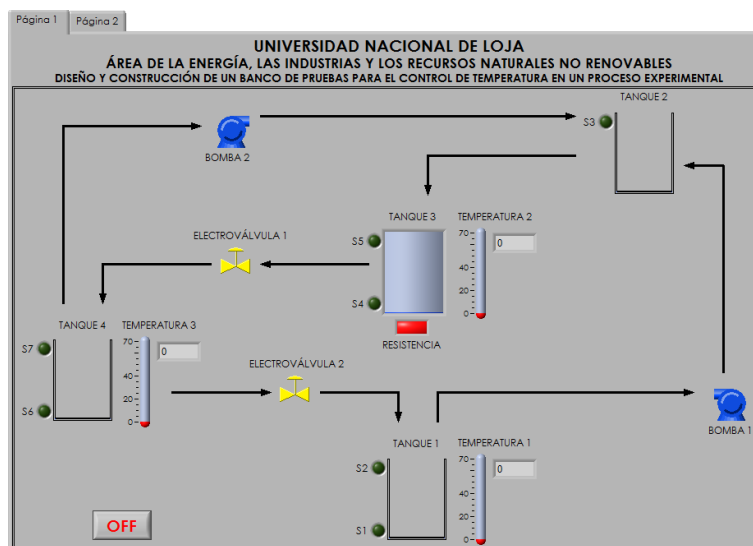


Figura 34. Panel frontal del VI, página 1

Fuente: El autor

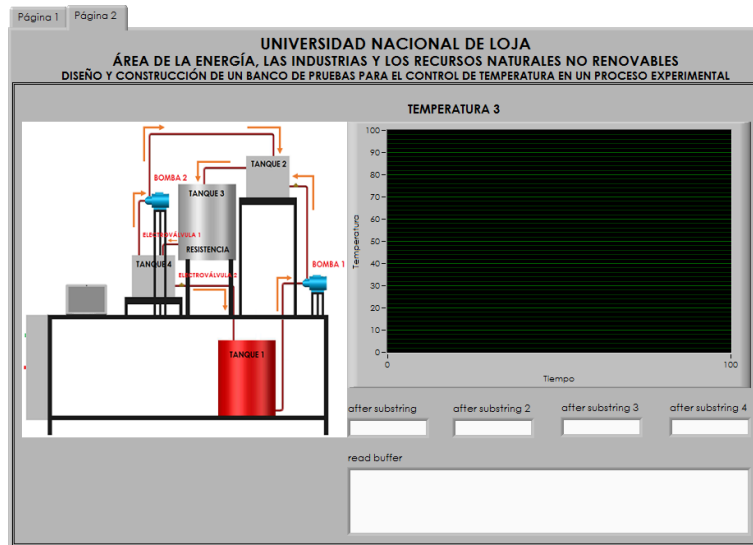


Figura 35. Panel frontal del VI, página 2

Fuente: El autor

En la Figura 36 se muestra el diagrama de bloques con la programación del VI:

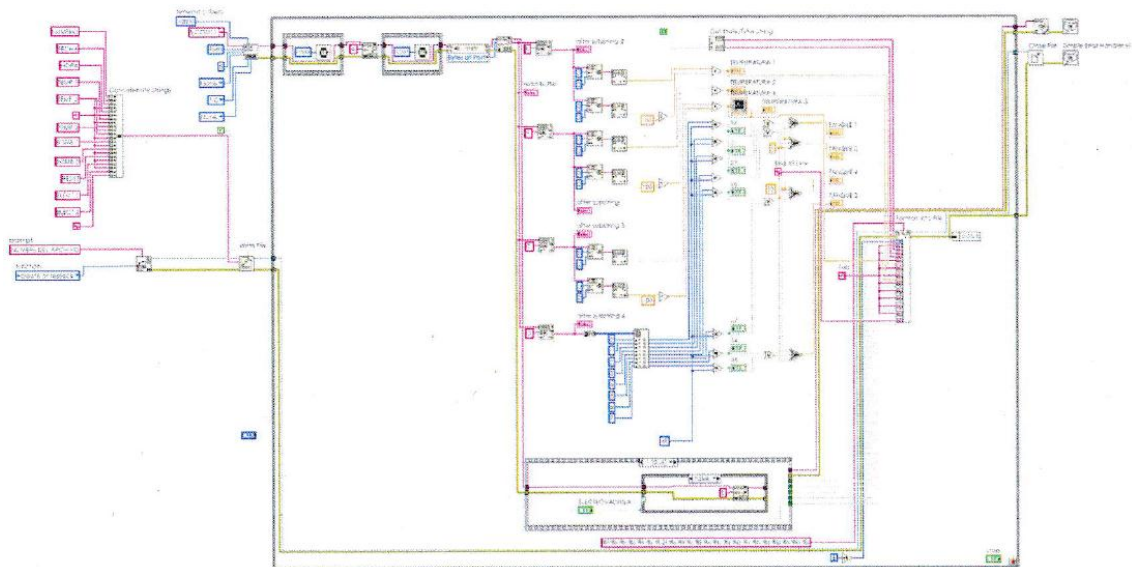


Figura 36. Diagrama de bloques

Fuente: El autor

En el Anexo 3 se tiene los datos adquiridos de la variable temperatura, ahora se obtendrá mediante la herramienta System Identification (ident) de Matlab un modelo matemático que represente la dinámica de la planta, para lo cual se tiene:

a. En el Workspace de Matlab se cargan los datos adquiridos libres de ruidos.

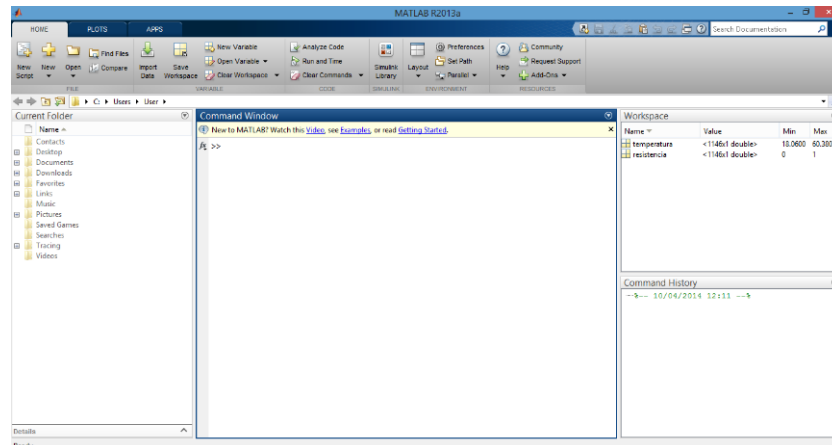


Figura 37. Workspace de Matlab

Fuente: El autor

b. En la ventana de comandos se tecleara *ident*.

c. De la lista desplegable *Import data* se selecciona *Time domain data* donde se ingresa como entrada (input) a la *resistencia* y como salida (output) a la *temperatura*.

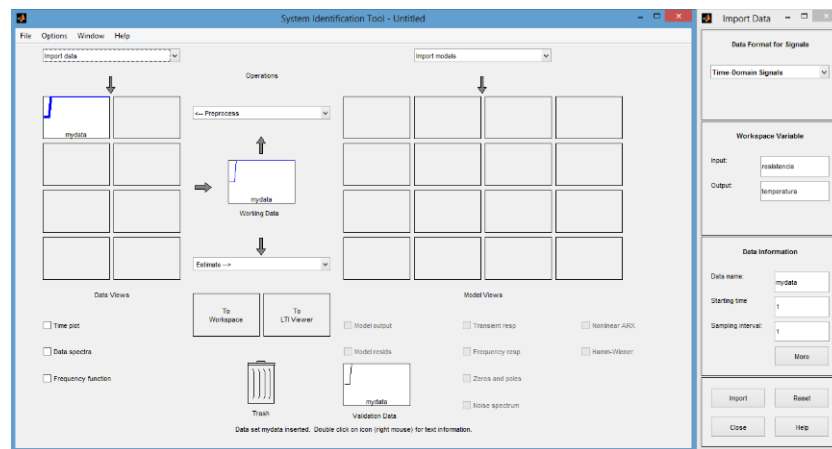


Figura 38. System Identification Tool

Fuente: El autor

d. En la lista desplegable *Estimate* se elige *Process Model* donde se selecciona un modelo de función de transferencia.

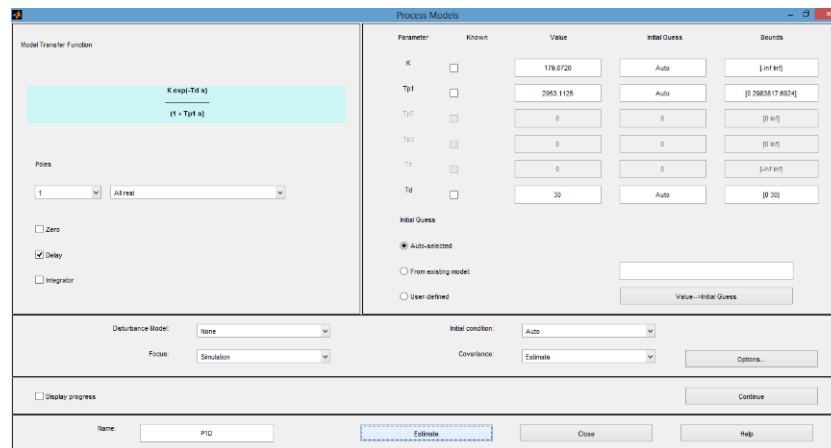


Figura 39. Estructura del modelo

Fuente: El autor

e.2.3 Descripción del controlador

Para la validación del controlador obtenido se utilizó la herramienta Simulink de Matlab, donde se procedió de la siguiente forma:

- a. Se inicia Simulink desde la ventana de comandos de Matlab o por medio del icono.
- b. En el menú de la ventana *Simulink Library Browser* se elige *New Model*, aparecerá una nueva ventana donde se va a trabajar con el modelo.

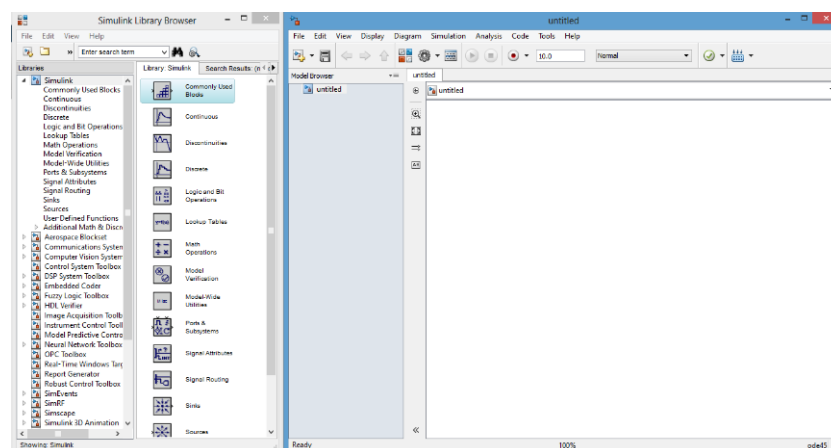


Figura 40. Ventanas de trabajo de Simulink

Fuente: El autor

c. Desde la librería se introducen los bloques necesarios para el modelo hasta el área de trabajo.

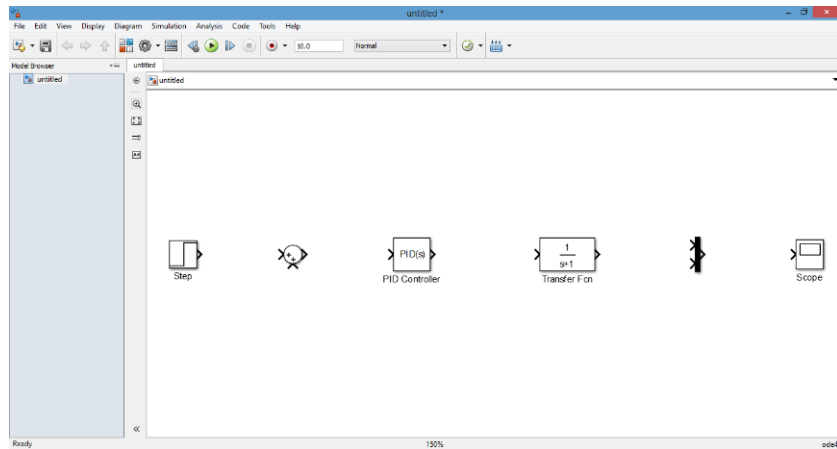


Figura 41. Bloques del modelo

Fuente: El autor

d. Se configura los parámetros en cada uno de los bloques del modelo.

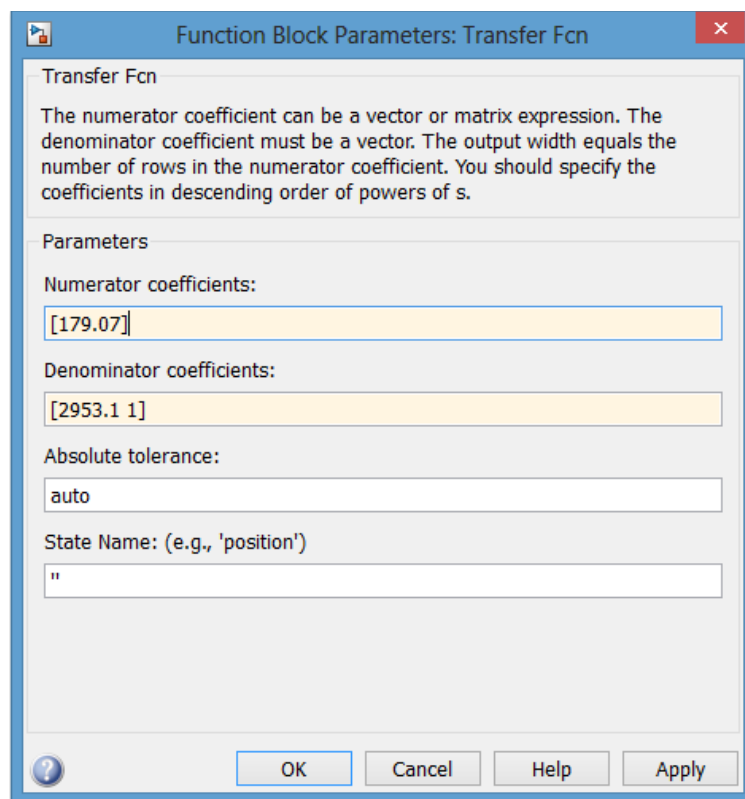


Figura 42. Parámetros de la función de transferencia

Fuente: El autor

e. Una vez situados y configurados los parámetros de todos los bloques se procede a la interconexión de los mismos.

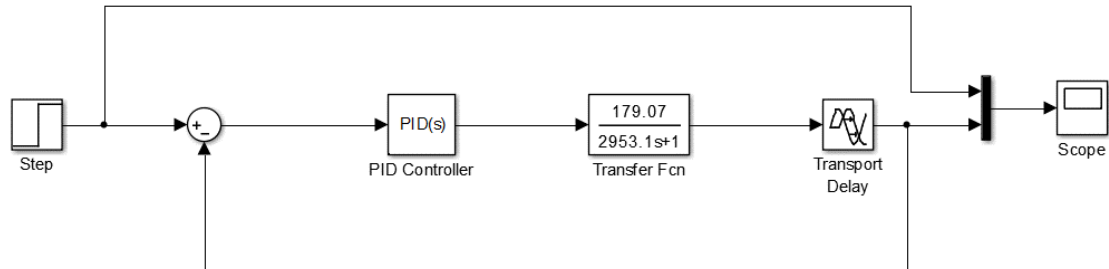


Figura 43. Diagrama de bloques del modelo

Fuente: El autor

f. Se realiza el ajuste de los parámetros del controlador mediante el *tune*, después se procede a la ejecución y visualización de resultados.

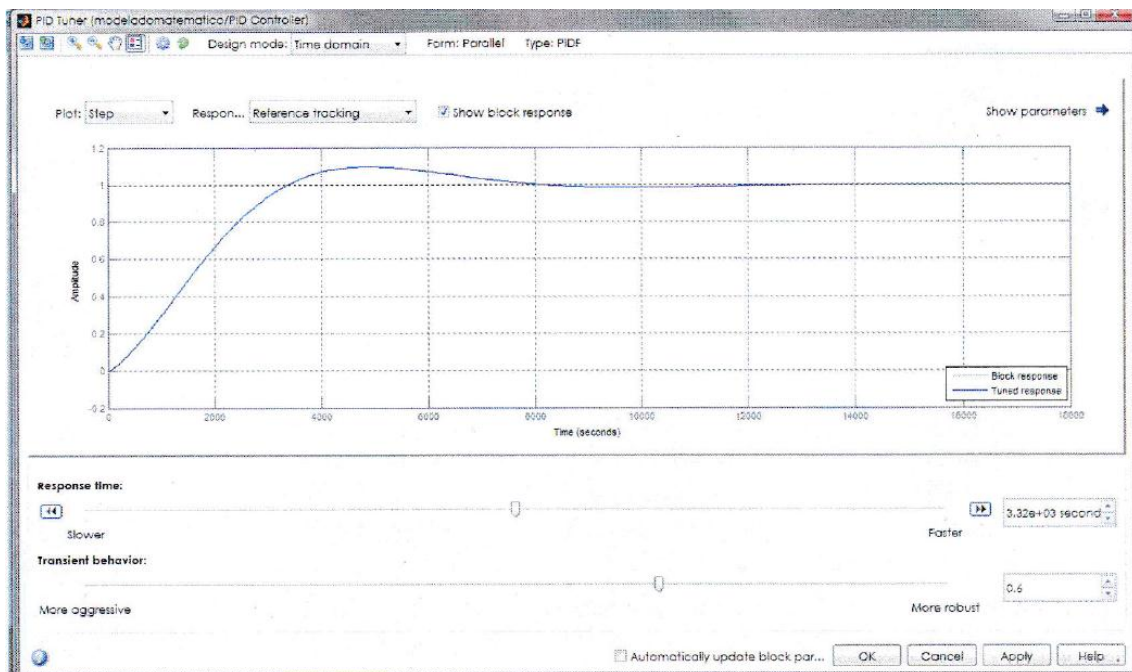


Figura 44. Ajuste del controlador

Fuente: El autor

e.2.4 Implementación del controlador en LabVIEW

Para la implementación del controlador PID se elaboró un nuevo instrumento virtual incluyendo dicho controlador en la programación.

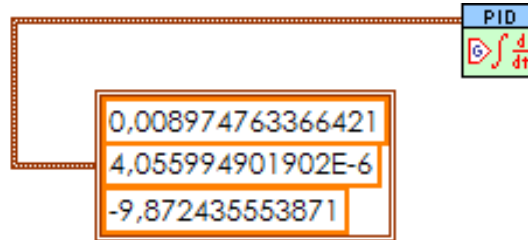


Figura 45. Controlador PID

Fuente: El autor

La Figura 46 muestra el panel frontal del control del proceso en el cual se puede visualizar la gráfica con el comportamiento de la temperatura, el set-point y los botones del encendido y apagado del sistema:

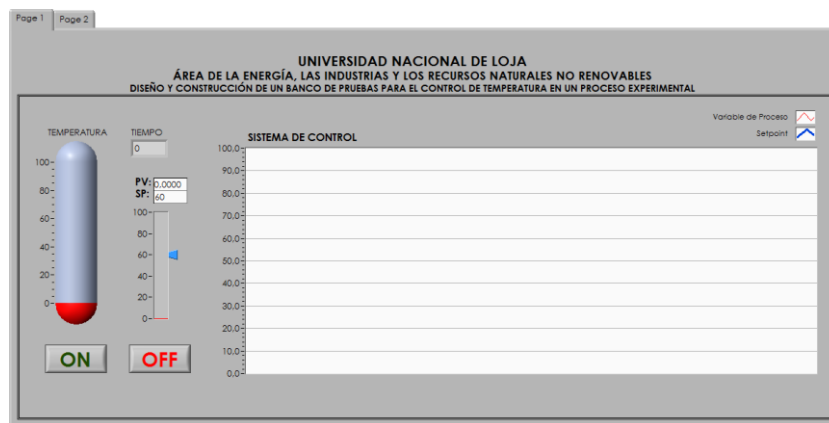


Figura 46. Panel frontal

Fuente: El autor

El diagrama de bloques de la programación con el controlador PID se la tiene en la Figura 47 siguiente:

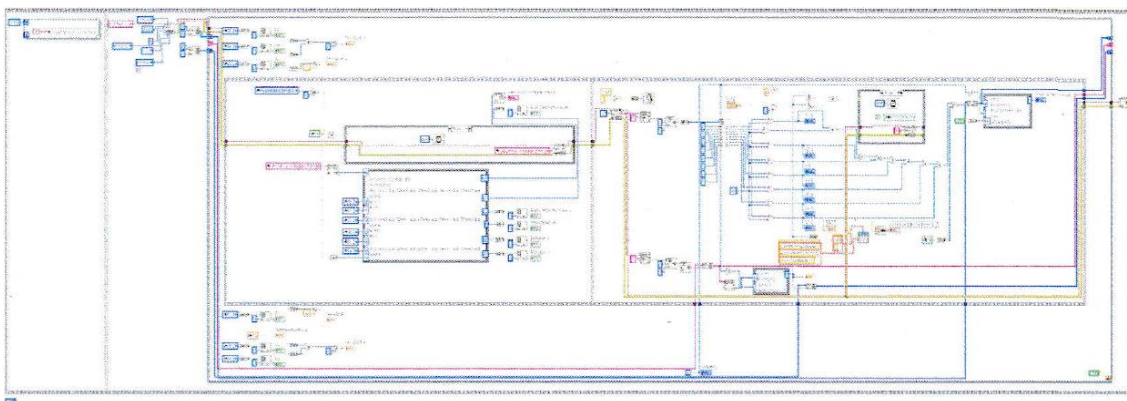


Figura 47. Diagrama de bloques

Fuente: El autor

Con la implementación del controlador se tiene un proceso automático, al cual se le realizaron varias pruebas para verificar el funcionamiento y corregir cualquier inconveniente que se presente en el transcurso del proceso.

e.3 Valoración económica

Los gastos generados en la concepción del proyecto suman 2 008,61 USD, en la Tabla 3 se detallan los costos de cada componente:

