

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

**DISEÑO DE SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y CONTROL DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO**

**JAIVER ALBERTO SOSA**

**JUAN DAVID AGUDELO HOYOS**

**ANDRÉS GIOVANNY RIOS**

**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**Directora**

**NORMA PATRICIA GUARNIZO**

**INGENIERA ELECTRÓNICA**


**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA**

**INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA**

**MEDELLIN**

**2016**

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## RESUMEN

---

En la mayoría de los procesos de producción, principalmente en la industria metalmecánica, se generan altas temperaturas, lo que hace indispensable tener un sistema de enfriamiento de agua, ya sea un *chiller* o una torre de enfriamiento.


En la empresa de este caso de estudio, Postelectras Dishierros S.A., se encontró que la torre de enfriamiento requería algunas mejoras; principalmente en la instalación de la tubería que transporta el agua desde la torre hasta la planta de producción, pues su trayectoria es muy extensa y poseía demasiados accesorios, lo cual se traduce en ineficiencia y pérdidas económicas. Además, se encontró que el control de bombas usado, (pulsadores *start-stop* de accionamiento manual) era igualmente ineficiente, con una gran dependencia del operario las 24 horas del día, y generando pérdidas de agua.

Por lo anterior, este trabajo consistió en resolver estos dos problemas; para lo cual, se realizó inicialmente un análisis de la situación encontrada; posteriormente, se procedió a establecer la estrategia de control que mejor se adaptara a las necesidades del sistema, mediante un sistema en lazo abierto (sistema no realimentado), a través de la implementación de un PLC. Finalmente, se propuso un diseño del sistema de distribución de agua que permitiera disminuir la longitud de la tubería y con ello, las pérdidas por exceso de accesorios, de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana.

Para el sistema de control, se propuso un controlador lógico programable (PLC), una electroválvula para el suministro de agua, un controlador de nivel, un control de bombas centrífugas, un sensor de flujo tipo paleta, dos válvulas anti-retorno tipo mariposa y un sensor de temperatura PT 100. Esto permitirá reducir las pérdidas de agua, optimizar el funcionamiento de la torre de enfriamiento de manera automática, y evitar desperdicio de electricidad y asegurando un adecuado funcionamiento de la torre.

Para rediseñar el sistema de distribución, basados en la guía de ESPA (2012), se calcularon los parámetros para elegir la bomba centrífuga adecuada, se acortó el trayecto y se disminuyó el número de accesorios; haciendo de la red más eficiente, rápida y económica.

**Palabras clave:** torre de enfriamiento, automatización, distribución de tuberías.


	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## RECONOCIMIENTOS

---

Damos agradecimientos a la docente NORMA PATRICIA GUARNIZO por darnos las herramientas necesarias para realizar este trabajo de grado; pues, nos servirá como guía para un próximo proyecto y así poder pulir los conocimientos respecto a la realización de esta clase de trabajos.

También agradecemos al INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO por brindarnos el acceso a las bases de datos de la IEEE, las cuales fueron de gran apoyo para la realización de este proyecto, así mismo a la empresa Postelectras Dishierros S.A ubicada en Copacabana, que nos abrió sus puertas para permitirnos analizar el problema que tenían y poder evidenciar de forma real la solución que se les brindará como una opción de mejora.

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

## ACRÓNIMOS

---

*PLC*: control lógico programable

*PVC*: poli cloruro de vinilo

*S1*: sensor de nivel


*EV*: electroválvula de suministro de agua

*IP*: interruptor de presión

*VA*: válvula anti-retorno

*SF*: sensor de flujo

*ST*: sensor de temperatura


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

## TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	2
RECONOCIMIENTOS.....	3
ACRÓNIMOS .....	4
2. INTRODUCCIÓN.....	11
2.1. GENERALIDADES.....	11
2.2. 1.2. OBJETIVOS .....	12
2.3. 1.2.1. OBJETIVO GENERAL .....	12
2.4. 1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	12
3. MARCO TEÓRICO .....	13
3.1. SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO .....	14
3.2. HISTORIA .....	15
3.3. TORRE DE ENFRIAMIENTO.....	16
3.4. TIPOS DE TORRE DE ENFRIAMIENTO .....	16
3.5. NORMAS DE SISTEMAS DE BOMBEO.....	20
3.6. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 382 .....	20
3.7. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC1339 .....	21
3.8. PARA INSTALACIONES INTERIORES .....	21
3.9. PARA CONDUCCIONES EXTERIORES .....	22
3.10. ACCESORIOS Y APLICACIONES .....	23
3.11. BRIDAS.....	24
3.12. DISCO CIEGO .....	25
3.13. CODOS.....	26
3.14. TE .....	27
3.15. REDUCCIONES .....	28
3.16. EMPACADURAS .....	30
3.17. TAPONES.....	30
3.18. TUBERIA RECTA .....	31
3.19. RED DE DISTRIBUCION.....	32

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

3.20.	CONTROL .....	34
3.21.	SENSORES DE CAUDAL.....	34
3.22.	SENSORES DE PRESIÓN .....	37
3.23.	SENSORES DE NIVEL.....	40
3.24.	SENSORES DE TEMPERATURA .....	45
3.25.	TERMISTORES.....	46
3.26.	SENSORES DE TEMPERATURA TERMOPARES .....	50
3.27.	VÁLVULAS .....	55
3.28.	BOMBAS.....	62
	BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO .....	65
3.29.	SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO INDUSTRIAL.....	68
4.	METODOLOGÍA.....	73
4.1.	ANÁLISIS INICIAL DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	74
4.2.	ESTRATEGIA DE CONTROL .....	74
4.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN .....	78
4.4.	MÉTODO DE SELECCIÓN DE BOMBAS CENTRÍFUGAS .....	78
4.5.	DISTRIBUCIÓN DE LA RED .....	83
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	89
5.1.	ESTUDIO DEL CONSUMO DE AGUA DEL SISTEMA ACTUAL Y EL PROPUESTO .....	89
5.2.	ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA DEL SISTEMA ACTUAL Y EL SISTEMA PROPUESTO.....	92
6.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	97
6.1.	RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA EL SISTEMA PROPUESTO .	97
6.2.	SISTEMA ELÉCTRICO .....	97
6.3.	SISTEMA DE CONTROL.....	101
6.4.	INSTALACIÓN DE TUBERÍA.....	106
6.5.	RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION DE LINEAS SUBTERRANEAS.....	108
7.	REFERENCIAS .....	110

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

8. Anexos.....	115
8.1. Datos del plc .....	115
8.2. Programa del plc .....	115
8.3. Propuesta comercial.....	118

### TABLA DE GRÁFICAS

Figura 1. Funcionamiento de torre de enfriamiento.....	13
Figura 2. Torre de enfriamiento atmosférica.....	17
Figura 3. Torre de enfriamiento de tiro natural .....	17
Figura 4. Torre de enfriamiento de tiro forzado. ....	18
Figura 5. Torre de enfriamiento de tiro inducido.....	20
Figura 6. Brida con cuello para soldar.....	24
Figura 7. Disco ciego con lengüeta. ....	25
Figura 8. Codo de 1/2" a 45° en PVC.....	27
Figura 9. Te en PVC.....	28
Figura 10. Reducción concéntrica en PVC.....	29
Figura 11. Reducción excéntrica en PVC.....	29
Figura 12. Empacaduras en goma. ....	30
Figura 13. Tapones en PVC.....	31
Figura 14. Tubería en acero carbón por 6 metros de longitud. ....	32
Figura 15. Medidores de área variable.....	34
Figura 16. Medidores de desplazamiento positivo. ....	35
Figura 17. Medidores másicos. ....	36
Figura 18. Sensores de caudal electromagnético .....	36
Figura 19. Tipos de presión.....	37
Figura 20. Manómetro de Bourdon tipo "C".....	38
Figura 21. Tubos de Bourdon.....	39
Figura 22. Manómetro con diafragma. ....	40
Figura 23. Medidores de sonda.....	42


	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Figura 24. Medidor de flotador. ....	43
Figura 25. Medidor manométrico.....	44
Figura 26. Sensor PT100. ....	46
Figura 27. Termistores .....	47
Figura 28. Grafica termistor NTC vs PT100. ....	48
Figura 29. Circuito de linealización termistor NTC. ....	49
Figura 30. Curva de trabajo termistor PTC.....	49
Figura 31. Junta caliente termopares. ....	50
Figura 32. Fuerza electromotriz a diferentes temperaturas.....	50
Figura 33. Circuito termopares efecto Peltier. ....	51
Figura 34. Circulación de corriente en un conductor efecto Thompson. ....	51
Figura 35. Gráfica respuesta (f.e.m) vs temperatura para cada tipo de termopar. 52	
Figura 36. Tipo junta termopar. ....	53
Figura 37. Identificación termopares. ....	53
Figura 38. Terminales termopar tipo J.....	54
Figura 39. Terminales termopar tipo K. ....	55
Figura 40. Tipos de válvulas de globo.....	56
Figura 41. Válvula de ángulo.....	56
Figura 42. Válvula de tres vías. ....	57
Figura 43. Válvula de compuerta.....	57
Figura 44. Válvula en Y. ....	58
Figura 45. Válvula de cuerpo partido.....	58
Figura 46. Válvula de compresión. ....	59
Figura 47. Válvula de obturador excéntrico rotativo. ....	59
Figura 48. Válvula de obturador cilíndrico excéntrico.....	60
Figura 49. Válvula de mariposa.....	60
Figura 50. Válvula de bola.....	61
Figura 51. Válvula de flujo axial.....	62
Figura 52. Primera bomba descrita por Arquímedes. ....	62
Figura 53. Componentes de una bomba centrífuga de flujo radial. ....	63





	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Figura 54. Bomba centrífuga de flujo axial. ....	64
Figura 55. Tipos de impulsores para bombas centrífugas.....	65
Figura 56. Bomba de desplazamiento positivo de pistón. ....	66
Figura 57. Bomba alternativa de diafragma.....	66
Figura 58. Bomba alternativa de pistón de simple efecto. ....	67
Figura 59. Bomba alternativa de pistón de doble efecto. ....	68
Figura 60. Componentes básicos de un sistema de control.....	69
Figura 61. Diagrama de bloques de un sistema de control realimentado.....	71
Figura 62. Diagrama de bloques de un sistema en cascada.....	71
Figura 64. Formula guía para cálculo de pérdidas. ....	78
Figura 65. Esquema de un sistema de bombeo.....	79
Figura 66. Referencias en un sistema de bombeo.....	81
Figura 67. Altura de impulsión.....	82
Figura 68. Distribución del sistema actual.....	84
Figura 69. Vista general distribución del sistema actual.....	85
Figura 70. Distribución del sistema propuesto.....	86
Figura 71. Vista general distribución del sistema propuesto. ....	87
Figura 72. Cuarto de bombas Postelectras. ....	95
Figura 73. Cuarto de bombas Postelectras. ....	95
Figura 74. Gabinete eléctrico. ....	98
Figura 75. Distribución del tablero de control. ....	99
Figura 76. Controlador 2080-LC20-20QBB. ....	101
Figura 77. Electroválvula de 1/2" NPT.....	102
Figura 78. Interruptor de presión. ....	103
Figura 79. Válvula mariposa de dos vías con actuador giratorio.....	103
Figura 80. Sensor de flujo tipo paleta de rango variable. ....	104
Figura 81. Electrodo y controlador de nivel por conductividad eléctrica. ....	105
Figura 82. Sensor de temperatura PT100. ....	106
Figura 83. Limpieza de tubería.....	107
Figura 84. Aplicación de pegamento. ....	107

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Figura 85. Sección transversal de una zanja para instalación de tubería. .... 109

Tabla 1. Tabla de pérdidas de carga en las tuberías de PVC. .... 80

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

# INTRODUCCIÓN


---

## 2.1. GENERALIDADES

El presente documento está orientado al diseño de un sistema de distribución y control de una torre de enfriamiento mediante un PLC, debido a que en la mayoría de los procesos de producción, principalmente en la industria metalmecánica, se generan altas temperaturas ocasionadas por los mismos procesos de producción, lo que hace indispensable tener un sistema de enfriamiento de agua con los dispositivos y estudios necesarios y así mantener los equipos en buen estado y adicionalmente lograr producción de calidad, (Burger, 1996).

Por medio del estudio inicial del sistema actual instalado en la empresa Postelectras Dishierros S.A, el cual está compuesto por: torre de enfriamiento y control de la misma, redes de distribución de agua y bombas centrífugas, se pretende conocer el consumo de agua y energía para tener un punto de referencia de lo que se espera mejorar. Teniendo definido lo anterior se procede a consultar la normatividad colombiana vigente para la adecuada construcción de las líneas de distribución y selección de los materiales necesarios para ello; igualmente, se analiza el funcionamiento del sistema de control de la torre de enfriamiento con el objetivo de instalar un PLC, válvulas solenoides, sensores de nivel y presión; con el propósito de aumentar la eficiencia del sistema de enfriamiento de agua, logrando así ahorrar recursos económicos, aumentar la producción, y finalmente, disminuir el consumo de agua y energía.

Como profesionales en Ingeniería electromecánica somos conscientes que nuestra labor consiste en hacer frente a las necesidades de las empresas, creando nuevos procesos o mejorando aquellos donde hay deficiencias. Se procura entonces, con este estudio, enfrentar de forma eficiente los problemas presentados en una empresa de producción de

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

alambres y postes para el sector eléctrico, por el funcionamiento inadecuado de su torre de enfriamiento, entre los cuales tenemos: inseguridad, gasto energético innecesario y alto consumo de agua.

## **2.2. 1.2. OBJETIVOS**

### **2.3. 1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de distribución y control de una torre de enfriamiento mediante un PLC, con base en la normatividad vigente.

### **2.4. 1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar el consumo de agua y energía existentes en la empresa y establecer los índices de eficiencia que se quieren lograr.
- Establecer la estrategia de control y las características técnicas del sistema de enfriamiento para cumplir con los índices de eficiencia propuestos.
- Diseñar el sistema de distribución de agua que permita disminuir pérdidas por evaporación y por consumo de energía.
- Diseñar el sistema de control de la torre de enfriamiento mediante un PLC y elementos de entrada y salida como sensores y actuadores que mejoren el rendimiento de la torre.

## MARCO TEÓRICO

La ejecución de este proyecto se basa en diseñar la distribución de las líneas de la red de agua y controlar por medio de PLC el funcionamiento de la torre de enfriamiento.

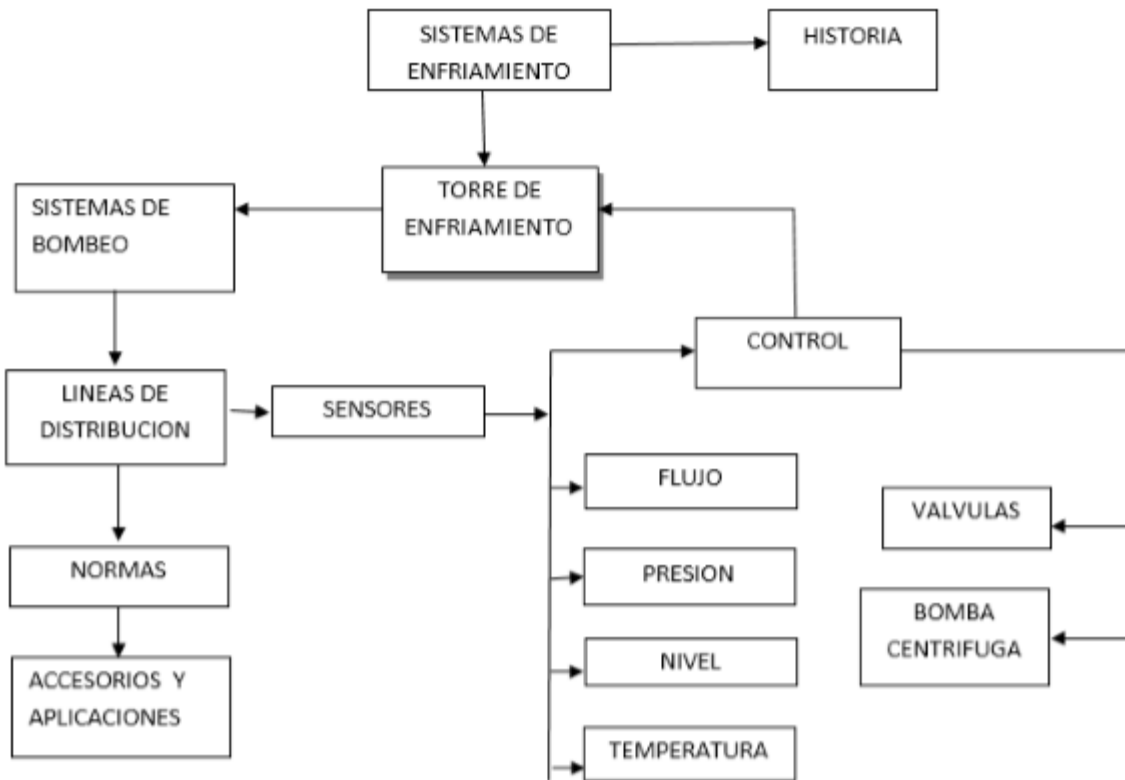



Figura 1. Funcionamiento de torre de enfriamiento  
Fuente: (elaboración propia)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


### **3.1. SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO**

Actualmente hay una gran diversidad de equipos que están diseñados para promover el intercambio de calor entre el proceso y el refrigerante para el enfriamiento y acondicionamiento de aire, y su funcionamiento se ajusta, en términos generales, a ciertos procesos termodinámicos. Cada sistema tiene sus características particulares, cada dispositivo de control está diseñado para mantener algún parámetro de funcionamiento de un equipo entre determinados límites, principalmente las variables: temperaturas, presiones, acumulación de hielo, entre otras variables de proceso que se desea controlar. Algunos sistemas logran eliminar el uso de compresores valiéndose de procesos de absorción, pero a su vez requieren de fuentes externas directa e indirecta, como, por ejemplo: energía eléctrica, gas natural, vapor de agua o calor residual. Así pues, la selección de sistemas de refrigeración, dependen en gran medida de cuanta carga térmica se desea extraer, del tipo de instalación que se requiere y del costo tanto inicial como de mantenimiento, (Whitman & Ohnson, 2000).

Entre la clasificación de los sistemas de refrigeración están: los sistemas cerrados, en los cuales, el refrigerante circula por dentro de los tubos o serpentines del sistema; y los sistemas abiertos, en el cual el refrigerante está en contacto con el ambiente. Los sistemas abiertos suelen utilizarse donde hay un suministro suficiente de agua para la refrigeración y que están situadas junto a una masa de aguas superficiales que sirve como medio receptor de los vertidos. Cuando no se dispone de un suministro de agua fiable, se utilizan sistemas con recirculación (torres de refrigeración).

En las torres de recirculación abierta, el agua refrigerante se enfría por contacto con una corriente de aire. Estas torres están equipadas con dispositivos que aumentan la superficie de contacto de aire y agua. La corriente de aire puede crearse por tiro natural, como resultado de la diferencia de densidades, entre el aire más frío del exterior y húmedo del interior de la torre, o por tiro mecánico, las cuales utilizan ventiladores para extraer o ingresar aire desde o hacia la torre respectivamente. Las instalaciones de pequeña o gran capacidad utilizan mucho las torres de tiro mecánico, mientras que las instalaciones de gran capacidad (como las industrias eléctricas) utilizan principalmente las torres de tiro natural (Whitman & Ohnson, 2000).

En los sistemas de circuito cerrado, los tubos o serpentines por los que circula el refrigerante o el medio de proceso tienen su propio sistema de refrigeración con el que enfrían la sustancia que contienen. En los sistemas de proceso húmedo, la corriente de aire enfría por

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

evaporación los tubos o serpentines rociados con agua. Los sistemas de proceso seco sólo utilizan la corriente de aire. En ambos casos, los serpentines pueden ir provistos de aletas, que amplían la superficie de refrigeración y, por lo tanto, el efecto refrigerante.

Los sistemas húmedos de circuito cerrado se utilizan mucho en la industria para las instalaciones de menor capacidad. El principio de refrigeración con aire seco puede encontrarse en pequeñas instalaciones industriales o también en grandes centrales eléctricas, cuando no se dispone de agua suficiente o esta es muy cara. Los sistemas de refrigeración híbridos, abiertos o cerrados, son torres mecánicas de diseño especial que pueden utilizar la vía seca o la húmeda para reducir la formación de penachos visibles. Con la opción de que los sistemas funcionen por la vía seca (en particular, las pequeñas unidades de tipo celular) durante períodos de baja temperatura del aire ambiente, puede reducirse además el consumo anual de agua.


