


| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01- 27 |

SISTEMA DE MUESTREO Y CONTROL DE TEMPERATURA EN TORRES DE ENFRIAMIENTO

Santiago Parra Alvarez

Ingeniería Mecatrónica

Dirigido por:

Carlos Andres Vargas

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2018

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

RESUMEN

RESUMEN:

Este trabajo presenta el diseño y la implementación de un sistema de muestreo de temperatura para la realización de un control de temperatura en la empresa RimoPlasticas S.A. El proceso de implementación de este sistema hizo parte de la práctica empresarial realizada en dicha empresa para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico. El diseño del sistema de muestreo fue validado a través de los diferentes softwares de programación y simulación de sistemas electrónicos. Las simulaciones realizadas en dicho software también permitieron determinar los diferentes componentes electrónicos más aptos para un mejor resultado en el análisis de la temperatura.

Palabras clave: diseño eléctrico, control de temperatura, software, chiller.

ABSTRACT

This paper presents the design and implementation of a temperature sampling system for the realization of a temperature control in the company RimoPlasticas S.A. The process of implementing this system was part of the business practice carried out in that company to opt for the Mechatronic Engineer title. The design of the sampling system was validated through the different programming and simulation software of electronic systems. The simulations carried out in said software also allowed us to determine the different electronic components most suitable for a better result in the analysis of the temperature

Keywords: electric design, control temperature, software, chiller.

| | | | |
|---|--------------------------------------|---------|----------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01- 22 |

RECONOCIMIENTOS

En primera instancia, mi eterna gratitud a Dios porque ha regalado la vida y me acompaña siempre en el camino, cuidándome y entregándome fortaleza para escalar cada peldaño de mi vida y la carrera profesional.

A mi madre Claudia Rocio Álvarez P, mis abuelos Rocio Pineda y Fabio Álvarez y al resto de mi familia por el amor y el apoyo incondicional brindado en todo momento, por los valores inculcados y por darme la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y más aún, por ser un ejemplo a seguir.

A mis profesores, quienes compartieron de manera desmedida su conocimiento para mi formación como profesional.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida académica, a las que agradezco su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos difíciles, algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y mi corazón, sin importar en donde estén, quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|----------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01- 22 |

ACRÓNIMOS

PT100 Sensor de temperatura

PLC Controlador

°C Temperatura

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 6 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 8 |
| 3. METODOLOGÍA | 14 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 19 |
| 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO | 23 |
| REFERENCIAS | 24 |

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de enfriamiento son utilizados en las empresas en cuyos procesos se necesita el constante flujo de agua fría para servir como refrigerante y evitar el recalentamiento de piezas mecánicas o maquinas que se incluyen en el proceso de producción.

Una de las ventajas de este sistema de enfriamiento, es que con un buen diseño de su tubería permite la distribución uniforme del liquido a toda la planta, enviando a todas las maquinas el agua a la misma temperatura; otra ventaja es que con la implementación de la red de distribución del agua de las torres de enfriamiento se elimina el uso por máquina de los llamados chiller que es un tipo de frigorífico industrial para enfriar el agua utilizada en las maquinas que intervienen en el proceso de producción de artículos plásticos.

RimoPlasticas S.A es una empresa Colombia del sector plástico, por tanto, este proceso de inyección requiere altas temperaturas y debe implementar un sistema de refrigeración efectivo para obtener la mejor calidad en los productos ofertados a sus clientes.

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

Objetivo general

Diseñar un sistema de muestreo e implementar el control de frecuencia en los variadores de los motores que se encargan de mover las aspas que enfrían el agua en la empresa RimoPlasticas S.A para tener homogeneidad de producción y reducir tiempos en reprogramación por turno.

Objetivos específicos

- Definir el diseño del circuito eléctrico para la implementación de los respectivos sensores de temperatura PT100.
- Realizar la respectiva programación de una tarjeta de desarrollo (Arduino) para la toma de datos de los sensores.
- Implementar un autómata programable (PLC) para el control de los variadores de velocidad que manejan los motores de las torres de enfriamiento.
- Probar y evaluar el desempeño del control implementando en el entorno de trabajo real.
- Aplicar los conocimientos adquiridos durante la realización de mis estudios en Ingeniería Mecatrónica en aplicaciones reales.