Tabla 3. Valoración económica

Nº	DETALLE	DIMENSIÓN	UNIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
1	Tubería cuatritubo ½"	Unidad	1	8,01	8,01
2	Accesorios para tuberías	Unidad	1	20,7	20,7
3	Teflón industrial	Unidad	2	1,5	3
4	Sellador de rosca	Unidad	1	10	10
5	Electroválvulas ½"	Unidad	2	65	130
6	Bomba Pedrollo ½ HP	Unidad	2	95	190
7	Depósito vidrio templado	Unidad	2	100	200
8	Depósito plástico 40 litros	Unidad	1	5	5
9	Depósito acero inoxidable	Unidad	1	300	300
10	Estructura metálica	Unidad	1	251,6	251,6
11	Gabinete metálico	Unidad	1	54	54
12	Canaleta ranurada	Unidad	2	6	12
13	Riel din	Unidad	1	3,5	3,5
14	Enchufe industrial	Unidad	1	10	10
15	Enchufe 110 V	Unidad	1	3	3
16	Breaker bifásico 40 A Sylvania	Unidad	1	12	12

Nº	DETALLE	DIMENSIÓN	UNIDAD	PRECIO	SUBTOTAL
17	Breaker 20 A Bticino	Unidad	1	6	6
18	Fusible 20 A	Unidad	1	1	1
19	Portafusible	Unidad	1	2,25	2,25
20	Contactor EBC	Unidad	3	12,5	37,5
21	Relé térmico	Unidad	2	21	42
22	Bornera de bloque 20 A	Unidad	3	1,25	3,75
23	Bornera de bloque 30 A	Unidad	1	1,65	1,65
24	Resistencia eléctrica 6000 W	Unidad	1	20	20
25	Luz piloto color verde	Unidad	5	3	15
26	Botón de parada de emergencia	Unidad	1	3	3
27	Cable multipar 2 pares	Metro	15	0.9	13,5
28	Cable de automatismo #22	Metro	25	0,16	4
29	Cable flexible #8	Metro	1	1,15	1,15
30	Cable flexible #14	Metro	5	0,42	2,10
31	Cable flexible #16	Metro	10	0,28	2,80
32	Fuente de alimentación 12 V	Unidad	1	11	11
33	Relé electrónico 12 V	Unidad	5	0,15	0,75
34	Resistencias 560 Ohms	Unidad	5	0,05	0,25
35	Tarjeta Arduino Mega 2560	Unidad	1	62,70	62,70
36	Sensor de nivel tipo flotador	Unidad	7	8	56
37	Sonda de temperatura	Unidad	3	7,65	22,95
38	Computador portátil	Unidad	1	134	134
39	Imprevistos	-	1	150	150
40	Mano de obra	-	1	200	200
TOTAL					2 008,61

Fuente: El Autor

f.- RESULTADOS

f.1 Modelo matemático de la planta

Mediante el System Identification Toolbox se estableció un controlador PID y se obtuvo la siguiente ecuación correspondiente a la función de transferencia del modelo:

$$G(s) = \frac{K_p}{1 + T_{p1} * s} * \exp(-T_d * s) \quad (18)$$

Con los siguientes valores de los parámetros:

- Ganancia proporcional $K_p = 179,07$
- Constante de tiempo integral $T_{p1} = 2\,953,1$
- Constante de tiempo derivativa $T_d = 30$

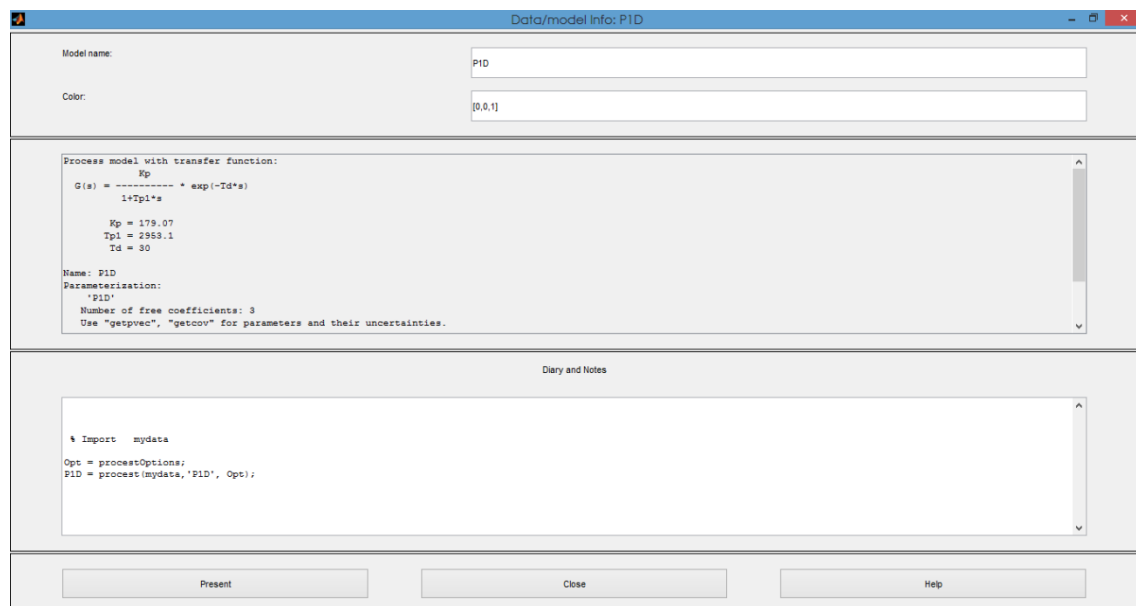


Figura 48. Función de transferencia

Fuente: El autor

En la siguiente figura se muestra la gráfica de salida del modelo el cual tiene un ajuste del 90,8%, este porcentaje indica que el modelo representa de manera idónea la dinámica del proceso:

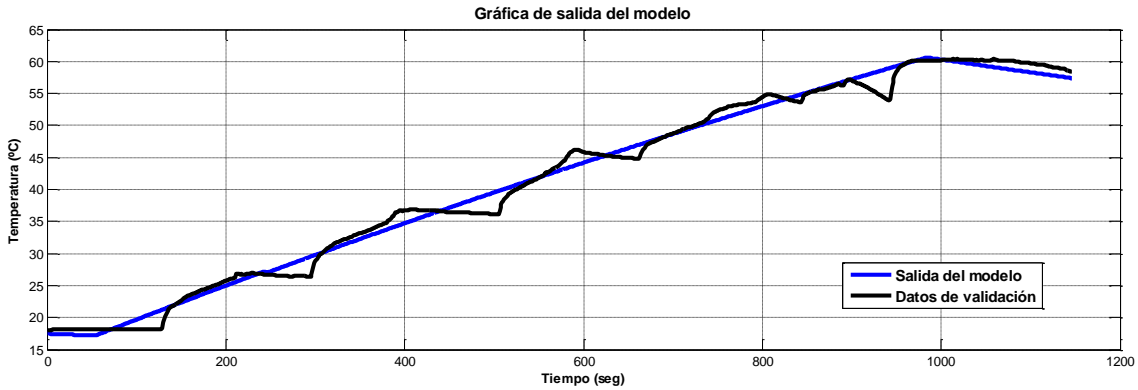


Figura 49. Gráfica de salida del modelo

Fuente: El autor

En la Figura 50 se puede observar que el modelo tiene la función de autocorrelación residual dentro del intervalo de confianza de las estimaciones correspondientes, lo que indica que los residuos no están correlacionados.

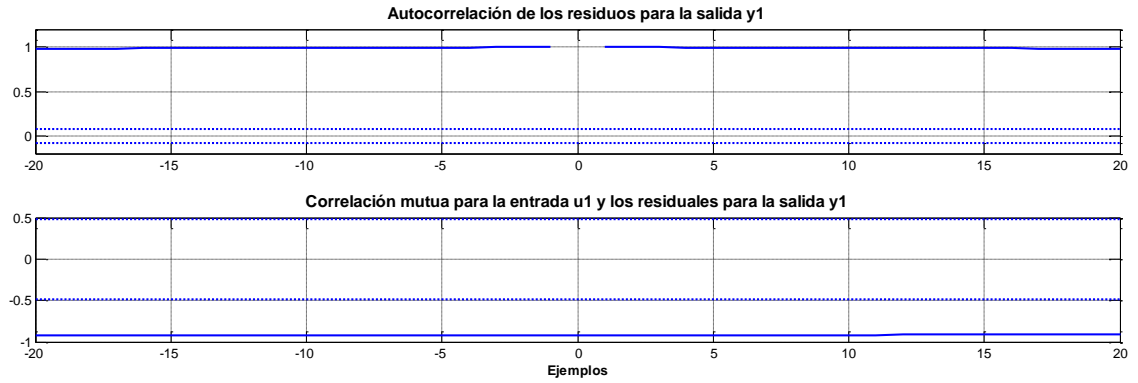


Figura 50. Análisis residual del modelo

Fuente: El autor

En la gráfica de la respuesta temporal frente al escalón, se observa que el valor de establecimiento del proceso se alcanza en 180.

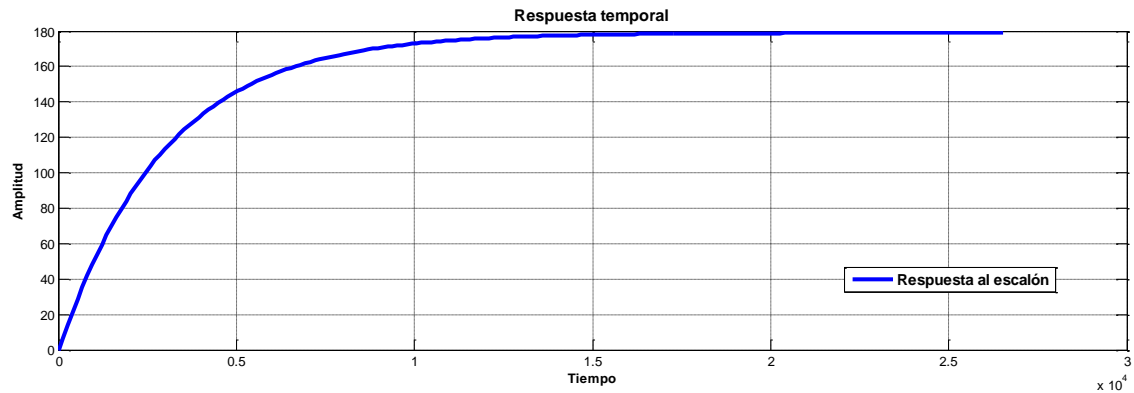


Figura 51. Respuesta temporal

Fuente: El autor

Mediante el criterio de Nysquist se determina la estabilidad del sistema a partir de la respuesta en frecuencia donde se distinguen dos gráficas, la superior muestra el margen de ganancia y la inferior muestra el margen de fase, el sistema representado es estable ya que estos márgenes son positivos.

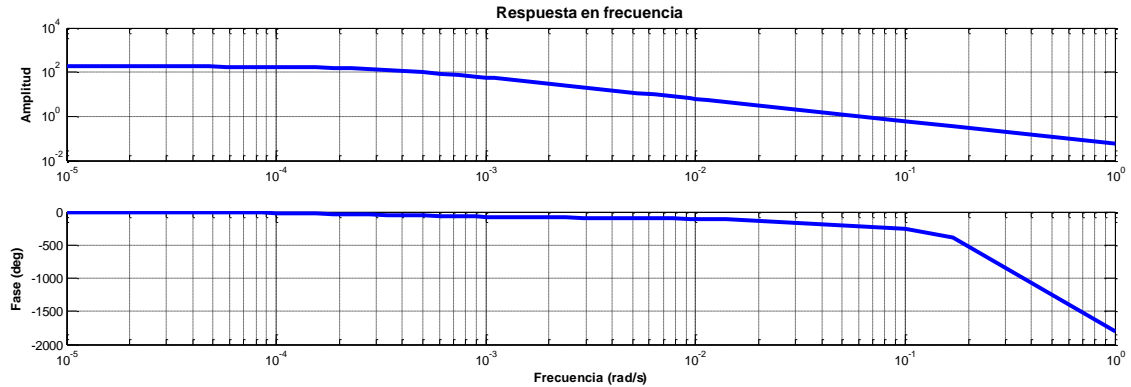


Figura 52. Respuesta en frecuencia

Fuente: El autor

En el diagrama de polos y ceros de la función de transferencia, se observa un polo que está localizado dentro del círculo unitario, por lo cual el sistema se considera estable.

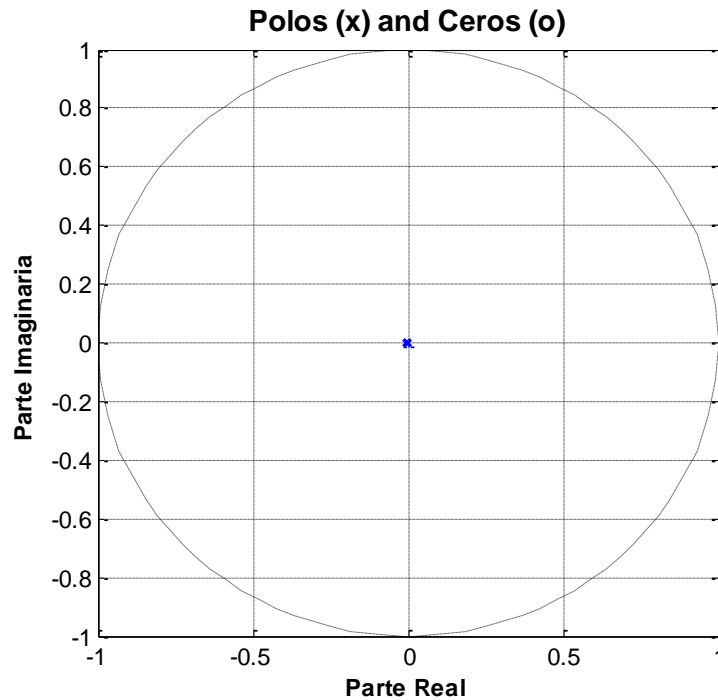


Figura 53. Gráfica de polos y ceros
Fuente: El autor

Se procedió a realizar la simulación del modelo en la herramienta Simulink de Matlab:

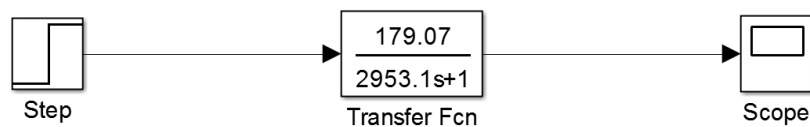


Figura 54. Simulación del modelo
Fuente: El autor

f.2 Controlador PID

Mediante la herramienta *autotuned* del bloque PID Controller de Simulink, se puede observar los parámetros con los cuales el PID tiene mejor desempeño, luego se procedió a simular y los resultados que se obtuvieron se muestran en la siguiente figura:

- Proporcional (P) = 0,008974763366421
- Integral (I) = 4,055994901902E-6
- Derivativo (D) = -9,872435553871

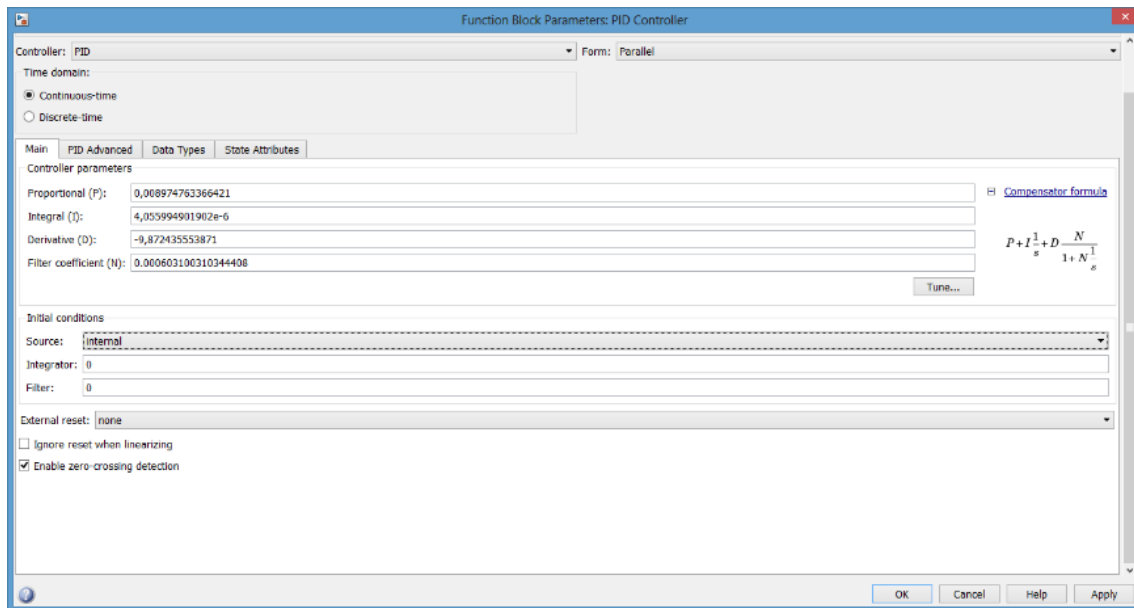


Figura 55. Parámetros del controlador PID

Fuente: El autor

Además se obtuvo la gráfica de la validación del modelo:

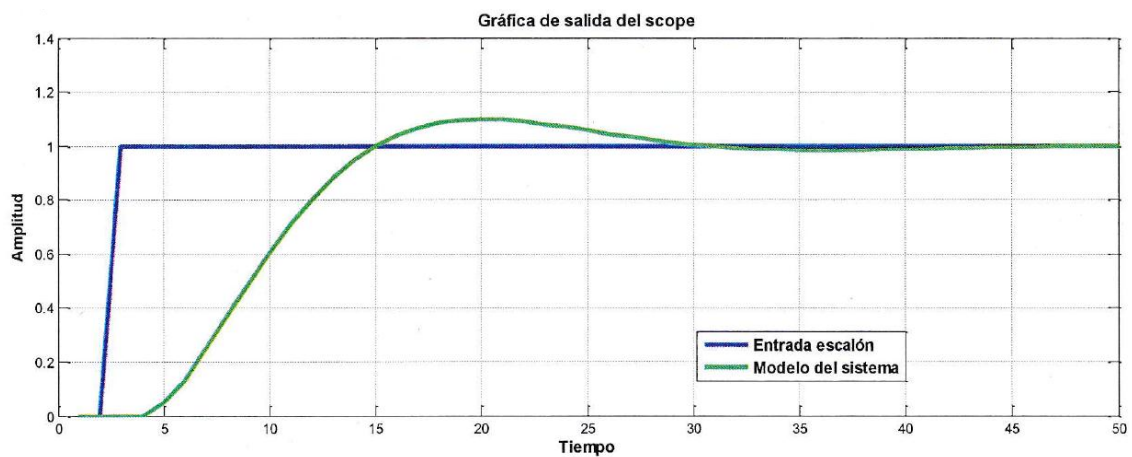


Figura 56. Gráfica de salida del scope de Simulink

Fuente: El autor

f.3 Implementación del controlador PID

Para la implementación se estableció un set-point de 60 °C, la gráfica de salida del control con la implementación en LabVIEW del controlador PID es la que se presenta a continuación en la Figura 56:

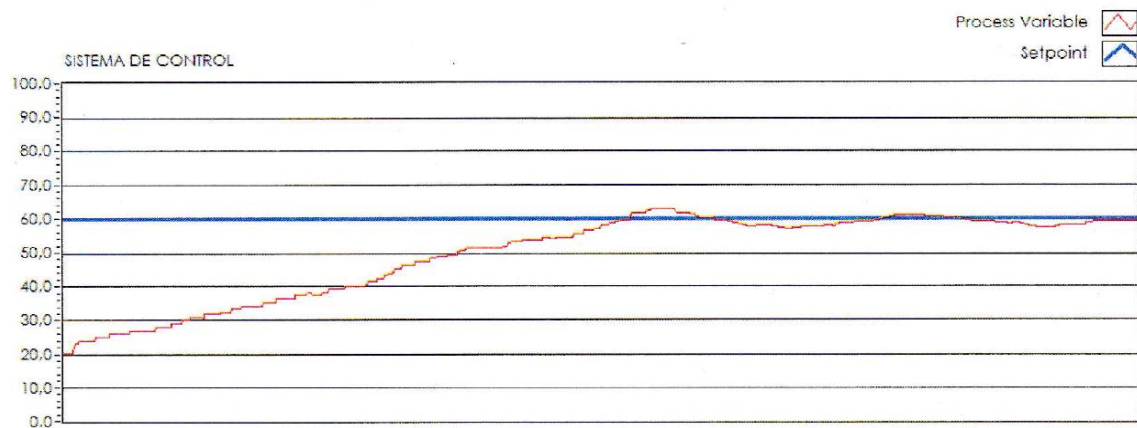


Figura 57. Gráfica de la temperatura

Fuente: El autor

g.- DISCUSIÓN

Para el control de temperatura en un proceso experimental se realizó la programación de la tarjeta Arduino Mega 2560 en el software Arduino, además se desarrolló los respectivos instrumentos virtuales (VIs) en el software LabVIEW, tanto para la adquisición de datos como para la implementación del PID, para identificar, modelar y simular se utilizaron las herramientas System Identification y Simulink de Matlab.

Se elaboró un instrumento virtual para la adquisición de datos el cual permite almacenar la información en formato .xls de Excel se considera la lectura de temperatura y el comportamiento de los actuadores del proceso.

En la identificación del modelo matemático se tomaron como datos de entrada el comportamiento de la resistencia y como salida la medición de temperatura del proceso, se obtuvo la función de transferencia y la gráfica de la curva del sistema la misma que permite conocer si el modelo es el adecuado a implementar.

Para simular el modelo obtenido se realizó un diagrama de bloques donde se establecieron los parámetros del modelo, se procedió con la simulación donde se obtuvo una curva en la cual se puede observar un comportamiento estable del modelo lo cual indica que es factible la implementación.

Con la implementación del controlador PID al instrumento virtual se tiene el control automático de los actuadores, para el control de la temperatura se establece un valor de referencia el cual determina el accionamiento de la resistencia.