### **3.2. HISTORIA**

La mayoría de los hallazgos apuntan a que los chinos fueron los primeros en almacenar hielo y nieve para enfriar sus alimentos. Se han encontrado evidencias de que los sótanos de almacenamiento se utilizaban en China ya en el año 1000 a.C.

Los griegos y los romanos guardaban el hielo en almacenes subterráneos que cubrían con paja, maleza y otros materiales para proporcionar aislamiento y preservar el hielo durante largos periodos de tiempo.

Los antiguos egipcios e indios enfriaban líquidos utilizando jarras de barro poroso; estas jarras se disponían de modo que circulara sobre ellas el aire seco nocturno y el líquido que se filtraba a través de las paredes porosas de las jarras se evaporaba para proporcionar el enfriamiento. Algunas evidencias apuntan a que se producía hielo mediante la evaporación del agua a través de las paredes de estas jarras, que hacía que se radiara calor hacia el aire nocturno, (Whitman & Ohnson, 2000).

En los siglos XVIII y XIX se cortaba hielo de los lagos y estanques en el invierno y se almacenaba bajo tierra para utilizarlo en los meses más cálidos. Parte de este hielo se empaquetaba con viruta y se transportaba hacia las zonas meridionales, con el fin de utilizarlo para preservar los alimentos, (Whitman & Ohnson, 2000).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

En 1834, el estadounidense Jacob Perkins desarrollo un sistema de refrigeración cerrado, utilizando el mecanismo de expansión de un líquido y de compresión para producir un efecto de enfriamiento. Utilizó éter como refrigerante, un compresor operado a mano, un condensador enfriado por agua y un evaporador, para construir un enfriador de líquidos, (Whitman & Ohnson, 2000).

### **3.3. TORRE DE ENFRIAMIENTO**

La torre de enfriamiento es un dispositivo que se encarga de pasar el aire exterior por encima del agua para eliminar de ella el calor del sistema. La capacidad de las torres de agua está limitada por la cantidad de evaporación que ésta genere. Generalmente, la torre de enfriamiento puede enfriar el agua que vuelve al condensador hasta unos 4°C, (Whitman & Ohnson, 2000).

### **3.4. TIPOS DE TORRE DE ENFRIAMIENTO**

#### **TORRE DE CIRCULACIÓN NATURAL**

**Atmosférica:** se usan en pequeñas instalaciones, dependen de los vientos predominantes para el movimiento del aire. El movimiento del aire depende del viento y del efecto aspirante de las boquillas aspersoras.



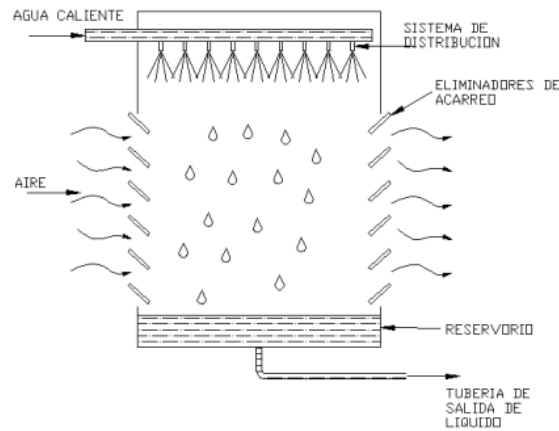


Figura 2. Torre de enfriamiento atmosférica  
Fuente: (Adum Gilbert, s.f.)

**Tiro natural.** Se utilizan en chimeneas de gran altura para lograr el tiro deseado debido al inmenso tamaño de esas torres de (500 pies de alto y 400 pies de diámetro). Se utilizan por lo general para flujos de agua por encima de 200000 gpm. El flujo del aire necesario se obtiene como resultado entre el aire más frío del exterior y húmedo del interior de la torre.

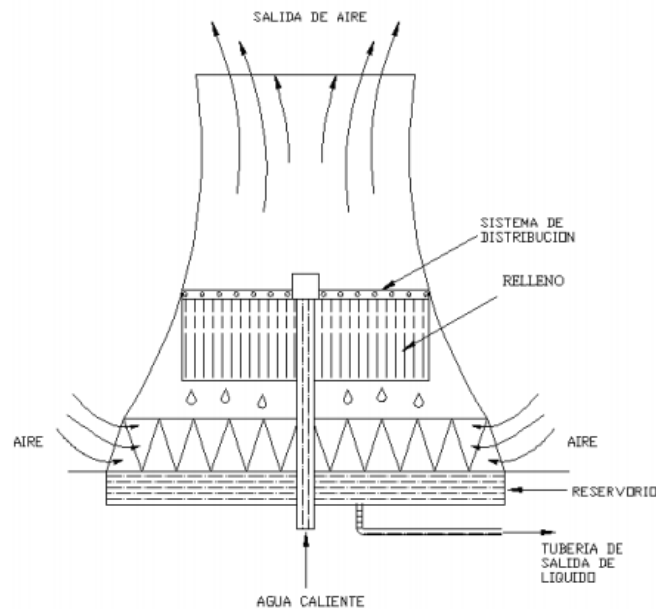



Figura 3. Torre de enfriamiento de tiro natural  
Fuente: (Adum Gilbert, s.f.)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## TORRE DE VENTILACIÓN MECÁNICA

**Torre de tiro forzado.** Los equipos con ventilación mecánica denominados de tiro forzado, disponen de ventiladores, (normalmente de tipo centrífugo, salvo en las instalaciones industriales que ocasionalmente son axiales), ubicados en la parte baja de la torre que impulsan el aire al interior de la misma sobre-presurizando e impulsando por tanto su salida por la parte superior a través del relleno.

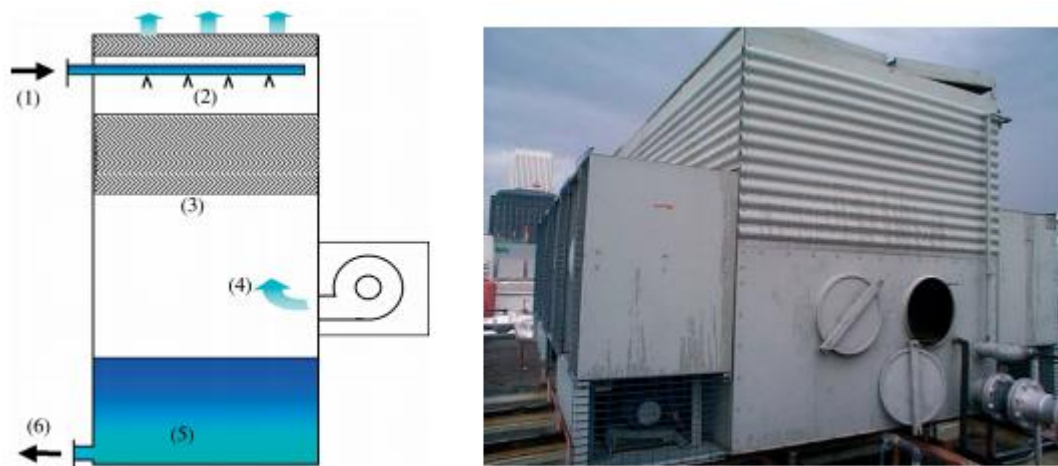



Figura 4. Torre de enfriamiento de tiro forzado.  
Fuente: (Ministerio de Salud de España, s.f.)

El agua de retorno procedente del punto de uso (1) es pulverizada por la parte superior de la torre (2) pasando a través del relleno (3), cuya misión es incrementar el tiempo de retención y por tanto el contacto con el aire ascendente (4) cuyo único punto de entrada es a través del ventilador. En el relleno se produce el enfriamiento, quedando el agua refrigerada en la balsa de la torre (5) que se impulsa (6) por medio de equipos de bombeo para reiniciar el ciclo de intercambio de calor en el punto de uso.

**Torre tiro inducido.** Los equipos de tiro inducido a diferencia de los anteriores funcionan en depresión; es decir, el ventilador, localizado en la parte superior de la torre, extrae aire del interior de la unidad que se renueva a través de aperturas localizadas en la parte baja de la misma.

En las instalaciones de refrigeración de gran tamaño es la más usada, el agua que procede del interior de la refrigeración es caliente y se deja caer por el interior de la torre por

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

mediante un sistema de tuberías (distribución de agua). Que debe caer uniformemente sobre la torre.

La torre tiene en la parte superior unos grandes ventiladores que hacen que el aire circule a contracorriente del agua; al entrar en contacto el agua caliente con el aire se forma una película de aire húmedo alrededor de cada gota., es el agua que pasa al aire y por tanto se evapora, es extraído el calor necesario para la evaporación del propio líquido y produce por tanto enfriamiento del mismo. En la parte superior sale aire húmedo es visible, este vapor es denominado penacho o pluma y aunque es vapor de agua caliente no contamina, pero tiene cierto impacto visual.

La principal ventaja de las torres de inducido es que puede ser bastante baja, disminuyendo la energía para el bombeo del agua a las partes que son altas.


Las torres de refrigeración se componen prácticamente de los mismos elementos, los más importantes son:

- Separador de gota: su función principal es de detener las gotas de agua que arrastran la corriente de aire al salir de la torre. Su objetivo consiste mediante cambios bruscos de dirección 60 grados es la más efectiva al salir, la evaporación provoca que el agua arrastrada se deposite sobre la superficie del separador de gota cayendo posteriormente al relleno. El separador tiene tres ventajas: reducción de pérdidas de agua, evita daños en el entorno de la torre, limitar la deformación de neblina.
- Sistema de distribución de agua a enfriar: la finalidad de los sistemas de tubería y conducción es de repartir uniformemente el flujo del agua por encima del relleno.

Existen dos métodos de reparto: por gravedad y presión.

Por gravedad, el agua caliente cae sobre el relleno por su propio peso, y consiste en llevar el agua caliente sobre el relleno; una vez allí, se reparte por unos canales que dejan caer el agua por gravedad sobre unas piezas en forma de herradura.

La presión suministrada por las bombas de impulsión del circuito de refrigeración, es conducida por tuberías hasta unos aspersores, que rocían el relleno con pequeñas gotas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

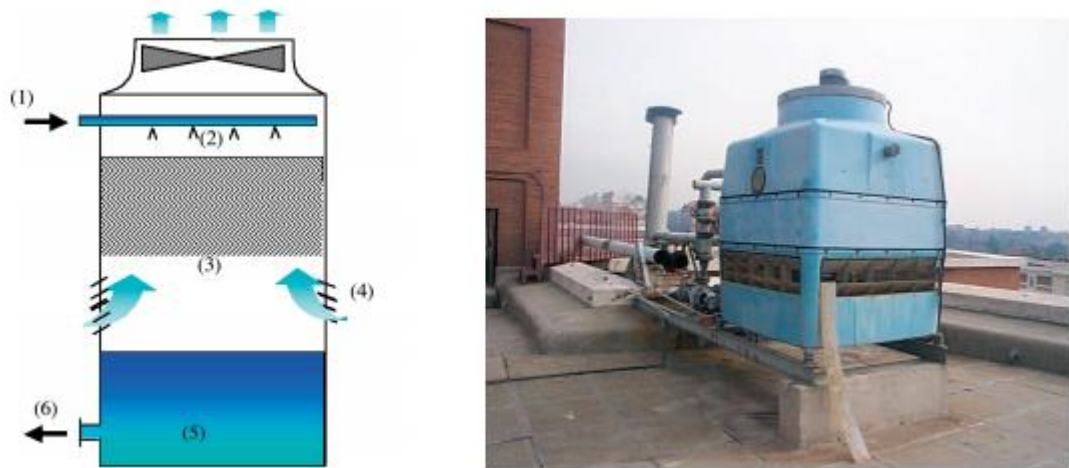



Figura 5. Torre de enfriamiento de tiro inducido.  
Fuente: (Adum Gilbert, s.f.)

El agua de retorno procedente del punto de uso (1) es pulverizada por la parte superior de la torre (2) pasando a través del relleno (3), cuya misión es incrementar el tiempo de retención y por tanto el contacto con el aire ascendente (4) cuya zona de entrada es a través de las aperturas laterales. En el relleno se produce el enfriamiento, quedando el agua refrigerada en la balsa de la torre (5) que se impulsa (6) por medio de equipos de bombeo para reiniciar el ciclo de intercambio de calor en el punto de uso.

### 3.5. NORMAS DE SISTEMAS DE BOMBEO

### 3.6. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 382

Esta norma aplica a los tubos de PVC (policloruro de vinilo) elaborados con base en las relaciones dimensionales estándar (RDE) para tubos termoplásticos y en las presiones establecidas para el agua; también están incluidos los criterios para la clasificación de los plásticos de PVC, todos los requisitos y métodos de ensayo para acabados, dimensiones, presión sostenida, presión de rótula, aplastamiento, resistencia al impacto, igualmente se incluye la designación empleada para el rotulado.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Los productos cubiertos por esta norma están destinados únicamente compatibles con el material de la tubería.

Cuando los diseños definan que los conductos de los sistemas a presión de las instalaciones sean en tuberías y accesorios de PVC, aprobados por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas, deberán cumplir la siguiente normatividad.

### **3.7. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC1339**

Esta norma establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben someterse los accesorios de PVC rígido *Schedule 40* utilizados con tubos que cumplan con lo establecido en la NTC 382 o del tipo *Schedule 40* producido por el sistema de molde por inyección o formados por tubos y pueden ser empleados para juntas con unión mecánica, cementos solventes, roscas o combinación de los anteriores.

Los productos cubiertos por esta norma están destinados únicamente a la distribución de líquidos a presión químicamente compatibles con el material de la tubería, debido a los peligros inherentes asociados a los ensayos de los componentes y del sistema efectuados con aire comprimido u otros gases comprimidos, (ICONTEC, 2013).


### **3.8. PARA INSTALACIONES INTERIORES**

Sistema de canalización en PVC-U para condiciones de agua a presión

- PVC-U Norma NTC 382, (PVC), clasificados según la presión (Serie RDE).
- ACCESORIOS Norma NTC 1339, Accesorios de PVC, *Schedule 40*.
- Norma NTC 2295.

En las instalaciones para abastecimiento de agua fría se utilizarán las tuberías y accesorios de PVC presión, que se listan a continuación a menos que en los planos de los diseños se presenten otras indicaciones.

El alistado de la cama de tubería en caso de tener un trazado enterrado, debe hacerse una cama de arena gruesa o recebo (sin piedras) de 10 cm. El material de rellenos de la zanja debe estar libre de rocas u otros objetos que puedan dañar el material, y se debe realizar

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

con material que permita la buena compactación. El fondo de la zanja debe quedar liso y regular para evitar flexiones de la tubería. La zanja debe mantenerse libre de agua durante la instalación hasta rellenar suficientemente para impedir la flotación de la misma.


### 3.9. PARA CONDUCCIONES EXTERIORES

Cuando los diseños definan que los conductos de los sistemas de alta presión de las conducciones, sean en tuberías y accesorios de PVC o Unión Platino, aprobados por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas, deberán cumplir la siguiente normatividad:

- Norma técnica colombiana NTC 382, tubos de PVC, clasificados según la presión (Serie RDE).
- Norma técnica colombiana NTC 2295, uniones con sello elastoméricos flexibles para tubos plásticos empleados en el transporte de fluidos a presión.

Las conducciones de fluido a alta presión para abastecimiento de agua fría se utilizarán las tuberías y accesorios de PVC, que se listan a continuación, determinando para cada caso en particular las condiciones de presión de trabajo a los 23 grados centígrados.

- **TOLERANCIAS.** Estas tuberías están diseñadas por el fabricante (dimensiones y tolerancias). Al momento de hacer el diseño, se debe tener en cuenta la elección de acuerdo a las condiciones requeridas en el diseño específico del proyecto que se va a construir.
- **PRUEBAS Y ENSAYOS.** Con el fin de verificar la calidad de los materiales y la mano de obra utilizados, se realizarán las siguientes pruebas: prueba hidrostática, prueba presión y prueba hermeticidad.
  - **Prueba hidrostática.** Para verificar los materiales utilizados en la instalación de la tubería se debe ejecutar la prueba hidrostática, ejecutada por tramos terminados antes de completar todo el sistema. Se debe tener en cuenta que los tramos deben estar totalmente cubiertos los anclajes en accesorios totalmente curados, como mínimo tres días y debidamente restringidos el movimiento en los tapones de los extremos, (American society for testing and materials, 2002).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- **Prueba de presión.** La presión de prueba debe ser del orden del 50% sobre la presión de operación; la presión de prueba no debe exceder la presión de diseño de la tubería, de los accesorios o de los anclajes. La presión debe ser controlada en el punto más bajo del tramo, a probar que no debe ser mayor que la del diseño de la tubería, (American society for testing and materials, 2002).
- **Prueba de hermeticidad.** El propósito de esta prueba es verificar que no haya fugas en las uniones, conexiones, accesorios y otros elementos del tramo a probar. La presión de trabajo del tramo debe ser la presión de prueba. Esta presión se mantiene por un periodo determinado de tiempo definido conjuntamente con la interventoría, (American society for testing and materials, 2002).

### 3.10. ACCESORIOS Y APLICACIONES


#### ACCESORIOS DE TUBERÍAS

Es el conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que unidas a los tubos mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de tuberías de una planta de proceso.

Tipos de accesorios más comunes a utilizar:

- Bridas
- Disco ciego
- Codos
- Te
- Reducciones
- Válvulas
- Empaquetaduras
- Tapones y nipples
- Tubería recta.

#### Características

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Se encuentran: tipo, tamaño, aleación, resistencia, espesor y dimensión.

**Diámetro.** Es la medida de un accesorio o diámetro nominal mediante el cual se identifica al mismo y depende de las especificaciones técnicas exigidas.

**Resistencia.** Es la capacidad de tensión en libras o en kilogramos que puede aportar un determinado accesorio en plena operatividad.

**Aleación.** Es el material o conjunto de materiales del cual está hecho un accesorio de tubería.

**Espesor.** Es el grosor que posee la pared del accesorio de acuerdo a las normas y especificaciones establecidas.

### 3.11. BRIDAS

Accesorios para conectar tuberías con equipos, (bombas, intercambiadores de calor, calderas, tanques, etc.) o accesorios (codos, válvulas, etc.). La unión se hace por medio de dos bridas, en la cual una de ellas pertenece a la tubería y la otra al equipo o accesorio a ser conectado. La ventaja de las uniones bridadas radica en el hecho de que, por estar unidas por espárragos, permite el rápido montaje y desmontaje a objeto de realizar reparaciones o mantenimiento.


#### Tipos:

Brida con cuello para soldar es utilizada con el fin de minimizar el número de soldaduras en pequeñas piezas a la vez que contribuye a contrarrestar la corrosión en la junta.



Figura 6. Brida con cuello para soldar.  
Fuente: (123rf, s.f.)



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**Brida deslizante.** Es la que tiene la propiedad de deslizarse hacia cualquier extremo del tubo antes de ser soldada y se encuentra en el mercado con cara plana, cara levantada, borde y ranura, macho y hembra y de orificio requiere soldadura por ambos lados.

**Brida roscada.** Son bridas que pueden ser instaladas sin necesidad de soldadura y se utilizan en líneas con fluidos con temperaturas moderadas, baja presión y poca corrosión, no es adecuada para servicios que impliquen fatigas térmicas.

**Brida loca con tubo rebordado.** Es la brida que viene seccionada y su borde puede girar alrededor de cuello, lo que permite instalar los orificios para tornillos en cualquier posición sin necesidad de nivelarlos.

### 3.12. DISCO CIEGO

Son accesorios que se utilizan en las juntas de tuberías entre bridas para bloquear fluidos en las líneas o equipos con un fin determinado.

#### Tipos:

Los discos ciegos existen en diferentes formas y tamaños, los más comunes son:

- Un plato circular con lengua o mango

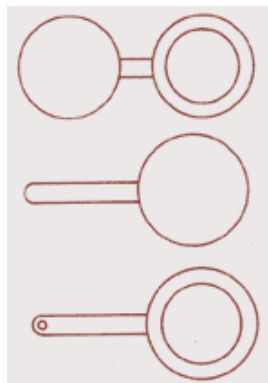



Figura 7. Disco ciego con lengüeta.  
Fuente: (González, s.f.)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- Bridas terminales o sólidas, no poseen orificio interior, también son conocidas como bridas ciegas y son utilizadas para taponar el paso del fluido.

### 3.13. CODOS

Accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas, cierta cantidad de grados, según lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías.

#### Tipos:

- Codos estándar de 45°
- Codos estándar de 90°
- Codos estándar de 180°

#### Características:

**Diámetro.** Es el tamaño o medida del orificio del codo entre sus paredes los cuales existen desde ¼" hasta 120°; también existen codos de reducción.

