

Sistema Automático de Control Para Una Torre de Enfriamiento

¹Contreras Calderón Enrique. ¹Urzúa Rangel Roberto Martin. ¹Beltrán Román
Gabriel.

¹Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos División Académica
de Mecánica Industrial, Av. Universidad Tecnológica no. 1 Col. Palo Escrito
Emiliano Zapata C: P. 62760, Tel. (777) 3 68 11 65 enriquecontreras@utez.edu.mx,
robertourzua@utez.edu.mx Gabrielbeltran@utez.edu.mx

Resumen: En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un sistema automático de control para una torre de enfriamiento, con el objeto de mantener una presión y temperatura constante de agua en el departamento de producción, en función de los requerimientos de fabricación. Se controlan el arranque y la velocidad de giro mediante variación de frecuencia de dos motobombas y un motor de ventilador de 460 V esto con el fin de tener un ahorro en el consumo de energía eléctrica.

Palabras claves: Sistema de control, torre de enfriamiento, variador de frecuencia.

INTRODUCCIÓN

Las torres de enfriamiento tienen como finalidad enfriar una corriente de agua por vaporización parcial de esta, por medio del intercambio de calor sensible y latente de una corriente de aire seco y frío que circula por la mismo.

El objetivo principal de un sistema de control de una torre de enfriamiento se basa en cumplir con la demanda de frío de la planta. Esta demanda en general se expresa por el producto de la temperatura, caudal y la presión del agua fría.

En primera instancia, las plantas que no posean automatización alguna se ven altamente beneficiadas por la inclusión de un control automático, sea o no optimizado. La capacidad del sistema de control automático de monitorear las variables a controlar tiene como resultado una operación más eficiente que la simple operación manual. En este esquema, la sola medición de temperatura del agua fría y su comparación por un valor de referencia predeterminado, determina si se necesita más o menos presión de agua. El modo de control puede ser más o menos eficiente, dependiendo de los elementos finales que se posea para regular la presión de agua, y consecuentemente será el ahorro energético. (RTS 2013)

En general, se tendrán que controlar varios motores, por lo que la elección de cuáles y cuántos motores deben estar encendidos o apagados, o a una determinada velocidad, no es trivial, si se desea producir un ahorro de energía real.

En la optimización de torres de enfriamiento, los objetivos que se presentan son los siguientes:

- Minimización del consumo de energía en los ventiladores.
- Minimización del consumo de agua de refrigeración.
- Minimización del consumo de energía en las bombas del circuito de agua.

En trabajos realizados (Mandal, *et al.*, 1994) se utilizaron VFD (Dispositivos Variadores de Frecuencia) por sus ventajas para controlar la velocidad de los ventiladores, sopladores, compresores, bombas, etc para satisfacer los requisitos del proceso, ya que proporcionan:

- Amplia rango de control de velocidad.- Mejora el rendimiento y la eficiencia en comparación con los tradicionales métodos de control.
- Ahorro de energía.- Ahorra energía y reduce sustancialmente los costos de producción.
- La fiabilidad y disponibilidad del sistema es alto.- Reduce el tiempo de inactividad de los equipos, de las plantas

Los variadores de frecuencia no se deben operar a velocidades inferiores a aproximadamente el 25% de la velocidad máxima de diseño de funcionamiento del ventilador (McCartney 2008) . Aunque la mayoría de los VFD puede modular hasta el 10% o menos de la velocidad del motor, un 25% del límite inferior se recomienda mantener una adecuada distribución de aire y agua.

Malcolm (2003) evaluó los aspectos económicos de las alternativas de control de la capacidad de una torre de enfriamiento. Las necesidades anuales de energía eléctrica del ventilador se calculan para torres con velocidad simple, dos velocidades, y los de velocidad variable, en función de las condiciones climáticas anuales.

En el trabajo de Medina M. (2010) se llevó a cabo el estudio experimental, del funcionamiento en torres de enfriamiento, y el análisis del agua de enfriamiento, para caracterizar las propiedades del agua de recirculación y agua de reposición. Con estos datos experimentales realizó los cálculos necesarios para la determinación de la potencia requerida de los ventiladores y de esta forma poder incrementar la cantidad de flujo de aire que ingresa a la torre logrando la optimización del sistema de enfriamiento.