Se efectuaron varias pruebas para corroborar el buen funcionamiento tanto del controlador PID como de todos los componentes del proceso obteniendo buenos resultados.

h.- CONCLUSIONES

- En el presente proyecto se ha diseñado y construido un banco de pruebas para el control de temperatura en un proceso experimental, este servirá para realizar prácticas en el laboratorio de automatización.
- El control automático del banco de pruebas se realizó a través de la tarjeta Arduino Mega 2560 y los sensores de temperatura DS18B20.
- Mediante la herramienta System Identification y con los datos adquiridos en la planta se obtuvo un 90,8 % de ajuste del modelo con la siguiente función de transferencia $G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} * \exp(-T_d * s)$.
- Se implementó un controlador PID este es el óptimo para dinámicas lentas como es el caso de la temperatura, el controlador tiene los siguientes parámetros: Proporcional (P): 0,008974, Integral (I): 4,055994e-6 y Derivativo (D): 9,782435.
- Se desarrolló un instrumento virtual el cual permite realizar las respectivas pruebas del banco experimental como son el control de los actuadores, monitoreo de los sensores de temperatura y nivel, además permite la adquisición de datos del proceso.

i.- RECOMENDACIONES

- Antes de manipular el banco de pruebas se debe leer la guía de operaciones con el fin de utilizar adecuadamente todos los componentes y así evitar cualquier tipo de daño.
- Para tener una mejor aproximación del modelo matemático se debe almacenar una cantidad mínima de 1 024 datos.
- Tener en cuenta los parámetros de funcionamiento de los actuadores para evitar cualquier fallo de estos.
- Tener mucha precaución al manejar el banco de pruebas ya que se está trabajando con temperatura.
- Si las bombas no están en funcionamiento por largo tiempo y estas no encienden hay que abrir la parte frontal y revisar los álabes ya que estos pueden estar llenos de óxido.

j.- BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

Dorf, Richard y Bishop, Roberth. 2005. *Sistemas de Control Moderno*. Madrid : PEARSON EDUCACIÓN S.A, 2005. ISBN 84-205-4401-9.

Escribano, Roberto, y otros. 2008. *Tecnologías de la Información y de la Comunicación*. Madrid : RA-MA EDITORIAL, 2008. ISBN 978-84-7897-643-0.

Gil, Manuel. 2003. *Introducción Rápida a Matlab y Simulink para la Ciencia e Ingeniería*. Madrid : DIAZ DE SANTOS S.A, 2003. ISBN 84-7978-596-9.

Gomariz, Spartacus, y otros. 1998. *Teoría de Control, Diseño Electrónico*. Barcelona : EDICIONS UPC, 1998. ISBN 84-7978-596-9.

Kuo, Benjamín. 1996. *Sistemas de Control Automático*. Naucalpan de Juárez, Edo. de México : PRENTICE-HALL HISPANOAMERICA S.A, 1996. ISBN 968-880-723-0.

Lajara, José y Pelegrí, José. 2007. *LabVIEW: Entorno Gráfico de Programación*. México D.F : ALFAOMEGA GRUPO EDITOR S.A, 2007. ISBN 978-970-15-1133-6.

Ljung, Lennart. 1999. *System Identification. Theory for the user*. USA : PRENTICE-HALL, 1999. ISBN 0-13-656695-2.

Mendiburu, Henry. 2003. *Automatización Medioambiental*. Lima : INDECOPI, 2003. 00392-2003.

Mendiburu, Henry. 2006. *Instrumentación Virtual Industrial*. Lima : INDECOPI, 2006. 00768-2006.

Ogata, Katsuhiko. 2010. *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid : PEARSON EDUCACIÓN S.A, 2010. ISBN 978-84-8322-660-5.

SITIOS WEB

González, José Mari. 2012. <http://www.araba.ehu.es/>. [En línea] 2012. [Citado el: 11 de Noviembre de 2013.] <http://www.araba.ehu.es/depsi/jg/RAREPASO.pdf>.

Arduino. 2013. <http://arduino.cc/>. [En línea] 2013. [Citado el: 2 de Diciembre de 2013.] <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>.

Arduino 2013. <http://arduino.cc/>. [En línea] 2013. [Citado el: 2 de Diciembre de 2013.] <http://arduino.cc/es/main/software>.

Datalogger's. 2010. <http://datalogger.com.mx/>. [En línea] 2010. [Citado el: 1 de Diciembre de 2013.] <http://datalogger.com.mx/>.

Lopez, María Elena. 2010. <http://depeca.uah.es>. [En línea] 2010. [Citado el: 9 de Noviembre de 2013.] <http://depeca.uah.es/depeca/repositorio/asignaturas/32328/Tema6.pdf>.

Morilla, Fernando. 2007. <http://www.dia.uned.es>. [En línea] 2007. [Citado el: 17 de Noviembre de 2013.] http://www.dia.uned.es/~fmorilla/MaterialDidactico/ajuste_frecuencia.pdf.

Díaz, Carlos. 2012. <http://electronica.webcindario.com>. [En línea] 2012. [Citado el: 6 de Noviembre de 2013.] <http://electronica.webcindario.com/componentes/lm35.htm#>.

Mazzone, Virginia. 2012. <http://www.eng.newcastle.edu.au>. [En línea] 2012. [Citado el: 15 de Noviembre de 2013.] <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>.

León, Brean y Ochoa, Diego. 2012. <http://esdocs.org>. [En línea] Escuela Superior Politecnica del Litoral, 2012. [Citado el: 1 de Noviembre de 2013.] <http://esdocs.org/docs/index-23378.html?page=4>.

Vignoni, José Roberto. 2002. <http://www.ing.unlp.edu.ar/>. [En línea] 2002. [Citado el: 3 de Noviembre de 2013.] http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/transparencia/Control_de_Procesos.pdf.

NationalInstruments. 2013. <http://lumen.ni.com/>. [En línea] 2013. [Citado el: 5 de Diciembre de 2013.] <http://lumen.ni.com/nicif/us/evaltlktcds/content.xhtml>.

Medirtemperatura. 2013. <http://www.medirtemperatura.com/>. [En línea] 2013. [Citado el: 5 de Noviembre de 2013.] <http://www.medirtemperatura.com/sensor-temperatura.php>.

NationalInstruments. 2013. <http://www.ni.com/>. [En línea] 2013. [Citado el: 20 de Noviembre de 2013.] <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>.

Openhacks. 2013. <http://www.openhacks.com/>. [En línea] 2013. [Citado el: 7 de Noviembre de 2013.] <http://www.openhacks.com/page/productos/id/104/title/DS18B20-Sensor-de-temperatura-digital-impermeabilizado>.

Arduino. 2013. <http://playground.arduino.cc/>. [En línea] 2013. [Citado el: 4 de Diciembre de 2013.] <http://playground.arduino.cc/Learning/OneWire#.Uxiulz-wbwp>.

Montbrun, Jenny y Sanchez, Yamilet. 2010. <http://prof.usb.ve>. [En línea] 2010. [Citado el: 17 de Noviembre de 2013.] <http://prof.usb.ve/ysanchez/archivos/guiaps1316.pdf>.

Kunush, Cristian. 2003. <http://es.scribd.com/>. [En línea] 2003. [Citado el: 8 de Noviembre de 2013.] <http://es.scribd.com/doc/74088812/identificacion>.

Arraya, Máximo. 2009. <http://snsordesdetemperatura.blogspot.com/>. [En línea] 2009. [Citado el: 4 de Noviembre de 2013.] <http://snsordesdetemperatura.blogspot.com/>.

Tervenet. 2012. <http://tervenet.com/>. [En línea] 2012. [Citado el: 7 de Noviembre de 2013.] <http://tervenet.com/itmaz/control2/SystemID.pdf>.

Duarte, Oscar. 2001. <http://www.virtual.unal.edu.co/>. [En línea] 2001. [Citado el: 10 de Noviembre de 2013.] <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001619/lecciones/descargas/doc.pdf>.

Lopez, Sebastián. 2008. <http://web.usal.es/>. [En línea] 2008. [Citado el: 13 de Noviembre de 2013.] <http://web.usal.es/>.

k. ANEXOS

Anexo 1. Programación de la tarjeta Arduino Mega 2560 para la adquisición de datos.

```
//UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
```

```
//Diseño y construcción de un banco de pruebas para el control de temperatura en un proceso experimental
```

```
//Juber David Sarango Peláez
```

```
//Abril 2014
```

```
#include <OneWire.h>
```

```
#include <DallasTemperature.h>
```

```
DeviceAddress Temperatura1, Temperatura2, Temperatura3;
```

```
//Tempertura
```

```
int DS18B20_Pin=2;//Pin de entrada donde se conecta el sensor
```

```
OneWire ds(DS18B20_Pin);
```

```
DallasTemperature sensors(&ds);
```

```
float TemperaturaA, TemperaturaB, TemperaturaC;
```

```
int dato;
```

```
int buttonState = 0;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin (9600);
```

```
  sensors.begin();
```

```
  pinMode(43,OUTPUT);
```

```
  pinMode(45,OUTPUT);
```

```
  pinMode(47,OUTPUT);
```

```
  pinMode(49,OUTPUT);
```

```
  pinMode(51,OUTPUT);
```

```
  pinMode(53,OUTPUT);
```

```
  pinMode(3,INPUT);
```

```
  pinMode(4,INPUT);
```

```
  pinMode(5,INPUT);
```

```
  pinMode(6,INPUT);
```

```
  pinMode(7,INPUT);
```

```
  pinMode(8,INPUT);
```

```

pinMode(9,INPUT);
pinMode(10,INPUT);
}

void loop()
{
dato=Serial.read(),

if (dato==65){
  sensors.requestTemperatures();
  TemperaturaA = sensors.getTempCByIndex(0);
  delay(100)
  TemperaturaB = sensors.getTempCByIndex(1);
  delay(100)
  TemperaturaC = sensors.getTempCByIndex(2);
  //TemperaturaA = TemperaturaA+1;
  //TemperaturaB = TemperaturaB+2;
  //TemperaturaC = TemperaturaC+1;
  Serial.print("A")
  Serial.print(TemperaturaA)
  Serial.print("B")
  Serial.print(TemperaturaB)
  Serial.print("C")
  Serial.print(TemperaturaC)
  Serial.print("D")
  buttonState = digitalRead(3);
  if(buttonState == HIGH){
    Serial print ("1");
  }
  if (buttonState == LOW){
    Serial print ("0");
  }
  buttonState = digitalRead(4);
  if (buttonState == HIGH){
    Serial.print ("1");
  }
  if (buttonState == LOW){
    Serial print ("0");
  }
}

```

```

buttonState = digitalRead(5);
if (buttonState == HIGH){
    Serial.print ("1");
}
if (buttonState == LOW){
    Serial print ("0");
}
buttonState = digitalRead(6);
if (buttonState == HIGH){
    Serial.print ("1");
}
if (buttonState == LOW){
    Serial print ("0");
}
buttonState = digitalRead(7);
if (buttonState == HIGH){
    Serial.print ("1");
}
if (buttonState == LOW){
    Serial print ("0");
}
buttonState = digitalRead(8);
if (buttonState == HIGH){
    Serial.print ("1");
}
if (buttonState == LOW){
    Serial print ("0");
}
buttonState = digitalRead(9);
if (buttonState == HIGH){
    Serial.print ("1");
}
if (buttonState == LOW){
    Serial print ("0");
}
buttonState = digitalRead(10);
if (buttonState == HIGH){
    Serial.print ("1");
}

```

```

if (buttonState == LOW){
  Serial print ("0");
}
}

if (dato==66){
  digitalWrite(43,LOW);
  dato=0;
}
if (dato==67){
  digitalWrite(43,HIGH);
  dato=0;
}

if (dato==68){
  digitalWrite(45,LOW);
  dato=0;
}
if (dato==69){
  digitalWrite(45,HIGH);
  dato=0;
}
if (dato==70){
  digitalWrite(47,LOW);
  dato=0;
}
if (dato==71){
  digitalWrite(47,HIGH);
  dato=0;
}
if (dato==72){
  digitalWrite(49,LOW);
  dato=0;
}
if (dato==73){
  digitalWrite(49,HIGH);
  dato=0;
}
if (dato==74){

```



```
digitalWrite(51,LOW);  
dato=0;  
}  
if (dato==75){  
    digitalWrite(51,HIGH);  
    dato=0;  
}  
if (dato==76){  
    digitalWrite(53,LOW);  
    dato=0;  
}  
if (dato==77){  
    digitalWrite(53,HIGH);  
    dato=0;  
}
```

Anexo 2. Programación de la tarjeta Arduino Mega 2560 para el control automático del proceso.

```
//UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
//Diseño y construcción de un banco de pruebas para el control de temperatura en un proceso
experimental
//Juber David Sarango Peláez
//Abril 2014

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

DeviceAddress Temperatura1, Temperatura2, Temperatura3;

//Tempertura
int DS18B20_Pin=2;//Pin de entrada donde se conecta el sensor
int led47 = 47;

OneWire ds(DS18B20_Pin);
DallasTemperature sensors(&ds);
float TemperaturaA, TemperaturaB, TemperaturaC;
int dato;
int buttonState = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
  pinMode(43,OUTPUT);
  pinMode(45,OUTPUT);
  pinMode(47,OUTPUT);
  pinMode(49,OUTPUT);
  pinMode(51,OUTPUT);
  pinMode(53,OUTPUT);
  pinMode(3,INPUT);
  pinMode(4,INPUT);
  pinMode(5,INPUT);
  pinMode(6,INPUT);
  pinMode(7,INPUT);
  pinMode(8,INPUT);
}
```

```

pinMode(9,INPUT);
pinMode(10,INPUT);

digitalWrite(45,HIGH);
digitalWrite(49,HIGH);
digitalWrite(43,HIGH);
digitalWrite(51,HIGH);
digitalWrite(led47,HIGH);
inicio();

}

int inByte = 0;    //incoming serial byte
int a=0;
int a3=0,a4=0,a5=0,a6=0,a7=0,a8=0,a9=0,a10=0;

void loop()
{

if (Serial.available() > 0) {
inByte = Serial.read();
a=inByte;
if(a=='A'){
digitalWrite(led47,HIGH);
digitalWrite(43,LOW);

}

if(a=='1'){
digitalWrite(45,HIGH);
delay(500);
digitalWrite(49,HIGH);
delay(500);
digitalWrite(43,HIGH);
delay(500);
digitalWrite(51,HIGH);
delay(500);

}

if(a=='2'){
digitalWrite(45,LOW);

```

```

delay(500);
digitalWrite(49,LOW);
    delay(500);
digitalWrite(43,LOW);
    delay(500);
digitalWrite(51,LOW);
    delay(500);
}
if(a=='3'){//BOMBA1_ON
digitalWrite(45,HIGH);
digitalWrite(49,HIGH);
digitalWrite(43,HIGH);
digitalWrite(51,LOW);
digitalWrite(led47,LOW);
}
if(a=='4'){//BOMBA1_OFF
digitalWrite(45,HIGH);
digitalWrite(49,HIGH);
digitalWrite(43,HIGH);
digitalWrite(51,HIGH);
digitalWrite(led47,LOW);
}
if(a=='5'){//ELEC1_ON Y BOMBA2_OFF
digitalWrite(45,LOW);
digitalWrite(49,HIGH);
digitalWrite(43,HIGH);
digitalWrite(51,LOW);
digitalWrite(led47,LOW);
}
if(a=='6'){//ELEC1_ON Y BOMBA2_ON
digitalWrite(45,LOW);
digitalWrite(49,LOW);
digitalWrite(43,HIGH);
digitalWrite(51,HIGH);
digitalWrite(led47,LOW);
}
if(a=='7'){//APAGA ELEC1 Y ENCIENDE ELEC2
digitalWrite(45,HIGH);
digitalWrite(49,HIGH);

```

```

digitalWrite(43,LOW);
digitalWrite(51,HIGH);
digitalWrite(led47,HIGH);
}
if(a=='8'){
digitalWrite(45,HIGH);
digitalWrite(49,HIGH);
digitalWrite(43,HIGH);
digitalWrite(51,HIGH);
digitalWrite(led47,HIGH);
}
if(a=='9'){
digitalWrite(45,LOW);
digitalWrite(49,LOW);
digitalWrite(43,LOW);
digitalWrite(51,HIGH);
}

```

```

delay(1);
}else {

```

```

}

```

```

sensors.requestTemperatures();
TemperaturaA = sensors.getTempCByIndex(0);
TemperaturaB = sensors.getTempCByIndex(1);
TemperaturaC = sensors.getTempCByIndex(2);
//TemperaturaA = TemperaturaA+1;
//TemperaturaB = TemperaturaB+2;
//TemperaturaC = TemperaturaC+1;
buttonState = digitalRead(3);
Serial.print ("D");
buttonState = digitalRead(3);
if (buttonState == HIGH){
  Serial.print ("1");
}

```

```

if (buttonState == LOW){
  Serial.print ("0");
}
buttonState = digitalRead(4);
if (buttonState == HIGH){
  Serial.print ("1");
}
if (buttonState == LOW){
  Serial.print ("0");
}
buttonState = digitalRead(5);
if (buttonState == HIGH){
  Serial.print ("1");
}
if (buttonState == LOW){
  Serial.print ("0");
}
buttonState = digitalRead(6);
if (buttonState == HIGH){
  Serial.print ("1");
}
if (buttonState == LOW){
  Serial.print ("0");
}
buttonState = digitalRead(7);
if (buttonState == HIGH){
  Serial.print ("1");
}
if (buttonState == LOW){
  Serial.print ("0");
}
buttonState = digitalRead(8);
if (buttonState == HIGH){
  Serial.print ("1");
}
if (buttonState == LOW){
  Serial.print ("0");
}
buttonState = digitalRead(9);

```

```

if (buttonState == HIGH){
  Serial.print ("1");
}
If z(buttonState == LOW){
  Serial.print ("0");
}
buttonState = digitalRead(10);
if (buttonState == HIGH){
  Serial.print ("1");
}
if (buttonState == LOW){
  Serial.print ("0");
}
Serial.print("A");
Serial.print (TemperaturaC);

delay(10);

}
void inicio(){

digitalWrite(45,HIGH);
digitalWrite(49,HIGH);
digitalWrite(43,HIGH);
digitalWrite(51,HIGH);
}

}