**Ángulo.** Es la existente entre ambos extremos del codo y sus grados dependen del giro o desplazamiento que requiera la línea.

**Radio.** Es la dimensión que va desde el vértice hacia uno de sus arcos. Según sus radios los codos pueden ser: radio corto, largo, de retorno y extra-largo.

**Aleación.** Es el tipo de material o mezcla de materiales con el cual se elabora el codo, entre los más importantes se encuentran: acero al carbono, acero a % de cromo, acero inoxidable, galvanizado, etc.

**Junta.** Es el procedimiento que se emplea para pegar un codo con un tubo, u otro accesorio y esta puede ser: soldable a tope, roscable, embutible y soldable.

**Dimensión.** Es la medida del centro al extremo o cara del codo y la misma puede calcularse mediante fórmulas existentes.


	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



Figura 8. Codo de 1/2" a 45° en PVC.  
Fuente: (González, s.f.)

### 3.14. TE

Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y *Schedule* y se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería.

#### Tipos:

Diámetros iguales o te de recta, reductora con dos orificios de igual diámetro y uno desigual.

#### Características:

**Diámetro.** Las Tees existen en diámetros desde ¼" " hasta 72" " en el tipo fabricación.

**Espesor.** Este factor depende del espesor del tubo o accesorio a la cual va instalada; existen desde el espesor fabricación hasta el doble extra pesado.

**Aleación.** Las más usadas en la fabricación son: acero al carbono, acero inoxidable, galvanizado, etc.

**Juntas.** Para instalar las te en líneas de tubería se puede hacer, mediante procedimiento de rosca embutible-soldable o soldable a tope.

**Dimensión.** Es la medida del centro a cualquiera de las bocas de la te.


	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



Figura 9. Te en PVC.  
Fuente: (González, s.f.)

### 3.15. REDUCCIONES

Son accesorios de forma cónica, fabricadas de diversos materiales y aleaciones. Se utilizan para disminuir el volumen del fluido a través de las líneas de tuberías.

#### Tipos:

**Estándar concéntrico.** Es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido aumentando su velocidad, manteniendo su eje.

**Estándar excéntrica.** Es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido en la línea aumentando su velocidad perdiendo su eje.

#### Características:

**Diámetro.** Es la medida del accesorio o diámetro nominal mediante el cual se identifica al mismo, y varía desde  $\frac{1}{4}$ " " x  $\frac{3}{8}$ " " hasta diámetros mayores.

**Espesor.** Representa el grosor de las paredes de la reducción va a depender de los tubos o accesorios a la cual va a ser instalada. Existen desde el espesor estándar hasta el doble extra-pesado.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**Aleación.** Es la mezcla utilizada en la fabricación de reducciones, siendo las más usuales: al carbono, acero al % de cromo, acero inoxidable, etc.

**Junta.** Es el tipo de instalación a través de juntas roscables, embutibles soldables y soldables a tope.


**Dimensión.** Es la medida de boca a boca de la reducción Concéntrica y excéntrica.



Figura 10. Reducción concéntrica en PVC  
Fuente: (González, s.f.)



Figura 11. Reducción excéntrica en PVC.  
Fuente (González, s.f.)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.16. EMPACADURAS

Es un accesorio utilizado para realizar sellados en juntas mecanizadas existentes en líneas de servicio o plantas en proceso.

#### Tipos:

**Anillos de acero.** Son las que se usan con brida que tienen ranuras para el empalme con el anillo de acero. Este tipo de juntas de bridas se usa en líneas de aceite de alta temperatura que existen en un alambique, o espirales de un alambique de tubos. Este tipo de junta en bridas se usa en líneas de amoniaco.

**Empacadura de goma.** Son las que se usan en bridas machos y hembras que estén en servicio con amoniaco o enfriamiento de cera.


**Empacadura completa.** Son las que generalmente se usan en uniones con brida, particularmente con bridas de superficie plana, y la placa de superficie en el extremo de agua de algunos enfriadores y condensadores.

**Empacadura grafiada.** Son de gran resistencia al calor (altas temperaturas) se fabrican tipo anillo y espirometálicas de acero con asiento grafitado, son de gran utilidad en juntas bridadas con fluido de vapor.



Figura 12. Empacaduras en goma.  
Fuente: (Sitelca, s.f.)

### 3.17. TAPONES

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Son accesorios utilizados para bloquear o impedir el pase o salida de fluidos en un momento determinado. Mayormente son utilizados en líneas de diámetros menores.

**Tipos:**

Según su forma de instalación pueden ser macho y hembra.

**Características:**

**Aleación.** Son fabricados en mezclas de galvanizado, acero al carbono, acero inoxidable, bronce, monel, etc.

**Resistencia.** Tienen una capacidad de resistencia de 150 libras hasta 9000 libras.

**Espesor.** Representa el grosor de la pared del tapón.


**Junta.** La mayoría de las veces estos accesorios se instalan de forma enroscable, sin embargo, por normas de seguridad muchas veces además de las roscas suelen soldarse. Los tipos soldables a tope, se utilizan para cegar líneas.



Figura 13. Tapones en PVC  
Fuente: (Sitelca, s.f.)

### 3.18. TUBERIA RECTA

Se fabrica en longitudes de 6 metros y en diferentes diámetros:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

PVC: BLANCO • CPVC: BEIGE “Esta diferenciación también se extiende a los accesorios” Los Accesorios se Fabrican para ser unidos a la tubería plástica con un tipo especial de soldadura líquida que se aplica después de limpiar bien con acetona las superficies que se van a pegar. Algunos presentan Roscas al exterior o interiores con el fin de permitir la transición a otro tipo de tubería.

#### **INSTALACION:**

Recuérdese que la tubería PVC y CPVC normalmente no debe roscarse. Eventualmente admiten rosca los tipos pesados, se recomienda consultar ante todo la norma ICONTEC No. 382(C16.1/68) para mejor precisión para tubos de cloruro de polivinilo (PVC). La Norma Clasifica los tubos por sus diámetros exteriores en 2 series:

SERIE M: Serie métrica, diámetros en milímetros


SERIE I: Serie inglesa, diámetros en pulgadas (M., 2007)



Figura 14. Tubería en acero carbón por 6 metros de longitud.  
Fuente: (M., 2007).

### **3.19. RED DE DISTRIBUCION**



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Que se llamará en lo sucesivo red, es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que se componen de dos o más tubos ensamblados mediante un sistema de unión que permite la conducción de un fluido (agua) desde tanques de servicio o de distribución hasta las tomas industriales, domiciliarios. Su finalidad proporcionar agua para infinidad de usos, estas redes deben proporcionar este servicio con la cantidad requerida y con una presión adecuada.

**Generalmente se compone de:**

**Tuberías.** Conjunto formado por tubos (conducto de sección circular) y su sistema de unión o ensamble. La red de distribución está formada por un conjunto de tuberías que se unen en diversos puntos denominados nudos o empalmes.

**Esta se divide en red primaria y secundaria:**

**La red primaria.** Es la que conduce el agua del tanque de regulación hasta el punto donde inicia su distribución.

**La red secundaria.** Es la que es de diámetro menor y es la encargada de distribuir el agua hasta las tomas.

**Piezas especiales.** Son todos aquellos accesorios que se emplean para llevar a cabo ramificaciones, intersecciones cambios de dirección, modificaciones de diámetro, uniones de tubería, y terminales de los conductos entre otros. Estas son las utilizadas para llevar a cabo todas las modificaciones en la línea.


**Válvulas.** Son los accesorios que se utilizan para disminuir o evitar el flujo en la tubería.

**Se clasifican en dos categorías:**

**Aislamiento y seccionamiento.** Se utilizan para separar o cortar el flujo del resto del sistema de abastecimiento en ciertos tramos de la tubería.

**Control.** Sirve para regular el gasto a la presión, facilita la entrada de aire a la salida de sedimentos.

**Tanque de distribución.** Situado generalmente entre la captación y la red de distribución, el almacenamiento permite regular la distribución proveer fallas en el suministro, (E., 1982).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.20. CONTROL

Los elementos utilizados en el control automático como sensores y actuadores se mencionan para tener claridad de las diferentes tipos y características que se encuentran en el mercado y los que se eligieron como alternativa.

### 3.21. SENSORES DE CAUDAL

Existen dos tipos de medidores, los volumétricos que determinan el caudal en volumen del fluido, y los de masa que determinan el caudal de masa. Se reservan los medidores volumétricos para la medida general de caudal y se destinan los medidores de caudal másico a aquellas aplicaciones en las que la exactitud de la medida es importante.

#### MEDIDORES DE AREA VARIABLE

Los medidores de caudal por área variable utilizan el mismo principio de medida que los medidores por presión diferencial; es decir, la relación entre la energía cinética y la energía debida a la presión. En el sistema de presión diferencial el área correspondiente a la restricción es constante y la presión diferencial cambia en función del caudal, (Acedo Sánchez, 2006).

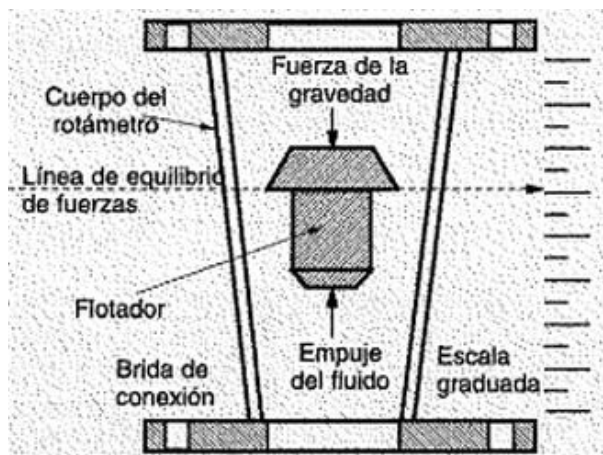



Figura 15. Medidores de área variable.  
Fuente: (Acedo Sánchez, 2006).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### MEDIDORES POR DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Los medidores por desplazamiento positivo operan atrapando un volumen unitario y conocido de líquido, desplazándolo desde la entrada hasta la salida, y contando el número de volúmenes desplazados un tiempo determinado. Se conocen con el nombre genérico de contadores porque cuenta el volumen de líquido, independientemente del tiempo transcurrido. Si se desea obtener la medida en forma de caudal, hay que incluir la unidad de tiempo.

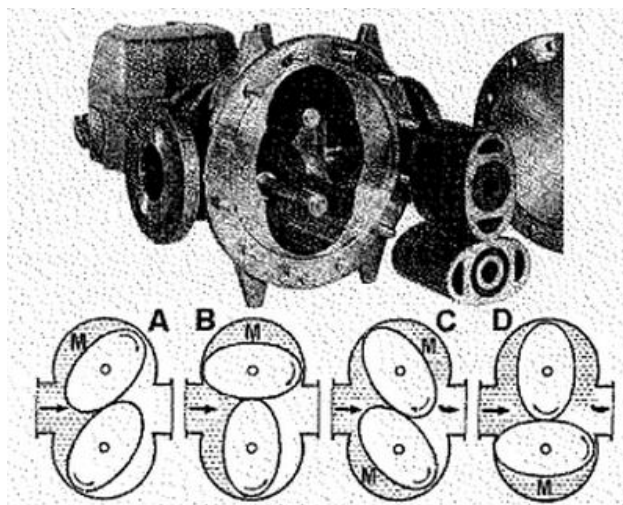


Figura 16. Medidores de desplazamiento positivo.  
Fuente: (Acedo Sánchez, 2006).

### MEDIDORES MÁSICOS

Los medidores másicos están diseñados para medir directamente el caudal de fluido en unidades de masa, en lugar de medir el caudal en volumen. Algunos medidores han sido adaptados con sistemas que convierten el volumen en masa en función de presión y temperatura, dan como resultado final el caudal en unidades de masa.

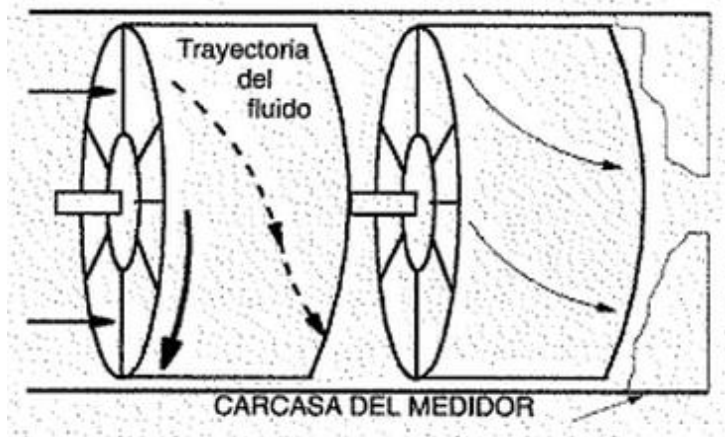



Figura 17. Medidores másicos.  
Fuente: (Acedo Sánchez, 2006).

### SENSOR DE CAUDAL ELECTROMAGNETICO

La función de los caudalímetros electromagnéticos consiste en medir el caudal de líquidos conductivos como el agua, productos químicos, alimentos y bebidas, lodos, lechadas, pasta de papel y lodos de minería con partículas magnéticas; este elemento será el encargado de dar aviso al PLC para que apague el control y cierre la válvula anti-retorno cuando el caudal sea cero (0); es decir, cuando haya un apagón inesperado en la zona.



Figura 18. Sensores de caudal electromagnético  
Fuente: (Siemens, s.f.)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.22. SENSORES DE PRESIÓN

La presión es la fuerza que se aplica sobre una superficie y la podemos presenciar en líquidos o gases, por tal motivo es muy frecuente encontrarla en la industria para el control de procesos.

El sistema internacional (S.I.) nos indica según la conferencia de pesas y medidas realizada en los años 1967 y 1971 en la ciudad de París, Francia que la medida normalizada para la presión es el bar, (Creus Solé, 2011). Además, como se observa en la Figura 19, la presión está clasificada en tres tipos fundamentales que son la **presión absoluta**, la cual se mide con referencia el cero absoluto de la presión, es la suma de las otras presiones y estas mediciones se suelen aplicar para cálculos teóricos. La **presión relativa o manométrica**, la cual determina la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica; por lo cual, la lectura puede ser positiva o negativa; y la **presión atmosférica** es el peso de la atmósfera ejercido sobre la superficie de la tierra.

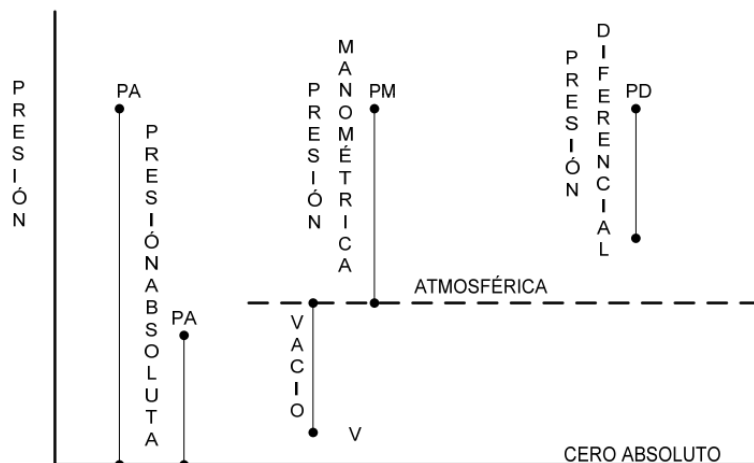



Figura 19. Tipos de presión.  
Fuente: (Universidad de Buenos Aires, s.f.)

### MANÓMETRO CON TUBO DE BOURDON

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Este instrumento de medición inventado en 1849 por el relojero e ingeniero francés Eugene Bourdon (1808-1884), es un indicador de presiones bajas y altas; su funcionamiento es muy sencillo, internamente como se observa en la Figura 20, contiene un tubo metálico de sección oval que se resalta de color rojo llamado tubo de Bourdon "C" que puede soportar un campo de medida desde los 0,5 hasta 6000 bares y es fabricado en materiales como el latón, aleaciones de acero, aceros inoxidable, bronce fosforado, K-monel y cobre-berilio. Está sellado en un extremo y va conectado por medio de una biela a una cremallera; la cual, le da movimiento a un piñón y este a su vez al eje de la aguja indicadora de presión. Su otro extremo va fijo en un soporte por el cual ingresa el aire que nos va generar la presión; esta presión a medida que aumenta, pone la sección oval del tubo más circular y esto hace que el tubo se ponga ligeramente más recto, realizando un movimiento en la cremallera, indicando así la presión con la aguja.

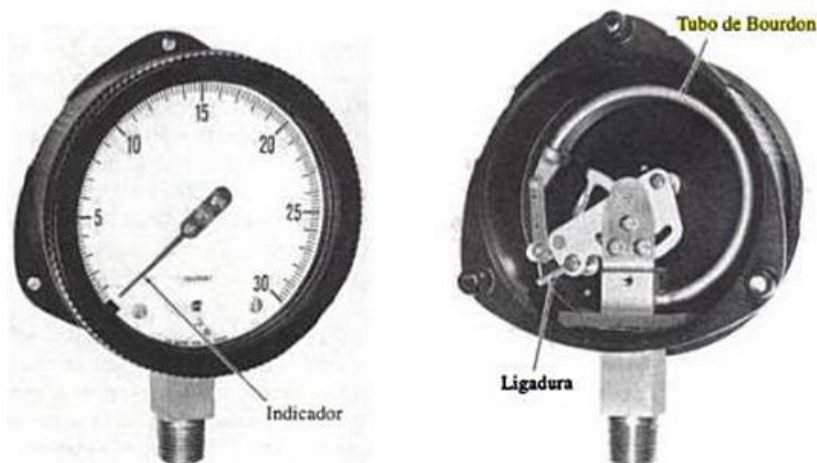



Figura 20. Manómetro de Bourdon tipo "C".  
Fuente: (Mott, 1996)

Cabe agregar que el tubo de Bourdon que lleva el manómetro internamente puede tener otras formas como se observa en la Figura 21, teniendo el mismo principio de funcionamiento visto anteriormente y elaborado con los mismos materiales; para estos, la sección transversal es aplanada y por su diseño proporcionan mayor recorrido; por tal motivo, son muy empleados en los registradores, equipos que sustituyen en la práctica a los tubos en "U". El tubo de Bourdon helicoidal presenta un campo de medida que va desde

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

los 0.5 hasta 5000 bares y el tubo de Bourdon en espiral presenta un campo de medida que va desde los 0.5 hasta 2500 bares.

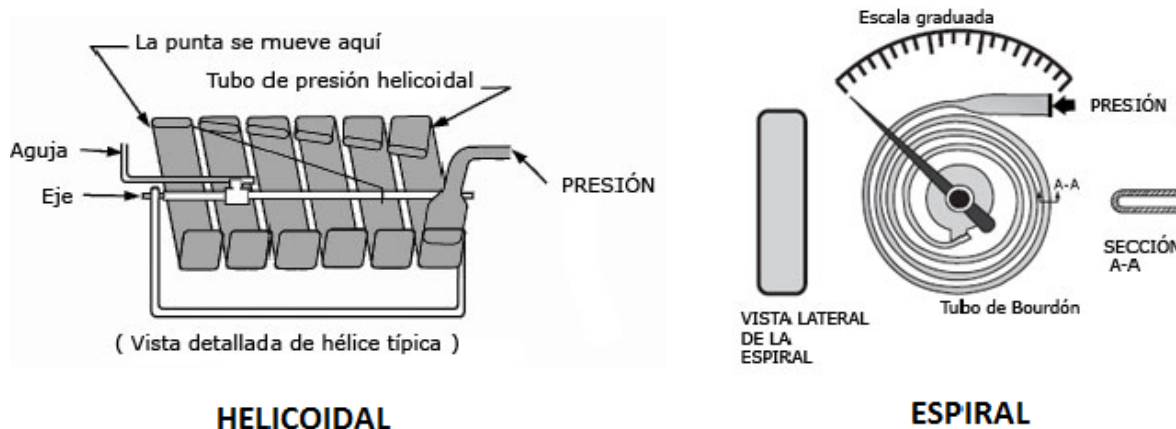



Figura 21. Tubos de Bourdon.  
Fuente: (Mott, 1996)

Pueden ser utilizados para realizar mediciones de presión en líquidos o gases, esto depende de la necesidad de la aplicación; por lo general, el indicador del manómetro se debe adquirir lleno de glicerina para evitar vibraciones en la aguja de medición y así garantizar una medida confiable; son instrumentos de bajo costo, pueden ser utilizados como patrones de trabajo o indicadores en determinada fase de un proceso para tener control sobre un campo de aplicación, son fáciles de instalar y de igual manera se debe llevar un control de mantenimiento sobre ellos ya que pueden sufrir daños por fatiga o verse afectados por la corrosión.