Justificación de la práctica

La práctica es un proceso y un espacio que permite al estudiante, ubicar claramente la tendencia profesional acorde a la formación y el perfil profesional, desarrollando y afianzando actitudes, habilidades y destrezas en los contextos donde le corresponde actuar e intervenir. Además de interactuar con la realidad laboral, donde se pone a prueba la solidez, coherencia y pertinencia de los enfoques teóricos, metodológicos e investigativos aplicables al objeto de conocimiento específico de estudio, que ha sido adquirido durante la formación.

Las prácticas profesionales en RimoPlasticas S.A, han permitido integrar los conocimientos teóricos con la realidad de la empresa, desarrollando una serie de competencias incluso la investigativa, permitiendo un mejor acercamiento a la realidad de del profesional Mecatrónico en el contexto colombiano. A manera personal, se considera que este espacio brinda la oportunidad de liderar y realizar aportes dentro de un equipo de trabajo interdisciplinario, posibilitando ampliar el enfoque del conocimiento y reconociendo la importancia de trabajar con otras disciplinas y áreas de manera integrada.

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistemas de control automáticos.

Un sistema de control puede tener varios componentes. Para mostrar las funciones de cada componente en la ingeniería de control, por lo general se usa una representación denominada diagrama de bloques. En esta sección, en primer lugar, se explica qué es un diagrama de bloques. A continuación, se presentan aspectos introductorios a los sistemas de control automático, que incluyen diversas acciones de control. Después se expone un método para obtener los diagramas de bloques de sistemas físicos y, por último, se analizan técnicas para simplificar tales diagramas. (Ogata, 2010)

2.1.1 Diagramas de bloques.

Un diagrama de bloques de un sistema es una representación gráfica de las funciones que lleva a cabo cada componente y el flujo de señales. Tales diagramas muestran las relaciones existentes entre los diversos componentes. A diferencia de una representación matemática puramente abstracta, un diagrama de bloques tiene la ventaja de indicar de forma más realista el flujo de las señales del sistema real. (Ogata, 2010)

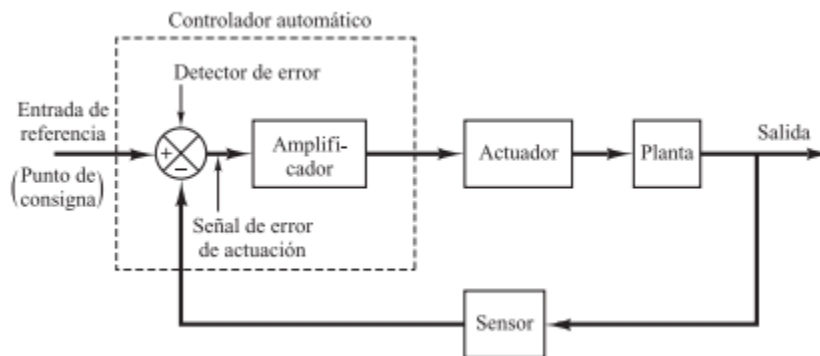


Figura 1. Ilustración diagrama de bloques de un sistema de control automático. (Ogata, 2010)

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

2.2 Sistema de control en lazo cerrado.

Es un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado. Un ejemplo sería el sistema de control de temperatura de una habitación. Midiendo la temperatura real y comparándola con la temperatura de referencia (temperatura deseada), el termostato activa o desactiva el equipo de calefacción o de enfriamiento para asegurar que la temperatura de la habitación se mantiene en un nivel confortable independientemente de las condiciones externas. (Ogata, 2010)