```

Anexo 3. Datos adquiridos de la planta

Tabla 4. Datos adquiridos de la planta

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
1	06/01/2014	16:05:55	18,37	18,06	18,19	0	0	0	0	0
2	06/01/2014	16:05:57	18,37	18,12	18,19	0	0	0	0	0
3	06/01/2014	16:05:59	18,37	18,06	18,19	0	0	0	0	0
4	06/01/2014	16:06:01	18,37	18,06	18,25	0	0	0	0	0
5	06/01/2014	16:06:03	18,37	18,06	18,19	0	0	0	0	0
6	06/01/2014	16:06:05	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
7	06/01/2014	16:06:07	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
8	06/01/2014	16:06:09	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
9	06/01/2014	16:06:11	18,31	18,12	18,25	0	0	0	0	0
10	06/01/2014	16:06:13	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
11	06/01/2014	16:06:15	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
12	06/01/2014	16:06:17	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
13	06/01/2014	16:06:19	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
14	06/01/2014	16:06:21	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
15	06/01/2014	16:06:23	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
16	06/01/2014	16:06:25	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
17	06/01/2014	16:06:27	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
18	06/01/2014	16:06:29	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
19	06/01/2014	16:06:31	18,37	18,12	18,25	0	0	0	0	0
20	06/01/2014	16:06:33	18,37	18,12	18,25	1	0	0	0	0
21	06/01/2014	16:06:35	18,37	18,12	18,25	1	0	0	0	0
22	06/01/2014	16:06:37	18,37	18,06	18,25	1	0	0	0	0
23	06/01/2014	16:06:39	18,37	18,12	18,25	1	0	0	0	0
24	06/01/2014	16:06:41	18,37	18,12	18,25	1	0	1	0	0
25	06/01/2014	16:06:43	18,37	18,12	18,25	1	0	1	0	0
26	06/01/2014	16:06:45	18,37	18,12	18,25	1	0	1	0	0
27	06/01/2014	16:06:47	18,37	18,12	18,25	1	0	1	0	0
28	06/01/2014	16:06:49	18,37	18,12	18,25	1	0	1	0	0
29	06/01/2014	16:06:51	18,37	18,12	18,25	1	0	1	0	0
30	06/01/2014	16:06:53	18,44	18,12	18,19	1	0	1	0	0
31	06/01/2014	16:06:55	18,5	18,12	18,25	1	0	1	0	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
32	06/01/2014	16:06:57	18,69	18,12	18,25	1	0	1	0	0
33	06/01/2014	16:06:59	18,81	18,12	18,25	1	0	1	0	0
34	06/01/2014	16:07:01	18,87	18,12	18,25	1	0	1	0	0
35	06/01/2014	16:07:03	18,94	18,12	18,25	1	0	1	0	0
36	06/01/2014	16:07:05	18,87	18,12	18,25	1	0	1	0	0
37	06/01/2014	16:07:07	18,81	18,12	18,25	1	0	1	0	0
38	06/01/2014	16:07:09	18,87	18,12	18,25	1	0	1	0	0
39	06/01/2014	16:07:11	18,87	18,12	18,25	1	0	1	0	0
40	06/01/2014	16:07:13	19,06	18,12	18,25	1	0	1	0	0
41	06/01/2014	16:07:15	19,19	18,12	18,25	1	0	1	0	0
42	06/01/2014	16:07:17	19,19	18,12	18,25	1	0	1	0	0
43	06/01/2014	16:07:19	19,44	18,12	18,25	1	0	1	0	0
44	06/01/2014	16:07:21	19,75	18,12	18,25	1	0	1	0	0
45	06/01/2014	16:07:23	19,75	18,12	18,25	1	0	1	0	0
46	06/01/2014	16:07:25	19,75	18,12	18,25	1	0	1	0	0
47	06/01/2014	16:07:27	19,81	18,12	18,25	1	0	1	0	0
48	06/01/2014	16:07:29	20	18,12	18,25	1	0	1	0	0
49	06/01/2014	16:07:31	20,06	18,12	18,25	1	0	1	0	0
50	06/01/2014	16:07:33	20,12	18,12	18,25	1	0	1	0	0
51	06/01/2014	16:07:35	20,5	18,12	18,25	1	0	1	0	0
52	06/01/2014	16:07:37	20,44	18,12	18,25	1	0	1	0	0
53	06/01/2014	16:07:39	20,5	18,12	18,25	1	0	1	0	0
54	06/01/2014	16:07:41	20,69	18,12	18,25	1	0	1	0	0
55	06/01/2014	16:07:43	20,62	18,12	18,25	1	0	1	0	0
56	06/01/2014	16:07:45	20,69	18,12	18,25	1	0	1	0	0
57	06/01/2014	16:07:47	20,62	18,12	18,25	1	0	1	0	0
58	06/01/2014	16:07:49	20,56	18,12	18,25	1	0	1	0	0
59	06/01/2014	16:07:51	20,62	18,12	18,25	1	0	1	0	0
60	06/01/2014	16:07:53	20,69	18,12	18,25	1	0	1	0	0
61	06/01/2014	16:07:55	20,69	18,12	18,25	1	0	1	0	0
62	06/01/2014	16:07:57	20,87	18,12	18,25	0	0	1	0	0
63	06/01/2014	16:07:59	21	18,12	18,25	0	0	1	0	0
64	06/01/2014	16:08:01	20,94	18,12	18,25	0	0	1	0	0
65	06/01/2014	16:08:03	20,87	18,12	18,25	0	0	1	0	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
66	06/01/2014	16:08:05	20,81	18,12	18,25	0	0	1	0	0
67	06/01/2014	16:08:07	20,69	18,12	18,25	0	0	1	0	0
68	06/01/2014	16:08:09	20,69	18,12	18,25	0	0	1	0	0
69	06/01/2014	16:08:11	20,75	18,12	18,25	0	0	1	0	0
70	06/01/2014	16:08:13	20,81	18,12	18,25	0	0	1	0	0
71	06/01/2014	16:08:15	21	18,12	18,25	0	0	1	0	0
72	06/01/2014	16:08:17	21,19	18,12	18,25	0	0	1	0	0
73	06/01/2014	16:08:19	21,37	18,12	18,25	0	0	1	0	0
74	06/01/2014	16:08:21	21,44	18,12	18,25	0	0	1	0	0
75	06/01/2014	16:08:23	21,5	18,12	18,25	0	0	1	0	0
76	06/01/2014	16:08:25	21,44	18,12	18,25	0	0	1	0	0
77	06/01/2014	16:08:27	21,44	18,12	18,25	0	0	1	0	0
78	06/01/2014	16:08:29	21,44	18,12	18,25	0	0	1	0	0
79	06/01/2014	16:08:31	21,44	18,12	18,25	0	0	1	0	0
80	06/01/2014	16:08:33	21,44	18,12	18,25	0	0	1	0	0
81	06/01/2014	16:08:35	21,5	18,12	18,25	0	0	1	0	0
82	06/01/2014	16:08:37	21,75	18,12	18,25	0	0	1	0	0
83	06/01/2014	16:08:39	21,75	18,12	18,25	0	0	1	0	0
84	06/01/2014	16:08:41	21,81	18,12	18,25	0	0	1	0	0
85	06/01/2014	16:08:43	21,94	18,12	18,25	0	0	1	0	0
86	06/01/2014	16:08:45	21,94	18,12	18,25	0	0	1	0	0
87	06/01/2014	16:08:47	21,87	18,12	18,25	0	0	1	0	0
88	06/01/2014	16:08:49	21,94	18,12	18,25	0	0	1	0	0
89	06/01/2014	16:08:51	21,94	18,12	18,25	0	0	1	0	0
90	06/01/2014	16:08:53	22	18,12	18,25	0	0	1	0	0
91	06/01/2014	16:08:55	22,06	18,12	18,19	0	0	1	0	0
92	06/01/2014	16:08:57	22,19	18,12	18,25	0	0	1	0	0
93	06/01/2014	16:08:59	22,25	18,12	18,25	0	0	1	0	0
94	06/01/2014	16:09:01	22,19	18,12	18,25	0	0	1	0	0
95	06/01/2014	16:09:03	22,25	18,12	18,25	0	0	1	0	0
96	06/01/2014	16:09:05	22,25	18,12	18,25	0	0	1	0	0
97	06/01/2014	16:09:07	22,31	18,12	18,25	0	0	1	0	0
98	06/01/2014	16:09:09	22,25	18,12	18,25	0	0	1	0	0
99	06/01/2014	16:09:11	22,31	18,12	18,25	0	0	1	0	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
100	06/01/2014	16:09:13	22,5	18,12	18,25	0	0	1	0	0
101	06/01/2014	16:09:15	22,56	18,12	18,25	0	0	1	0	0
102	06/01/2014	16:09:17	22,56	18,12	18,25	0	0	1	0	0
103	06/01/2014	16:09:19	22,5	18,12	18,25	0	0	1	0	0
104	06/01/2014	16:09:21	22,5	18,12	18,25	0	0	1	0	0
105	06/01/2014	16:09:23	22,5	18,12	18,25	0	0	1	0	0
106	06/01/2014	16:09:25	22,56	18,12	18,25	0	0	1	0	0
107	06/01/2014	16:09:27	22,56	18,12	18,25	0	0	1	0	0
108	06/01/2014	16:09:29	22,75	18,12	18,25	0	0	1	0	0
109	06/01/2014	16:09:31	22,87	18,12	18,25	0	0	1	0	0
110	06/01/2014	16:09:33	22,94	18,12	18,25	0	0	1	0	0
111	06/01/2014	16:09:35	22,94	18,12	18,25	0	0	1	0	0
112	06/01/2014	16:09:37	23	18,12	18,25	0	0	1	0	0
113	06/01/2014	16:09:39	23	18,12	18,25	0	0	1	0	0
114	06/01/2014	16:09:41	23,12	18,12	18,25	0	0	1	0	0
115	06/01/2014	16:09:43	23,12	18,12	18,25	0	0	1	0	0
116	06/01/2014	16:09:45	23,06	18,12	18,25	0	0	1	0	0
117	06/01/2014	16:09:47	23,06	18,12	18,25	0	0	1	0	0
118	06/01/2014	16:09:49	23,12	18,12	18,25	0	0	1	0	0
119	06/01/2014	16:09:52	23,19	18,12	18,25	0	0	1	0	0
120	06/01/2014	16:09:54	23,19	18,12	18,25	0	0	1	0	0
121	06/01/2014	16:09:56	23,19	18,12	18,25	0	0	1	0	0
122	06/01/2014	16:09:58	23,25	18,12	18,25	0	0	1	0	0
123	06/01/2014	16:10:00	23,19	18,12	18,25	0	0	1	0	0
124	06/01/2014	16:10:02	23,37	18,12	18,25	0	0	1	0	0
125	06/01/2014	16:10:04	23,56	18,12	18,25	0	0	1	0	0
126	06/01/2014	16:10:06	23,5	18,12	18,19	0	0	1	1	0
127	06/01/2014	16:10:08	23,5	18,12	18,25	0	0	1	1	0
128	06/01/2014	16:10:10	23,62	18,12	18,25	0	0	1	1	0
129	06/01/2014	16:10:12	23,75	18,37	18,25	0	0	1	1	0
130	06/01/2014	16:10:14	23,69	19,19	18,25	0	0	1	1	0
131	06/01/2014	16:10:16	23,62	19,75	18,25	0	0	1	1	0
132	06/01/2014	16:10:18	23,56	20,19	18,25	0	0	1	1	0
133	06/01/2014	16:10:20	23,5	20,56	18,25	0	0	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
134	06/01/2014	16:10:22	23,5	20,81	18,25	0	0	1	1	0
135	06/01/2014	16:10:24	23,5	21,06	18,25	0	0	1	1	0
136	06/01/2014	16:10:26	23,5	21,31	18,25	0	0	1	1	0
137	06/01/2014	16:10:28	23,5	21,44	18,25	0	0	1	1	0
138	06/01/2014	16:10:30	23,56	21,56	18,25	0	0	1	1	0
139	06/01/2014	16:10:32	23,56	21,75	18,25	0	0	1	1	0
140	06/01/2014	16:10:34	23,5	21,81	18,25	0	0	1	1	0
141	06/01/2014	16:10:36	23,44	21,87	18,25	0	0	1	1	0
142	06/01/2014	16:10:38	23,5	21,94	18,25	0	0	1	1	0
143	06/01/2014	16:10:40	23,5	22	18,25	0	0	1	1	0
144	06/01/2014	16:10:42	23,5	22,12	18,25	0	0	1	1	0
145	06/01/2014	16:10:44	23,44	22,19	18,25	0	0	1	1	0
146	06/01/2014	16:10:46	23,5	22,25	18,25	0	0	1	1	0
147	06/01/2014	16:10:48	23,56	22,37	18,25	0	0	1	1	0
148	06/01/2014	16:10:50	23,69	22,5	18,25	0	0	1	1	0
149	06/01/2014	16:10:52	23,62	22,56	18,25	0	0	1	1	0
150	06/01/2014	16:10:54	23,69	22,69	18,25	0	0	1	1	0
151	06/01/2014	16:10:56	23,87	22,81	18,25	0	0	1	1	0
152	06/01/2014	16:10:58	23,94	22,87	18,25	0	0	1	1	0
153	06/01/2014	16:11:00	23,94	23	18,25	0	0	1	1	0
154	06/01/2014	16:11:02	23,94	23,06	18,25	0	0	1	1	0
155	06/01/2014	16:11:04	24	23,19	18,25	0	0	1	1	0
156	06/01/2014	16:11:06	24,06	23,25	18,25	0	0	1	1	0
157	06/01/2014	16:11:08	24,31	23,37	18,25	0	0	1	1	0
158	06/01/2014	16:11:10	24,44	23,37	18,25	0	0	1	1	0
159	06/01/2014	16:11:12	24,56	23,44	18,25	0	0	1	1	0
160	06/01/2014	16:11:14	24,75	23,5	18,25	0	0	1	1	0
161	06/01/2014	16:11:16	24,81	23,56	18,25	0	0	1	1	0
162	06/01/2014	16:11:18	24,75	23,62	18,25	0	0	1	1	0
163	06/01/2014	16:11:20	24,62	23,69	18,25	0	0	1	1	0
164	06/01/2014	16:11:22	24,5	23,75	18,25	0	0	1	1	0
165	06/01/2014	16:11:24	24,44	23,81	18,25	0	0	1	1	0
166	06/01/2014	16:11:26	24,5	23,87	18,25	0	0	1	1	0
167	06/01/2014	16:11:28	24,5	23,94	18,25	0	0	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
168	06/01/2014	16:11:30	24,37	24	18,25	0	0	1	1	0
169	06/01/2014	16:11:32	24,37	24,06	18,25	0	0	1	1	0
170	06/01/2014	16:11:34	24,37	24,12	18,25	0	0	1	1	0
171	06/01/2014	16:11:36	24,56	24,19	18,25	0	0	1	1	0
172	06/01/2014	16:11:38	24,69	24,25	18,25	0	0	1	1	0
173	06/01/2014	16:11:40	24,87	24,31	18,25	0	0	1	1	0
174	06/01/2014	16:11:42	24,94	24,37	18,25	0	0	1	1	0
175	06/01/2014	16:11:44	24,87	24,37	18,25	0	0	1	1	0
176	06/01/2014	16:11:46	24,81	24,44	18,25	0	0	1	1	0
177	06/01/2014	16:11:48	24,69	24,5	18,25	0	0	1	1	0
178	06/01/2014	16:11:50	24,69	24,5	18,25	0	0	1	1	0
179	06/01/2014	16:11:52	24,69	24,56	18,25	0	0	1	1	0
180	06/01/2014	16:11:54	24,69	24,62	18,25	0	0	1	1	0
181	06/01/2014	16:11:56	24,69	24,69	18,25	0	0	1	1	0
182	06/01/2014	16:11:58	24,69	24,69	18,25	0	0	1	1	0
183	06/01/2014	16:12:00	24,62	24,81	18,25	0	0	1	1	0
184	06/01/2014	16:12:02	24,56	24,81	18,25	0	0	1	1	0
185	06/01/2014	16:12:04	24,62	24,87	18,25	0	0	1	1	0
186	06/01/2014	16:12:06	24,69	24,94	18,25	0	0	1	1	0
187	06/01/2014	16:12:08	24,62	25	18,25	0	0	1	1	0
188	06/01/2014	16:12:10	24,62	25,06	18,25	0	0	1	1	0
189	06/01/2014	16:12:12	24,62	25,12	18,25	0	0	1	1	0
190	06/01/2014	16:12:14	24,62	25,19	18,25	0	0	1	1	0
191	06/01/2014	16:12:16	24,69	25,19	18,25	0	0	1	1	0
192	06/01/2014	16:12:18	24,75	25,25	18,25	0	0	1	1	0
193	06/01/2014	16:12:20	24,81	25,31	18,25	0	0	1	1	0
194	06/01/2014	16:12:22	24,81	25,37	18,25	0	0	1	1	0
195	06/01/2014	16:12:24	24,75	25,44	18,25	0	0	1	1	0
196	06/01/2014	16:12:26	24,87	25,44	18,25	0	0	1	1	0
197	06/01/2014	16:12:28	24,87	25,56	18,25	0	0	1	1	0
198	06/01/2014	16:12:30	24,87	25,62	18,25	0	0	1	1	0
199	06/01/2014	16:12:32	24,87	25,69	18,25	0	0	1	1	0
200	06/01/2014	16:12:34	24,94	25,75	18,25	0	0	1	1	0
201	06/01/2014	16:12:36	24,94	25,75	18,31	0	0	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
202	06/01/2014	16:12:38	25	25,81	18,25	0	0	1	1	0
203	06/01/2014	16:12:40	25	25,87	18,25	0	0	1	1	0
204	06/01/2014	16:12:42	25,12	25,94	18,25	0	0	1	1	0
205	06/01/2014	16:12:44	25,19	26	18,25	0	0	1	1	0
206	06/01/2014	16:12:46	25,25	26,06	18,25	0	0	1	1	0
207	06/01/2014	16:12:48	25,31	26,12	18,25	0	0	1	1	0
208	06/01/2014	16:12:50	25,37	26,12	18,25	0	0	1	1	0
209	06/01/2014	16:12:52	25,44	26,19	18,25	0	1	1	1	0
210	06/01/2014	16:12:54	25,56	26,25	18,25	0	1	1	1	0
211	06/01/2014	16:15:03	28,37	26,81	18,25	0	0	0	0	0
212	06/01/2014	16:15:05	28,37	26,81	18,25	0	0	0	0	0
213	06/01/2014	16:15:07	28,37	26,81	18,25	0	0	0	0	0
214	06/01/2014	16:15:09	28,37	26,81	18,25	0	0	0	0	0
215	06/01/2014	16:15:11	28,37	26,81	18,25	0	0	0	0	0
216	06/01/2014	16:15:13	28,37	26,75	18,25	0	0	0	0	0
217	06/01/2014	16:15:15	28,37	26,81	18,25	0	0	1	0	0
218	06/01/2014	16:15:17	28,37	26,75	18,25	0	0	1	0	0
219	06/01/2014	16:15:19	28,37	26,75	18,31	0	0	1	0	0
220	06/01/2014	16:15:21	28,37	26,75	18,25	0	0	1	0	0
221	06/01/2014	16:15:23	28,37	26,75	18,25	0	1	1	0	0
222	06/01/2014	16:15:25	28,37	26,75	18,25	0	1	1	0	0
223	06/01/2014	16:15:27	28,31	26,81	18,25	0	1	1	0	0
224	06/01/2014	16:15:29	28,37	26,81	18,31	0	1	1	0	0
225	06/01/2014	16:15:31	28,37	26,87	18,25	0	1	1	0	0
226	06/01/2014	16:15:33	28,37	26,87	18,25	0	1	1	0	0
227	06/01/2014	16:15:35	28,37	26,87	18,31	0	1	1	0	0
228	06/01/2014	16:15:37	28,37	26,94	18,25	0	1	1	0	0
229	06/01/2014	16:15:39	28,31	26,94	18,25	0	1	1	0	0
230	06/01/2014	16:15:41	28,31	26,94	18,31	0	0	1	0	0
231	06/01/2014	16:15:44	28,31	26,94	18,31	0	0	1	0	0
232	06/01/2014	16:15:46	28,31	26,87	18,25	0	0	1	0	0
233	06/01/2014	16:15:48	28,31	26,87	18,25	0	0	1	0	0
234	06/01/2014	16:15:50	28,44	26,87	18,31	0	0	1	0	0
235	06/01/2014	16:15:52	28,44	26,87	18,31	0	0	1	0	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
236	06/01/2014	16:15:54	28,5	26,81	18,31	0	0	1	0	0
237	06/01/2014	16:15:56	28,44	26,81	18,31	0	0	1	0	0
238	06/01/2014	16:15:58	28,5	26,81	18,25	0	0	1	0	0
239	06/01/2014	16:16:00	28,56	26,81	18,25	0	0	1	0	0
240	06/01/2014	16:16:02	28,62	26,81	18,31	0	0	1	0	0
241	06/01/2014	16:16:04	28,69	26,81	18,31	0	0	1	0	0
242	06/01/2014	16:16:06	28,62	26,75	18,25	0	0	1	0	0
243	06/01/2014	16:16:08	28,69	26,75	18,31	0	0	1	0	0
244	06/01/2014	16:16:10	28,69	26,75	18,31	0	0	1	0	0
245	06/01/2014	16:16:12	28,69	26,75	18,25	0	0	1	0	0
246	06/01/2014	16:16:14	28,75	26,75	18,25	0	0	1	0	0
247	06/01/2014	16:16:16	28,81	26,69	18,31	0	0	1	0	0
248	06/01/2014	16:16:18	28,87	26,69	18,25	0	0	1	0	0
249	06/01/2014	16:16:20	29,06	26,69	18,31	0	0	1	0	0
250	06/01/2014	16:16:22	29,19	26,69	18,25	0	0	1	0	0
251	06/01/2014	16:16:24	29,31	26,62	18,25	0	0	1	0	0
252	06/01/2014	16:16:26	29,31	26,62	18,31	0	0	1	0	0
253	06/01/2014	16:16:28	29,25	26,62	18,25	0	0	1	0	0
254	06/01/2014	16:16:30	29,19	26,62	18,31	0	0	1	0	0
255	06/01/2014	16:16:32	29,12	26,62	18,25	0	0	1	0	0
256	06/01/2014	16:16:34	29,19	26,56	18,31	0	0	1	0	0
257	06/01/2014	16:16:36	29,19	26,56	18,25	0	0	1	0	0
258	06/01/2014	16:16:38	29,25	26,56	18,25	0	0	1	0	0
259	06/01/2014	16:16:40	29,31	26,56	18,31	0	0	1	0	0
260	06/01/2014	16:16:42	29,37	26,56	18,31	0	0	1	0	0
261	06/01/2014	16:16:44	29,5	26,56	18,31	0	0	1	0	0
262	06/01/2014	16:16:46	29,56	26,56	18,31	0	0	1	0	0
263	06/01/2014	16:16:48	29,56	26,5	18,31	0	0	1	0	0
264	06/01/2014	16:16:50	29,56	26,5	18,31	0	0	1	0	0
265	06/01/2014	16:16:52	29,62	26,5	18,31	0	0	1	0	0
266	06/01/2014	16:16:54	29,62	26,5	18,31	0	0	1	0	0
267	06/01/2014	16:16:56	29,62	26,5	18,31	0	0	1	0	0
268	06/01/2014	16:16:58	29,62	26,5	18,25	0	0	1	0	0
269	06/01/2014	16:17:00	29,56	26,5	18,31	0	0	1	0	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
270	06/01/2014	16:17:02	29,62	26,44	18,31	0	0	1	0	0
271	06/01/2014	16:17:04	29,56	26,44	18,31	0	0	1	0	0
272	06/01/2014	16:17:06	29,62	26,44	18,25	0	0	1	0	0
273	06/01/2014	16:17:08	29,69	26,44	18,31	0	0	1	0	0
274	06/01/2014	16:17:10	29,69	26,44	18,31	0	0	1	0	0
275	06/01/2014	16:17:12	29,75	26,44	18,25	0	0	1	0	0
276	06/01/2014	16:17:14	29,81	26,5	18,25	0	0	1	0	0
277	06/01/2014	16:17:16	29,81	26,5	18,31	0	0	1	0	0
278	06/01/2014	16:17:18	29,81	26,5	18,31	0	0	1	0	0
279	06/01/2014	16:17:20	29,81	26,5	18,31	0	0	1	0	0
280	06/01/2014	16:17:22	29,81	26,56	18,31	0	0	1	0	0
281	06/01/2014	16:17:24	29,87	26,56	18,31	0	0	1	0	0
282	06/01/2014	16:17:26	29,94	26,5	18,31	0	0	1	0	0
283	06/01/2014	16:17:28	30	26,5	18,31	0	0	1	0	0
284	06/01/2014	16:17:30	30	26,56	18,31	0	0	1	0	0
285	06/01/2014	16:17:32	30,06	26,5	18,31	0	0	1	0	0
286	06/01/2014	16:17:34	30,06	26,5	18,25	0	0	1	0	0
287	06/01/2014	16:17:36	30,06	26,5	18,31	0	0	1	0	0
288	06/01/2014	16:17:38	30,12	26,5	18,31	0	0	1	0	0
289	06/01/2014	16:17:40	30,19	26,5	18,31	0	0	1	0	0
290	06/01/2014	16:17:42	30,12	26,44	18,31	0	0	1	0	0
291	06/01/2014	16:17:44	30,06	26,44	18,31	0	0	1	0	0
292	06/01/2014	16:17:46	30,06	26,44	18,31	0	0	1	0	0
293	06/01/2014	16:17:48	30	26,44	18,25	0	0	1	1	0
294	06/01/2014	16:17:50	30,06	26,44	18,31	0	0	1	1	0
295	06/01/2014	16:17:52	30,12	26,44	18,31	0	0	1	1	0
296	06/01/2014	16:17:54	30,06	26,62	18,31	0	0	1	1	0
297	06/01/2014	16:17:56	30	27,37	18,31	0	0	1	1	0
298	06/01/2014	16:17:58	30	28	18,31	0	0	1	1	0
299	06/01/2014	16:18:00	30,12	28,5	18,31	0	0	1	1	0
300	06/01/2014	16:18:02	30,19	28,87	18,31	0	0	1	1	0
301	06/01/2014	16:18:04	30,25	29,06	18,31	0	0	1	1	0
302	06/01/2014	16:18:06	30,37	29,19	18,31	0	0	1	1	0
303	06/01/2014	16:18:08	30,5	29,44	18,31	0	0	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
304	06/01/2014	16:18:10	30,62	29,56	18,31	0	0	1	1	0
305	06/01/2014	16:18:12	30,81	29,75	18,31	0	0	1	1	0
306	06/01/2014	16:18:14	31	29,87	18,31	0	0	1	1	0
307	06/01/2014	16:18:16	31	30	18,31	0	0	1	1	0
308	06/01/2014	16:18:18	30,94	30,12	18,31	0	0	1	1	0
309	06/01/2014	16:18:20	30,94	30,25	18,31	0	0	1	1	0
310	06/01/2014	16:18:22	30,94	30,37	18,31	0	0	1	1	0
311	06/01/2014	16:18:24	31	30,5	18,31	0	0	1	1	0
312	06/01/2014	16:18:26	31	30,62	18,31	0	0	1	1	0
313	06/01/2014	16:18:28	31,06	30,69	18,31	0	0	1	1	0
314	06/01/2014	16:18:30	31,25	30,81	18,31	0	0	1	1	0
315	06/01/2014	16:18:32	31,37	30,94	18,31	0	0	1	1	0
316	06/01/2014	16:18:34	31,5	31,06	18,31	0	0	1	1	0
317	06/01/2014	16:18:36	31,37	31,12	18,31	0	0	1	1	0
318	06/01/2014	16:18:38	31,25	31,25	18,31	0	0	1	1	0
319	06/01/2014	16:18:40	31,19	31,37	18,31	0	0	1	1	0
320	06/01/2014	16:18:42	31,06	31,44	18,31	0	0	1	1	0
321	06/01/2014	16:18:44	31	31,56	18,31	0	0	1	1	0
322	06/01/2014	16:18:46	31,06	31,62	18,31	0	0	1	1	0
323	06/01/2014	16:18:48	31	31,69	18,31	0	0	1	1	0
324	06/01/2014	16:18:50	30,94	31,75	18,31	0	0	1	1	0
325	06/01/2014	16:18:52	30,94	31,81	18,31	0	0	1	1	0
326	06/01/2014	16:18:54	30,87	31,87	18,31	0	0	1	1	0
327	06/01/2014	16:18:56	30,81	31,94	18,31	0	0	1	1	0
328	06/01/2014	16:18:58	30,87	32	18,31	0	0	1	1	0
329	06/01/2014	16:19:00	30,94	32,06	18,31	0	0	1	1	0
330	06/01/2014	16:19:02	30,94	32,06	18,31	0	0	1	1	0
331	06/01/2014	16:19:04	31	32,13	18,31	0	0	1	1	0
332	06/01/2014	16:19:06	31,06	32,19	18,31	0	0	1	1	0
333	06/01/2014	16:19:08	31,06	32,25	18,31	0	0	1	1	0
334	06/01/2014	16:19:10	31,06	32,25	18,31	0	0	1	1	0
335	06/01/2014	16:19:12	31,06	32,31	18,31	0	0	1	1	0
336	06/01/2014	16:19:14	31,12	32,38	18,31	0	0	1	1	0
337	06/01/2014	16:19:16	31,25	32,44	18,31	0	0	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
338	06/01/2014	16:19:18	31,31	32,5	18,31	0	0	1	1	0
339	06/01/2014	16:19:20	31,31	32,56	18,31	0	0	1	1	0
340	06/01/2014	16:19:22	31,25	32,63	18,31	0	0	1	1	0
341	06/01/2014	16:19:24	31,12	32,63	18,31	0	0	1	1	0
342	06/01/2014	16:19:26	31,12	32,75	18,31	0	0	1	1	0
343	06/01/2014	16:19:28	31,19	32,81	18,31	0	0	1	1	0
344	06/01/2014	16:19:30	31,37	32,88	18,31	0	0	1	1	0
345	06/01/2014	16:19:32	31,56	32,94	18,31	0	0	1	1	0
346	06/01/2014	16:19:34	31,69	33	18,31	0	0	1	1	0
347	06/01/2014	16:19:36	31,81	33,06	18,31	0	0	1	1	0
348	06/01/2014	16:19:38	31,94	33,06	18,31	0	0	1	1	0
349	06/01/2014	16:19:40	31,94	33,13	18,31	0	0	1	1	0
350	06/01/2014	16:19:42	31,87	33,13	18,31	0	0	1	1	0
351	06/01/2014	16:19:44	31,75	33,19	18,31	0	0	1	1	0
352	06/01/2014	16:19:46	31,69	33,25	18,31	0	0	1	1	0
353	06/01/2014	16:19:48	31,62	33,31	18,31	0	0	1	1	0
354	06/01/2014	16:19:50	31,56	33,31	18,31	0	0	1	1	0
355	06/01/2014	16:19:52	31,56	33,38	18,31	0	0	1	1	0
356	06/01/2014	16:19:54	31,62	33,38	18,31	0	0	1	1	0
357	06/01/2014	16:19:56	31,75	33,5	18,31	0	0	1	1	0
358	06/01/2014	16:19:58	31,87	33,56	18,31	0	0	1	1	0
359	06/01/2014	16:20:00	31,94	33,63	18,31	0	0	1	1	0
360	06/01/2014	16:20:02	31,94	33,69	18,31	0	0	1	1	0
361	06/01/2014	16:20:04	31,87	33,69	18,31	0	0	1	1	0
362	06/01/2014	16:20:06	31,87	33,81	18,31	0	0	1	1	0
363	06/01/2014	16:20:08	31,87	33,81	18,31	0	0	1	1	0
364	06/01/2014	16:20:10	31,87	33,88	18,31	0	0	1	1	0
365	06/01/2014	16:20:12	31,87	33,94	18,31	0	0	1	1	0
366	06/01/2014	16:20:14	31,87	34	18,31	0	0	1	1	0
367	06/01/2014	16:20:16	31,87	34,06	18,31	0	0	1	1	0
368	06/01/2014	16:20:18	31,87	34,19	18,31	0	0	1	1	0
369	06/01/2014	16:20:20	31,94	34,25	18,31	0	0	1	1	0
370	06/01/2014	16:20:22	32,06	34,31	18,31	0	0	1	1	0
371	06/01/2014	16:20:24	32,13	34,38	18,31	0	1	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
372	06/01/2014	16:20:26	32,25	34,38	18,31	0	1	1	1	0
373	06/01/2014	16:20:28	32,44	34,44	18,31	0	1	1	1	0
374	06/01/2014	16:20:30	32,56	34,5	18,31	0	1	1	1	0
375	06/01/2014	16:20:32	32,56	34,56	18,31	0	1	1	1	0
376	06/01/2014	16:20:34	32,56	34,63	18,31	0	1	1	1	0
377	06/01/2014	16:20:36	32,5	34,75	18,31	0	1	1	1	0
378	06/01/2014	16:20:38	32,5	34,81	18,31	0	1	1	1	0
379	06/01/2014	16:20:40	32,5	34,81	18,31	0	1	1	1	0
380	06/01/2014	16:20:42	32,63	34,94	18,31	0	1	1	1	0
381	06/01/2014	16:20:44	32,63	35	18,31	0	1	1	1	0
382	06/01/2014	16:20:46	32,56	35,13	18,31	0	1	1	1	0
383	06/01/2014	16:20:48	32,38	35,19	18,25	0	1	1	1	0
384	06/01/2014	16:20:50	32,25	35,38	18,31	0	1	1	1	0
385	06/01/2014	16:20:52	32,44	35,56	18,31	0	1	1	1	0
386	06/01/2014	16:20:54	33,06	35,75	18,31	0	1	1	1	0
387	06/01/2014	16:20:56	34,13	35,88	18,31	0	1	1	1	0
388	06/01/2014	16:20:58	35,06	36,06	18,31	0	1	1	1	0
389	06/01/2014	16:21:00	35,25	36,19	18,31	0	1	1	1	0
390	06/01/2014	16:21:02	35,69	36,38	18,31	0	1	1	1	0
391	06/01/2014	16:21:04	36	36,44	18,31	0	1	1	1	0
392	06/01/2014	16:21:06	35,88	36,5	18,31	0	1	1	1	0
393	06/01/2014	16:21:08	36,25	36,63	18,31	0	0	1	1	0
394	06/01/2014	16:21:10	36,56	36,69	18,31	0	0	1	1	0
395	06/01/2014	16:21:12	36,5	36,69	18,31	0	0	1	1	0
396	06/01/2014	16:21:14	36,69	36,69	18,31	0	0	1	1	0
397	06/01/2014	16:21:16	36,88	36,69	18,31	0	0	1	1	0
398	06/01/2014	16:21:18	36,75	36,63	18,31	0	0	1	1	0
399	06/01/2014	16:21:20	36,69	36,69	18,31	0	0	1	1	0
400	06/01/2014	16:21:22	36,75	36,69	18,31	0	0	1	1	0
401	06/01/2014	16:21:24	36,94	36,69	18,31	0	0	1	1	0
402	06/01/2014	16:21:26	36,94	36,75	18,31	0	0	1	1	0
403	06/01/2014	16:21:28	37,06	36,81	18,31	0	0	1	1	0
404	06/01/2014	16:21:30	37,13	36,81	18,31	0	0	1	0	0
405	06/01/2014	16:21:32	37,31	36,88	18,31	0	0	1	0	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
406	06/01/2014	16:21:34	37,38	36,94	18,31	0	0	1	0	0
407	06/01/2014	16:21:36	37,5	36,94	18,31	0	0	1	0	0
408	06/01/2014	16:21:38	37,5	36,94	18,31	0	0	1	0	0
409	06/01/2014	16:21:40	37,31	36,94	18,37	0	0	1	0	0
410	06/01/2014	16:21:42	37,31	36,88	18,37	0	0	1	0	0
411	06/01/2014	16:21:44	37,44	36,88	18,31	0	0	1	0	0
412	06/01/2014	16:21:46	37,44	36,88	18,31	0	0	1	0	0
413	06/01/2014	16:21:48	37,56	36,88	18,31	0	0	1	0	0
414	06/01/2014	16:21:50	37,75	36,81	18,31	0	0	1	0	0
415	06/01/2014	16:21:52	37,81	36,81	18,31	0	0	1	0	0
416	06/01/2014	16:21:54	37,75	36,81	18,31	0	0	1	0	0
417	06/01/2014	16:21:57	37,69	36,81	18,31	0	0	1	0	0
418	06/01/2014	16:21:59	37,69	36,81	18,31	0	0	1	0	0
419	06/01/2014	16:22:01	37,75	36,81	18,31	0	0	1	0	0
420	06/01/2014	16:22:03	37,75	36,81	18,31	0	0	1	0	0
421	06/01/2014	16:22:05	37,75	36,75	18,31	0	0	1	0	0
422	06/01/2014	16:22:07	37,88	36,81	18,31	0	0	1	0	0
423	06/01/2014	16:22:09	38	36,75	18,31	0	0	1	0	0
424	06/01/2014	16:22:11	38,13	36,75	18,31	0	0	1	0	0
425	06/01/2014	16:22:13	38,19	36,75	18,31	0	0	1	0	0
426	06/01/2014	16:22:15	38,19	36,75	18,31	0	0	1	0	0
427	06/01/2014	16:22:17	38,13	36,75	18,31	0	0	1	0	0
428	06/01/2014	16:22:19	38,31	36,75	18,37	0	0	1	0	0
429	06/01/2014	16:22:21	38,31	36,75	18,31	0	0	1	0	0
430	06/01/2014	16:22:23	38,31	36,75	18,31	0	0	1	0	0
431	06/01/2014	16:22:25	38,44	36,75	18,31	0	0	1	0	0
432	06/01/2014	16:22:27	38,44	36,69	18,31	0	0	1	0	0
433	06/01/2014	16:22:29	38,38	36,69	18,37	0	0	1	0	0
434	06/01/2014	16:22:31	38,44	36,69	18,37	0	0	1	0	0
435	06/01/2014	16:22:33	38,5	36,69	18,31	0	0	1	0	0
436	06/01/2014	16:22:35	38,56	36,63	18,37	0	0	1	0	0
437	06/01/2014	16:22:37	38,63	36,69	18,37	0	0	1	0	0
438	06/01/2014	16:22:39	38,69	36,63	18,31	0	0	1	0	0
439	06/01/2014	16:22:41	38,69	36,63	18,31	0	0	1	0	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
440	06/01/2014	16:22:43	38,63	36,63	18,31	0	0	1	0	0
441	06/01/2014	16:22:45	38,63	36,63	18,31	0	0	1	0	0
442	06/01/2014	16:22:47	38,63	36,56	18,31	0	0	1	0	0
443	06/01/2014	16:22:49	38,75	36,56	18,31	0	0	1	0	0
444	06/01/2014	16:22:51	38,81	36,56	18,37	0	0	1	0	0
445	06/01/2014	16:22:53	38,81	36,56	18,37	0	0	1	0	0
446	06/01/2014	16:22:55	38,88	36,5	18,31	0	0	1	0	0
447	06/01/2014	16:22:57	38,94	36,5	18,31	0	0	1	0	0
448	06/01/2014	16:22:59	39,06	36,5	18,31	0	0	1	0	0
449	06/01/2014	16:23:01	39,13	36,5	18,31	0	0	1	0	0
450	06/01/2014	16:23:03	39,13	36,5	18,31	0	0	1	0	0
451	06/01/2014	16:23:05	39,19	36,5	18,37	0	0	1	0	0
452	06/01/2014	16:23:07	39,25	36,5	18,31	0	0	1	0	0
453	06/01/2014	16:23:09	39,25	36,5	18,37	0	0	1	0	0
454	06/01/2014	16:23:11	39,31	36,5	18,31	0	0	1	0	0
455	06/01/2014	16:23:13	39,38	36,5	18,37	0	0	1	0	0
456	06/01/2014	16:23:15	39,38	36,5	18,31	0	0	1	0	0
457	06/01/2014	16:23:17	39,38	36,5	18,31	0	0	1	0	0
458	06/01/2014	16:23:19	39,5	36,5	18,37	0	0	1	0	0
459	06/01/2014	16:23:21	39,56	36,44	18,31	0	0	1	0	0
460	06/01/2014	16:23:23	39,44	36,5	18,37	0	0	1	0	0
461	06/01/2014	16:23:25	39,44	36,5	18,37	0	0	1	0	0
462	06/01/2014	16:23:27	39,44	36,44	18,37	0	0	1	0	0
463	06/01/2014	16:23:29	39,38	36,44	18,31	0	0	1	0	0
464	06/01/2014	16:23:31	39,56	36,44	18,31	0	0	1	0	0
465	06/01/2014	16:23:33	39,69	36,44	18,31	0	0	1	0	0
466	06/01/2014	16:23:35	39,69	36,44	18,31	0	0	1	0	0
467	06/01/2014	16:23:37	39,81	36,38	18,31	0	0	1	0	0
468	06/01/2014	16:23:39	39,94	36,38	18,31	0	0	1	0	0
469	06/01/2014	16:23:41	39,88	36,38	18,37	0	0	1	0	0
470	06/01/2014	16:23:43	39,81	36,38	18,31	0	0	1	0	0
471	06/01/2014	16:23:45	39,69	36,38	18,31	0	0	1	0	0
472	06/01/2014	16:23:47	39,69	36,38	18,31	0	0	1	0	0
473	06/01/2014	16:23:49	39,69	36,38	18,31	0	0	1	0	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
474	06/01/2014	16:23:51	39,69	36,31	18,37	0	0	1	0	0
475	06/01/2014	16:23:53	39,75	36,31	18,37	0	0	1	0	0
476	06/01/2014	16:23:55	39,69	36,31	18,31	0	0	1	0	0
477	06/01/2014	16:23:57	39,69	36,31	18,31	0	0	1	0	0
478	06/01/2014	16:23:59	39,69	36,31	18,31	0	0	1	0	0
479	06/01/2014	16:24:01	39,69	36,31	18,31	0	0	1	0	0
480	06/01/2014	16:24:03	39,81	36,31	18,31	0	0	1	0	0
481	06/01/2014	16:24:05	39,88	36,31	18,31	0	0	1	0	0
482	06/01/2014	16:24:07	39,81	36,25	18,31	0	0	1	0	0
483	06/01/2014	16:24:09	39,88	36,31	18,31	0	0	1	0	0
484	06/01/2014	16:24:11	40	36,31	18,31	0	0	1	0	0
485	06/01/2014	16:24:13	39,94	36,25	18,31	0	0	1	0	0
486	06/01/2014	16:24:15	40	36,25	18,31	0	0	1	0	0
487	06/01/2014	16:24:17	40	36,25	18,31	0	0	1	0	0
488	06/01/2014	16:24:19	40,06	36,25	18,31	0	0	1	0	0
489	06/01/2014	16:24:21	40,13	36,25	18,31	0	0	1	0	0
490	06/01/2014	16:24:23	40,13	36,25	18,31	0	0	1	0	0
491	06/01/2014	16:24:25	40,19	36,25	18,31	0	0	1	0	0
492	06/01/2014	16:24:27	40,31	36,25	18,31	0	0	1	0	0
493	06/01/2014	16:24:29	40,25	36,25	18,31	0	0	1	0	0
494	06/01/2014	16:24:31	40,25	36,25	18,31	0	0	1	0	0
495	06/01/2014	16:24:33	40,5	36,19	18,37	0	0	1	0	0
496	06/01/2014	16:24:35	40,63	36,19	18,31	0	0	1	0	0
497	06/01/2014	16:24:37	40,56	36,19	18,31	0	0	1	0	0
498	06/01/2014	16:24:39	40,56	36,25	18,31	0	0	1	0	0
499	06/01/2014	16:24:41	40,5	36,19	18,31	0	0	1	0	0
500	06/01/2014	16:24:43	40,44	36,19	18,31	0	0	1	0	0
501	06/01/2014	16:24:45	40,56	36,19	18,31	0	0	1	0	0
502	06/01/2014	16:24:47	40,56	36,19	18,31	0	0	1	0	0
503	06/01/2014	16:24:49	40,56	36,19	18,31	0	0	1	1	0
504	06/01/2014	16:24:51	40,69	36,19	18,37	0	0	1	1	0
505	06/01/2014	16:24:53	40,81	36,13	18,31	0	0	1	1	0
506	06/01/2014	16:24:55	40,81	36,56	18,31	0	0	1	1	0