En la empresa no existe un control automático para el motor del ventilador de la torre y de la motobomba para el abastecimiento de agua del sistema de enfriamiento, los motores trabajan al 100% de su capacidad las 24 hrs., del día, lo cual genera un desperdicio de energía eléctrica, porque los motores mantienen siempre una velocidad fija, lo que ocasiona que el flujo tanto de aire como de agua sea mayor al necesario para mantener en condiciones normales el sistema de enfriamiento.

Aunado a esto la presión del agua requerida por las máquinas de inyección se regulaba mediante una válvula de control, dejando estable la velocidad de la bomba, pero resulta mucho más eficiente regular dicho flujo controlando la velocidad del motor, en lugar de restringirlo por medio de la válvula, ya que el motor no tendrá que consumir mayor energía que la requerida.

Para desarrollar el proyecto, se analizó el comportamiento del sistema de enfriamiento, en función de la cantidad de máquinas de inyección que estuviesen en operación, también se estudió la variación de la temperatura del agua de la torre a través del día, con el fin de tener una idea clara sobre las características que tenía que cumplir el diseño del sistema automático.

DISEÑO DE TABLERO DE CONTROL

La creación de un sistema de control para la torre de enfriamiento, es poder controlar de manera automática y en función de la presión del sistema, la operación de una motobomba de 20 hp (figura 1), el cual se encarga de suministrar agua a 29 máquinas de inyección de plástico, como parte del sistema de enfriamiento de agua, además el sistema deberá controlar la velocidad de un motor de 15 hp (figura 2) el cual transmite movimiento a dos ventiladores de la torre de enfriamiento, la operación de estos motores está en función de los requerimientos del proceso.



Fig. 1 Motor de 20 hp del sistema de bombeo de agua

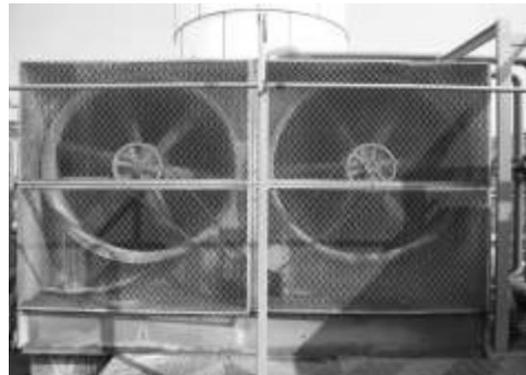


Fig. 2 Motor de 15 hp del sistema de enfriamiento.

En este sistema se tendrá que variar la velocidad de los motores en función del comportamiento del proceso de enfriamiento de agua, es indispensable el uso de variadores de frecuencia.

Los variadores de frecuencia no serán controlados de forma manual, si no que tendrán que operar de manera automática mediante el uso de un sensor de temperatura y un sensor de presión, los cuales estarán monitoreando el comportamiento del sistema de enfriamiento de agua. Por otra parte al utilizar variadores de frecuencia se recomienda utilizar reactores de línea, ya que estos absorben gran cantidad de disturbios eléctricos que podrían dañar a los variadores.

El sistema de bombeo cuenta con dos motobombas de 20 hp conectadas en paralelo, pero solo una esta en operación continua, la otra esta asignada como remplazo, en caso de que la motobomba principal falle o en su defecto se le de mantenimiento, de ahí que se tendrá que realizar un control eléctrico que realice el cambio de bomba, mediante el cambio de posición de un selector.

Se desarrolló un circuito eléctrico de fuerza (figura 3), el cual constaría de:

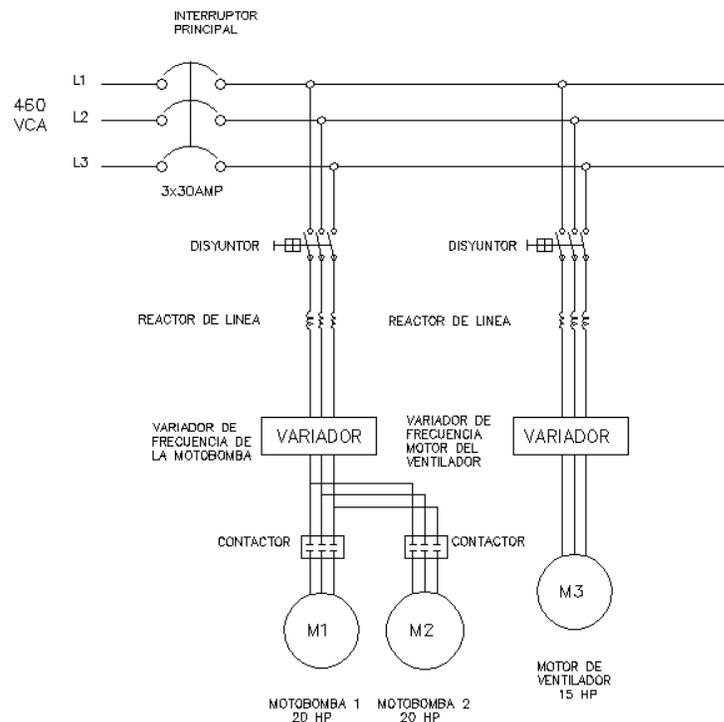


Figura 3 Diagrama eléctrico de fuerza.

- Un interruptor termomagnético, el cual controlará el encendido y protegerá a los variadores de posibles sobrecargas.
- Dos variadores de frecuencia, uno para la motobomba y otro para el motor del ventilador.
- Dos disyuntores, uno para el control de encendido y apagado del variador de la motobomba y otro para el control del variador del motor del ventilador.
- Dos reactores de línea, uno para el variador de la bomba y otro para el motor del ventilador.
- Dos contactores, uno para el control de la motobomba 1 y el otro para la motobomba 2.

Para el circuito eléctrico de control (figura 4) se necesitará lo siguiente:

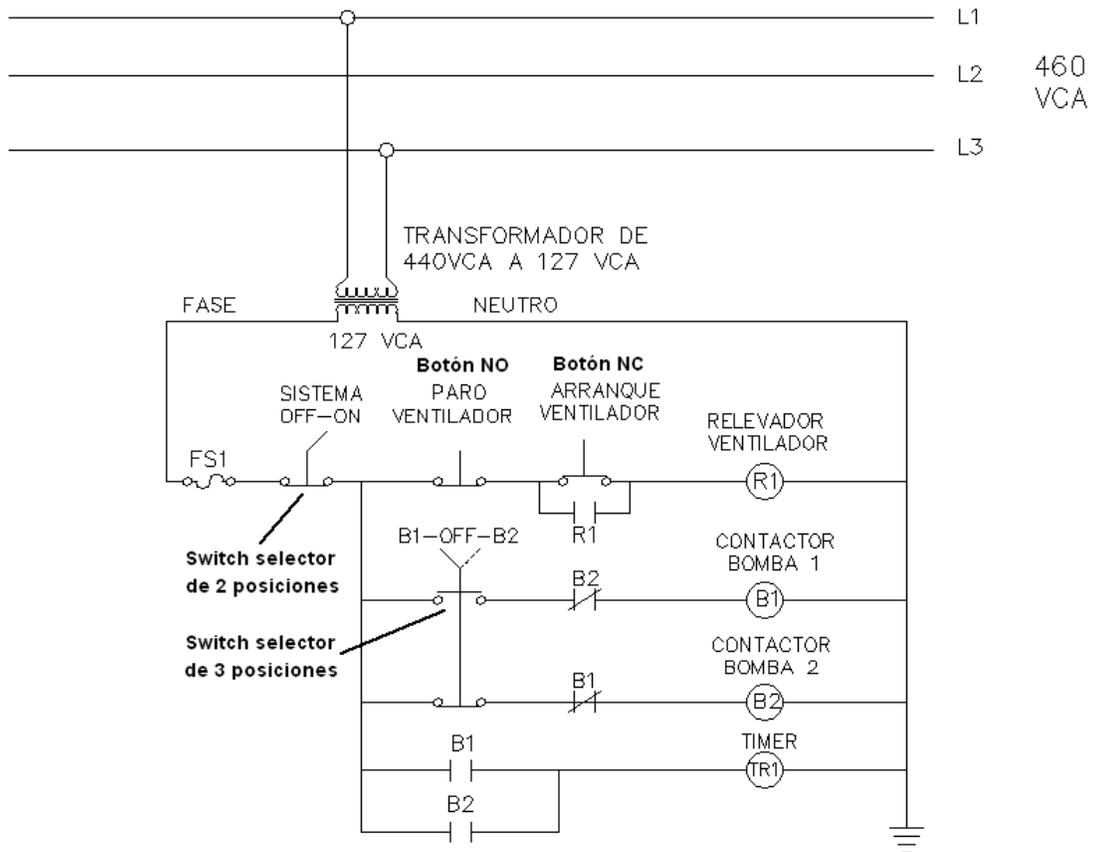


Fig. 4 Diagrama eléctrico de control.