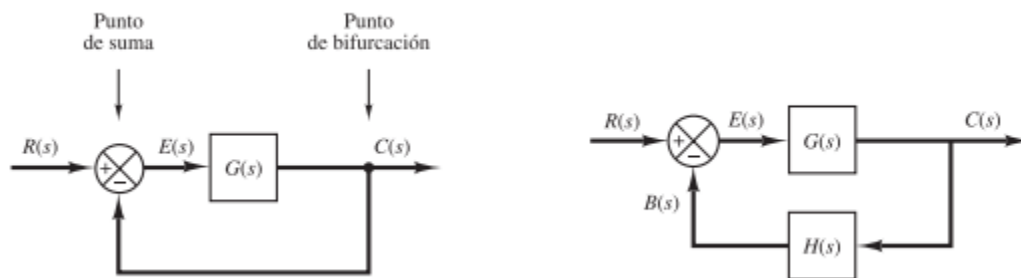


Figura 2. Ilustración diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado.
(Ogata, 2010)

2.3 Sistema de control en lazo abierto.

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. (Ogata, 2010)

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

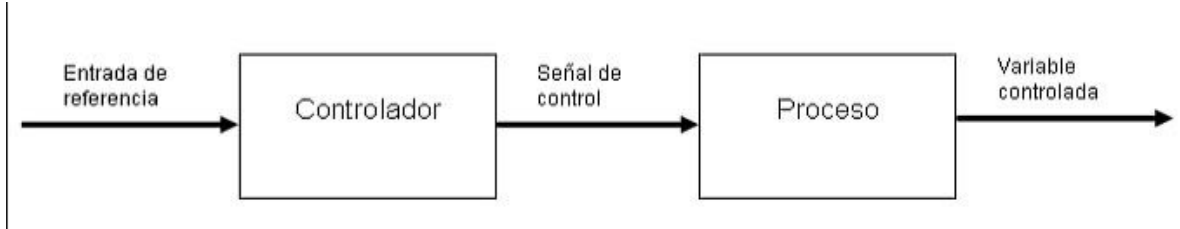


Figura 3. Ilustración diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto. (Ogata, 2010)

2.4 Controlador PI (Proporcional - integral)

Los controladores son elementos que se le agregan al sistema original para mejorar sus características de funcionamiento, con el objetivo de satisfacer las especificaciones de diseño tanto en régimen transitorio como en estado estable.

La primera forma para modificar las características de respuesta de los sistemas es el ajuste de ganancia (lo que posteriormente se definirá como control proporcional). Sin embargo, aunque por lo general el incremento en ganancia mejora el funcionamiento en estado estable, se produce una pobre respuesta en régimen transitorio y viceversa. Por tal motivo, es necesario agregar elementos a la simple variación de ganancia, lo cual da lugar a los diversos tipos de controladores:

- Control proporcional (P).
- Control integral (I).
- Control derivativo (D).

Se dice que un control es de tipo *proporcional-integral* cuando la salida del controlador $v(t)$ es proporcional al error $e(t)$, sumado a una cantidad proporcional a la integral del error $e(t)$:

$$v(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt$$

Figura 4. Ecuación controlador PI. (Gaviño, 2010)

| | | | |
|---|--------------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

de manera que al expresar la ecuación anterior en el dominio s , se tiene:

$$V(s) = K_p E(s) + \frac{K_p}{T_i s} E(s)$$

$$\therefore G_c(s) = \frac{V(s)}{E(s)} = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} \right] = K_p + \frac{K_p}{T_i s}$$

$$G_c(s) = \frac{V(s)}{E(s)} = K_p \left[\frac{s + 1/T_i}{s} \right] = K_p \left[\frac{s + (K_i / K_p)}{s} \right]$$

Figura 5. Ecuación controlador PI. (Gaviño, 2010)

La ecuación de la figura 5. corresponde a un factor proporcional K_p que actúa junto con un cero ubicado en $z = -1/T_i$ (cuya posición es ajustable sobre el eje real a la izquierda del origen) y un polo en el origen. Esto es la representación en el plano s de los elementos que forman el control PI, y la implementación del control PI. (Gaviño, 2010)

2.5 Torres de enfriamiento

2.5.1 Cold Water Cooling Tower Reconstruction Optimization Scheme

El artículo habla sobre el gasto energético elevado y los futuros problemas que tendrá el motor eléctrico debido a la exposición a gran cantidad de humedad. Por lo cual proponen un diseño de una torre de enfriamiento. Los autores de esta investigación se basan en el rediseño estructural para evitar el constante uso de un motor eléctrico como parte principal de la extracción del calor para el líquido refrigerante.