507	06/01/2014	16:24:57	41	37,19	18,31	0	0	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
508	06/01/2014	16:24:59	41,31	37,63	18,31	0	0	1	1	0
509	06/01/2014	16:25:01	41,25	37,94	18,37	0	0	1	1	0
510	06/01/2014	16:25:03	41,19	38,19	18,37	0	0	1	1	0
511	06/01/2014	16:25:05	41,13	38,44	18,31	0	0	1	1	0
512	06/01/2014	16:25:07	41,31	38,63	18,31	0	0	1	1	0
513	06/01/2014	16:25:09	41,44	38,75	18,31	0	0	1	1	0
514	06/01/2014	16:25:11	41,38	38,94	18,31	0	0	1	1	0
515	06/01/2014	16:25:13	41,31	39,06	18,31	0	0	1	1	0
516	06/01/2014	16:25:15	41,38	39,19	18,37	0	0	1	1	0
517	06/01/2014	16:25:17	41,19	39,31	18,37	0	0	1	1	0
518	06/01/2014	16:25:19	40,88	39,44	18,31	0	0	1	1	0
519	06/01/2014	16:25:21	40,63	39,56	18,31	0	0	1	1	0
520	06/01/2014	16:25:23	40,56	39,69	18,31	0	0	1	1	0
521	06/01/2014	16:25:25	40,63	39,75	18,37	0	0	1	1	0
522	06/01/2014	16:25:27	40,94	39,88	18,37	0	0	1	1	0
523	06/01/2014	16:25:29	41,13	39,94	18,31	0	0	1	1	0
524	06/01/2014	16:25:31	41,31	39,94	18,31	0	0	1	1	0
525	06/01/2014	16:25:33	41,5	40	18,37	0	0	1	1	0
526	06/01/2014	16:25:35	41,44	40,06	18,37	0	0	1	1	0
527	06/01/2014	16:25:37	41,31	40,13	18,31	0	0	1	1	0
528	06/01/2014	16:25:39	41,19	40,25	18,37	0	0	1	1	0
529	06/01/2014	16:25:41	40,94	40,38	18,31	0	0	1	1	0
530	06/01/2014	16:25:43	40,81	40,44	18,37	0	0	1	1	0
531	06/01/2014	16:25:45	40,81	40,5	18,31	0	0	1	1	0
532	06/01/2014	16:25:47	40,81	40,56	18,31	0	0	1	1	0
533	06/01/2014	16:25:49	40,88	40,63	18,31	0	0	1	1	0
534	06/01/2014	16:25:51	40,88	40,69	18,31	0	0	1	1	0
535	06/01/2014	16:25:53	41	40,81	18,31	0	0	1	1	0
536	06/01/2014	16:25:55	41,19	40,94	18,31	0	0	1	1	0
537	06/01/2014	16:25:57	41,38	41	18,31	0	0	1	1	0
538	06/01/2014	16:25:59	41,56	41,13	18,37	0	0	1	1	0
539	06/01/2014	16:26:01	41,75	41,13	18,37	0	0	1	1	0
540	06/01/2014	16:26:03	41,88	41,13	18,31	0	0	1	1	0
541	06/01/2014	16:26:05	41,88	41,19	18,31	0	0	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
542	06/01/2014	16:26:07	41,69	41,25	18,37	0	0	1	1	0
543	06/01/2014	16:26:09	41,5	41,31	18,31	0	0	1	1	0
544	06/01/2014	16:26:11	41,44	41,44	18,31	0	0	1	1	0
545	06/01/2014	16:26:13	41,38	41,5	18,31	0	0	1	1	0
546	06/01/2014	16:26:15	41,44	41,56	18,31	0	0	1	1	0
547	06/01/2014	16:26:17	41,44	41,56	18,31	0	0	1	1	0
548	06/01/2014	16:26:19	41,5	41,69	18,37	0	0	1	1	0
549	06/01/2014	16:26:21	41,56	41,75	18,37	0	0	1	1	0
550	06/01/2014	16:26:23	41,63	41,81	18,37	0	0	1	1	0
551	06/01/2014	16:26:25	41,69	41,88	18,37	0	0	1	1	0
552	06/01/2014	16:26:27	41,69	41,94	18,31	0	0	1	1	0
553	06/01/2014	16:26:29	41,75	42	18,37	0	0	1	1	0
554	06/01/2014	16:26:31	41,75	42,13	18,37	0	0	1	1	0
555	06/01/2014	16:26:33	41,69	42,19	18,37	0	0	1	1	0
556	06/01/2014	16:26:35	41,69	42,31	18,31	0	0	1	1	0
557	06/01/2014	16:26:37	41,69	42,5	18,31	0	0	1	1	0
558	06/01/2014	16:26:39	41,69	42,56	18,31	0	0	1	1	0
559	06/01/2014	16:26:41	41,75	42,69	18,31	0	0	1	1	0
560	06/01/2014	16:26:43	41,88	42,69	18,37	0	0	1	1	0
561	06/01/2014	16:26:45	42	42,75	18,31	0	0	1	1	0
562	06/01/2014	16:26:47	42,13	42,81	18,31	0	0	1	1	0
563	06/01/2014	16:26:49	42,38	42,94	18,31	0	0	1	1	0
564	06/01/2014	16:26:51	42,5	43,06	18,31	0	0	1	1	0
565	06/01/2014	16:26:53	42,5	43,19	18,31	0	0	1	1	0
566	06/01/2014	16:26:55	42,38	43,31	18,31	0	1	1	1	0
567	06/01/2014	16:26:57	42,31	43,31	18,31	0	1	1	1	0
568	06/01/2014	16:26:59	42,38	43,38	18,31	0	1	1	1	0
569	06/01/2014	16:27:01	42,56	43,38	18,31	0	1	1	1	0
570	06/01/2014	16:27:03	42,63	43,5	18,31	0	1	1	1	0
571	06/01/2014	16:27:05	42,63	43,63	18,37	0	1	1	1	0
572	06/01/2014	16:27:07	42,69	43,75	18,37	0	1	1	1	0
573	06/01/2014	16:27:09	42,69	43,88	18,31	0	1	1	1	0
574	06/01/2014	16:27:11	42,63	43,94	18,31	0	1	1	1	0
575	06/01/2014	16:27:13	42,56	44,06	18,31	0	1	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
576	06/01/2014	16:27:15	42,44	44,19	18,37	0	1	1	1	0
577	06/01/2014	16:27:17	42,38	44,31	18,31	0	1	1	1	0
578	06/01/2014	16:27:19	42,56	44,44	18,37	0	1	1	1	0
579	06/01/2014	16:27:21	42,69	44,56	18,37	0	1	1	1	0
580	06/01/2014	16:27:23	42,94	44,81	18,31	0	1	1	1	0
581	06/01/2014	16:27:25	43,19	45,06	18,31	0	1	1	1	0
582	06/01/2014	16:27:27	44,06	45,19	18,37	0	1	1	1	0
583	06/01/2014	16:27:29	44,94	45,38	18,37	0	1	1	1	0
584	06/01/2014	16:27:31	44,94	45,56	18,37	0	1	1	1	0
585	06/01/2014	16:27:33	45,44	45,75	18,31	0	1	1	1	0
586	06/01/2014	16:27:35	45,75	45,88	18,37	0	1	1	1	0
587	06/01/2014	16:27:37	45,44	45,94	18,37	0	1	1	1	0
588	06/01/2014	16:27:39	45,56	46,06	18,31	0	1	1	1	0
589	06/01/2014	16:27:41	45,75	46,13	18,37	0	0	1	1	0
590	06/01/2014	16:27:43	46,06	46,19	18,37	0	0	1	1	0
591	06/01/2014	16:27:45	46,31	46,19	18,37	0	0	1	1	0
592	06/01/2014	16:27:47	46,25	46,19	18,31	0	0	1	0	0
593	06/01/2014	16:27:49	46,25	46,19	18,31	0	0	1	0	0
594	06/01/2014	16:27:51	46,31	46,19	18,37	0	0	1	0	0
595	06/01/2014	16:27:53	46,44	46,19	18,37	0	0	1	0	0
596	06/01/2014	16:27:55	46,56	46,06	18,37	0	0	1	0	0
597	06/01/2014	16:27:57	46,63	46	18,37	0	0	1	0	0
598	06/01/2014	16:27:59	46,75	45,94	18,37	0	0	1	0	0
599	06/01/2014	16:28:01	46,63	45,88	18,37	0	0	1	0	0
600	06/01/2014	16:28:03	46,56	45,81	18,31	0	0	1	0	0
601	06/01/2014	16:28:05	46,63	45,81	18,37	0	0	1	0	0
602	06/01/2014	16:28:07	46,69	45,75	18,37	0	0	1	0	0
603	06/01/2014	16:28:09	46,63	45,75	18,37	0	0	1	0	0
604	06/01/2014	16:28:11	46,56	45,75	18,37	0	0	1	0	0
605	06/01/2014	16:28:13	46,56	45,69	18,37	0	0	1	0	0
606	06/01/2014	16:28:15	46,63	45,69	18,37	0	0	1	0	0
607	06/01/2014	16:28:17	46,63	45,69	18,37	0	0	1	0	0
608	06/01/2014	16:28:19	46,75	45,63	18,37	0	0	1	0	0
609	06/01/2014	16:28:21	46,75	45,63	18,37	0	0	1	0	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
610	06/01/2014	16:28:23	46,75	45,63	18,37	0	0	1	0	0
611	06/01/2014	16:28:25	46,75	45,56	18,37	0	0	1	0	0
612	06/01/2014	16:28:27	46,75	45,56	18,37	0	0	1	0	0
613	06/01/2014	16:28:29	46,81	45,56	18,37	0	0	1	0	0
614	06/01/2014	16:28:31	46,88	45,56	18,37	0	0	1	0	0
615	06/01/2014	16:28:33	46,94	45,5	18,37	0	0	1	0	0
616	06/01/2014	16:28:35	47	45,5	18,37	0	0	1	0	0
617	06/01/2014	16:28:37	47,13	45,5	18,37	0	0	1	0	0
618	06/01/2014	16:28:39	47,19	45,44	18,37	0	0	1	0	0
619	06/01/2014	16:28:41	47,19	45,44	18,37	0	0	1	0	0
620	06/01/2014	16:28:43	47,13	45,38	18,37	0	0	1	0	0
621	06/01/2014	16:28:45	47,19	45,38	18,37	0	0	1	0	0
622	06/01/2014	16:28:47	47,19	45,38	18,37	0	0	1	0	0
623	06/01/2014	16:28:49	47,19	45,31	18,31	0	0	1	0	0
624	06/01/2014	16:28:51	47,25	45,31	18,37	0	0	1	0	0
625	06/01/2014	16:28:53	47,25	45,25	18,37	0	0	1	0	0
626	06/01/2014	16:28:55	47,25	45,25	18,37	0	0	1	0	0
627	06/01/2014	16:28:57	47,38	45,25	18,31	0	0	1	0	0
628	06/01/2014	16:28:59	47,44	45,19	18,37	0	0	1	0	0
629	06/01/2014	16:29:01	47,38	45,19	18,37	0	0	1	0	0
630	06/01/2014	16:29:03	47,38	45,19	18,31	0	0	1	0	0
631	06/01/2014	16:29:05	47,44	45,19	18,37	0	0	1	0	0
632	06/01/2014	16:29:07	47,44	45,13	18,37	0	0	1	0	0
633	06/01/2014	16:29:09	47,5	45,13	18,37	0	0	1	0	0
634	06/01/2014	16:29:11	47,5	45,13	18,37	0	0	1	0	0
635	06/01/2014	16:29:13	47,56	45,13	18,31	0	0	1	0	0
636	06/01/2014	16:29:15	47,56	45,13	18,37	0	0	1	0	0
637	06/01/2014	16:29:17	47,69	45,06	18,37	0	0	1	0	0
638	06/01/2014	16:29:19	47,81	45,06	18,37	0	0	1	0	0
639	06/01/2014	16:29:21	47,75	45,06	18,37	0	0	1	0	0
640	06/01/2014	16:29:23	47,69	45,06	18,37	0	0	1	0	0
641	06/01/2014	16:29:25	47,75	45,06	18,37	0	0	1	0	0
642	06/01/2014	16:29:27	47,81	45	18,31	0	0	1	0	0
643	06/01/2014	16:29:29	47,81	45	18,37	0	0	1	0	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
644	06/01/2014	16:29:31	47,88	45	18,37	0	0	1	0	0
645	06/01/2014	16:29:33	48	45	18,37	0	0	1	0	0
646	06/01/2014	16:29:35	48,06	44,94	18,37	0	0	1	0	0
647	06/01/2014	16:29:37	48,06	44,94	18,37	0	0	1	0	0
648	06/01/2014	16:29:39	48,13	44,94	18,31	0	0	1	0	0
649	06/01/2014	16:29:41	48,19	44,94	18,37	0	0	1	0	0
650	06/01/2014	16:29:43	48,19	44,94	18,37	0	0	1	0	0
651	06/01/2014	16:29:45	48,19	44,88	18,31	0	0	1	0	0
652	06/01/2014	16:29:47	48,19	44,88	18,37	0	0	1	0	0
653	06/01/2014	16:29:49	48,19	44,88	18,37	0	0	1	0	0
654	06/01/2014	16:29:51	48,25	44,88	18,37	0	0	1	0	0
655	06/01/2014	16:29:53	48,25	44,88	18,31	0	0	1	0	0
656	06/01/2014	16:29:55	48,31	44,81	18,37	0	0	1	0	0
657	06/01/2014	16:29:57	48,31	44,81	18,31	0	0	1	0	0
658	06/01/2014	16:29:59	48,38	44,81	18,37	0	0	1	0	0
659	06/01/2014	16:30:01	48,44	44,81	18,31	0	0	1	0	0
660	06/01/2014	16:30:03	48,44	44,75	18,31	0	0	1	1	0
661	06/01/2014	16:30:05	48,56	44,75	18,37	0	0	1	1	0
662	06/01/2014	16:30:07	48,63	44,75	18,37	0	0	1	1	0
663	06/01/2014	16:30:09	48,63	45,06	18,31	0	0	1	1	0
664	06/01/2014	16:30:11	48,63	45,56	18,31	0	0	1	1	0
665	06/01/2014	16:30:13	48,69	45,94	18,37	0	0	1	1	0
666	06/01/2014	16:30:15	48,69	46,13	18,37	0	0	1	1	0
667	06/01/2014	16:30:17	48,63	46,25	18,37	0	0	1	1	0
668	06/01/2014	16:30:19	48,56	46,38	18,37	0	0	1	1	0
669	06/01/2014	16:30:21	48,5	46,56	18,37	0	0	1	1	0
670	06/01/2014	16:30:23	48,5	46,75	18,37	0	0	1	1	0
671	06/01/2014	16:30:25	48,5	46,94	18,37	0	0	1	1	0
672	06/01/2014	16:30:27	48,5	47,06	18,37	0	0	1	1	0
673	06/01/2014	16:30:29	48,5	47,13	18,37	0	0	1	1	0
674	06/01/2014	16:30:31	48,5	47,25	18,37	0	0	1	1	0
675	06/01/2014	16:30:33	48,5	47,31	18,37	0	0	1	1	0
676	06/01/2014	16:30:35	48,5	47,38	18,31	0	0	1	1	0
677	06/01/2014	16:30:37	48,5	47,38	18,37	0	0	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
678	06/01/2014	16:30:39	48,63	47,44	18,37	0	0	1	1	0
679	06/01/2014	16:30:41	48,75	47,5	18,37	0	0	1	1	0
680	06/01/2014	16:30:43	48,81	47,56	18,37	0	0	1	1	0
681	06/01/2014	16:30:45	48,81	47,63	18,37	0	0	1	1	0
682	06/01/2014	16:30:47	48,81	47,75	18,37	0	0	1	1	0
683	06/01/2014	16:30:49	48,81	47,81	18,37	0	0	1	1	0
684	06/01/2014	16:30:51	48,88	47,81	18,37	0	0	1	1	0
685	06/01/2014	16:30:53	48,94	47,94	18,37	0	0	1	1	0
686	06/01/2014	16:30:55	48,88	47,94	18,31	0	0	1	1	0
687	06/01/2014	16:30:57	48,94	48	18,37	0	0	1	1	0
688	06/01/2014	16:30:59	48,94	48,06	18,37	0	0	1	1	0
689	06/01/2014	16:31:01	48,94	48,13	18,37	0	0	1	1	0
690	06/01/2014	16:31:03	49	48,19	18,37	0	0	1	1	0
691	06/01/2014	16:31:05	49,13	48,25	18,31	0	0	1	1	0
692	06/01/2014	16:31:07	49,25	48,31	18,37	0	0	1	1	0
693	06/01/2014	16:31:09	49,5	48,31	18,37	0	0	1	1	0
694	06/01/2014	16:31:11	49,5	48,44	18,37	0	0	1	1	0
695	06/01/2014	16:31:13	49,44	48,44	18,37	0	0	1	1	0
696	06/01/2014	16:31:15	49,5	48,56	18,37	0	0	1	1	0
697	06/01/2014	16:31:17	49,81	48,63	18,37	0	0	1	1	0
698	06/01/2014	16:31:19	49,88	48,69	18,31	0	0	1	1	0
699	06/01/2014	16:31:21	50	48,69	18,37	0	0	1	1	0
700	06/01/2014	16:31:23	50	48,75	18,37	0	0	1	1	0
701	06/01/2014	16:31:25	50	48,81	18,37	0	0	1	1	0
702	06/01/2014	16:31:27	50	48,81	18,37	0	0	1	1	0
703	06/01/2014	16:31:29	50,19	48,88	18,37	0	0	1	1	0
704	06/01/2014	16:31:31	50,06	48,94	18,37	0	0	1	1	0
705	06/01/2014	16:31:33	49,81	49	18,37	0	0	1	1	0
706	06/01/2014	16:31:35	49,63	49,06	18,37	0	0	1	1	0
707	06/01/2014	16:31:37	49,5	49,13	18,37	0	0	1	1	0
708	06/01/2014	16:31:39	49,5	49,19	18,37	0	0	1	1	0
709	06/01/2014	16:31:41	49,5	49,25	18,37	0	0	1	1	0
710	06/01/2014	16:31:43	49,44	49,31	18,37	0	0	1	1	0
711	06/01/2014	16:31:45	49,38	49,38	18,37	0	0	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
712	06/01/2014	16:31:47	49,31	49,44	18,31	0	0	1	1	0
713	06/01/2014	16:31:49	49,5	49,5	18,37	0	0	1	1	0
714	06/01/2014	16:31:51	49,63	49,56	18,37	0	0	1	1	0
715	06/01/2014	16:31:53	49,56	49,63	18,37	0	0	1	1	0
716	06/01/2014	16:31:55	49,5	49,69	18,37	0	0	1	1	0
717	06/01/2014	16:31:57	49,44	49,75	18,37	0	0	1	1	0
718	06/01/2014	16:31:59	49,44	49,75	18,37	0	0	1	1	0
719	06/01/2014	16:32:01	49,31	49,75	18,37	0	0	1	1	0
720	06/01/2014	16:32:03	49,31	49,81	18,37	0	0	1	1	0
721	06/01/2014	16:32:05	49,38	49,81	18,37	0	0	1	1	0
722	06/01/2014	16:32:07	49,44	49,88	18,37	0	0	1	1	0
723	06/01/2014	16:32:09	49,63	49,94	18,37	0	0	1	1	0
724	06/01/2014	16:32:11	49,81	50	18,37	0	0	1	1	0
725	06/01/2014	16:32:13	50	50,06	18,37	0	0	1	1	0
726	06/01/2014	16:32:15	50,06	50,06	18,37	0	0	1	1	0
727	06/01/2014	16:32:17	50	50,13	18,37	0	1	1	1	0
728	06/01/2014	16:32:19	49,94	50,19	18,37	0	1	1	1	0
729	06/01/2014	16:32:21	49,94	50,25	18,37	0	1	1	1	0
730	06/01/2014	16:32:23	49,88	50,31	18,37	0	1	1	1	0
731	06/01/2014	16:32:25	49,81	50,38	18,37	0	1	1	1	0
732	06/01/2014	16:32:27	49,88	50,44	18,37	0	1	1	1	0
733	06/01/2014	16:32:29	49,88	50,5	18,37	0	1	1	1	0
734	06/01/2014	16:32:31	49,94	50,56	18,37	0	1	1	1	0
735	06/01/2014	16:32:33	49,94	50,63	18,37	0	1	1	1	0
736	06/01/2014	16:32:35	49,88	50,69	18,37	0	1	1	1	0
737	06/01/2014	16:32:37	50	50,81	18,37	0	1	1	1	0
738	06/01/2014	16:32:39	50,25	50,94	18,37	0	1	1	1	0
739	06/01/2014	16:32:41	50,63	51,06	18,37	0	1	1	1	0
740	06/01/2014	16:32:43	51,19	51,19	18,37	0	1	1	1	0
741	06/01/2014	16:32:45	51,69	51,38	18,37	0	1	1	1	0
742	06/01/2014	16:32:47	52,13	51,56	18,37	0	1	1	1	0
743	06/01/2014	16:32:49	52,25	51,69	18,37	0	1	1	1	0
744	06/01/2014	16:32:51	52,63	51,81	18,37	0	1	1	1	0
745	06/01/2014	16:32:53	53,38	51,94	18,37	0	1	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
746	06/01/2014	16:32:55	53,94	52	18,37	0	1	1	1	0
747	06/01/2014	16:32:57	53,81	52,13	18,37	0	1	1	1	0
748	06/01/2014	16:32:59	53,75	52,19	18,37	0	1	1	1	0
749	06/01/2014	16:33:01	53,63	52,25	18,37	0	0	1	1	0
750	06/01/2014	16:33:03	53,5	52,31	18,37	0	0	1	1	0
751	06/01/2014	16:33:05	53,44	52,38	18,37	0	0	1	1	0
752	06/01/2014	16:33:07	53,44	52,44	18,37	0	0	1	1	0
753	06/01/2014	16:33:09	53,44	52,5	18,37	0	0	1	1	0
754	06/01/2014	16:33:11	53,44	52,5	18,37	0	0	1	1	0
755	06/01/2014	16:33:13	53,44	52,56	18,37	0	0	1	1	0
756	06/01/2014	16:33:15	53,5	52,56	18,37	0	0	1	1	0
757	06/01/2014	16:33:17	53,5	52,63	18,37	0	0	1	1	0
758	06/01/2014	16:33:19	53,63	52,69	18,37	0	0	1	1	0
759	06/01/2014	16:33:21	53,63	52,75	18,37	0	0	1	1	0
760	06/01/2014	16:33:23	53,63	52,81	18,37	0	0	1	1	0
761	06/01/2014	16:33:25	53,56	52,88	18,37	0	0	1	1	0
762	06/01/2014	16:33:27	53,63	52,94	18,37	0	0	1	1	0
763	06/01/2014	16:33:29	53,75	52,94	18,37	0	0	1	1	0
764	06/01/2014	16:33:31	53,81	53	18,44	0	0	1	1	0
765	06/01/2014	16:33:33	53,88	53,06	18,37	0	0	1	1	0
766	06/01/2014	16:33:35	53,88	53,06	18,37	0	0	1	1	0
767	06/01/2014	16:33:37	53,81	53,13	18,37	0	0	1	1	0
768	06/01/2014	16:33:39	53,81	53,13	18,37	0	0	1	1	0
769	06/01/2014	16:33:42	53,81	53,19	18,37	0	0	1	1	0
770	06/01/2014	16:33:44	53,88	53,19	18,37	0	0	1	1	0
771	06/01/2014	16:33:46	53,88	53,19	18,37	0	0	1	1	0
772	06/01/2014	16:33:48	53,81	53,19	18,37	0	0	1	1	0
773	06/01/2014	16:33:50	53,75	53,31	18,37	0	0	1	1	0
774	06/01/2014	16:33:52	53,75	53,25	18,37	0	0	1	1	0
775	06/01/2014	16:33:54	53,81	53,31	18,37	0	0	1	1	0
776	06/01/2014	16:33:56	53,94	53,31	18,37	0	0	1	1	0
777	06/01/2014	16:33:58	53,88	53,31	18,44	0	0	1	1	0
778	06/01/2014	16:34:00	53,94	53,31	18,37	0	0	1	1	0
779	06/01/2014	16:34:02	54	53,31	18,37	0	0	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
780	06/01/2014	16:34:04	54	53,31	18,37	0	0	1	1	0
781	06/01/2014	16:34:06	54,06	53,38	18,37	0	1	1	1	0
782	06/01/2014	16:34:08	54,06	53,38	18,37	0	1	1	1	0
783	06/01/2014	16:34:10	54,13	53,44	18,37	0	1	1	1	0
784	06/01/2014	16:34:12	54,13	53,44	18,37	0	1	1	1	0
785	06/01/2014	16:34:14	54,13	53,5	18,37	0	1	1	1	0
786	06/01/2014	16:34:16	54,19	53,44	18,37	0	1	1	1	0
787	06/01/2014	16:34:18	54,19	53,5	18,37	0	1	1	1	0
788	06/01/2014	16:34:20	54,31	53,5	18,37	0	1	1	1	0
789	06/01/2014	16:34:22	54,38	53,56	18,37	0	1	1	1	0
790	06/01/2014	16:34:24	54,38	53,56	18,37	0	1	1	1	0
791	06/01/2014	16:34:26	54,38	53,63	18,37	0	1	1	1	0
792	06/01/2014	16:34:28	54,5	53,63	18,37	0	1	1	1	0
793	06/01/2014	16:34:30	54,5	53,75	18,37	0	1	1	1	0
794	06/01/2014	16:34:32	54,56	53,81	18,37	0	1	1	1	0
795	06/01/2014	16:34:34	54,56	53,94	18,37	0	1	1	1	0
796	06/01/2014	16:34:36	54,63	54,06	18,37	0	0	1	1	0
797	06/01/2014	16:34:38	54,69	54,13	18,37	0	0	1	1	0
798	06/01/2014	16:34:40	54,69	54,25	18,37	0	0	1	1	0
799	06/01/2014	16:34:42	54,69	54,38	18,37	0	0	1	1	0
800	06/01/2014	16:34:44	54,75	54,44	18,37	0	0	1	1	0
801	06/01/2014	16:34:46	54,88	54,5	18,37	0	0	1	1	0
802	06/01/2014	16:34:48	54,88	54,56	18,37	0	0	1	1	0
803	06/01/2014	16:34:50	54,88	54,63	18,37	0	0	1	1	0
804	06/01/2014	16:34:52	54,88	54,69	18,37	0	0	1	1	0
805	06/01/2014	16:34:54	55	54,81	18,44	0	0	1	0	0
806	06/01/2014	16:34:56	55	54,81	18,37	0	0	1	0	0
807	06/01/2014	16:34:58	55,06	54,88	18,37	0	0	1	0	0
808	06/01/2014	16:35:00	55,13	54,88	18,37	0	0	1	0	0
809	06/01/2014	16:35:02	55,13	54,81	18,37	0	0	1	0	0
810	06/01/2014	16:35:04	55,13	54,81	18,37	0	0	1	0	0
811	06/01/2014	16:35:06	55,19	54,75	18,37	0	0	1	0	0
812	06/01/2014	16:35:08	55,19	54,75	18,37	0	0	1	0	0
813	06/01/2014	16:35:10	55,19	54,69	18,37	0	0	1	0	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
814	06/01/2014	16:35:12	55,25	54,69	18,37	0	0	1	0	0
815	06/01/2014	16:35:14	55,38	54,63	18,37	0	0	1	0	0
816	06/01/2014	16:35:16	55,5	54,56	18,37	0	0	1	0	0
817	06/01/2014	16:35:18	55,5	54,5	18,37	0	0	1	0	0
818	06/01/2014	16:35:20	55,63	54,5	18,37	0	0	1	0	0
819	06/01/2014	16:35:22	55,63	54,44	18,44	0	0	1	0	0
820	06/01/2014	16:35:24	55,63	54,44	18,37	0	0	1	0	0
821	06/01/2014	16:35:26	55,63	54,38	18,37	0	0	1	0	0
822	06/01/2014	16:35:28	55,75	54,38	18,37	0	0	1	0	0
823	06/01/2014	16:35:30	55,81	54,31	18,37	0	0	1	0	0
824	06/01/2014	16:35:32	55,81	54,31	18,37	0	0	1	0	0
825	06/01/2014	16:35:34	55,81	54,25	18,37	0	0	1	0	0
826	06/01/2014	16:35:36	55,88	54,25	18,37	0	0	1	0	0
827	06/01/2014	16:35:38	55,88	54,19	18,37	0	0	1	0	0
828	06/01/2014	16:35:40	56	54,19	18,37	0	0	1	0	0
829	06/01/2014	16:35:42	56,06	54,13	18,37	0	0	1	0	0
830	06/01/2014	16:35:44	56,06	54,06	18,37	0	0	1	0	0
831	06/01/2014	16:35:46	56,06	54	18,37	0	0	1	0	0
832	06/01/2014	16:35:48	56,06	53,94	18,37	0	0	1	0	0
833	06/01/2014	16:35:50	56,13	53,94	18,37	0	0	1	0	0
834	06/01/2014	16:35:52	56,13	53,88	18,37	0	0	1	0	0
835	06/01/2014	16:35:54	56,13	53,81	18,37	0	0	1	0	0
836	06/01/2014	16:35:56	56,25	53,81	18,37	0	0	1	0	0
837	06/01/2014	16:35:58	56,25	53,81	18,37	0	0	1	0	0
838	06/01/2014	16:36:00	56,19	53,75	18,37	0	0	1	0	0
839	06/01/2014	16:36:02	56,25	53,75	18,37	0	0	1	0	0
840	06/01/2014	16:36:04	56,25	53,75	18,37	0	0	1	0	0
841	06/01/2014	16:36:06	56,31	53,69	18,37	0	0	1	1	0
842	06/01/2014	16:36:08	56,38	53,63	18,37	0	0	1	1	0
843	06/01/2014	16:36:10	56,44	53,63	18,37	0	0	1	1	0
844	06/01/2014	16:36:12	56,44	53,88	18,37	0	0	1	1	0
845	06/01/2014	16:36:14	56,5	54,31	18,37	0	0	1	1	0
846	06/01/2014	16:36:16	56,5	54,56	18,37	0	0	1	1	0
847	06/01/2014	16:36:18	56,56	54,75	18,37	0	0	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
848	06/01/2014	16:36:20	56,56	54,81	18,37	0	0	1	1	0
849	06/01/2014	16:36:22	56,63	54,88	18,37	0	0	1	1	0
850	06/01/2014	16:36:24	56,63	55	18,37	0	0	1	1	0
851	06/01/2014	16:36:26	56,75	55,06	18,37	0	0	1	1	0
852	06/01/2014	16:36:28	56,81	55,13	18,37	0	0	1	1	0
853	06/01/2014	16:36:30	56,81	55,13	18,37	0	0	1	1	0
854	06/01/2014	16:36:32	56,81	55,19	18,37	0	0	1	1	0
855	06/01/2014	16:36:34	56,81	55,25	18,37	0	0	1	1	0
856	06/01/2014	16:36:36	56,81	55,31	18,37	0	0	1	1	0
857	06/01/2014	16:36:38	56,88	55,38	18,37	0	0	1	1	0
858	06/01/2014	16:36:40	56,94	55,31	18,37	0	0	1	1	0
859	06/01/2014	16:36:42	57	55,38	18,37	0	0	1	1	0
860	06/01/2014	16:36:44	57,13	55,44	18,37	0	0	1	1	0
861	06/01/2014	16:36:46	57,31	55,44	18,37	0	0	1	1	0
862	06/01/2014	16:36:48	57,31	55,5	18,37	0	0	1	1	0
863	06/01/2014	16:36:50	57,31	55,56	18,37	0	0	1	1	0
864	06/01/2014	16:36:52	57,38	55,56	18,37	0	0	1	1	0
865	06/01/2014	16:36:54	57,31	55,56	18,37	0	0	1	1	0
866	06/01/2014	16:36:56	57,19	55,63	18,37	0	0	1	1	0
867	06/01/2014	16:36:58	57,13	55,63	18,37	0	0	1	1	0
868	06/01/2014	16:37:00	57,19	55,63	18,37	0	0	1	1	0
869	06/01/2014	16:37:02	57,25	55,69	18,37	0	0	1	1	0
870	06/01/2014	16:37:04	57,25	55,69	18,37	0	0	1	1	0
871	06/01/2014	16:37:06	57,19	55,75	18,37	0	0	1	1	0
872	06/01/2014	16:37:08	57,31	55,81	18,37	0	0	1	1	0
873	06/01/2014	16:37:10	57,44	55,81	18,37	0	0	1	1	0
874	06/01/2014	16:37:12	57,5	55,88	18,37	0	0	1	1	0
875	06/01/2014	16:37:14	57,5	55,94	18,37	0	0	1	1	0
876	06/01/2014	16:37:16	57,44	56	18,37	0	0	1	1	0
877	06/01/2014	16:37:18	57,44	56,06	18,37	0	1	1	1	0
878	06/01/2014	16:37:20	57,44	56,06	18,37	0	1	1	1	0
879	06/01/2014	16:37:22	57,38	56,13	18,37	0	1	1	1	0
880	06/01/2014	16:37:24	57,38	56,13	18,37	0	1	1	1	0
881	06/01/2014	16:37:26	57,44	56,25	18,37	0	1	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
882	06/01/2014	16:37:28	57,56	56,31	18,37	0	1	1	0	0
883	06/01/2014	16:37:30	57,56	56,38	18,44	0	1	1	0	0
884	06/01/2014	16:37:32	57,81	56,44	18,37	0	1	1	0	0
885	06/01/2014	16:37:34	57,75	56,5	18,37	0	1	1	0	0
886	06/01/2014	16:37:36	57,69	56,44	18,37	0	1	1	0	0
887	06/01/2014	16:37:38	57,69	56,38	18,37	0	1	1	0	0
888	06/01/2014	16:37:40	57,75	56,31	18,37	0	1	1	0	0
889	06/01/2014	16:37:42	57,94	56,31	18,37	0	1	1	1	0
890	06/01/2014	16:37:44	58,13	56,25	18,44	0	0	1	1	0
891	06/01/2014	16:37:46	58,13	56,25	18,37	0	0	1	1	0
892	06/01/2014	16:37:48	58,38	56,56	18,37	0	0	1	1	0
893	06/01/2014	16:37:50	58,63	56,81	18,37	0	0	1	0	0
894	06/01/2014	16:37:52	58,88	57	18,37	0	0	1	0	0
895	06/01/2014	16:37:54	59,06	57,19	18,37	0	0	1	0	0
896	06/01/2014	16:37:56	59,06	57,25	18,37	0	0	1	0	0
897	06/01/2014	16:37:58	58,94	57,25	18,44	0	0	1	0	0
898	06/01/2014	16:38:00	58,81	57,19	18,37	0	0	1	0	0
899	06/01/2014	16:38:02	58,75	57,19	18,37	0	0	1	0	0
900	06/01/2014	16:38:04	59	57,06	18,37	0	0	1	0	0
901	06/01/2014	16:38:06	59,25	56,94	18,37	0	0	1	0	0
902	06/01/2014	16:38:08	59,13	56,88	18,37	0	0	1	0	0
903	06/01/2014	16:38:10	59,13	56,81	18,37	0	0	1	0	0
904	06/01/2014	16:38:12	59,13	56,75	18,37	0	0	1	0	0
905	06/01/2014	16:38:14	59,13	56,69	18,44	0	0	1	0	0
906	06/01/2014	16:38:16	59,13	56,63	18,37	0	0	1	0	0
907	06/01/2014	16:38:18	59,13	56,56	18,37	0	0	1	0	0
908	06/01/2014	16:38:20	59,25	56,56	18,37	0	0	1	0	0
909	06/01/2014	16:38:22	59,38	56,5	18,37	0	0	1	0	0
910	06/01/2014	16:38:24	59,44	56,44	18,37	0	1	1	0	0
911	06/01/2014	16:38:26	59,44	56,38	18,37	0	1	1	0	0
912	06/01/2014	16:38:28	59,44	56,31	18,37	0	1	1	0	0
913	06/01/2014	16:38:30	59,63	56,31	18,44	0	0	1	0	0
914	06/01/2014	16:38:32	59,63	56,25	18,37	0	0	1	0	0
915	06/01/2014	16:38:34	59,63	56,13	18,37	0	0	1	0	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
916	06/01/2014	16:38:36	59,81	56,06	18,44	0	0	1	0	0
917	06/01/2014	16:38:38	59,88	55,94	18,37	0	0	1	0	0
918	06/01/2014	16:38:40	59,88	55,88	18,44	0	0	1	0	0
919	06/01/2014	16:38:42	59,94	55,81	18,44	0	0	1	0	0
920	06/01/2014	16:38:44	59,94	55,69	18,37	0	0	1	0	0
921	06/01/2014	16:38:46	59,88	55,63	18,44	0	0	1	0	0
922	06/01/2014	16:38:48	59,88	55,56	18,44	0	0	1	0	0
923	06/01/2014	16:38:50	59,81	55,5	18,44	0	0	1	0	0
924	06/01/2014	16:38:52	59,88	55,44	18,44	0	0	1	0	0
925	06/01/2014	16:38:54	60,06	55,38	18,37	0	0	1	0	0
926	06/01/2014	16:38:56	60,06	55,31	18,37	0	0	1	0	0
927	06/01/2014	16:38:58	60,06	55,19	18,44	0	0	1	0	0
928	06/01/2014	16:39:00	60,06	55,06	18,37	0	0	1	0	0
929	06/01/2014	16:39:02	60	55	18,44	0	0	1	0	0
930	06/01/2014	16:39:04	60,06	54,88	18,44	0	0	1	0	0
931	06/01/2014	16:39:06	60,13	54,81	18,44	0	0	1	0	0
932	06/01/2014	16:39:08	60,19	54,69	18,44	0	0	1	0	0
933	06/01/2014	16:39:10	60,13	54,63	18,44	0	0	1	0	0
934	06/01/2014	16:39:12	60,13	54,5	18,44	0	0	1	0	0
935	06/01/2014	16:39:14	60,19	54,44	18,37	0	0	1	0	0
936	06/01/2014	16:39:16	60,19	54,38	18,44	0	0	1	0	0
937	06/01/2014	16:39:18	60,38	54,31	18,37	0	0	1	0	0
938	06/01/2014	16:39:20	60,44	54,25	18,44	0	0	1	0	0
939	06/01/2014	16:39:22	60,38	54,13	18,44	0	0	1	0	0
940	06/01/2014	16:39:24	60,25	54,06	18,44	0	0	1	1	0
941	06/01/2014	16:39:26	60,25	54	18,44	0	0	1	1	0
942	06/01/2014	16:39:28	60,31	53,88	18,44	0	0	1	1	0
943	06/01/2014	16:39:30	60,38	54,06	18,44	0	0	1	1	0
944	06/01/2014	16:39:32	60,44	55,13	18,44	0	0	1	1	0
945	06/01/2014	16:39:34	60,44	56,06	18,44	0	0	1	1	0
946	06/01/2014	16:39:36	60,5	56,75	18,44	0	0	1	1	0
947	06/01/2014	16:39:38	60,56	57,38	18,37	0	0	1	1	0
948	06/01/2014	16:39:40	60,56	57,81	18,44	0	0	1	1	0
949	06/01/2014	16:39:42	60,56	58,13	18,44	0	0	1	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
950	06/01/2014	16:39:44	60,56	58,44	18,44	0	0	1	1	0
951	06/01/2014	16:39:46	60,5	58,63	18,44	0	0	1	1	0
952	06/01/2014	16:39:48	60,44	58,88	18,44	0	0	1	1	0
953	06/01/2014	16:39:50	60,44	59	18,44	0	0	1	1	0
954	06/01/2014	16:39:52	60,44	59,13	18,44	0	0	0	1	0
955	06/01/2014	16:39:54	60,44	59,19	18,44	0	0	0	1	0
956	06/01/2014	16:39:56	60,44	59,31	18,44	0	0	0	1	0
957	06/01/2014	16:39:58	60,5	59,38	18,44	0	0	0	1	0
958	06/01/2014	16:40:00	60,5	59,5	18,44	0	0	0	1	0
959	06/01/2014	16:40:02	60,56	59,56	18,44	0	0	0	1	0
960	06/01/2014	16:40:04	60,69	59,69	18,44	0	0	0	1	0
961	06/01/2014	16:40:06	61	59,75	18,44	0	0	0	1	0
962	06/01/2014	16:40:08	61,06	59,88	18,44	0	0	0	1	0
963	06/01/2014	16:40:10	61,13	59,88	18,44	0	0	0	1	0
964	06/01/2014	16:40:12	61,13	60	18,37	0	0	0	1	0
965	06/01/2014	16:40:14	61,13	60	18,44	0	0	0	1	0
966	06/01/2014	16:40:16	61,13	60	18,44	0	0	0	1	0
967	06/01/2014	16:40:18	61,13	60,06	18,44	0	0	0	1	0
968	06/01/2014	16:40:20	60,94	60,06	18,44	0	0	0	1	0
969	06/01/2014	16:40:22	60,88	60,06	18,44	0	0	0	1	0
970	06/01/2014	16:40:24	60,88	60,06	18,37	0	0	0	1	0
971	06/01/2014	16:40:26	60,81	60,06	18,44	0	0	0	1	0
972	06/01/2014	16:40:28	60,81	60,06	18,44	0	0	0	1	0
973	06/01/2014	16:40:30	60,75	60,06	18,37	0	0	0	1	0
974	06/01/2014	16:40:32	60,75	60,06	18,37	0	0	0	1	0
975	06/01/2014	16:40:34	60,69	60,06	18,44	0	0	0	1	0
976	06/01/2014	16:40:36	60,69	60,06	18,37	0	0	0	1	0
977	06/01/2014	16:40:38	60,69	60,13	18,44	0	0	0	1	0
978	06/01/2014	16:40:40	60,69	60,13	18,37	0	0	0	1	0
979	06/01/2014	16:40:42	60,69	60,13	18,44	0	0	0	1	0
980	06/01/2014	16:40:44	60,63	60,13	18,37	0	0	0	1	0
981	06/01/2014	16:40:46	60,63	60,13	18,44	0	0	0	1	0
982	06/01/2014	16:40:48	60,63	60,13	18,37	0	0	0	1	0
983	06/01/2014	16:40:50	60,69	60,19	18,44	0	0	0	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
984	06/01/2014	16:40:52	60,69	60,13	18,44	0	0	0	1	0
985	06/01/2014	16:40:54	60,69	60,13	18,44	0	0	0	1	0
986	06/01/2014	16:40:56	60,69	60,19	18,37	0	0	0	1	0
987	06/01/2014	16:40:58	60,69	60,19	18,44	0	0	0	1	0
988	06/01/2014	16:41:00	60,75	60,19	18,44	0	0	0	1	0
989	06/01/2014	16:41:02	60,75	60,19	18,44	0	0	0	1	0
990	06/01/2014	16:41:04	60,81	60,19	18,44	0	0	0	1	0
991	06/01/2014	16:41:06	60,81	60,19	18,37	0	0	0	1	0
992	06/01/2014	16:41:08	60,81	60,19	18,44	0	0	0	1	0
993	06/01/2014	16:41:10	60,88	60,19	18,37	0	0	0	1	0
994	06/01/2014	16:41:12	60,88	60,19	18,44	0	0	0	1	0
995	06/01/2014	16:41:14	60,88	60,19	18,44	0	0	0	1	0
996	06/01/2014	16:41:16	60,94	60,19	18,37	0	0	0	1	0
997	06/01/2014	16:41:18	60,94	60,19	18,37	0	0	0	1	0
998	06/01/2014	16:41:20	60,94	60,19	18,44	0	0	0	1	0
999	06/01/2014	16:41:22	61	60,19	18,44	0	0	0	1	0
1000	06/01/2014	16:41:24	61	60,19	18,44	0	0	0	1	0
1001	06/01/2014	16:41:26	61	60,25	18,44	0	0	0	1	0
1002	06/01/2014	16:41:28	61	60,31	18,44	0	0	0	1	0
1003	06/01/2014	16:41:30	61,06	60,25	18,37	0	0	0	1	0
1004	06/01/2014	16:41:32	61,06	60,25	18,44	0	0	0	1	0
1005	06/01/2014	16:41:34	61,06	60,25	18,37	0	0	0	1	0
1006	06/01/2014	16:41:36	61	60,25	18,37	0	0	0	1	0
1007	06/01/2014	16:41:38	60,94	60,31	18,37	0	0	0	1	0
1008	06/01/2014	16:41:40	60,88	60,31	18,37	0	0	0	1	0
1009	06/01/2014	16:41:42	60,88	60,31	18,37	0	0	0	1	0
1010	06/01/2014	16:41:44	60,81	60,31	18,44	0	0	0	1	0
1011	06/01/2014	16:41:46	60,81	60,31	18,37	0	0	0	1	0
1012	06/01/2014	16:41:48	60,81	60,31	18,44	0	0	0	1	0
1013	06/01/2014	16:41:50	60,88	60,38	18,37	0	0	0	1	0
1014	06/01/2014	16:41:52	60,88	60,31	18,44	0	0	0	1	0
1015	06/01/2014	16:41:54	60,88	60,31	18,37	0	0	0	1	0
1016	06/01/2014	16:41:56	60,88	60,31	18,44	0	0	0	1	0
1017	06/01/2014	16:41:58	60,88	60,31	18,44	0	0	0	1	0