- Un Transformador de 440 VCA a 127 VCA, debido a que sólo tenemos tres líneas de 460 VCA las cuales alimentan a nuestro sistema. Y para la alimentación de los dispositivos de control solo requerimos 127 VCA.
- Un interruptor selector de 2 posiciones, para ser usado como interruptor general del circuito de control.
- Un botón NA (normalmente abierto), para el arranque del ventilador.
- Un botón NC (normalmente cerrado), para el paro del ventilador.
- Relevador para hacer el enclave del arranque del ventilador.
- Un interruptor selector de 3 posiciones, el cual servirá para cambiar de una bomba a otra o en su defecto apagar las dos bombas.
- 2 Contactores, uno para el control de la motobomba 1 y el otro para el control de la motobomba 2.
- 1 temporizador, que tendrá la función de hacer el cambio de posición del selector de arranque de una motobomba a otra, en un tiempo de 5 segundos y energice el motor seleccionado; esto como medida de seguridad para evitar que en algún momento se activen los dos motores, lo que ocasionaría que el variador se fuera a falla por sobrecarga.

Selección de los dispositivos eléctricos a utilizar

El siguiente paso consiste en verificar los componentes a utilizar:

Tabla 1- Lista de componentes.

Cant.	Descripción
1	Relevador de tiempo de 8 pines 127 VCA Allen Bradley de 8 pines
1	Base para relevador de tiempo Allen Bradley
1	Relevador Schrack 8 pines
1	Base para relevador Schrack 8 pines
1	Interruptor termomagnético rango de 125-160 A. Moller
2	Guardamotor Moller de 25 a 32 A
2	Guardamotor Moller de 16 a 25 A

1	Reactor de línea para 20 Hp Allen Bradley
1	Reactor de línea para 15 Hp Allen Bradley
1	Transformador de 440 Vca a 127 Vca
1	Variador de frecuencia Powerflex 700 Allen Bradley
1	Variador de frecuencia Powerflex 70 Allen Bradley
1	Sensor de temperatura de estado sólido 837E Allen Bardley
1	Sensor de presión de estado sólido 836E Allen Bardley
1	Gabinete de acero de 130 X 90 X 30 cm.

Distribución de los dispositivos

La distribución de los dispositivos eléctricos dentro del gabinete se muestra en la figura 5, tomando en cuenta las dimensiones reales de los elementos a utilizar, así como las del tablero.

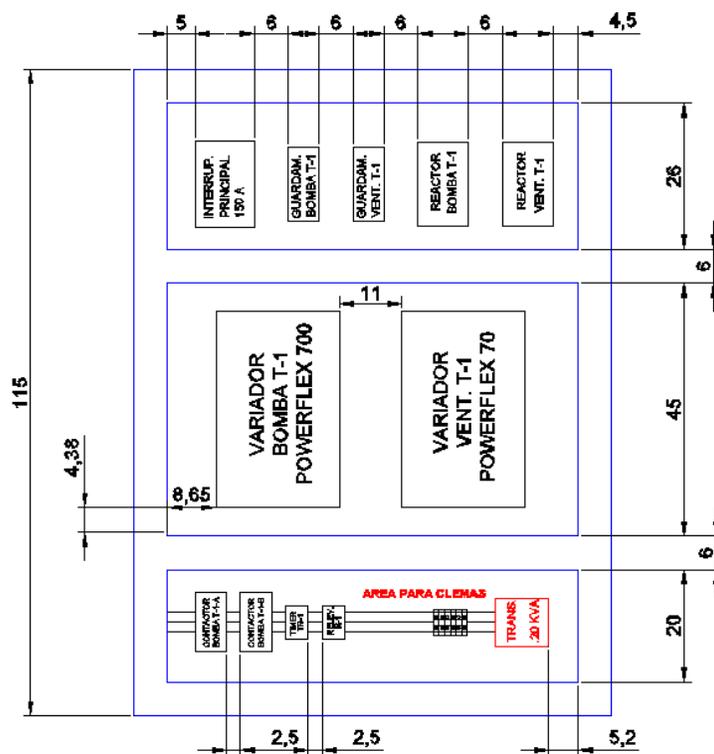


Fig. 5 Distribución de los dispositivos eléctricos dentro del gabinete.