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

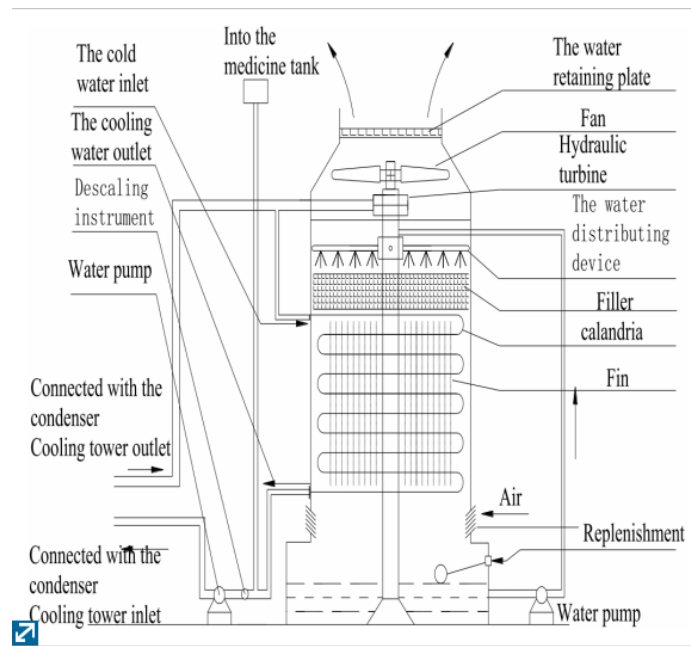



Figura 6. Torre de enfriamiento. (Dayu Zheng, 19 Enero 2017)

2.5.2 Optimization of reversibly used cooling tower with downward spraying

Este artículo propone un sistema de ingreso de agua a la torre de enfriamiento por medio de aspersores para lograr disipar el calor desde el punto de ingreso, reforzando el sistema con un gas inerte cuya función principal es servir de refrigerante al líquido que ingresa, también cuentan con un aspa que extrae los vapores calientes que se generan.

La implementación de este gas logra bajar en un promedio de 2 a 4 °C en comparación con las torres de enfriamiento estándar.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

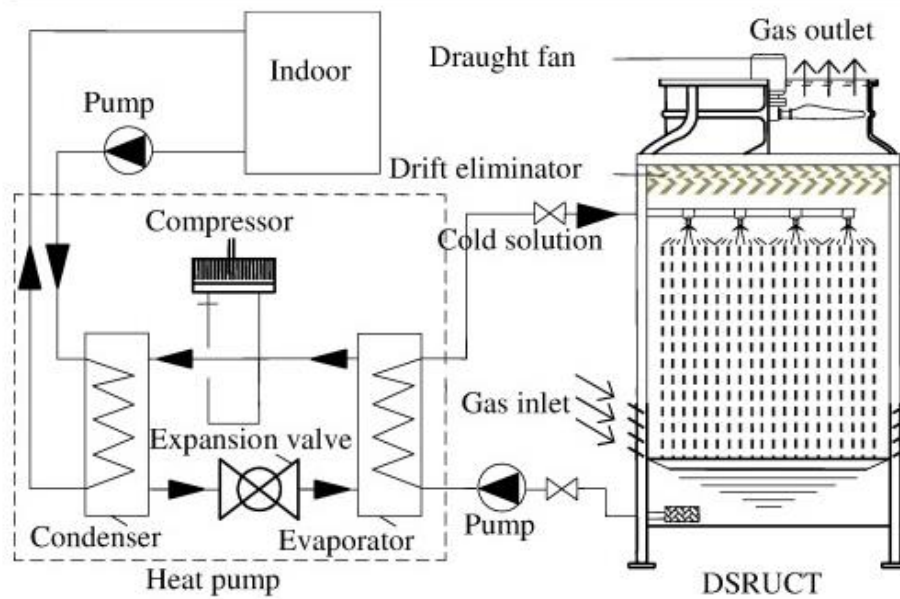


Figura 7. Torre de enfriamiento. (Haijiao Cui, 23 November 2016)