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
1018	06/01/2014	16:42:00	60,88	60,38	18,44	0	0	0	1	1
1019	06/01/2014	16:42:02	60,88	60,31	18,44	0	0	0	1	1
1020	06/01/2014	16:42:04	60,88	60,31	18,44	0	0	0	1	1
1021	06/01/2014	16:42:06	60,88	60,31	18,44	0	0	0	1	1
1022	06/01/2014	16:42:08	60,88	60,31	18,44	0	0	0	1	1
1023	06/01/2014	16:42:10	60,88	60,31	18,44	0	0	0	1	1
1024	06/01/2014	16:42:12	60,88	60,31	18,44	0	0	0	1	1
1025	06/01/2014	16:42:14	60,81	60,31	18,94	0	0	0	1	1
1026	06/01/2014	16:42:16	60,81	60,31	19,94	0	0	0	1	1
1027	06/01/2014	16:42:18	60,81	60,31	20,87	0	0	0	1	1
1028	06/01/2014	16:42:20	60,81	60,31	21,56	0	0	0	1	1
1029	06/01/2014	16:42:22	60,81	60,25	21,69	0	0	0	1	1
1030	06/01/2014	16:42:24	60,81	60,25	21,69	0	0	0	1	1
1031	06/01/2014	16:42:26	60,88	60,25	22,12	0	0	0	1	1
1032	06/01/2014	16:42:28	60,88	60,25	22,75	0	0	0	1	1
1033	06/01/2014	16:42:30	60,88	60,25	23,56	0	0	0	1	1
1034	06/01/2014	16:42:32	60,88	60,25	24,06	0	0	0	1	1
1035	06/01/2014	16:42:34	60,88	60,25	24,25	0	0	0	1	1
1036	06/01/2014	16:42:36	60,88	60,25	24,25	0	0	0	1	1
1037	06/01/2014	16:42:38	60,88	60,19	24,31	0	0	0	1	1
1038	06/01/2014	16:42:40	60,88	60,19	24,5	0	0	0	1	1
1039	06/01/2014	16:42:42	60,88	60,19	25,06	0	0	0	1	1
1040	06/01/2014	16:42:44	60,88	60,25	25,87	0	0	0	1	1
1041	06/01/2014	16:42:46	60,94	60,19	26,69	0	0	0	1	1
1042	06/01/2014	16:42:48	60,94	60,19	27,37	0	0	0	1	1
1043	06/01/2014	16:42:50	60,94	60,19	27,69	0	0	0	1	1
1044	06/01/2014	16:42:52	60,94	60,25	27,81	0	0	0	1	1
1045	06/01/2014	16:42:54	60,94	60,25	27,75	0	0	0	1	1
1046	06/01/2014	16:42:56	60,94	60,25	27,81	0	0	0	1	1
1047	06/01/2014	16:42:58	60,94	60,19	27,94	0	0	0	1	1
1048	06/01/2014	16:43:00	60,94	60,19	28,19	0	0	0	1	1
1049	06/01/2014	16:43:02	60,94	60,19	28,37	0	0	0	1	1
1050	06/01/2014	16:43:04	60,94	60,19	28,5	0	0	0	1	1
1051	06/01/2014	16:43:06	60,94	60,19	28,69	0	0	0	1	1