### MANÓMETRO CON DIAFRAGMA

Es un dispositivo de medición que es utilizado para realizar mediciones pequeñas que no superen los 2 bares, internamente contienen dos discos flexibles (Diafragma), que están situados en medio de dos carcasas las cuales deben ir fijadas entre sí por medio de pernos como se observa en la Figura22; normalmente son de aleaciones de níquel o inconel, al momento que se aplica presión una de los discos del diafragma cambia de posición por la deformación que le genera la presión ingresada y un conjunto mecánico (biela, cremallera



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

y piñón) transmite el movimiento hacia el indicador mostrando así la presión ingresada al manómetro. En comparación a los tubos de Bourdon, este sistema de medición por diafragma tiene una fuerza activadora mayor; por lo cual, no se ve muy afectado por las vibraciones.

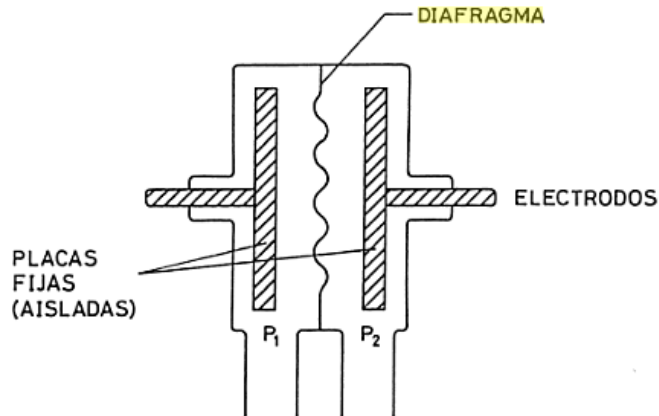



Figura 22. Manómetro con diafragma.  
Fuente: (Albella, Cintas, Miranda, & Serratosa, 1993)

Pueden ser utilizados para realizar mediciones de presión en líquidos o gases, dependiendo su aplicación; de igual forma el indicador se debe adquirir lleno de glicerina para evitar vibraciones en la aguja de medición y así garantizar una medida confiable y presentan un bajo costo en el mercado, son fáciles de instalar y se debe llevar un control de mantenimiento sobre ellos ya que pueden sufrir daños por fatiga lo cual podría ocasionar mediciones incorrectas.

### 3.23. SENSORES DE NIVEL

La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir “inteligencia” en la medida del nivel, y obtener precisiones de lectura altas, del orden del 0,2 %, en el intervalo de materias primas o finales o en transformación en los tanques del proceso. El transmisor de nivel “inteligente” hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en flotación del tanque, en la lectura), la eliminación de las falsas



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión, (Creus Solé, 2011).

Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel de líquidos y de sólidos.

### **MEDIDORES DE NIVEL DE LÍQUIDOS**

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o bien aprovechando características eléctricas del líquido.

Los instrumentos de medida directa se dividen en:

- Medidor de sonda
- Medidor de cinta y plomada
- Medidor de nivel de cristal
- Medidor de flotador.


Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática se dividen en:

- Medidor manométrico
- Medidor de membrana
- Medidor de tipo burbujeo
- Medidor de presión diferencial de diafragma

Los instrumentos que utilizan características eléctricas del líquido se clasifican en:

- Medidor conductivo
- Medidor capacitivo
- Medidor ultrasónico
- Medidor de radiación
- Medidor láser

### **MEDIDOR DE SONDA**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Consiste en una varilla o regla graduada, de la longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por la lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el estanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se utiliza generalmente en estanques de gasolina.

Otro medidor consiste en una varilla graduada, con un gancho que se sumerge en el seno del líquido y se levanta después hasta que el gancho rompe la superficie del líquido. La distancia desde esta superficie hasta la parte superior del estanque representa indirectamente el nivel. Se emplea en estanques de agua a presión atmosférica, (Creus Solé, 2011).

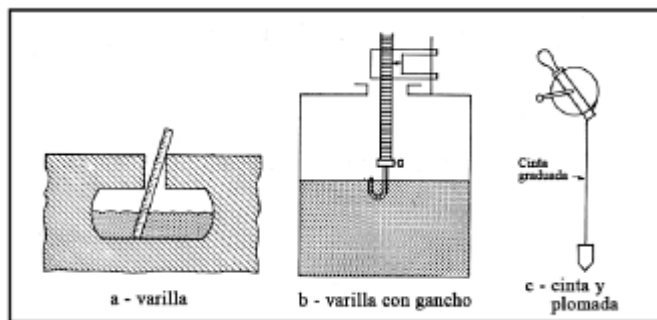



Figura 23. Medidores de sonda.  
Fuente: (Creus Solé, 2011)

Este sistema es parecido a los anteriores, consta de una cinta graduada y un plomo en la punta. Se emplea cuando es difícil que la regla tenga acceso al fondo del estanque.

### **MEDIDOR DE FLOTADOR**

Consiste en un flotador ubicado en el seno del líquido y conectado al exterior del estanque indicando directamente el nivel sobre una escala graduada. Es el modelo más antiguo y el más utilizado en estanques de gran capacidad, tales como los de petróleo y gasolina. Tiene el inconveniente de que las partes móviles están expuestas al fluido y pueden romperse, además el flotador debe mantenerse limpio, (Creus Solé, 2011).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

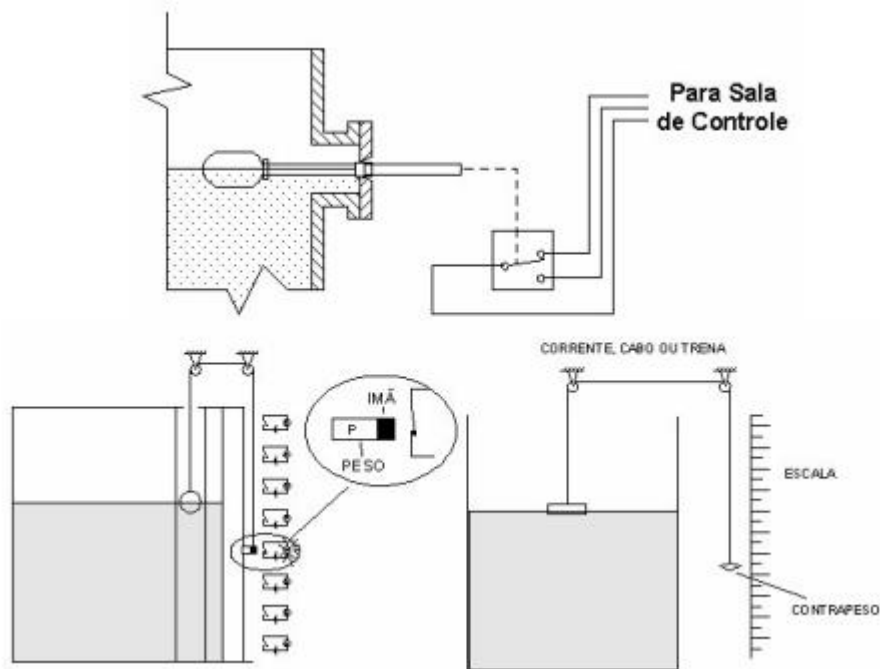



Figura 24. Medidor de flotador.  
Fuente: (Creus Solé, 2011)

Hay que señalar que en estos instrumentos, el flotador puede tener formas muy variadas y estar formados por materiales muy diversos según sea el tipo de fluido.

Los instrumentos de flotador tienen una precisión de 0,5 %. Son adecuados en la medida de niveles en estanques abiertos y cerrados a presión o a vacío, y son independientes del peso específico del líquido. Por otro lado, el flotador puede agarrotarse en el tubo guía por un eventual depósito de los sólidos o cristales que el líquido pueda contener y además los tubos guía muy largos pueden dañarse ante olas bruscas en la superficie del líquido o ante la caída violenta del líquido en el estanque.

### **MEDIDOR MANOMÉTRICO**

Consiste en un manómetro conectado directamente a la inferior del estanque. El manómetro mide la presión debida a la altura de líquido  $h$  que existe entre el nivel del estanque y el eje del instrumento. Así pues, el rango de medida del instrumento corresponderá a:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

$$0 - (h \cdot \gamma \cdot g)$$

$h$  = altura de líquido en m

$\gamma$  = densidad del líquido en Kg/m<sup>3</sup>

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

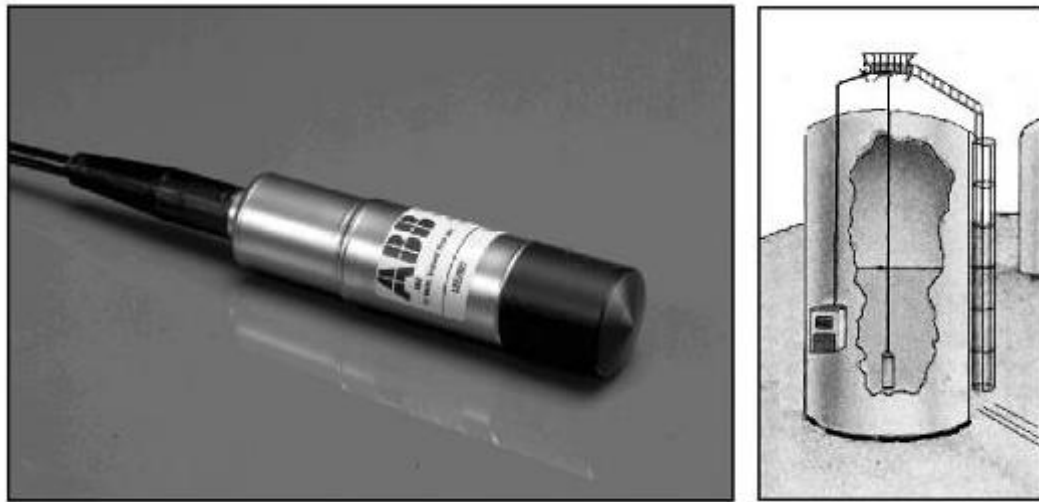



Figura 25. Medidor manométrico.  
Fuente: (Creus Solé, 2011)

Como las alturas son limitadas, el rango de medida es bastante pequeño, de modo que el manómetro utilizado tiene un elemento de medida del tipo fuele.

El instrumento sólo sirve para fluidos limpios ya que, si el líquido es corrosivo, coagula o bien tiene sólidos en suspensión, el fuele puede destruirse o bien bloquearse perdiendo su elasticidad; por otra parte, como el rango de medida es pequeño no es posible utilizar sellos de diafragma. La medida está limitada a estanques abiertos y el nivel viene influido por las variaciones de densidad del líquido.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### **3.24. SENSORES DE TEMPERATURA**


El proceso de medición de la temperatura se puede realizar a través de sensores de temperatura resistivos (RTD) o termopares. La medición de la temperatura es un factor importante para los procesos productivos, esta variable tiene relación directa con el correcto funcionamiento de diferentes sistemas que pueden ir desde la cocción de un alimento hasta procesos complejos como la operación de centrales nucleares. La exactitud en la medida de esta variable garantiza un adecuado control de la misma, por lo que se hace indispensable el uso de sensores robustos, confiables y dinámicos, (Rupnik, 2013).

#### **SENSORES DE TEMPERATURA RTD**

Su funcionamiento se basa en el principio de la resistividad de los materiales, esto nos indica que la resistencia del material de un conductor varía con la temperatura, significa entonces que en un conductor el aumento de la temperatura no influye para generar un movimiento de electrones pero si crea vibraciones a los átomos que componen el conductor en sus posiciones de equilibrio y este fenómeno es el que produce un aumento proporcional de la resistencia del material al subir la temperatura, (Pallás, 2007).

Los materiales más comunes para la elaboración de las RTD por sus características son el cobre, níquel y platino; este último fue utilizado como medidor de temperatura por primera vez en el año de 1871 por W. Siemens, siendo el más utilizado ya que es más preciso y estable, pero con un costo mayor.

En general, como se observa en la Figura 26, los sensores vienen en el interior de un tubo protector metálico o de acero inoxidable, la forma depende del uso final del sensor y pueden elaborarse de 2, 3 ó 4 hilos dependiendo la necesidad del proceso en que se vayan a aplicar.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

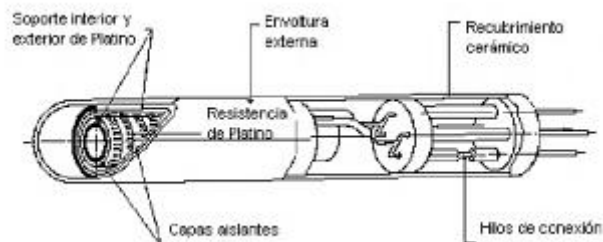


Figura 26. Sensor PT100.

Fuente: (Rodríguez Díaz & Berenguel Soria, 2004)


### SENSOR DE TEMPERATURA PT100

Una PT100 es un sensor de temperatura, el cual está compuesto por un alambre de platino, a 0°C entrega 100 Ohmios y a medida que va aumentando la temperatura directamente aumenta su resistencia; también existe la PT500 la cual a 0°C entrega 500 Ohmios; y la PT1000, la cual a 0°C entrega 1000 Ohmios, puede entregar precisiones de una décima (0.1) Ohmios por cada grado. Una gran ventaja de estos sensores es que no se descomponen dando medidas erradas, sólo se abren; por lo cual, el dispositivo medidor que puede ser un control de temperatura mostrará una falla de sensor.

Existen tres modos de conexión de sus hilos, 2, 3 y 4 hilos; la conexión de 2 hilos es el modo más sencillo de conexión (pero menos recomendado), debido a que los cables que conectan la PT100 al instrumento de medición generan unas resistencias las cuales se suman en la medición final.

### 3.25. TERMISTORES

Son resistores variables con la temperatura pero no depende de sus conductores como si lo es para las RTD; depende de un semiconductor y este se comporta como un resistor térmico de tal manera que al aumentar la temperatura el número de portadores lo hace de igual manera, de esta forma la resistencia del semiconductor disminuye, tienen un rango de trabajo que desde los -70°C hasta los 500°C, son más económicos y mucho más sensibles aunque su funcionamiento no sea lineal; presenta una alta sensibilidad a las variaciones de temperatura, por lo cual es utilizado ampliamente en la industria para procesos de control;

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

estos sensores sirven para medición de la temperatura en gases, líquidos y sólidos, debido a su forma compacta pueden ser instalados en sondas o en espacios ubicados y diseñados especialmente para ellos, se pueden instalar en tornillos e ir roscados en superficies, en la Figura 27 se observan los ejemplos de las formas que podemos encontrar estos sensores en la industria.

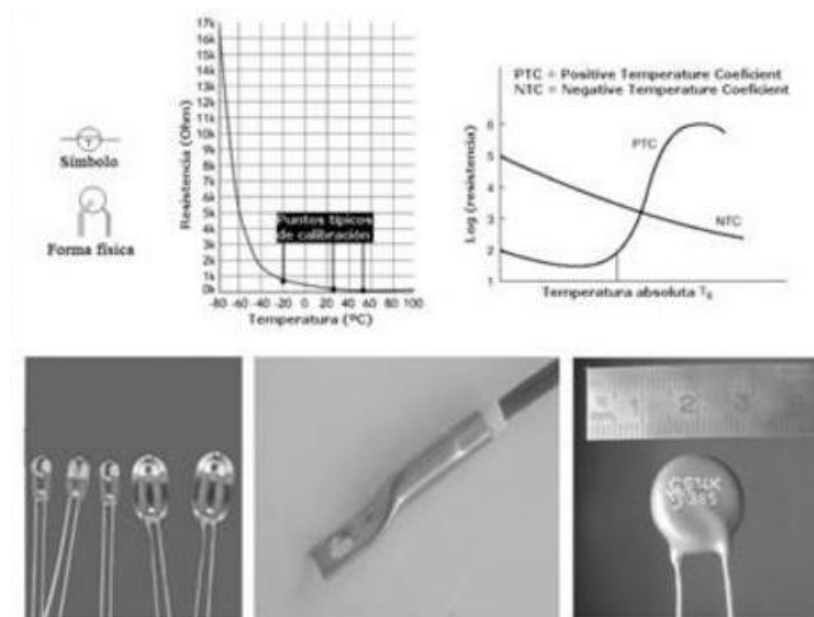



Figura 27. Termistores  
Fuente: (Rodríguez Díaz & Berenguel Soria, 2004)

Este dispositivo lo podemos encontrar con dos denominaciones, las cuales indican su funcionamiento y estas son: la NTC (*Negative temperatura coeficient*) y para algunos casos la PTC (*Positive temperatura coeficient*). En comparación con los termopares y las RTD, los termistores no ofrecen mayor exactitud y estabilidad, pero sí nos ofrece una elevada sensibilidad; esto se debe a su alta resistividad; en la Figura 28 se observa una curva de comparación de respuesta a la temperatura entre un termistor NTC y una PT100, el termistor a 0°C nos muestra una resistencia aproximada de 10KΩ mientras la PT100 nos indica 100Ω.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

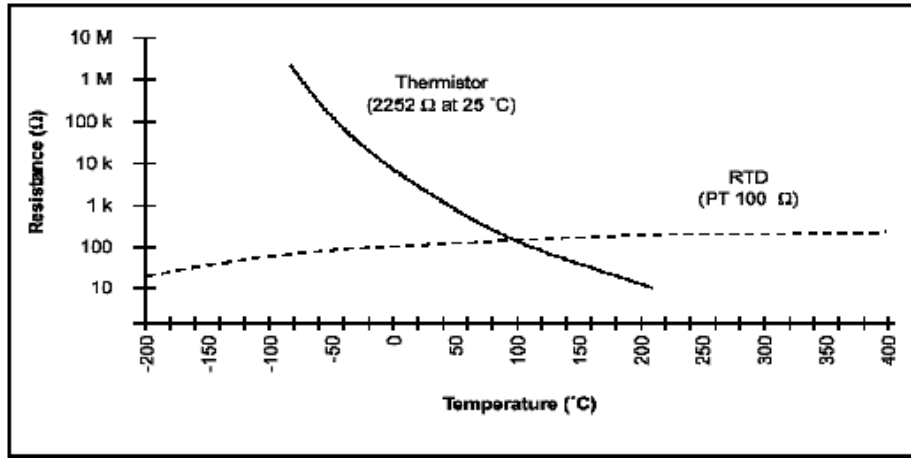


Figura 28. Grafica termistor NTC vs PT100.

Fuente: (National Instruments, 2015).

### **NTC (*Negative Temperature Coefficient*)**

Los termistores NTC son resistencias no lineales, en ellas el valor de la resistencia disminuye con el aumento de la temperatura, son muy sensibles y se fabrican con mezclas de óxidos de Mn, Ni, Co, Cu, Fe. Son moldeados en cuerpos cerámicos de varios tamaños, su resistencia va entre los 50Ω y 1MΩ a 25°C, tienen una sensibilidad del 4% / °C a 25°C. Este efecto de coeficiente negativo se da cuando la temperatura externa varía o con el calentamiento interno del sensor, debido al efecto *joule* por el paso de una corriente a través del termistor. La curva del termistor se puede linealizar con una resistencia instalada en paralelo como se observa en la Figura 29. Una aplicación muy interesante es la instalación de un termistor NTC en el abdomen de un niño que se encuentra en una incubadora, la resistencia de este dispositivo varia rápidamente al cambio de la temperatura y esta señal es enviada a un circuito eléctrico que controla la temperatura de la incubadora.



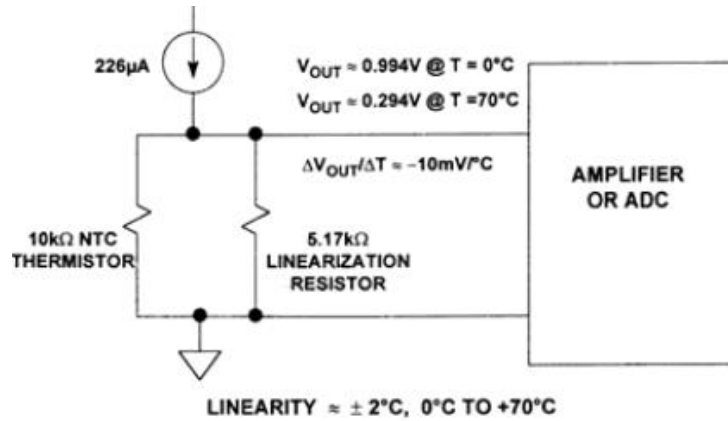


Figura 29. Circuito de linealización termistor NTC.  
Fuente: (Mayné, 2003).