2.5.3 One effective measure to improve the efficiency of the super low specific speed turbine in cooling tower

El artículo se basa en los análisis de CFD (análisis estructurales) efectuados sobre la torre de enfriamiento y en sus alabes, para lograr reducir las pérdidas hidráulicas que en la turbina estudiada comprendían un 13.7%. Efectuando estos estudiantes un análisis óptimo a el problema encontrado y ayudados por herramientas de desarrollo logran reducir estas pérdidas a un 3.41%, todo con un rediseño estructural generado a los alabes de la turbina.

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

3. METODOLOGÍA

3.1 Simulación computacional en Proteus y definición de los implementos electrónicos.

Una vez planteado el problema, las necesidades detectadas en el taller y la capacidad económica de la empresa, como resultado de las reuniones con los operarios y la administración, se determinó implementar un control a los servomotores, no sin antes realizar un previo estudio de las variaciones de temperatura durante 2 semanas con una producción normal.

Se desarrolla el esquema eléctrico para el sistema de adquisición de datos usando el software Proteus 8.1 con el fin de asegurar fácil adaptación y conexión de los componentes electrónicos a usar.


- Se decide hacer la adquisición de datos utilizando una placa de programación Arduino LEONARDO enlazada con Excel para generar un historial de mediciones y lograr establecer una relación de temperatura en las diferentes horas del día y según el número de máquinas que estén en etapa productiva. Para lograr las mediciones es necesario el uso de el sensor de temperatura Pt100, sensor el cual se encontraba en stock en la bodega de repuestos en el área de mantenimiento de la empresa RimoPlasticas S.A.

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |



Figura 9. Arduino Leonardo.

- Es necesaria la realización de una tabla de linealización de el sensor de temperatura Pt100 debido a que esta nos entrega valores en resistencia los cuales tienen que ser interpretador por la placa de desarrollo (Arduino LEONARDO) para traducirlos a valores de temperatura (°C). Para esto se hace en Excel la siguiente tabla de linealización.

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | | | | | | | Código | FDE 089 |
| | | | | | | | | Versión | 03 |
| | | | | | | | | Fecha | 2015-01-22 |