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
1052	06/01/2014	16:43:08	60,94	60,19	28,81	0	0	0	1	1
1053	06/01/2014	16:43:10	60,88	60,19	29	0	0	0	1	1
1054	06/01/2014	16:43:12	60,88	60,19	29,19	0	0	0	1	1
1055	06/01/2014	16:43:14	60,88	60,19	29,44	0	0	0	1	1
1056	06/01/2014	16:43:16	60,88	60,19	30	0	0	0	1	1
1057	06/01/2014	16:43:18	60,88	60,25	30,5	0	0	0	1	1
1058	06/01/2014	16:43:20	60,88	60,25	30,81	0	0	0	1	1
1059	06/01/2014	16:43:22	60,88	60,38	31,06	0	0	0	1	1
1060	06/01/2014	16:43:24	60,88	60,31	31,37	0	0	0	1	1
1061	06/01/2014	16:43:26	60,88	60,31	31,62	0	0	0	1	1
1062	06/01/2014	16:43:28	60,88	60,25	31,87	0	0	0	1	1
1063	06/01/2014	16:43:30	60,88	60,19	32	0	0	0	1	1
1064	06/01/2014	16:43:32	60,88	60,19	32,06	0	0	0	1	1
1065	06/01/2014	16:43:34	60,81	60,19	32	0	0	0	1	1
1066	06/01/2014	16:43:36	60,81	60,19	32	0	0	0	1	1
1067	06/01/2014	16:43:38	60,88	60,19	32,06	0	0	0	1	1
1068	06/01/2014	16:43:40	60,81	60,13	32,31	0	0	0	1	1
1069	06/01/2014	16:43:42	60,81	60,13	32,63	0	0	0	1	1
1070	06/01/2014	16:43:44	60,81	60,19	33	0	0	0	1	1
1071	06/01/2014	16:43:46	60,81	60,13	33,19	0	0	0	1	1
1072	06/01/2014	16:43:48	60,81	60,13	33,31	0	0	0	1	1
1073	06/01/2014	16:43:50	60,81	60,13	33,56	0	0	0	1	1
1074	06/01/2014	16:43:52	60,81	60,13	33,81	0	0	0	1	1
1075	06/01/2014	16:43:54	60,81	60,13	34,13	0	0	0	1	1
1076	06/01/2014	16:43:56	60,81	60,13	34,38	0	0	0	1	1
1077	06/01/2014	16:43:58	60,75	60,13	34,44	0	0	0	1	1
1078	06/01/2014	16:44:00	60,81	60,13	34,31	0	0	0	1	1
1079	06/01/2014	16:44:02	60,75	60,06	34,13	0	0	0	1	1
1080	06/01/2014	16:44:04	60,81	60,06	33,88	0	0	0	1	1
1081	06/01/2014	16:44:06	60,75	60,06	33,75	0	0	0	1	1
1082	06/01/2014	16:44:08	60,75	60,06	33,56	0	0	0	1	1
1083	06/01/2014	16:44:10	60,75	60	33,38	0	0	0	1	1
1084	06/01/2014	16:44:12	60,75	59,94	33,13	0	0	0	1	1
1085	06/01/2014	16:44:14	60,75	59,94	33,06	0	0	0	1	1