### PTC (*Positive Temperature Coefficient*)

Los termistores PTC son resistencia no lineal y cuyo valor óhmico aumenta con la temperatura; están compuestas principalmente de bario y estroncio con titanio, además de tener aditivos tales como el manganeso y el Tántalo. En la figura 30 se observa su curva de trabajo; este dispositivo presenta una característica especial y es que cuando se sobre pasa el valor de temperatura crítica, la resistencia aumenta rápidamente; su presentación más común es en forma de disco y sus aplicaciones más frecuentes, además de la medición de la temperatura, en la cual es muy poco utilizado, son la protección frente a sobre-corrientes para la protección de circuitos y la generación de retardos en la bobina de un relé.

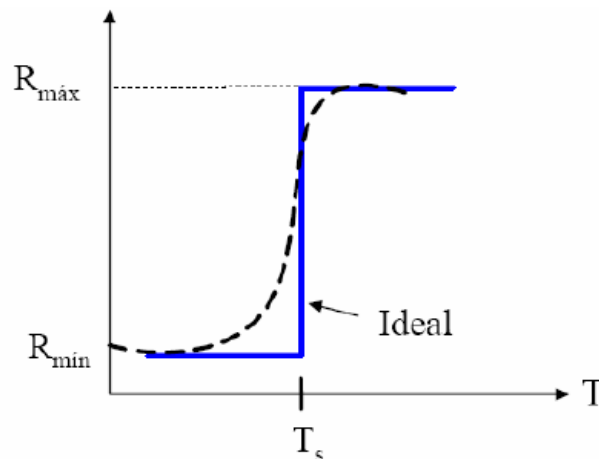



Figura 30. Curva de trabajo termistor PTC.  
Fuente: (Márquez y Calderón, s.f.)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3.26. SENSORES DE TEMPERATURA TERMOPARES

Estos sensores también llamados termoelectricos son muy utilizados en la industria; ya que, brindan un amplio rango de medida, buena exactitud, rápida respuesta a cambios de temperatura, versatilidad y un bajo costo; su funcionamiento se basa en dos efectos que son el *Peltier* y el efecto *Thompson*. Son dispositivos formados por dos conductores de diferente material o diferentes aleaciones de materiales, en uno de sus extremos, estos conductores, como se observa en la Figura 31, están soldados, formando una junta caliente y allí es donde se genera una diferencia de temperatura que origina una fuerza electromotriz.

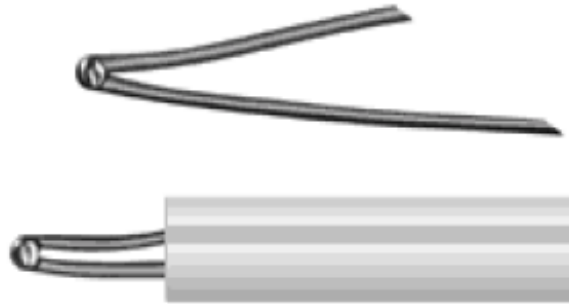


Figura 31. Junta caliente termopares.  
Fuente: (Guerrero, 2002)

El primero en descubrir este fenómeno en 1822 fue Thomas J. Seebeck (1770 – 1831), al observar que en dos metales diferentes A y B de dos uniones T1 y T2 a temperaturas desiguales, aparece una fuerza electromotriz (f.e.m) detectada por un voltímetro, como se observa en la Figura 32; y se mide en mili-voltios (mV), la cual sólo depende de la diferencia de temperatura entre las uniones o también llamadas junta caliente (T1), donde se realiza el aumento de temperatura y fría (T2).

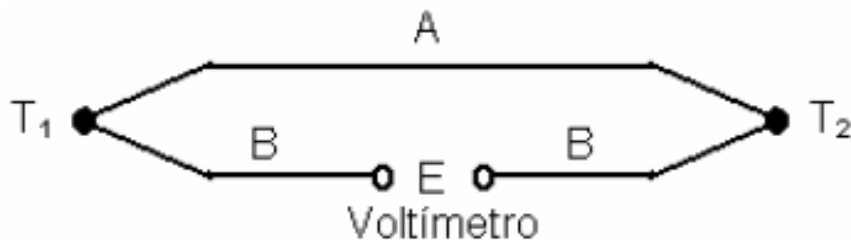



Figura 32. Fuerza electromotriz a diferentes temperaturas.  
Fuente: (JM Industrial, s.f.)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## EFECTO PELTIER

Fue descubierto por Jean C. A. Peltier en 1834 y consiste en hacer circular una corriente por un circuito de termopares de dos metales diferentes; como se observa en la Figura 33, este efecto genera un calentamiento en una de las uniones mientras la otra se mantiene fría, el calor que se genera es proporcional al sentido de la corriente; esto quiere decir que si una unión antes se calentaba (cedía calor), al realizar un cambio en el sentido de la corriente se enfría (absorbe calor), ya que este efecto es reversible.

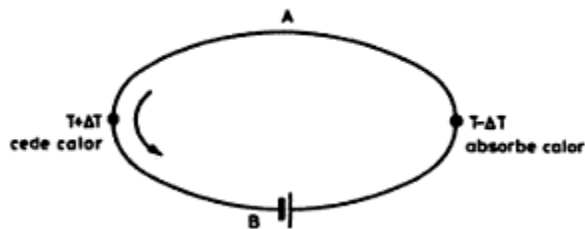


Figura 33. Circuito termopares efecto Peltier.  
Fuente: (Pallás, 2007).

## EFECTO THOMPSON

Fue descubierto por William Thompson (Lord Kelvin) en 1847-54 y consiste en la absorción o liberación de calor para un solo conductor homogéneo con temperatura no homogénea; por el cual va a circular una corriente como se observa en la Figura 34; el calor que se libera es proporcional a la dirección de la corriente, esto quiere decir que el cable se enfría (absorbe calor) si la corriente y el calor fluyen en direcciones opuestas y el cable se calienta (libera calor) si fluyen en la misma dirección.

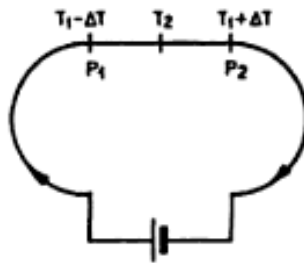



Figura 34. Circulación de corriente en un conductor efecto Thomson.  
Fuente: (Pallás, 2007).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## TIPOS DE TERMOPARES

La clasificación para cada termopar depende principalmente del material o aleaciones que están hechos; a partir de esto se despliegan varias características, para las uniones de los termopares es importante tener una resistividad elevada, capacidad calorífica, respuesta lenta y resistencia a la oxidación a temperaturas altas; ya que es muy importante tolerar la atmósfera del lugar de operación; como se observa en la Figura 35, la magnitud de la fuerza electromotriz entregada en  $\mu\text{V}$  (micro-voltios) por el termopar, depende de su clasificación. Se puede observar que los termopares tipo E, J y K, debido a su composición tienen una magnitud más elevada con el aumento de la temperatura.

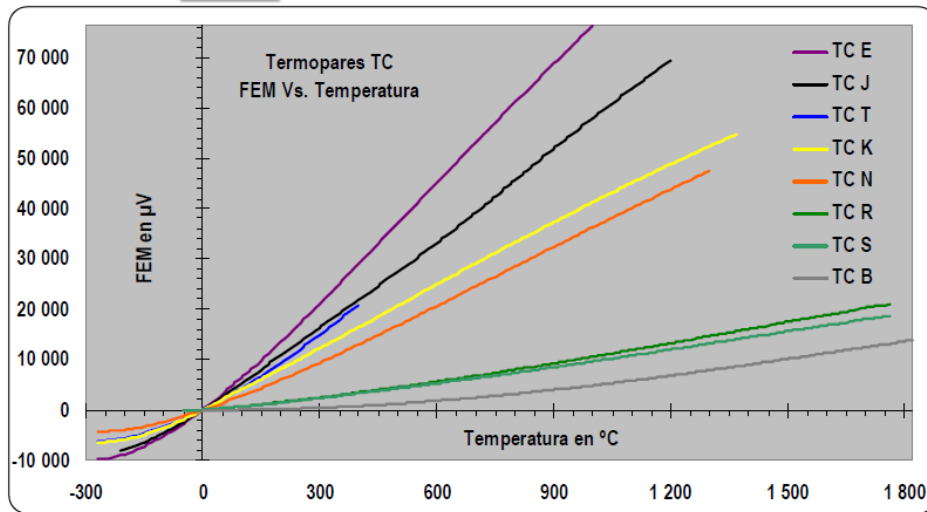


Figura 35. Gráfica respuesta (f.e.m) vs temperatura para cada tipo de termopar.  
Fuente: (Guerrero, 2002)

Los termopares utilizados comúnmente en la industria los podemos identificar con una letra asignada por la ANSI-MC96.1-1975, en la Figura 36 se observa la clasificación para los termopares y con ella su composición y rango de trabajo. Pueden ser protegidos mediante una vaina que generalmente es de acero inoxidable; se observa también, que se pueden obtener tres tipos de junta para cada termopar que son aterrizada, la cual se suelda a la vaina protectora, entregando una respuesta rápida, tipo aislada va separada de la vaina protectora y llena en su interior de polvo MgO (Óxido de Magnesio), lo que proporciona un aislamiento eléctrico pero entrega una respuesta muy lenta y tipo expuesta, la cual queda por fuera de la protección dando una respuesta más rápida que la aterrizada; se debe tener en cuenta que la temperatura de operación no debe superar la de fusión de la junta.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27




Figura 36. Tipo junta termopar.  
Fuente: (West Instruments de México S.A., s.f.)

<b>IDENTIFICACIÓN DE TERMOPARES</b>					
Tipo	Conductores		Códigos de color		Rango
	Aleación (+)	Aleación (-)	Grado Termopar	Grado Extensión	
<b>J</b>	Hierro Fe	Constantano Cu-Ni			Grado Termopar 0 a 750°C Grado Extensión -60 a 200°C
<b>K</b>	Cromel Ni-Cr	Alumen Ni-Al			Grado Termopar -200 a 1250°C Grado Extensión -60 a 200°C
<b>T</b>	Cobre Cu	Constantano Cu-Ni			Grado Termopar -200 a 350°C Grado Extensión -60 a 205°C
<b>E</b>	Cromel Ni-Cr	Constantano Cu-Ni			Grado Termopar -200 a 900°C Grado Extensión -60 a 200°C
<b>N</b>	Nicrosil Ni-Cr-Si	Nisil Ni-Cr-Mg			Grado Termopar -270 a 1300°C Grado Extensión -60 a 200°C
<b>R</b>	Platino-13%Rhodio Pt-13%Rh	Platino Pt	----		Grado Termopar 0 a 1450°C Grado Extensión 0 a 150°C
<b>S</b>	Platino-10%Rhodio Pt-10%Rh	Platino Pt	----		Grado Termopar 0 a 1450°C Grado Extensión 0 a 150°C
<b>B</b>	Platino-30%Rhodio Pt-30%Rh	Platino-6%Rhodio Pt-6%Rh	----		Grado Termopar 0 a 1700°C Grado Extensión 0 a 100°C

Figura 37. Identificación termopares.  
Fuente: (West Instruments de México S.A., s.f.)

Hay algunos tipos de termopares que aún no están considerados por la simbología ANSI, estos termopares están compuestos por aleaciones de tungsteno y tungsteno-renio; son utilizados para medir altas temperaturas, son más económicos que los termopares hechos con platino y sus respectivas aleaciones, pero tienen usos limitados en ambientes oxidantes e inertes. En general, ofrecen algunos aspectos positivos como son:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- Dimensiones reducidas.
- Estabilidad a largo plazo.
- Económicos.
- Robustos, versátiles y fiables.

Algunas negativas como son baja sensibilidad y linealidad.

### IDENTIFICACIÓN DE UN TERMOPAR TIPO J Y K

Los termopares tipo J como se observa en la Figura 38, poseen un conductor de hierro que se puede oxidar rápidamente a temperaturas de 540°C y se puede reconocer por medio de un imán; este alambre es gris opaco, pero en ocasiones lo recubren con una capa de cobre para evitar su oxidación y otro conductor de constantano (cobre-níquel) levemente magnético pero se identifica mejor porque tiene una apariencia plateado brillante, poseen un rango de operación que va desde los 0°C hasta los 750°C.



Figura 38. Terminales termopar tipo J.  
Fuente: (Omega, 2003)

Los termopares tipo K como se observa en la Figura 39, poseen un conductor de cromel (cromo y níquel) y otro de alumel (níquel y aluminio), el cual se puede reconocer porque es levemente magnético; ambos conductores son de color plateado brillante, poseen un rango de operación que va desde los -200°C hasta los 1250°C.


	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



Figura 39. Terminales termopar tipo K.  
Fuente: (Labfacility, s.f.)

### 3.27. VÁLVULAS

Existen varios tipos de válvulas y se clasifican dependiendo su cuerpo y movimiento del obturador, pueden ser de movimiento lineal y de obturador rotativo.


#### VÁLVULAS DE MOVIMIENTO LINEAL

Como su nombre lo indica, este tipo de válvulas poseen un movimiento lineal por la manera en que se desplaza el vástago, el cual a su vez empuja el obturador mediante este movimiento.

#### VÁLVULA DE GLOBO

Como se observa en la Figura 40, se pueden encontrar de asiento simple, asiento doble y de obturador equilibrado; en el caso de las válvulas de asiento simple, estas contienen un dispositivo de accionamiento de mayor tamaño con el objetivo de garantizar el cierre del obturador; ya que, este tipo de válvulas trabajan en contra de la presión diferencial del proceso, por este motivo sólo se emplean cuando la presión del fluido es baja.

Las válvulas de doble asiento y de obturador equilibrado son empleadas en válvulas de gran tamaño y para trabajos de alta presión diferencial, pero en posición de cierre las fugas que presentan son mayores en comparación con las válvulas de asiento simple. La norma ANSI B 16.104-1976 indica que las fugas que entrega una válvula de simple asiento es del 0.1%

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

respecto al caudal máximo y de 0.5% en las válvulas de doble asiento; en el caso de las válvulas que contienen un obturador con anillo de teflón para garantizar un cierre hermético presentan un caudal de fuga de 1 a 40 burbujas de aire por minuto.

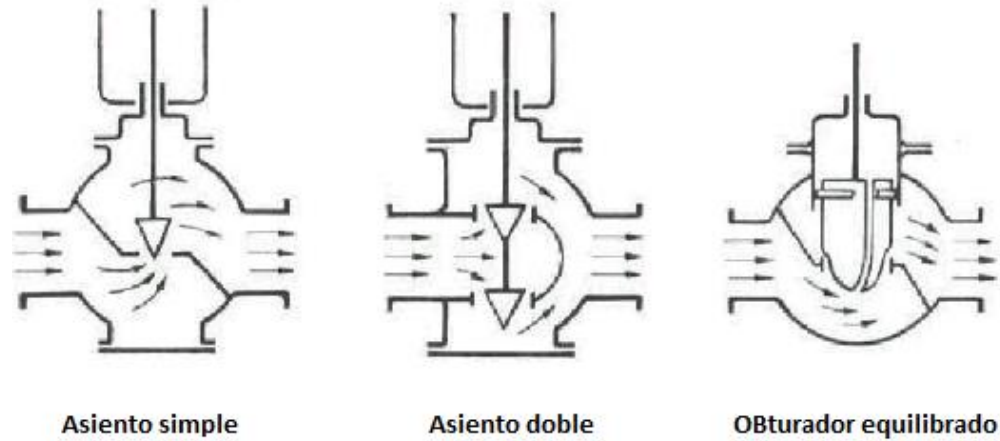


Figura 40. Tipos de válvulas de globo.  
Fuente: (Velásquez, 2005).

### VÁLVULA DE ÁNGULO

Esta válvula permite tener un flujo de caudal regular sin turbulencias excesivas, es ideal para trabajos que presenten una alta presión diferencial y para reducir las posibles erosiones que se puedan presentar por las características que posea el fluido que se esté manejando; el diseño de esta válvula como se observa en la Figura 41, es ideal para el control de fluidos que vaporizan, para el trabajo a presiones altas y para los fluidos que contienen sólidos en suspensión.

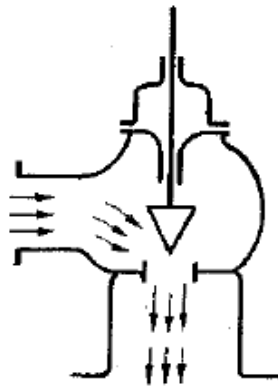



Figura 41. Válvula de ángulo.  
Fuente: (Creus, 1997).



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### VÁLVULA DE TRES VÍAS

Su diseño se observa en la Figura 42 y existen dos tipos. Las válvulas mezcladoras, como su nombre lo indica, son utilizadas para la mezcla de fluidos y las válvulas divisoras, las cuales al ingresar un flujo se obtienen dos flujos de salida. Las válvulas de tres vías son usualmente utilizadas en procesos de control de la temperatura como por ejemplo en intercambiadores de calor.

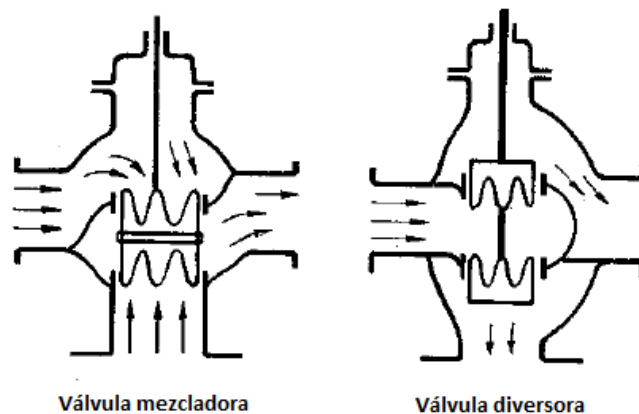


Figura 42. Válvula de tres vías.  
Fuente: (Creus, 1997).

Esta válvula es adecuada para trabajos de control todo-nada, ya que si se trabaja en posiciones intermedias presenta bloqueos; en comparación con las válvulas vistas hasta el momento, no consta de un obturador, como se observa en la Figura 43; su cierre lo realiza por medio de un disco plano. Una de sus ventajas, es que al momento de estar en apertura total presenta muy poca resistencia al flujo del fluido.

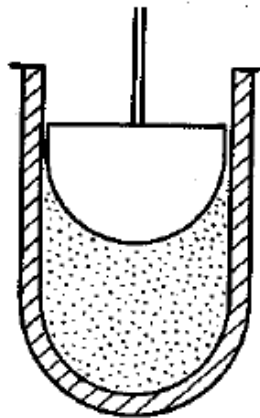



Figura 43. Válvula de compuerta.  
Fuente: (Creus, 1997).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### VÁLVULA EN Y

En la Figura 44 se puede observar su forma; este tipo de válvulas son muy utilizadas en instalaciones criogénicas, si está instalada en cierto ángulo de inclinación posee la característica de autodrenarse. Es ideal para trabajos de cierre por su baja pérdida de carga y para trabajos de control debido a que presenta una gran capacidad de caudal.

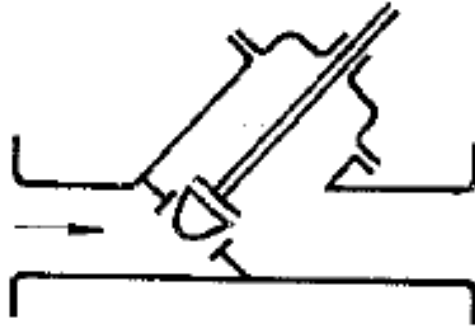


Figura 44. Válvula en Y.  
Fuente: (Creus, 1997).

### VÁLVULAS DE CUERPO PARTIDO

Esta válvula es una modificación de la válvula de globo de asiento simple; como se observa en la Figura 45, tiene el cuerpo partido en dos y entre ellas se encuentra su asiento. Brinda un flujo dócil del fluido sin espacios muertos, es muy utilizada para fluidos viscosos y en la industria alimenticia.

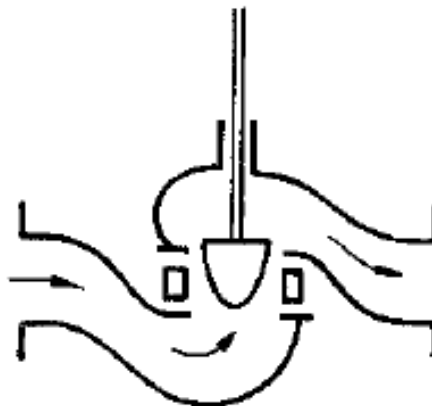



Figura 45. Válvula de cuerpo partido.  
Fuente: (Creus, 1997).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### VÁLVULAS DE COMPRESIÓN

Su funcionamiento se basa en la compresión en un área de la válvula de un elemento flexible, como por ejemplo un tubo de goma. Como se observa en la Figura 46, presentan un óptimo control de cierre parcial, siendo utilizadas principalmente para fluidos corrosivos, viscosos o que contengan sustancias sólidas en suspensión.