| Pt 100 ohms | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| -190 | 22.78 | 22.35 | 21.93 | 21.50 | 21.08 | 20.66 | 20.23 | 19.81 | 19.38 | 18.96 |
| -180 | 27.01 | 26.59 | 26.17 | 25.74 | 25.32 | 24.90 | 24.47 | 24.05 | 23.63 | 23.20 |
| -170 | 31.24 | 30.81 | 30.39 | 29.97 | 29.55 | 29.13 | 28.70 | 28.28 | 27.86 | 27.44 |
| -160 | 35.45 | 35.03 | 34.61 | 34.19 | 33.77 | 33.34 | 32.92 | 32.50 | 32.08 | 31.66 |
| -150 | 39.65 | 39.23 | 38.81 | 38.39 | 37.97 | 37.55 | 37.13 | 36.71 | 36.29 | 35.87 |
| -140 | 43.78 | 43.37 | 42.96 | 42.54 | 42.13 | 41.72 | 41.30 | 40.89 | 40.48 | 40.06 |
| -130 | 47.90 | 47.49 | 47.08 | 46.67 | 46.26 | 45.85 | 45.43 | 45.02 | 44.61 | 44.20 |
| -120 | 52.01 | 51.60 | 51.19 | 50.78 | 50.37 | 49.96 | 49.55 | 49.14 | 48.73 | 48.32 |
| -110 | 56.11 | 55.70 | 55.29 | 54.88 | 54.48 | 54.07 | 53.66 | 53.25 | 52.84 | 52.43 |
| -100 | 60.20 | 59.79 | 59.38 | 58.98 | 58.57 | 58.16 | 57.75 | 57.34 | 56.93 | 56.52 |
| -90 | 64.23 | 63.83 | 63.43 | 63.02 | 62.62 | 62.22 | 61.81 | 61.41 | 61.01 | 60.60 |
| -80 | 68.25 | 67.85 | 67.45 | 67.05 | 66.65 | 66.25 | 65.84 | 65.44 | 65.04 | 64.64 |
| -70 | 72.26 | 71.86 | 71.46 | 71.06 | 70.66 | 70.26 | 69.86 | 69.46 | 69.06 | 68.66 |
| -60 | 76.26 | 75.86 | 75.46 | 75.06 | 74.67 | 74.27 | 73.87 | 73.47 | 73.07 | 72.67 |
| -50 | 80.25 | 79.85 | 79.45 | 79.06 | 78.66 | 78.26 | 77.86 | 77.46 | 77.06 | 76.66 |
| -40 | 84.22 | 83.83 | 83.43 | 83.03 | 82.64 | 82.24 | 81.84 | 81.44 | 81.05 | 80.65 |
| -30 | 88.18 | 87.79 | 87.39 | 87.00 | 86.60 | 86.21 | 85.81 | 85.41 | 85.02 | 84.62 |
| -20 | 92.13 | 91.74 | 91.35 | 90.95 | 90.56 | 90.16 | 89.77 | 89.37 | 88.98 | 88.58 |
| -10 | 96.07 | 95.68 | 95.29 | 94.89 | 94.50 | 94.11 | 93.71 | 93.32 | 92.92 | 92.53 |
| 0 | 100.00 | 99.61 | 99.22 | 98.82 | 98.43 | 98.04 | 97.65 | 97.25 | 96.86 | 96.47 |
| 0 | 100.00 | 100.39 | 100.78 | 101.17 | 101.56 | 101.95 | 102.34 | 102.73 | 103.12 | 103.51 |
| 10 | 103.90 | 104.29 | 104.68 | 105.07 | 105.46 | 105.85 | 106.24 | 106.63 | 107.02 | 107.41 |
| 20 | 107.79 | 108.18 | 108.57 | 108.96 | 109.35 | 109.74 | 110.12 | 110.51 | 110.90 | 111.29 |
| 30 | 111.67 | 112.06 | 112.45 | 112.84 | 113.22 | 113.61 | 114.00 | 114.38 | 114.77 | 115.16 |
| 40 | 115.54 | 115.93 | 116.32 | 116.70 | 117.09 | 117.47 | 117.86 | 118.24 | 118.63 | 119.01 |
| 50 | 119.40 | 119.78 | 120.17 | 120.55 | 120.94 | 121.32 | 121.71 | 122.09 | 122.48 | 122.86 |

Figura 10. Tabla de linealización.

3.2 Adecuación del código para la obtención de datos.

Se implementa un código generado en Arduino para la obtención de los datos a diferentes horas del día durante 2 semanas, al código se le ingresa la fórmula de linealización de el sensor de temperatura PT100 y se le asigna su respectiva entrada para la conexión de este. Los datos sensados serán guardados en una tarjeta de memoria SD de 4 gb la cual requiere un conector especial para su uso con la tarjeta de desarrollo Arduino LEONARDO.

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |



```

temperatura Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
temperatura
while (Serial.available()) {
  Serial.read();
}
Serial.println("Temperatura 2: Dejar sensor listo");
Serial.println("Escribe un caracter y da ENTER para comenzar:");
while (Serial.available() == 0) {}
Serial.println("Espere... tomando datos");
for (int i = 0; i < 100; i++) {
  sensorValue2 += analogRead(analogInPin);
  delay(1);
}
sensorValue2 = sensorValue2 / 100;
Serial.print("Dato del sensor:");
Serial.print(sensorValue2);
Serial.print("  Corresponde a :");
Serial.println(temperatura2);

Serial.print("La pendiente del sistema es m=(y2-y1)/(x2-x1)=");
m = (float)((temperatura1 - temperatura2)/(sensorValue1 - sensorValue2));
Serial.println(m);

while (Serial.available()) {
  Serial.read();
}
Serial.println("Escribe un caracter y da ENTER para comenzar la lectura de los datos:");
while (Serial.available() == 0) {}
}
Guardado.