Montaje de los componentes eléctricos

En la parte frontal se colocaron el selector de dos posiciones el cual tendría la función de apagar y encender el circuito de control, en la parte inferior izquierda se colocó el selector de tres posiciones, el cual es el encargado de activar la motobomba y la motobomba 2 o en su defecto apagar a ambas, de lado derecho de los selectores se colocó un botón pulsador NA (normalmente abierto) de color verde con el cual se activaría el motor del ventilador de la torre de enfriamiento, y por último se colocó un botón pulsador NC (normalmente cerrado) de color rojo encargado del paro de la operación del ventilador.

La figura 6 muestra como quedaron colocados los botones y selectores así como su identificación mediante etiquetas.

La figura 7 muestra como quedo el cableado de los dispositivos y elementos eléctricos del tablero de control.



Fig. 6 Identificación y posición de los botones del tablero



Figura 7 Cableado final de los elementos eléctricos.

Colocación de los sensores de presión y de temperatura

Para realizar el control automático de la torre de enfriamiento uno, fue necesario colocar el sensor de presión y el de temperatura sobre la línea o cabezal de descarga del sistema hidráulico (figura 8), debido a que los sensores deben de monitorear las

condiciones de operación del sistema de enfriamiento y para que la información proporcionada por los sensores sea enviada a las entradas analógicas de los variadores de frecuencia, para que estos regulen la velocidad de los motores en función de los requerimientos que demande el proceso.

Para el caso de la presión del suministro de agua, se requiere que el agua se mantenga a una presión constante de 3 bars, esta presión de agua es la requerida para el enfriamiento del aceite de 29 máquinas de inyección.

En cuanto al sistema de enfriamiento, la temperatura del agua después del proceso de enfriamiento o sea después de la descarga de la motobomba y antes de la entrada del intercambiador de calor de las máquinas de inyección no debe sobrepasar los 26 °C.

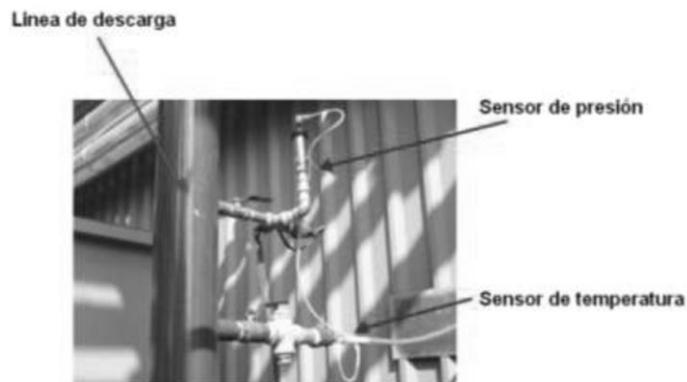


Fig. 8 Ubicación de los sensores sobre la línea de descarga de agua.

PROGRAMACIÓN DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA

Una vez que se comprobó el correcto funcionamiento tanto del circuito de control como el de fuerza, se procedió a hacer la programación de la tarjeta HIM (tarjeta electrónica que contiene una pantalla LCD y un teclado alfanumérico, mediante el cual se programa y manipula al variador de frecuencia) de los variadores de frecuencia, la cual es la interfaz de comunicación hombre-máquina (figura 9)



Fig. 9 Tarjeta HIM compatible con los dos variadores.

Para la correcta operación se requieren datos de la placa del motor como son: potencia, amperes, voltaje de alimentación, frecuencia de operación, RPM, número de polos y además se introdujeron otro tipo de parámetros característicos o en función de las condiciones de operación del proceso para el cual está destinado el motor, como por ejemplo: tiempo de aceleración, tiempo de desaceleración, inversión de giro, velocidad mínima y velocidad máxima.

Los sensores tanto el de presión como el de temperatura, estarán monitoreando la condición en la que el agua entra a las máquinas de inyección, esta información es enviada a las entradas analógicas para que los variadores las interpreten y varíen la velocidad de los motores en función de los requerimientos del proceso y conforme a las condiciones que se le dieron al programa. Las señales provenientes de los sensores van de 0 a 20 mA, y estas señales llegarán a las entradas analógicas #2 de los variadores. El sensor de presión (Rockwell 2004) entrega una señal de salida que va de 0 a 20 mA y a su vez tiene un rango de medición que va de 0 a 10 bares (powerflex 700). En el caso del sensor de temperatura (Rockwell 2011) ocurre algo similar, el sensor tiene también una salida que va de 0 a 20 mA y a su vez tiene un rango de medición que va de los -50 a 150 °C. (powerflex 70)

Los datos de placa del motor que se utilizaron para la programación del variador de frecuencia powerflex 700 para el control de la velocidad de las motobombas, fueron los siguientes:

Potencia 20 hp	Corriente 3 A.	Voltaje 460 V
Frecuencia 60 Hz.	Velocidad 3500 rpm	Polos Motor 2 Polos.