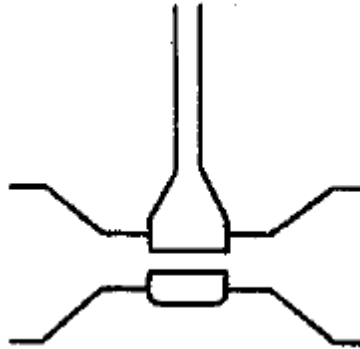


Figura 46. Válvula de compresión.  
Fuente: (Creus, 1997).

### VÁLVULAS DE OBTURADOR ROTATIVO

Como su nombre lo indica, este tipo de válvulas poseen un movimiento circular por la manera en que se desplaza su obturador.

#### VÁLVULA DE OBTURADOR EXCÉNTRICO ROTATIVO

Presenta un obturador de superficie esférica, el cual tiene un movimiento rotativo como se observa en la Figura 47 y va anclado al eje de rotación por medio de uno o dos brazos flexibles; este eje de rotación, sale del cuerpo de la válvula y puede ir conectado al eje de un servomotor. Tiene como característica una gran capacidad de caudal y además se puede obtener un cierre estanco por medio de aros de flexión instalados en el asiento.

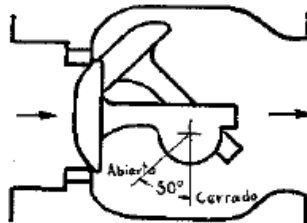



Figura 47. Válvula de obturador excéntrico rotativo.  
Fuente: (Creus, 1997).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### VÁLVULAS DE OBTURADOR CILÍNDRICO EXCÉNTRICO

Su obturador asienta contra el cuerpo cilíndrico de la válvula y consigue un cierre hermético debido a que en los asientos tiene un revestimiento de goma o teflón; como características principales se tiene su bajo costo, una capacidad de caudal alta y es ideal para trabajar con fluidos corrosivos y líquidos viscosos o que contenga sólidos en suspensión.

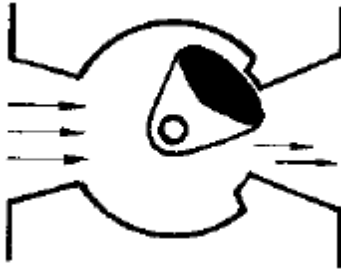



Figura 48. Válvula de obturador cilíndrico excéntrico.  
Fuente: (Creus, 1997).

### VÁLVULA DE MARIPOSA

Su cuerpo tiene forma de anillo cilíndrico y en su interior tiene un disco que gira de forma transversal como se observa en la Figura 49; presenta un cierre hermético debido a que en el cuerpo de la válvula lleva un anillo de goma, puede ser activada manualmente por una volante de maniobra o por medio de un servomotor. Al momento de hacer la selección de la válvula, es importante considerar las presiones diferenciales que presenta el sistema para las posiciones de apertura y cierre, ya que se necesitaría de una gran fuerza del actuador para accionar la válvula en caso de presentarse una caída de presión elevada. Este tipo de válvulas son empleadas para el control de grandes caudales a presiones bajas.



Figura 49. Válvula de mariposa.  
Fuente: (Creus, 1997).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### VÁLVULA DE BOLA

El cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica donde se ubica el obturador, el cual tiene forma de esfera y tiene un corte en “V” y gira transversalmente por medio de un servomotor; presenta un cierre estanco debido a que tiene un aro de teflón incorporado en el área que asienta el obturador cuando se cierra; es utilizada principalmente en caudal de fluidos negros o en fluidos con sólidos en suspensión. En la Figura 50 se puede observar que hay otro tipo de válvula de bola aparte de la ya mencionada y es la válvula de macho, la cual consiste en un obturador de forma cilíndrica con un orificio transversal igual al diámetro interior de la válvula; el obturador macho va ajustado al cuerpo de la válvula obteniendo un movimiento de 90°. Es utilizado para control manual todo-nada para líquidos o gases y para la regulación de caudal.

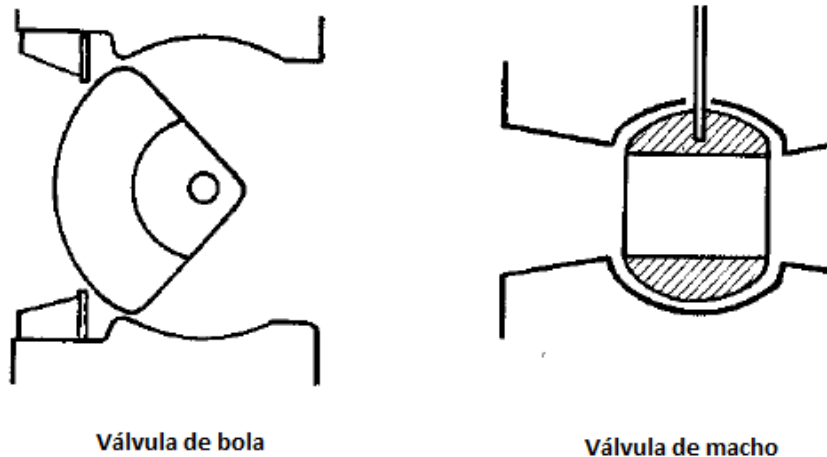



Figura 50. Válvula de bola.  
Fuente: (Creus, 1997).

### VÁLVULA DE FLUJO AXIAL

Son utilizadas en gases y su principal característica es su trabajo silencioso; su funcionamiento consiste en el accionamiento de un diafragma por medio de una señal neumática, este mueve un pistón el cual cumple la función de comprimir un fluido hidráulico hacia el obturador que está hecho de un material elastómero y así el obturador se expande para no permitir el paso del fluido, su representación gráfica se observa en la Figura 51.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

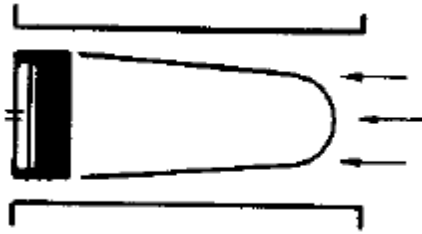


Figura 51. Válvula de flujo axial.  
Fuente: (Creus, 1997).

### 3.28. BOMBAS

Las bombas tienen una amplia aplicación en la industria y son las encargadas de generar el movimiento a los fluidos de determinado proceso de un lugar a otro, pasándolos así de un estado de baja presión estática a otro de mayor presión estática; este trabajo es realizado por medio del acoplamiento de un motor eléctrico, una turbina de vapor o un motor *diesel* que son los encargados de realizar el aumento de energía del fluido. La primera bomba conocida como se observa en la Figura 52, fue la descrita por Arquímedes en el siglo III a.C y se le conoce como tornillo de Arquímedes.

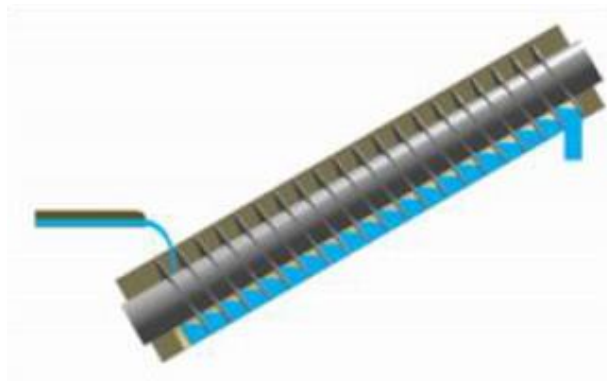



Figura 52. Primera bomba descrita por Arquímedes.  
Fuente: (Wordpress, 2008)

### TIPOS DE BOMBAS

Las bombas se encuentran según su principio de funcionamiento y las podemos clasificar en bombas centrífugas y de desplazamiento positivo.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## BOMBAS CENTRÍFUGAS

Este tipo de bombas son muy comunes en la industria y su trabajo se basa en el transporte de un líquido entre dos niveles o zonas, se pueden encontrar de varios tipos y esto depende del trabajo que la bomba vaya a realizar; las bombas centrífugas de flujo radial como se observa en la Figura 53, contienen un elemento llamado rodete, el cual internamente alberga unos álabes; esta parte de la bomba es accionada por medio de un motor que va anclado a la bomba por un eje y así se logra una fuerza centrífuga que se encarga de succionar el fluido por la tubería de aspiración de manera axial hasta encontrarse con el rodete, aumentado la velocidad y presión del fluido; la voluta cumple una función muy importante en la bomba y es la de recoger el fluido que sale del rodete y generar el cambio de dirección radial para generar la expulsión por la tubería y así transportar el fluido; estas son utilizadas para cargas altas y caudales pequeños. Algunas bombas poseen una corona directriz de álabes los cuales se encargan de guiar el fluido antes de introducirlo en la voluta.

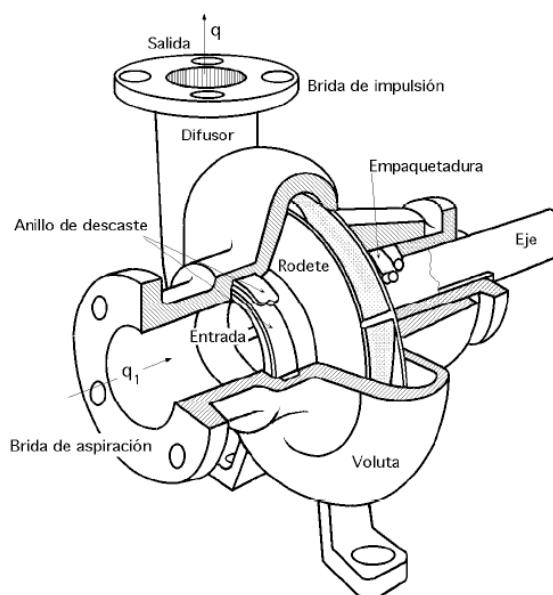



Figura 53. Componentes de una bomba centrífuga de flujo radial.

Fuente: (Fernández, s.f.)

En este tipo de bombas también se pueden encontrar de flujo axial, como se observa en la Figura 54; las cuales, son utilizadas para cargas pequeñas y caudales grandes, a diferencia de la bomba de flujo radial, no contiene rodetes si no una hélice, que por medio de un eje va anclada a un motor eléctrico y así se impulsa el fluido hacia la tubería de salida.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

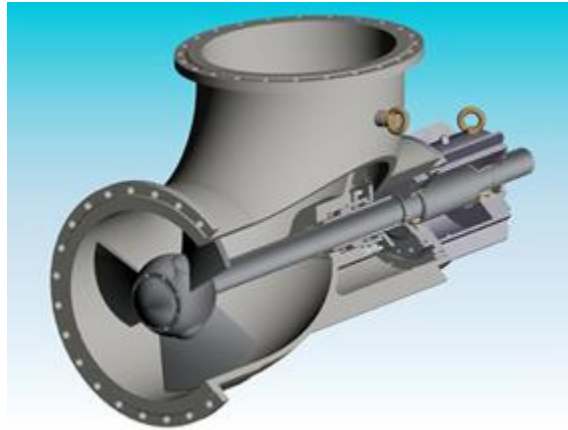


Figura 54. Bomba centrífuga de flujo axial.  
Fuente: (Weirminerals, 2008)

Las bombas centrífugas de flujo mixto se caracterizan por darle al fluido velocidades axiales y radiales; además, se caracterizan por transportar líquidos con sólidos en suspensión. Estas bombas se pueden clasificar según su eje de rotación como lo es horizontal o vertical (bombas de pozo profundo), por su tipo de succión que puede ser simple o de doble succión, por el impulsor (rodete) cerrado, semi-cerrado o abierto como se observa en la Figura 55; también, por el número de impulsores (rodete) de una etapa con el cual se pueden alcanzar presiones de hasta 5 atm o multi-etapa con el cual se alcanzan presiones de 25 atm.

Es importante tener presente el cebar la bomba antes de comenzar a trabajar con ella, esto consiste en llenar la cámara de líquido para que el aire que se encuentra interno en la bomba no afecte la operación reduciendo su eficiencia, esto se puede lograr con bombas de vacío.




	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27




Figura 55. Tipos de impulsores para bombas centrífugas.  
Fuente: (Quintero y Martínez, 2012).

## BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Este tipo de bombas también conocidas como volumétricas se diferencian de las centrífugas por su sistema de impulsión del fluido como se observa en la Figura 56; ya que para este tipo de bombas se genera por medio de pistones, diafragmas, tornillos, entre otros; se caracterizan por ser utilizadas en trabajos industriales que demanden bajos caudales y presiones muy altas, poseen la ventaja de trabajar a bajas velocidades y el caudal entregado no depende de la presión de descarga.

Su funcionamiento se basa en el paso periódico del fluido desde la tubería de aspiración hacia la tubería de descarga, el cual es controlado por unas válvulas automáticas, generando un aumento de la presión; además, posee una característica muy importante y es que son bombas autocebantes; esto quiere decir que, si al momento que comenzar el trabajo la bomba internamente no tiene líquido, puede generar una presión interna capaz de succionar el fluido de la tubería de aspiración. Generalmente van acopladas a un motor eléctrico y este movimiento giratorio es transformado en uno oscilatorio.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

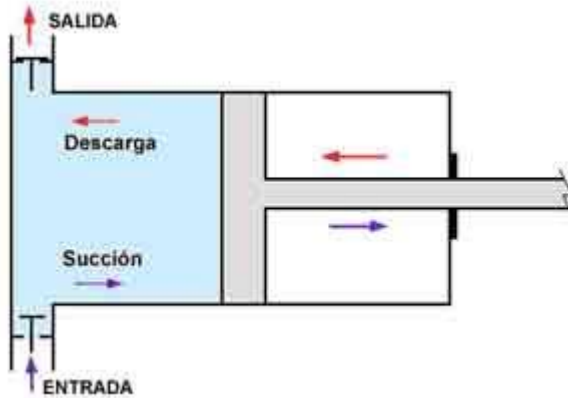


Figura 56. Bomba de desplazamiento positivo de pistón.  
Fuente: (Ingeniería civil, 2011)

### BOMBAS ALTERNATIVAS

El trabajo de aspiración del fluido es realizado por medio de un pistón o diafragma, elemento que se encarga de generar un vacío en la cámara de la bomba y así succionar el fluido; se utiliza para presiones altas y caudales bajos, poseen válvulas de aspiración y descarga, además de una válvula de seguridad que actúa en el caso que la válvula de descarga falle. En la Figura 57 se puede observar una bomba alternativa que trabaja con diafragma; este tipo de bombas, presentan una gran ventaja y es la ausencia de fugas, el movimiento del diafragma se genera por medio de una biela, la cual va acoplada a un cigüeñal y todo este conjunto trabaja por medio de un motor.

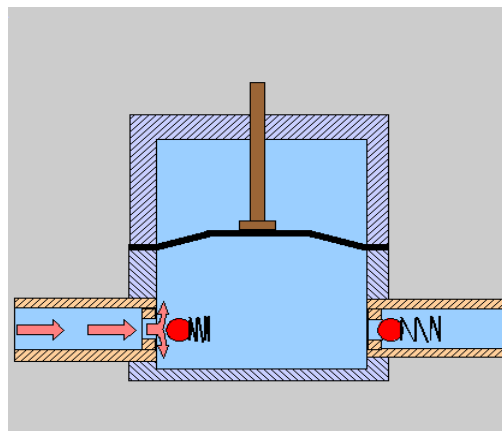



Figura 57. Bomba alternativa de diafragma.  
Fuente: (Sabelotodo ORG, s.f.)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Al momento de generarse el movimiento del diafragma cuando el fluido es aspirado se abre la válvula de succión mientras la válvula de impulsión permanece cerrada e invirtiendo el movimiento de las válvulas al momento de la impulsión del fluido; este tipo de bombas son utilizadas para el transporte de líquidos corrosivos y que tengan suspensiones de sólidos abrasivos.

En las bombas de pistón el fluido es desalojado por este, y su movimiento se genera a partir de un mecanismo de biela como se observa en la Figura 58 y este sistema a su vez va acoplado a un motor. Cuando este sistema lleva media vuelta, el fluido se impulsa y al realizar la otra media vuelta el fluido es aspirado hacia la cámara de la bomba.

Contiene válvulas de aspiración y de impulsión presentando un trabajo similar a la bomba de diafragma; cuando se está llenando del fluido la cámara de la bomba, la válvula de aspiración permanece abierta y la de impulsión cerrada, caso invertido cuando la bomba está impulsando el fluido; cabe agregar que el cierre y apertura de las válvulas para este tipo de bombas expuestas (diafragma y pistón) se abren por la acción del gradiente de presiones y se cierran por su propio peso o por la acción de algún mecanismo de muelle.

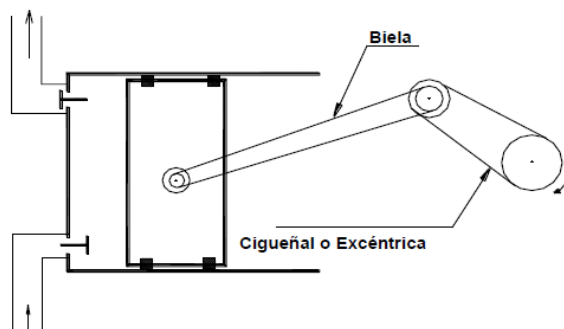



Figura 58. Bomba alternativa de pistón de simple efecto.  
Fuente: (IMFIA, 2009).

También existen bombas de pistón de doble efecto, como se observa en la Figura 59, presentando menor irregularidad que una bomba de simple efecto, ya que al generarse un giro completo del sistema de accionamiento se generan dos carreras útiles; esto quiere decir que se aprovechan los dos lados del pistón y hacia el lado del vástago se disminuye el volumen de bombeo en una de sus acciones; además, que requiere un sistema de sellos o empaquetaduras para evitar fugas del fluido.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

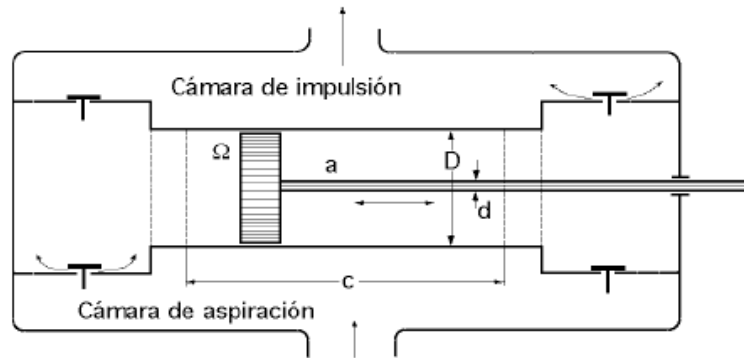


Figura 59. Bomba alternativa de pistón de doble efecto.  
Fuente: (Fernández, s.f.)


### 3.29. SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO INDUSTRIAL

Los sistemas de control automático son definidos como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema; su finalidad es la de conseguir mediante la manipulación de las temperatura, humedad, viscosidad y flujo en industrias de procesos, (Ogata, 1998).

El control industrial es fundamental para el manejo de los procesos de producción en las plantas industriales; está comprobado que los sistemas de automatización mejoran el aumento de productividad en todo el proceso a medida que se haga un uso eficiente de los equipos y los sistemas que los asocian.

Hasta hace algunos años era difícil la implementación de la tecnología de control automático, en especial en los procesos industriales complejos; actualmente a las empresas y profesionales responsables de los sistemas de control, les exigen estar actualizados en los equipos, sistemas de instrumentación y control de última generación para mejorar en sus plantas los procesos.

La capacidad del sistema de supervisión para monitorear las variables a controlar, tiene como resultado una operación más eficiente que la sencilla operación manual. En este esquema la simple medición de la temperatura de agua fría, y su comparación con un valor de *SETPOINT* establecido, determina si se necesita más o menos caudal de agua. El modo de control puede ser eficiente o ineficiente, dependiendo de los elementos finales que se posea para regular el caudal de aire. La estrategia de control podría implementarse en

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

varios niveles desde un software asesor para el operador, pasando por un control por PC, hasta un PLC que comande el funcionamiento de la torre.