```

Figura 11. Código Arduino.

3.3 Prueba de uso y funcionamiento de la toma de datos.

Se realiza la respectiva conexión de los componentes electrónicos y se procede a enlazar los transmisores (4 – 20 mA) con los que cuenta la empresa RimoPlasticas S.A los cuales son utiles para obtener una buena y clara respuesta de los sensores.

Se tiene un inconveniente con la conectividad entre el computador y el transmisor, debido a que este último es programable por medio de un software que no es compatible con la versión de Windows (10) que posee el computador del cual se pretendía realizar el respectivo acondicionamiento para un sensor de temperatura tipo PT100.

El problema de la compatibilidad se resolvió utilizando un computador portátil que poseía la empresa RimoPlasticas S.A con un sistema operativo de Windows XP.

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |



Figura 12. Conexión a computador.

3.4 Costos del proyecto

Tabla 1. Precio de materiales y Componentes.

| Materiales y componentes | Precio (COP) |
|---------------------------------|---------------------|
| Arduino LEONARDO | \$58.000 |
| Cable utp | \$1.000 |
| Batería 9v | \$9.000 |
| Conector tarjeta SD | \$22.000 |
| Váquela | \$2.600 |
| Memoria SD 4gb | \$22.000 |
| Total | \$114.600 |

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se desarrollo un sistema de monitoreo de la temperatura del agua a la entrada y salida del sistema, para hacer las respectivas comparaciones y sacar un promedio de temperatura por día, logrando así un resultado objetivo sobre el estudio realizado y dando lugar a la implementación del sistema de control a los variadores de velocidad de las torres de enfriamiento.

Teniendo en cuenta lo anterior se procede a programar e instalar un autómatas programable (PLC) LOGO de siemens con el cual la empresa RimoPlasticas S.A contaba en su stock.

La implementación de un control para los motores de las torres de enfriamiento genero una estabilidad y homogeneidad en los procesos en los diferentes turnos, debido a que las temperaturas en la zona que se encuentra ubicada la empresa son muy variantes en el día como en la noche.



Figura 13. Torre de enfriamiento 1.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |



Figura 14. Torre de enfriamiento 2.



Figura 15. Sensor Pt100.


| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |



Figura 16. Ducto de alimentación.



Figura 17. Gabinete eléctrico.

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |



Figura 18. Variador de velocidad.

Después de realizar las pruebas supervisadas del funcionamiento del control implementado, se da el visto bueno por parte de la administración de la empresa, puesto que esto logrará reducir los costos en cuanto a energía se refiere y en cantidad de reprocesos, debido a que las maquinas trabajarán con una temperatura homogénea tanto en los días calurosos y en las noches frías.