Después se continuó con la programación del powerflex 70, el cual es el variador que controlará la velocidad del ventilador de la torre de enfriamiento. Los datos de placa son:

Potencia 15 hp Corriente 17 A. Voltaje 460 V
 Frecuencia 60 Hz. Velocidad 1760 rpm Polos Motor 4 Polos.

Ahorro de energía

Con el sistema en operación se realizó un análisis energético anual como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Consumo energético anual.

Motor	Anterior	Actual
20 Hp	126662.4 kW/Año	97530.48 Kw/Año
15 Hp	74731.21 kW/Año	56365.06 Kw/Año
Total	201393.61 kW/Año	153895.54 Kw/Año

Ahorro energético: 47498.07 kW anuales, que representa una reducción en el consumo de energía del 34%

Gasto anual en el consumo de energía tomando un costo promedio de 1 kW para el área de inyección es de \$1.4507 pesos, se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Costo anual de consumo de energía.

Motor	Anterior Pesos/año	Actual Pesos/año
20 Hp	183749.14	141487.46
15 Hp	108412.55	81768.64
Total	292161.69	223256.1

Ahorro económico: \$ 68,905.59 pesos anuales por los dos motores. Que representa un ahorro del 34% en pagos generados por consumo de energía.

CONCLUSIONES

- El departamento de inyección, ahora cuenta con un sistema automático que controla de manera automática la presión y la temperatura de agua encargada de enfriar el aceite de las maquinas inyectoras, de acuerdo a los requerimientos del sistema.
- Se eliminó el control manual para la regulación de la presión del sistema, el cual se llevaba a cabo mediante la abertura o cierre de válvulas.
- Se redujo el consumo de energía eléctrica generada por los motores del ventilador y de la bomba, dejando consigo el constante ahorro de recursos económicos de aproximadamente \$ 68,905.59 pesos anuales.
- Eliminar los picos de corriente generados al arranque de los motores ya que el nuevo sistema se configuró para un arranque suave.
- Mayor rendimiento de los motores y precisión de su velocidad.
- Reducción de la tensión mecánica en las bombas, ventiladores, válvulas, tuberías, etc. gracias a la operación controlada de estos sistemas.
- Este proyecto es importante porque permite la vinculación entre el sector industrial y las universidades.

REFERENCIAS

- A. Mandal, J. Nataraj And T.K. Bera (2000) Controlling Of Cooling Tower Return Temperature And Energy Saving, *Indian Chemical Engineering Congress 2000* Volume I, Calcutta, December 18 – 21,2000.<http://www.energymanagertraining.com/Journal/ControllingofCoolingTowerReturnTemperatureandEnergySaving.pdf>
- Malcolm Russell Stout Jr. (2003) *Cooling Tower Fan Control For Energy Efficiency* Trabajo de tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias, North Carolina State University.

McCartney William J., Cooling Towers 2008 ASHRAE Handbook-HVAC Systems and Equipment chapter 39 pp 39.9

Mónica Alexandra Medina Vizuete (2010) *Optimización del Sistema de Enfriamiento Torre Y-ME3003B de la Refinería Estatal Esmeraldas*. Trabajo de tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, Escuela Superior Técnica de Chimborazo

Real Time Service S. A. (RTS), Sistema de Optimización de Torres de enfriamiento, Recuperado el 8 de febrero de 2013.

http://realtimeservice.com.ar/en/la_mpresa/organizacion/torres_enfriamiento.pdf

Rockwell Automation, Inc. (2004, septiembre) Solid-State Pressure Sensors. User manual 836E. Pub #75054-003.

Rockwell Automation, Inc. (2011, abril) Solid-State Temperature Sensors. User manual 837E. Pub #75054-004-05.

Rockwell Automation, Inc. (2008, septiembre) Powerflex 700 Variador de Velocidad de CA Serie A. Manual del usuario. Publicación 20B-UM001G-ES-P.

Rockwell Automation, Inc. (2006, abril) Powerflex 70 Variador de frecuencia ajustable de CA. Manual del usuario. Publicación 20A-UM001L-ES-P.