Un sistema de control automático debe ser capaz de:

- Garantizar la estabilidad y ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos
- Reducir la variable de un proceso
- Ser tan eficiente como sea posible mejorando la calidad y producción
- Ser fácil de implementar y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

En términos más técnicos, los objetivos se pueden identificar como entradas o señales actuantes, los resultados también se llaman salidas o variables controladas. En general, el objetivo de un sistema de control es controlar las salidas en alguna forma prescrita mediante las entradas a través de los elementos del sistema.

#### ELEMENTOS BÁSICOS DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO

- **Sensores:** permite conocer los valores de las variables medidas del sistema
- **Controlador:** calcula la acción que debe aplicarse para modificar los valores de control en base a ciertas estrategias utilizando los valores determinados por los sensores.
- **Actuador:** ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

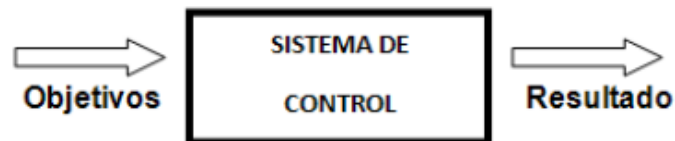



Figura 60. Componentes básicos de un sistema de control.  
Fuente:(Kuo, 1996).

Existen dos tipos de estrategias utilizadas para calcular acción de control del sistema.

#### Sistema de control lazo abierto:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Donde la acción del controlador no se relaciona con el resultado final, (los sistemas de lazo abierto la señal de salida no tiene influencia sobre la entrada), lo que significa que no hay retroalimentación hacia la entrada para que este pueda ejecutar la acción de control.

Se puede dividir en dos partes: el controlador y el proceso controlado, una señal de entrada o comando se aplica al controlador cuya salida actúa como señal actuante; la señal actuante controla el proceso controlado de tal forma que la variable controlada se desempeñe de acuerdo con estándares preestablecidos. El controlador también puede ser amplificador, unión mecánica, filtro u otro elemento en casos simples.

#### **Sistema de control en lazo cerrado:**

Se utiliza la retroalimentación desde un resultado final para ejecutar la acción de controlar la señal de salida; tiene influencia sobre la entrada, es decir, que si existe una desviación entre la salida real y la deseada; el autómata realiza los ajustes necesarios para aproximarlas lo más posible, ya que aquí si existe realimentación de información.

Este tipo de estrategia de control puede aplicarse sea cual sea la variable controlada. Para tener un control más exacto, la señal controlada debe ser retroalimentada y comparada con la entrada de referencia, y se debe enviar una señal actuante proporcional a la diferencia de la entrada y la salida a través del sistema para corregir el error, (García Moreno, 1999).


### **ESTRATEGIAS TÍPICAS DE CONTROL**

#### **Control realimentado:**

Es la forma más simple de aplicar un control en lazo cerrado, se mide en la salida del lazo o circuito y luego se actúa sobre el dispositivo de salida. Este tipo de control presenta un problema, cuando se presenta el problema se procede a realizar la corrección y una cantidad de producto no lleva la calidad deseada porque la corrección llega un tiempo tarde.

#### **Control por relación o razón de flujo:**

Su función es controlar el flujo o volumen de una variable en función de otra; se utiliza por lo general a dos cantidades de flujo, al efectuar mezclas entre productos se debe tener una razón de medida entre los productos en el controlador general, utilizando 2 sensores y 1 actuador. Sobre la línea de fluido libre se mide la cantidad de fluido existente en velocidad o volumen, ese valor es enviado al controlador que contiene un factor multiplicador o

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

divisor. Esta señal es enviada sobre otra línea de la válvula de control con flujo proporcional al valor censado.

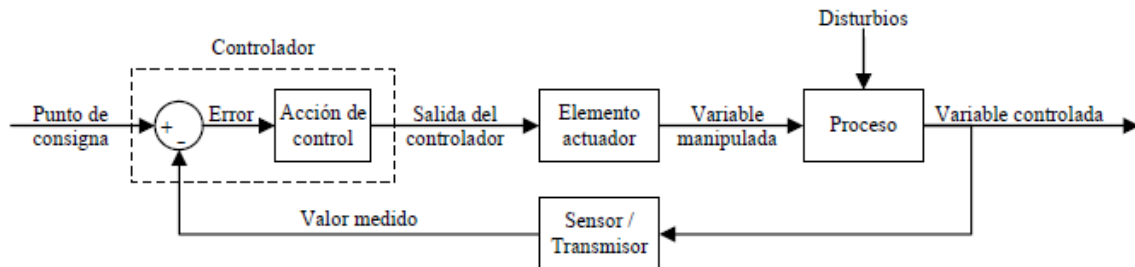


Figura 61. Diagrama de bloques de un sistema de control realimentado.  
Fuente: (Richmond, 2009)

### Controladores en serie o cascada:

Este control mejora la estabilidad de una variable del proceso aún con una óptima sintonización del controlador en lazo realimentado; para la variable principal existe un controlador y otra para la variable secundaria, la idea general es analizar y mejorar la dinámica de la variable manipulada en perjuicio de la variable principal.

Cuando la variable no puede mantenerse dentro del valor de *set point* deseado, es conveniente la aplicación de esta técnica de control debido a las perturbaciones del proceso.

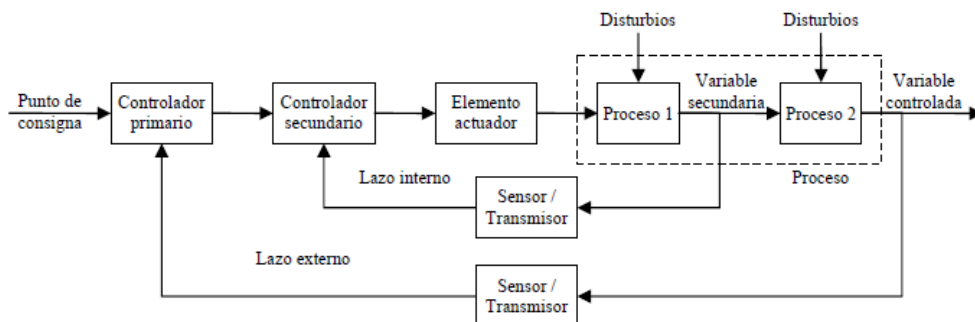



Figura 62. Diagrama de bloques de un sistema en cascada.  
Fuente: (Richmond, 2009)

### Control anticipativo:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

La aplicación de esta técnica parte de la medición de una o varias señales de entrada y actúan simultáneamente sobre la variable de entrada, produciendo la salida deseada sobre el proceso. Se debe tener un conocimiento amplio, exacto de las características dinámicas del proceso al momento de aplicar esta técnica de control. Esta técnica de control es costosa y algunas veces es imposible determinar y duplicar el modelo exacto del proceso, siendo realmente un control en lazo abierto. Este puede presentar un error estático considerable; por tal motivo, regularmente es combinado con el control realimentado.

#### **Control selectivo:**


Al utilizar este control selectivo se debe ejercer sobre dos variables de un proceso relacionados entre sí, de tal manera que una pueda ser controlada por la misma variable manipulada. Se puede controlar por una sola acción (variable manipulada), debe existir la posibilidad de transferir el mando de uno de los lazos de control al otro cuando las complicaciones de funcionamiento así lo exijan.

La transferencia del mando se logra conectando la salida de los dos controladores a un *switch* selector de la más baja, LSS, o de la más alta, HSS, de dos señales cuya salida está conectada al elemento final.

#### **Control por actuadores en paralelo:**

Cuando se necesita alcanzar rápidamente el valor *set point*, se incorporan varios dispositivos de salida (actuadores) al proceso, al momento que el controlador determina que el parámetro controlado necesita corregirse ordena a todos o algunos de los actuadores a corregir el problema, (García Moreno, 1999).



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

## METODOLOGÍA

El presente trabajo de grado se desarrolló gracias a la colaboración, motivación y asesoría de las siguientes personas e instituciones: Jorge Andrés Giraldo, gerente de la empresa Postelectras Dishierros S.A, quien permitió acceder a las instalaciones y estudiar el sistema de enfriamiento de las trefiladoras de alambre. Fue necesario recurrir a los Ingenieros Norma Guarnizo, María Vilma Buitrago y Carlos Londoño, docentes de acondicionamiento de señales, termodinámica y mecánica de fluidos respectivamente, de la institución universitaria ITM. Además, se solicitó la ayuda de proveedores y profesionales en el tema para consultar acerca de las inquietudes que se presentaron en el desarrollo de los objetivos. Adicionalmente, el ITM facilitó sus recursos físicos y bases de datos como material de consulta.

El diseño y automatización de la torre de enfriamiento se realizó a través del levantamiento de información, a partir de la cual se elaboró un programa de PLC que permitió controlar el sistema de refrigeración de las trefiladoras y redistribución de la red de tuberías, disminuyendo la longitud de las mismas, además de accesorios y cantidad de bombas; lo anterior se puede observar en el esquema de la distribución propuesto.

Se organizó el trabajo en tres etapas principales; comenzando por el estudio del sistema actual y analizando el consumo de los recursos hídricos, energéticos y por tanto, económicos. Posteriormente, se estableció la estrategia de control que mejor se adaptó a las necesidades del sistema, mediante un sistema en lazo abierto (sistema no realimentado), proponiendo los accesorios, equipos e instrumentación adecuada para automatizar el funcionamiento de la torre.

Finalmente, se propuso un diseño del sistema de distribución de agua que permitiera disminuir la longitud y con ello, las pérdidas por exceso de accesorios.

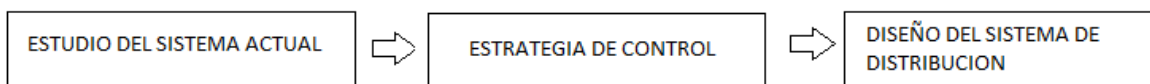



Figura 63. Metodología.

Fuente: (Elaboración propia).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

#### **4.1. ANALISIS INICIAL DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO**


Debido al alto consumo de recursos hídricos y energéticos en la empresa Postelectras Dishierros S.A, utilizados en el proceso de enfriamiento de las máquinas trefiladoras de aceros; se evidenció tanto en el funcionamiento de la torre como en las líneas de distribución, la necesidad permanente de un encargado de mantenimiento para la vigilancia del sistema, accionamiento de válvulas de paso para el suministro de agua de Empresas Públicas de Medellín, nivel de agua del tanque, revisar sistemas eléctricos, interruptores, contactores y el buen funcionamiento de las bombas.

En esta primera fase, se realizaron mediciones del consumo del agua del sistema actual todos los días durante un mes a través de la inspección del contador de agua de la empresa; las cuales se presentarán en el capítulo 4 de este trabajo. Con esto, se logró percibir que no hay un aumento considerable en el consumo de agua cuando falla el suministro eléctrico; las bombas centrifugas se des-energizan, ocasionando que toda el agua que se encuentra en las líneas de distribución retorne hacia el tanque de la torre por diferencia de alturas, haciendo que se derrame el líquido, ya que el sistema no cuenta con válvulas de seguridad para evitarlo; el volumen almacenado en la tubería es de  $0,6 \text{ m}^3$  que se derrama por rebose, en comparación con los  $131 \text{ m}^3$  de consumo mensual de la empresa.

En las empresas, gran parte de los esfuerzos y recursos están enfocados a mejorar la producción y la calidad de sus productos; por lo cual, invierten en equipos y maquinaria sin tener en cuenta el alto costo de funcionamiento de las torres de enfriamiento, debido al mal diseño y operación de las mismas. El aumento de los beneficios y el ahorro de energía mediante el uso de una torre de refrigeración debidamente diseñada o rediseñada debería ser el esfuerzo de los ingenieros para mejorar la producción y disminuir el impacto en el medio ambiente, (Burger, 1996).

#### **4.2. ESTRATEGIA DE CONTROL**

Para evitar el continuo despilfarro del agua y brindar un sistema de enfriamiento automático, se propuso controlar mediante un sistema en lazo abierto (sistema no realimentado), debido a que la señal de salida no influencia sobre la entrada; en otras palabras, cuando el sistema se des-energiza el controlador manda la señal al actuador de cerrarse para evitar

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

mal gastar el agua, en nuestro caso es la válvula anti-retorno. A continuación se describe cada uno de los elementos a programar y como intervienen en la red de enfriamiento para corregir y mejorar el funcionamiento de la misma, las características técnicas de cada uno de los actuadores y sensores se especifican en el marco teórico.

#### **Controlador lógico programable (PLC):**

El plc previamente programado con la secuencia lógica deseada, nos permite controlar las válvulas y los motores de las bombas centrifugas y el ventilador, mediante elementos de entrada como pulsadores, sensores dispuestos en el circuito de tuberías de la torre de enfriamiento, el plc realizará las acciones programadas.

#### **Electroválvula suministro de agua (EV):**


El depósito de agua de la torre debe permanecer en su nivel máximo para garantizar un buen rendimiento de las bombas y un caudal suficiente para que las máquinas trefiladoras no eleven su temperatura; ya que, si esto sucede, las propiedades mecánicas del alambre varían y por lo tanto, la calidad del producto. Actualmente es necesario que un operador de mantenimiento se encargue de abrir y cerrar la válvula de paso tipo bola para mantener el nivel del tanque; en la reforma se propone cambiar esta válvula manual por una electroválvula o solenoide, que dará paso o no al agua y la señal de activación dependerá de los sensores de nivel del tanque según en la posición que se encuentren.

#### **INTERRUPTOR DE PRESIÓN (IP)**

Será utilizado para medir la presión del agua que entrega la bomba centrifuga hacia el proceso, este instrumento de medición es utilizado solo para lectura y verificación de la presión de salida, no controla el *set point* de presión entregada, para este proceso es necesario un transductor de presión, el cual se menciona para futuras mejoras en este sistema.

#### **CONTROLADOR DE NIVEL CON ELECTRODOS POR CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (S1):**

Como el nivel del agua se controla de manera manual, no es una forma confiable de mantener dicha cantidad de agua en el tanque por la misma disponibilidad de ese recurso humano; en consecuencia, se propone instalar un controlador de nivel con electrodos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

El conjunto de electrodos son tres varillas que se ajustan de la siguiente manera: una varilla deberá de tener la longitud hasta donde se considere el nivel máximo, otra deberá de tener la longitud hasta donde se considere el nivel mínimo, la tercera varilla actúa como referencia de las otras dos. En condiciones normales de operación la válvula de suministro de agua actuará cuando el líquido deje de mojar la varilla de nivel mínimo y se desactivará cuando el líquido moje la varilla de nivel máximo.


#### **CONTROL DE BOMBAS CENTRÍFUGAS:**

El sistema actual necesita tener disponibles dos bombas en funcionamiento durante toda la jornada laboral. Para garantizar la presión necesaria en toda la red, otras dos bombas en paralelo se habilitan de forma manual cada vez que falla el sistema hasta que la persona encargada de mantenimiento identifique que la presión en la red de agua bajó, y no es la suficiente para mantener el proceso productivo; esto ocurre cada vez que el sistema eléctrico de suministro sufre bajones de tensión, ya que esto es muy común en la zona donde opera la empresa. También, estas dos bombas de respaldo se utilizan en el momento en que se van a intervenir mecánicamente para realizar mantenimientos preventivos; con el PLC se implementará un control de bombas manual y automático, para que el personal operativo tenga la opción de la manipulación de las bombas en ambos casos; el manual será el actual instalado con pulsadores *start-stop*, en modo automático, el control lógico programable activará de modo consecutivo, las bombas centrífugas intercalando la activación de las bombas cada 24 horas; esto con el fin de que la carga de la red no la sufra una sola bomba y así mantener el rendimiento máximo de la red de agua.

#### **SENSOR DE FLUJO TIPO PALETA:**

Este elemento será el encargado de garantizar que efectivamente el agua sí esté en circulación por toda la red; en ese momento, la red de enfriamiento es activada por un operario de mantenimiento.

Como el lugar de la ubicación de la torre es muy distante respecto a la planta de producción, el operario no estará enterado si el fluido si está llegando con la presión y el caudal necesario a cada una de las trefiladoras de alambre; el sensor de caudal confirmará que efectivamente el agua si esté en circulación por toda la red, mientras el interruptor de presión mide constantemente que se mantenga la presión de trabajo; en este caso, si la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

presión disminuyera de la deseada, sería necesario programar un control que manipule la velocidad de las bombas para aumentarla hasta el punto que se logre el *set-point*, en este trabajo no está contemplado esta programación y dará lugar a futuras mejoras en este sistema.

#### **Válvula de recirculación tipo mariposa actuador neumático (VA):**

La red de enfriamiento no cuenta con ningún dispositivo de seguridad para evitar que el agua almacenada en la tubería se derrame por rebose cada vez que ocurre un apagón o un bajón en la tensión de la energía; como esto es muy común en la zona o por paro de fines de semana, se pretende controlar la pérdida del líquido mediante una electroválvula con actuador neumática instalada en la vía de retorno. La válvula estará en posición abierta cada que se energicen las bombas centrífugas y estará en posición cerrada cada vez que las bombas centrífugas no estén en funcionamiento; de esta forma, se evitará que el agua se devuelva a la torre por diferencial de altura y quede atrapada dentro de la tubería.


#### **Válvula anti-retorno tipo mariposa actuador neumático:**

Tal como se describió anteriormente, se requiere otra válvula que contenga el agua que está en la línea de impulsión de las bombas, en caso de faltar el fluido eléctrico.

#### **Sensor de temperatura pt 100 (ST):**

Una torre de enfriamiento de tiro inducido cuenta con su sistema de ventilación constantemente en funcionamiento; cada vez que la torre entra en funcionamiento, en la empresa metalmecánica donde se propone realizar la mejora (Postelectras S.A), se labora en jornada continua las 24 horas del día; es decir que este mismo tiempo es el funcionamiento de la red de enfriamiento.

Se evidenció de forma notoria que en la noche no es necesario tener el ventilador de la torre en funcionamiento, porque la temperatura en estas zonas rurales es muy baja debido a la vegetación y demás agentes naturales que hacen que el clima sea más frío. Por lo anterior, surge la idea de instalar un control de temperatura con un sensor al agua de

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

retorno a la torre, para controlar de forma automática el funcionamiento del ventilador de la torre, y esta se comportaría en ese momento como una torre de circulación natural hasta el momento que no tenga la capacidad de extraer el calor suficiente y sea necesario entrar en funcionamiento nuevamente el ventilador para mantener así la temperatura deseada.

### 4.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

### 4.4. MÉTODO DE SELECCIÓN DE BOMBAS CENTRÍFUGAS


Realizando un contraste entre el sistema actual y el propuesto, se pretende demostrar si las bombas instaladas son las adecuadas, o por el contrario, sobredimensionadas. Teniendo en cuenta que el sistema actual cuenta con dos bombas centrifugas de 1.5 Hp cada una y para el sistema propuesto se mejorarán las líneas de distribución de impulsión, recortando la distancia un 56,6% y utilizando el 70% menos de accesorios que en el sistema actual, de tal forma que se pueda emplear una sola bomba centrifuga de 1.5 Hp.

Siguiendo unos simples pasos de un proveedor de bombas centrifugas llamado ESPA se puede determinar fácilmente las características de la bomba requerida para el sistema. Para lo cual, es necesario identificar los siguientes términos de la siguiente ecuación:

$$\begin{array}{l}
 \text{Altura manométrica total} \\
 \text{=} \\
 \text{Altura geométrica +} \\
 \text{Pérdidas de carga totales} \\
 \text{=} \\
 \text{Altura de impulsión +} \\
 \text{Altura de aspiración +} \\
 \text{Pérdidas de carga totales}
 \end{array}$$

Figura 64. Formula guía para cálculo de pérdidas.  
Fuente: (ESPA, 2012)

**Altura manométrica total:** la altura manométrica de la instalación es la altura total de elevación del líquido. La suma de la altura de aspiración ( $H_a$ ), más la altura de impulsión ( $H_i$ ), se denomina altura geométrica ( $H_g$ ). Esta última sumada a las pérdidas de carga es la altura manométrica ( $H_m$ ).