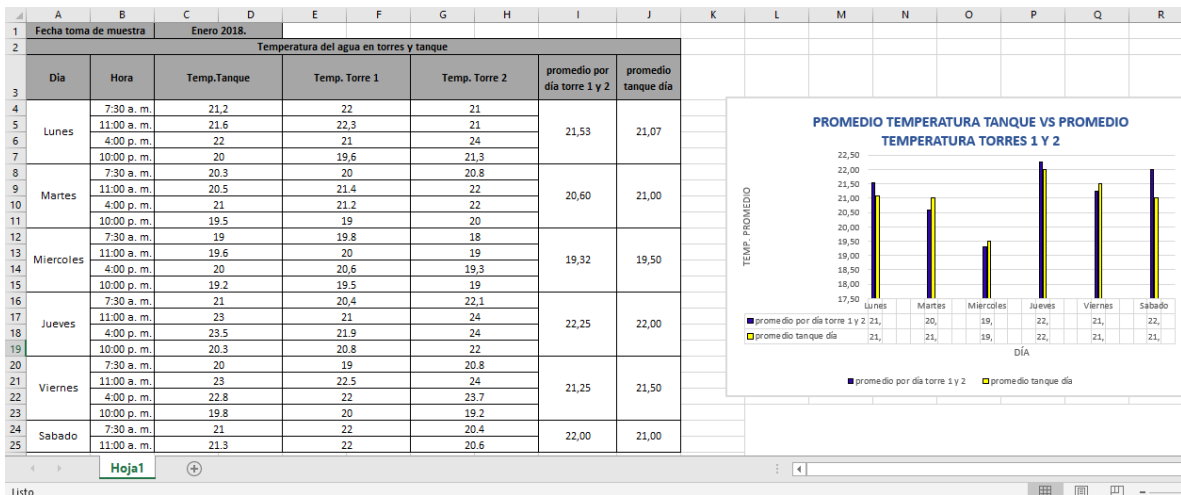


Figura 19. Resultados de la primera semana de estudio.


| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- El control PI (Proporcional - Integral) implementado en la empresa RimoPlasticas S.A resalta el buen estudio realizado a las variables debido a que entrega las respuestas óptimas para un preciso funcionamiento. El proyecto cumple con las expectativas de los dirigentes de la compañía y suple las necesidades de esta, debido al ahorro energético que esta implementación generará.
- Se reconoce que la fase de detección del problema fue clave para el desarrollo del proyecto, dando paso a reuniones con los operarios de la empresa, como un ejercicio para consensuar y definir las características y requisitos de la implementación de dicho control, considerando que son estos los más beneficiados debido al poco número de reprocesos presentados en la instancia de prueba.
- Respecto a la selección de los materiales, es significativo resaltar que el análisis para encontrar los componentes más óptimos fue indispensable para aprovechar de manera adecuada los recursos físicos y económicos de la empresa. De esta forma, se eligieron los artículos con buen compromiso entre calidad y precio.
- Se concluye que la decisión de implementar el estudio y control de temperatura, fue acertada, luego de valorar su desempeño en contraste con el costo de los materiales, salvaguardando de gastos innecesarios.

RECOMENDACIONES

- Reestructurar el gabinete eléctrico y de potencia debido al poco espacio con que esta cuenta para incorporar nuevos elementos electrónicos.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

- Elaborar un manual, planos eléctricos y modos de manejo por si en algún momento por daños presentados la planta no quede sin sistema de refrigeración evitando el paro de producción.
- Generar clave de seguridad para ingresar al programa principal generado en el LOGO para evitar posibles modificaciones que puedan afectar el buen funcionamiento del sistema.


TRABAJO FUTURO

- Realizar trabajos de mantenimiento a los rodamientos de las hélices en las torres de enfriamiento y a sus ductos de alimentación del líquido debido a que estos pueden presentar fugas lo cual genera perdida significativa en el sistema.
- Implementar un control de nivel al tanque de almacenamiento, debido a que este no tiene ningún tipo de monitoreo y en caso de tener un bajo nivel podría quemar los motores que bombean en agua a la planta de producción.

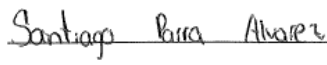
Referencias

- Dayu Zheng, X. L. (19 Enero 2017). Cold Water Cooling Tower Reconstruction Optimization Scheme. *Ieee*.
- Gaviño, R. H. (2010). *Introduccion a los sistemas de control*. Mexico: Pearson.
- Haijiao Cui, N. L. (23 November 2016). Optimization of reversibly used cooling tower with downward spraying. *Sciense Direct*.
- Ogata, K. (2010). *Ingenieria de control moderna*. Madrid: Pearson 5ta edicion .
- Sole, A. C. (2010). *Instrumentación industrial*. Mexico : AlfaOmega.


| | | | |
|--|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

| | | | |
|--|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

FIRMA ESTUDIANTES



FIRMA ASESOR



FECHA ENTREGA: 25 DE MAYO DE 2018

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____