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
1086	06/01/2014	16:44:16	60,75	59,94	33	0	0	0	1	1
1087	06/01/2014	16:44:18	60,75	59,94	33	0	0	0	1	1
1088	06/01/2014	16:44:20	60,75	59,88	33,13	0	0	0	1	1
1089	06/01/2014	16:44:22	60,75	59,88	33,38	0	0	0	1	1
1090	06/01/2014	16:44:24	60,75	59,88	33,56	0	0	0	1	1
1091	06/01/2014	16:44:26	60,75	59,88	33,75	0	0	0	1	1
1092	06/01/2014	16:44:28	60,75	59,88	33,88	0	0	0	1	1
1093	06/01/2014	16:44:30	60,75	59,88	34	0	0	0	1	1
1094	06/01/2014	16:44:32	60,75	59,81	34,06	0	0	0	1	1
1095	06/01/2014	16:44:34	60,75	59,81	34,06	0	0	0	1	1
1096	06/01/2014	16:44:36	60,69	59,81	34,06	0	0	0	1	1
1097	06/01/2014	16:44:38	60,69	59,75	33,94	0	0	0	1	1
1098	06/01/2014	16:44:40	60,69	59,75	33,88	0	0	0	1	1
1099	06/01/2014	16:44:42	60,69	59,75	33,94	0	0	0	1	1
1100	06/01/2014	16:44:44	60,69	59,69	34,06	0	0	0	1	1
1101	06/01/2014	16:44:46	60,69	59,69	34,06	0	0	0	1	1
1102	06/01/2014	16:44:48	60,69	59,69	34,13	0	0	0	1	1
1103	06/01/2014	16:44:50	60,69	59,63	34,31	0	0	0	1	1
1104	06/01/2014	16:44:52	60,69	59,63	34,75	0	0	0	1	1
1105	06/01/2014	16:44:54	60,69	59,63	35,25	0	0	0	1	1
1106	06/01/2014	16:44:56	60,69	59,56	35,63	0	0	0	1	1
1107	06/01/2014	16:44:58	60,69	59,56	35,94	0	0	0	1	1
1108	06/01/2014	16:45:00	60,69	59,56	36,19	0	0	0	1	1
1109	06/01/2014	16:45:02	60,69	59,56	36,44	0	0	0	1	1
1110	06/01/2014	16:45:04	60,69	59,56	36,75	0	0	0	1	1
1111	06/01/2014	16:45:06	60,69	59,5	36,94	0	0	0	1	1
1112	06/01/2014	16:45:08	60,69	59,5	37	0	0	0	1	1
1113	06/01/2014	16:45:10	60,69	59,5	37,13	0	0	0	1	1
1114	06/01/2014	16:45:12	60,69	59,5	37,38	0	0	0	1	1
1115	06/01/2014	16:45:14	60,69	59,5	37,56	0	0	0	1	1
1116	06/01/2014	16:45:17	60,69	59,44	37,81	0	0	0	1	1
1117	06/01/2014	16:45:19	60,69	59,38	38,06	0	0	0	1	1
1118	06/01/2014	16:45:21	60,69	59,38	38,31	0	0	0	1	1
1119	06/01/2014	16:45:23	60,69	59,31	37,81	0	0	0	1	1

NÚMERO	FECHA	HORA	TEM 1	TEM 2	TEM 3	BOMB 1	BOMB 2	RESIST	ELECT 1	ELECT 2
1120	06/01/2014	16:45:25	60,69	59,25	37,06	0	0	0	1	1
1121	06/01/2014	16:45:27	60,69	59,25	36,88	0	0	0	1	1
1122	06/01/2014	16:45:29	60,69	59,19	37,25	0	0	0	1	1
1123	06/01/2014	16:45:31	60,69	59,19	37,81	0	0	0	1	1
1124	06/01/2014	16:45:33	60,63	59,13	38,38	0	0	0	1	1
1125	06/01/2014	16:45:35	60,63	59,06	38,81	0	0	0	1	1
1126	06/01/2014	16:45:37	60,63	59,06	39	0	0	0	1	1
1127	06/01/2014	16:45:39	60,63	59,06	39,13	0	0	0	1	1
1128	06/01/2014	16:45:41	60,63	59	39,31	0	0	0	1	1
1129	06/01/2014	16:45:43	60,63	59	39,44	0	0	0	1	1
1130	06/01/2014	16:45:45	60,63	59	39,63	0	0	0	1	1
1131	06/01/2014	16:45:47	60,63	59	40,06	0	0	0	1	1
1132	06/01/2014	16:45:49	60,63	58,94	40,56	0	0	0	1	1
1133	06/01/2014	16:45:51	60,63	58,94	40,69	0	0	0	1	1
1134	06/01/2014	16:45:53	60,56	58,88	40,75	0	0	0	1	1
1135	06/01/2014	16:45:55	60,56	58,88	40,88	0	0	0	1	1
1136	06/01/2014	16:45:57	60,56	58,88	40,94	0	0	0	1	1
1137	06/01/2014	16:45:59	60,63	58,81	41,13	0	0	0	1	1
1138	06/01/2014	16:46:01	60,56	58,81	41,31	0	0	0	0	1
1139	06/01/2014	16:46:03	60,56	58,75	41,44	0	0	0	0	1
1140	06/01/2014	16:46:05	60,56	58,69	41,63	0	0	0	0	1
1141	06/01/2014	16:46:07	60,56	58,63	41,75	0	0	0	0	1
1142	06/01/2014	16:46:09	60,56	58,56	41,81	0	0	0	0	1
1143	06/01/2014	16:46:11	60,56	58,5	41,94	0	0	0	0	1
1144	06/01/2014	16:46:13	60,56	58,44	42	0	0	0	0	0
1145	06/01/2014	16:46:15	60,56	58,38	42,06	0	0	0	0	0
1146	06/01/2014	16:46:17	60,56	58,38	41,94	0	0	0	0	0

Fuente: El Autor

Anexo 4. Diagrama eléctrico de control y fuerza

Anexo 5. Manual de operación del banco de pruebas para el control de temperatura.

En la presente guía se describe el procedimiento para la puesta en marcha del banco de pruebas para el control de temperatura.

El banco de pruebas cuenta con un computador desde donde se monitorea la temperatura y controla automáticamente los actuadores del proceso, todo esto mediante la tarjeta Arduino Mega 2560 y el software LabVIEW.

Consideraciones previas

Antes de iniciar el proceso de control se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Asegurarse que el tanque de almacenamiento de agua se encuentre en el nivel adecuado.

Cerciorarse que la resistencia eléctrica este sumergida.

Verificar que los interruptores electromagnéticos estén en posición de encendido.

Comprobar que las bombas estén cebadas.

Tomar en cuenta los parámetros de funcionamiento de los actuadores.

Identificación de los componentes

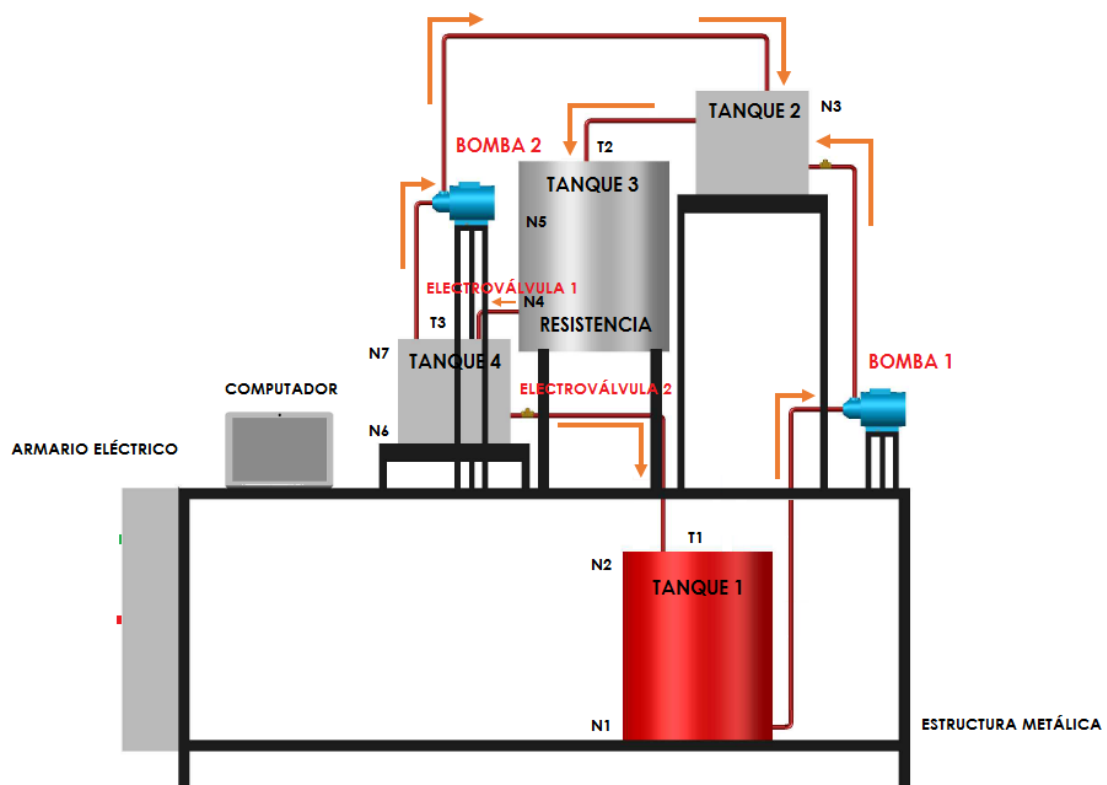


Figura 58. Componentes del banco de pruebas

Fuente: El Autor

En la Figura 58 se pueden observar todos los componentes del banco de pruebas, dentro del armario eléctrico se encuentran los siguientes componentes:

- Interruptores electromagnéticos
- Contactores
- Relés térmicos
- Tarjeta Arduino Mega 2560
- Circuito integrado ULN 2803
- Circuito para conexión de los sensores
- Circuito de optoacopladores

Operación del banco de pruebas

Para la operación del banco de pruebas se tiene que considerar lo siguiente:

1. Al conectar la tarjeta Arduino se debe identificar el puerto COM designado, en este caso será el COM 11

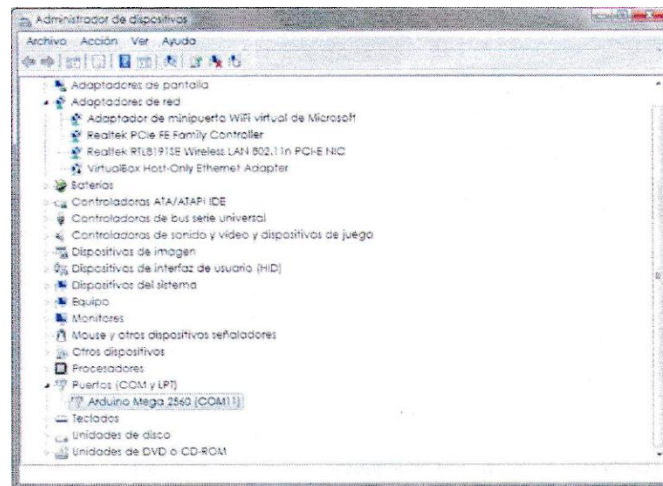


Figura 59. Puerto COM 11

Fuente: El Autor

2. Se realiza la programación de la tarjeta mediante el software Arduino considerando el proceso a controlar.

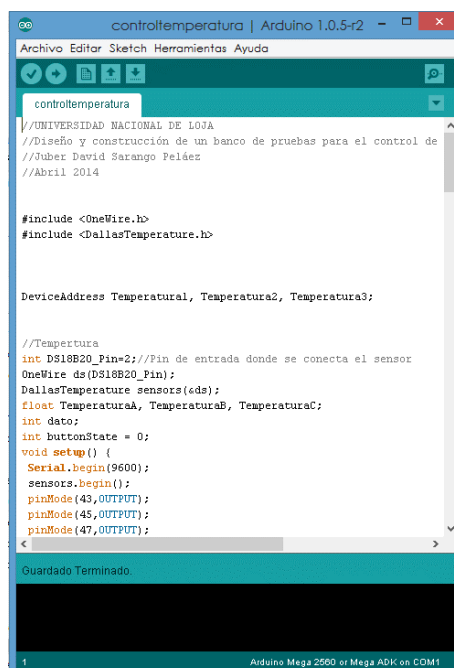


Figura 60. Entorno de programación Arduino

Fuente: El Autor

3. En el entorno de programación del software Arduino es necesario seleccionar el modelo de la tarjeta y el COM identificado anteriormente.

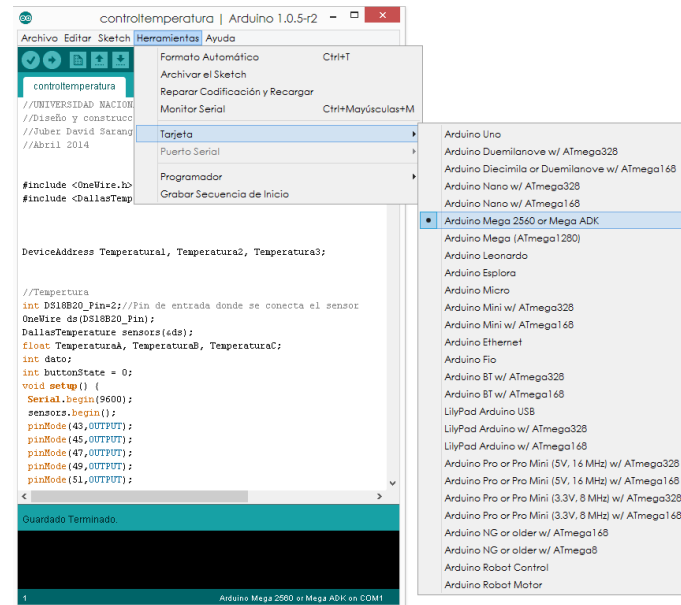


Figura 61. Selección de la tarjeta Arduino Mega 2560

Fuente: El Autor

4. Culminada la programación se procede a cargar en la tarjeta Arduino Mega 2560.

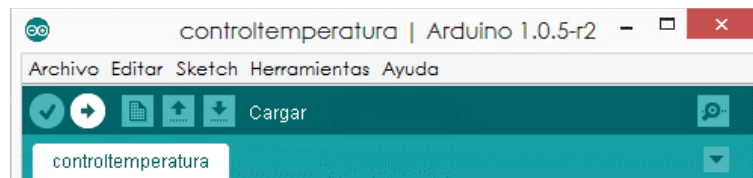


Figura 62. Cargar el programa a la tarjeta

5. Se procede a elaborar los respectivos instrumentos virtuales.

a. Instrumento virtual para adquirir datos del proceso.

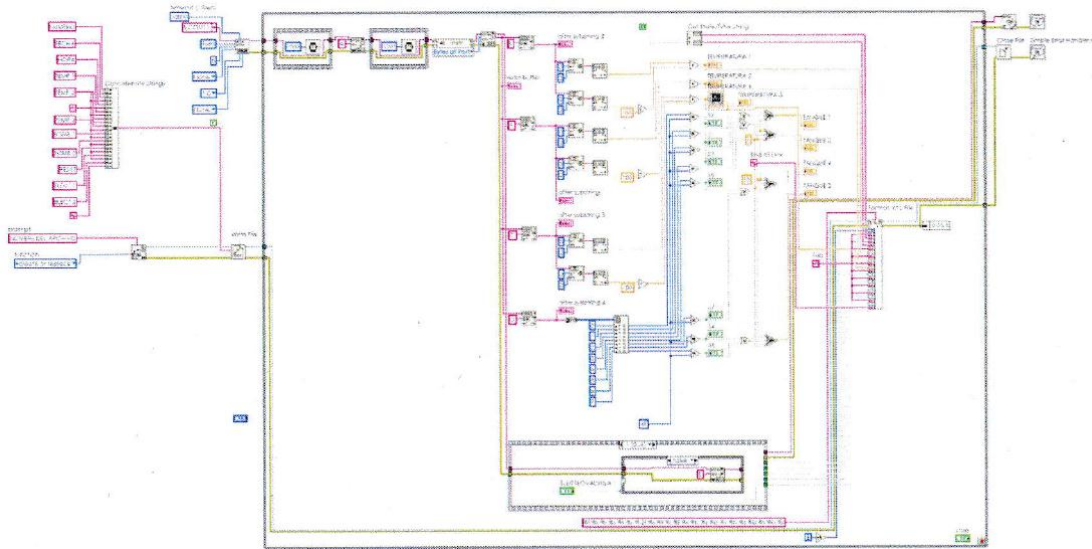


Figura 63. Diagrama de bloques

Fuente: El Autor

b. Instrumento virtual para el control automático del proceso.

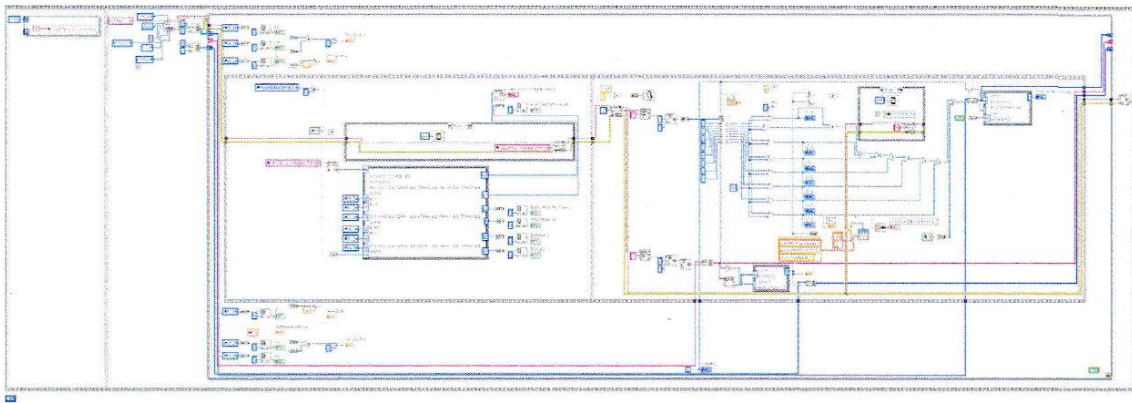


Figura 64. Diagrama de bloques

Fuente: El Autor

Dadas estas indicaciones y teniendo en cuenta las consideraciones previas se puede empezar a utilizar el banco de pruebas.

Anexo 6. Anteproyecto