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

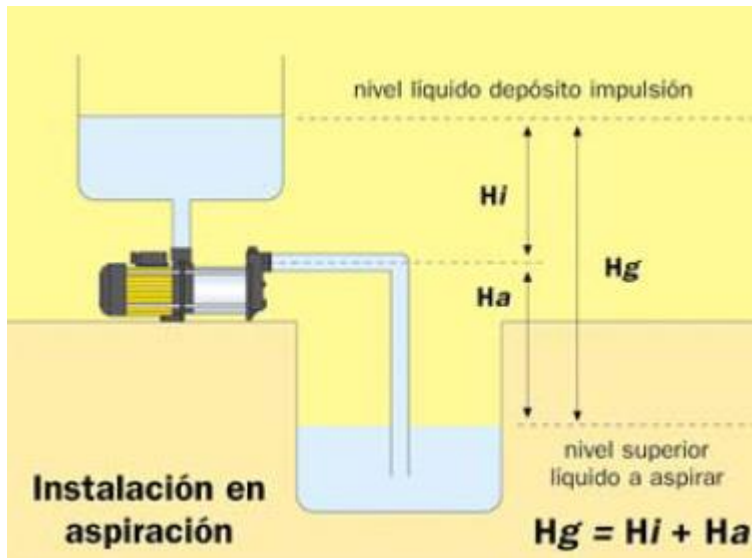


Figura 65. Esquema de un sistema de bombeo  
 Fuente: (ESPA, 2012)

**Pérdidas de carga:** son las pérdidas de altura del líquido por rozamiento con tubería. Estas pérdidas aumentan con la rugosidad, longitud de la tubería y el caudal que pasa por ella; se reducen si aumenta el diámetro de tubería. También contribuyen a aumentar las pérdidas de carga de los obstáculos, como reducciones, ampliaciones, válvulas o codos (pérdidas singulares).

**Se establece que las pérdidas de carga debidas a codos de 90° equivalen a 5 metros lineales de tubería y las debidas a válvulas a 10 metros.**

Según lo anterior, se recomienda no sobrepasar unas pérdidas de carga del 4% (datos de la tabla 1). Especialmente para favorecer el trabajo de la bomba, se recomienda instalar una tubería de diámetro superior en el lado de la aspiración, (ESPA, 2012).

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


Litros por Hora	En diámetros interiores de tuberías en mm											
	14	19	25	32	38	50	63	75	89	100	125	150
	Metros manométricos por cada 100 metros de recorrido horizontal recto											
500	8.9	2.1	0.6									
800	20.2	4.7	1.1	0.4								
1000	29.8	7	1.9	0.5								
1500		14.2	3.9	1.2	0.5							
2000		23.5	6.4	2	0.9							
2500			9.4	2.9	1.3	0.4						
3000			13	4	1.8	0.5	0.2					
3500			17	5.3	2.3	0.6	0.2					
4000			21.5	6.6	2.9	0.8	0.3	0.1				
4500				8.2	3.6	1.0	0.3	0.1				
5000				9.8	4.3	1.2	0.4	0.2				
5500				11.6	5.1	1.4	0.5	0.2				
6000				13.5	6	1.6	0.5	0.2				
6500				15.5	6.9	1.9	0.6	0.3				
7000				17.7	7.8	2.1	0.7	0.3				
8000				22.4	9.9	2.7	0.9	0.4	0.2			
9000					12.1	3.3	1.1	0.5	0.2			
10000					14.6	4	1.3	0.6	0.3	0.1		
12000					20.1	5.5	1.8	1.8	0.4	0.2		
15000					29.7	8.1	2.7	1.2	0.5	0.3		
18000						11.1	3.7	1.6	0.7	0.4	0.1	
20000						13.3	4.5	1.9	0.9	0.5	0.2	
25000						19.7	6.6	2.9	1.3	0.7	0.3	
30000							9	4	1.8	1	0.3	0.1
35000							11.8	5.2	2.3	1.3	0.5	0.2
40000							15	6.5	2.9	1.7	0.6	0.2
45000							16.4	8	3.6	2	0.7	0.3
50000								9.7	4.3	2.5	0.9	0.4

Tabla 1. Tabla de pérdidas de carga en las tuberías de PVC.

Fuente: (ESPA, 2012)

En la tabla 1 se observan las pérdidas por carga, debido al caudal requerido por las trefiladoras, 10000 L/h, y por el diámetro de las tuberías de aspiración e impulsión, entonces: para un caudal de 10000 L/h y un diámetro de 50mm las pérdidas por carga son 4 metros por cada 100 metros de recorrido horizontal recto en las tuberías de impulsión. Y para un caudal de 10000 L/h y un diámetro de 100mm las pérdidas de carga son 0.1 metros por cada 100 metros de recorrido horizontal recto en las tuberías de aspiración.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

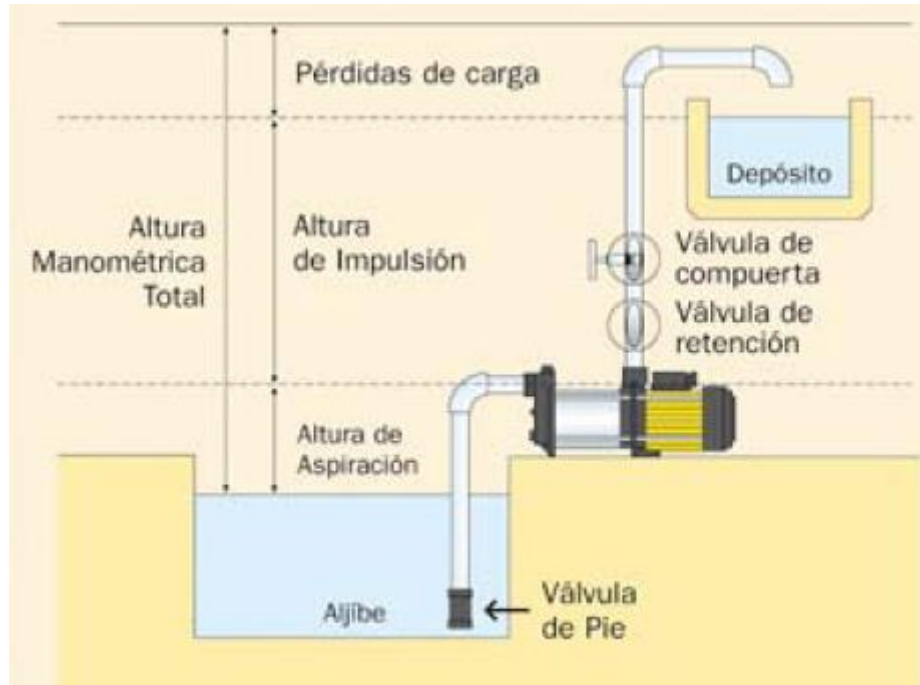


Figura 66. Referencias en un sistema de bombeo.  
Fuente: (ESPA, 2012)

Para seleccionar una bomba centrífuga, es necesario conocer el caudal y calcular la altura manométrica total; según figura 88, las unidades de la altura manométrica total están dadas en m.c.a, (metros de columna de agua), la cual es una unidad de presión que equivale a la presión ejercida por una columna de agua pura de un metro de altura. Su símbolo es m.c.a. o mca. El caudal requerido por las trefiladoras es de 10000 L/h.



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



Figura 67. Altura de impulsión.  
Fuente: (propia).

A continuación, se realiza un contraste de los parámetros entre los dos sistemas siguiendo el método de selección de bombas centrífugas marca ESPA antes descrito:

Datos generales	Sistema actual	Sistema propuesto
Caudal requerido de las trefiladoras (L/h)	10000	10000
Altura geométrica (Hg)= altura de aspiración (Ha) + Altura de impulsión (Hi)	$H_a = 0m, \text{ esta al mismo nivel de la bomba}$ $H_i = 4m$ $H_g = 4m$	$H_a = 0m, \text{ esta al mismo nivel de la bomba}$ $H_i = 4m$ $H_g = 4m$
Recorrido total de tubería (m) (impulsión y aspiración)	93.2	52.8
Diámetro interior de la tubería.	2" = 50.8mm	2" = 50.8mm
<b>Características de la aspiración</b>		
Altura de aspiración (Ha)	$H_a = 0m, \text{ esta al mismo nivel de la bomba}$	$H_a = 0m, \text{ esta al mismo nivel de la bomba}$
Longitud de tubería 4" (m)	4	2
Nº de válvulas de 4"	4	2
Nº de codos de 4"	2	1
Nº de te de 4"	2	1
Pérdidas de carga 4" (m)	40	20

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Longitud equivalente = Longitud de tubería 4" + Pérdidas de carga 4"	$4 + 40 = 44$	$2 + 20 = 22$
Según la tabla 7, para un diámetro 4"=100mm corresponde 0.1 por cada 100 metros, se realiza la siguiente operación.	$\frac{0.1 \times 40}{100} = 0.04 \text{ m.c.a}$	$\frac{0.1 \times 22}{100} = 0.022 \text{ m.c.a}$
<b>Características de la impulsión</b>		
Altura de impulsión (Hi)	$Hi = 4m$	$Hi = 4m$
Longitud de tubería 2" (m)	89.2	50.8
Nº de válvulas de 2"	2	1
Nº de codos de 2"	15	3
Nº de te de 2"	2	1
Pérdidas de carga 2" (m)	95	25
Longitud equivalente = Longitud de tubería 2" + Pérdidas de carga 2"	$89.2 + 95 = 184.2$	$50.8 + 25 = 75.8$
Según la tabla 6, para un diámetro 2"=50mm corresponde 4 por cada 100 metros, se realiza la siguiente operación.	$\frac{4 \times 184.2}{100} = 7.36 \text{ m.c.a}$	$\frac{4 \times 75.8}{100} = 3.03 \text{ m.c.a}$
Realizando la siguiente operación: Altura manométrica total = Altura de aspiración + Altura de elevación + Pérdidas de carga en la aspiración + Pérdidas de carga a la impulsión		
Altura manométrica total=	$0 + 4 + 0.04 + 7.36$ <b>= 11.4 m.c.a</b>	$0 + 4 + 0.022 + 3.03$ <b>= 7.05 m.c.a</b>
<b>RESULTADO</b>	Para el sistema actual se debe de seleccionar una bomba que eleve 10000 L/h a una altura de <b>11.4 m.c.a</b> , con un motor de potencia de 0,25 hp.	Para el sistema propuesto se debe de seleccionar una bomba que eleve 10000 L/h a una altura de <b>7.05 m.c.a</b> , con un motor de potencia de 0,25 hp.

Tabla 2. Comparación de parámetros bombas centrífugas.

Fuente: (elaboración propia).

#### 4.5. DISTRIBUCIÓN DE LA RED

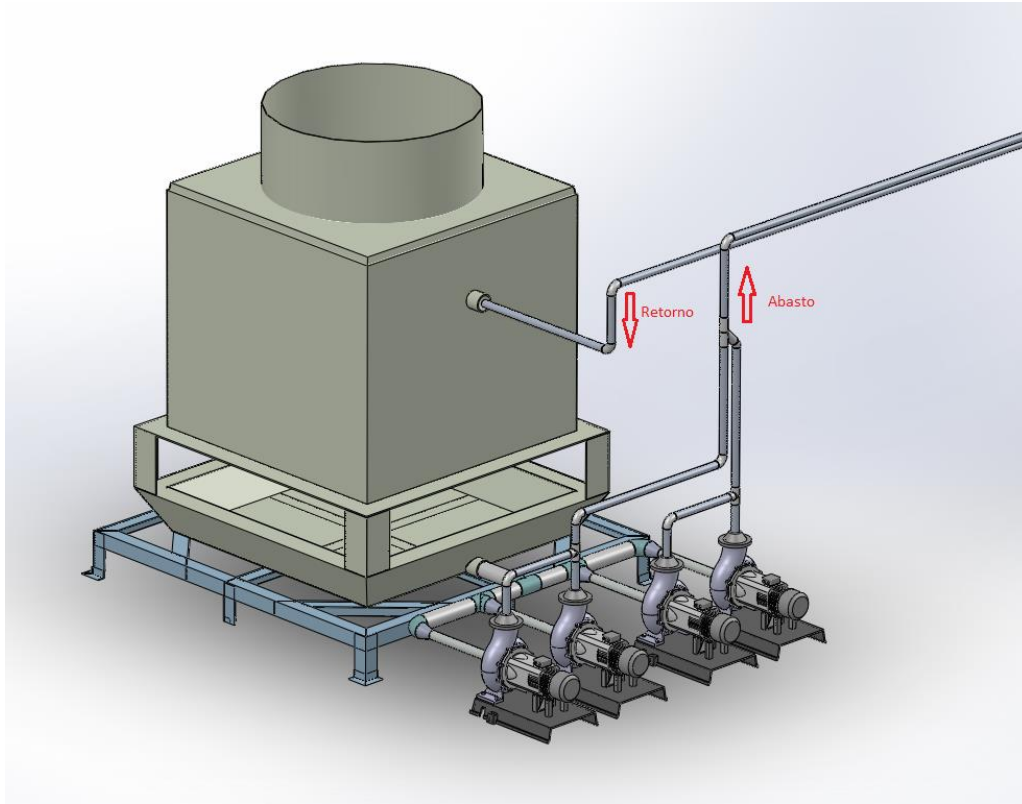


Figura 68. Distribución del sistema actual.  
Fuente: (Esquema CAD, s.f.)

En esta gráfica se puede apreciar la distribución de la torre de enfriamiento actual. Este sistema cuenta con cuatro bombas centrífugas, dos principales y dos auxiliares. Se utilizaron dos bombas para abastecer el caudal necesario de la demanda de las máquinas trefiladoras de acero, debido a que anteriormente se realizó una prueba con una sola bomba, la cual no cumplió con el caudal requerido por las máquinas trefiladoras; además, se puede observar que la torre actual no cuenta con depósito de agua de reserva, éste es necesario para que las bombas centrífugas no cavilen, debido a que en algunas ocasiones el agua impulsada por las bombas disminuye por pérdidas en la planta y evaporación en la tubería de descarga de la torre.

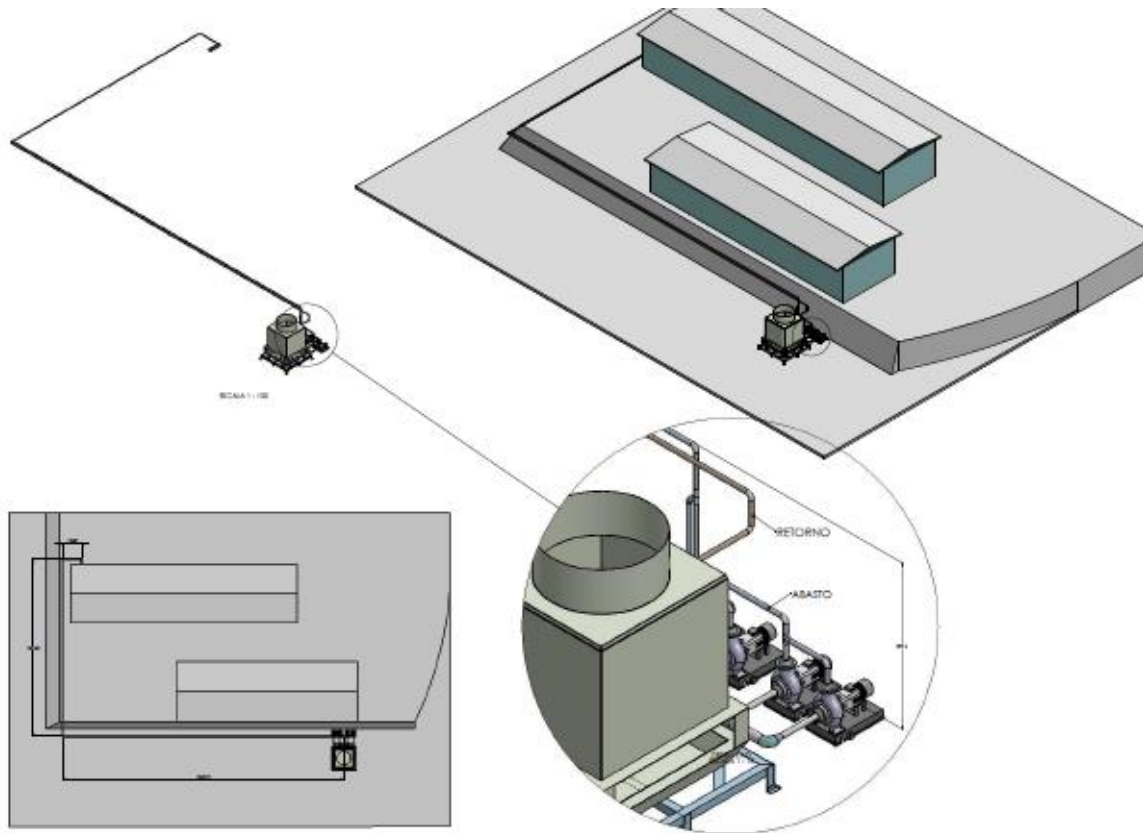


Figura 69. Vista general distribución del sistema actual.  
 Fuente: (Esquema CAD, s.f.).

En esta gráfica se puede ver la distribución y el recorrido de las tuberías que transportan el agua hasta la planta de producción; cabe recordar que la tubería está expuesta a la intemperie rodeando toda la bodega, en datos anteriores están calculadas todas las pérdidas por accesorios y longitudes para poder hacer la comparación con el nuevo sistema.

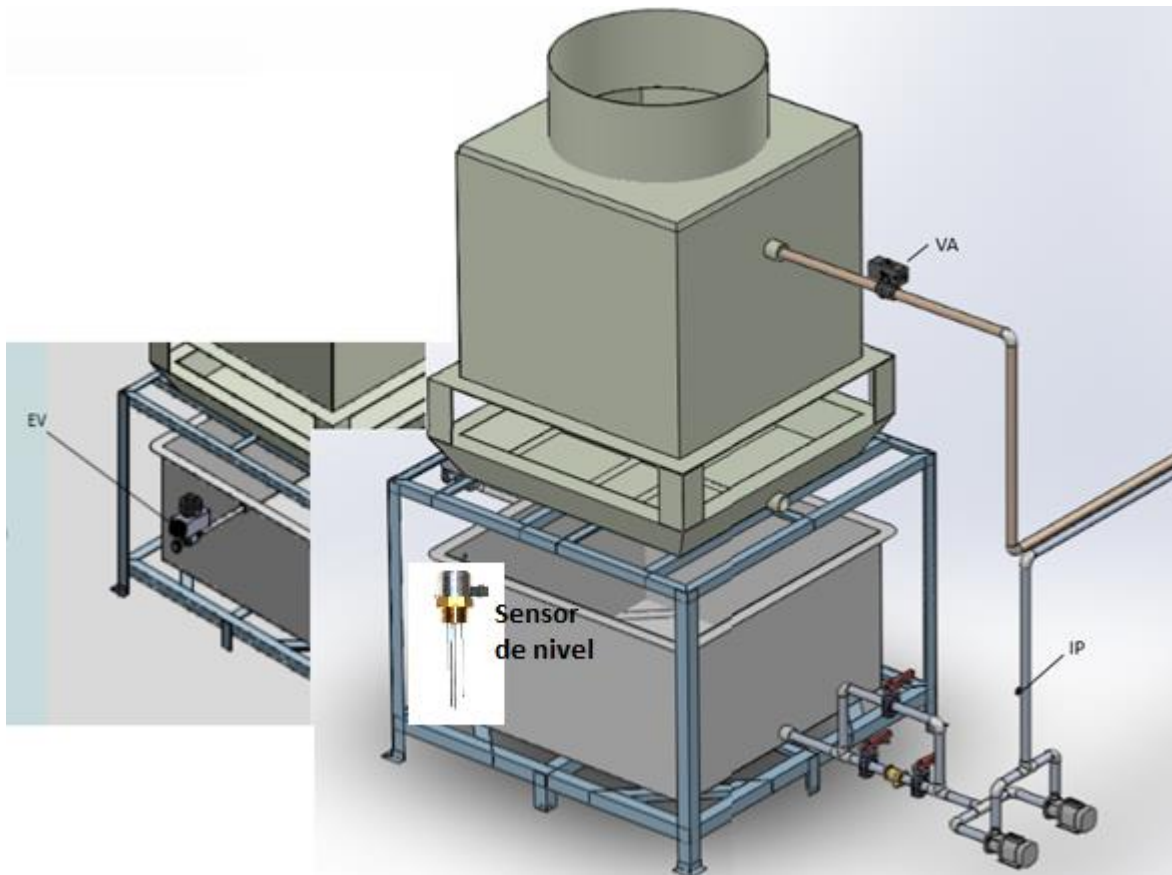



Figura 70. Distribución del sistema propuesto.  
Fuente: (Esquema CAD, s.f.).

En esta imagen se observa la misma torre de enfriamiento utilizada en el proceso, pero con todas las mejoras necesarias; todos sus actuadores y sensores recomendados para el control con PLC, el cual requiere de todo un diseño eléctrico que contenga las protecciones, accionamientos y conexiones que permitan al PLC recibir información del proceso, ejecutar el algoritmo y a partir de allí, enviar órdenes a los actuadores, (Vásquez Salazar, Pupo Urrutia, & Jiménez Aguas, 2014).



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

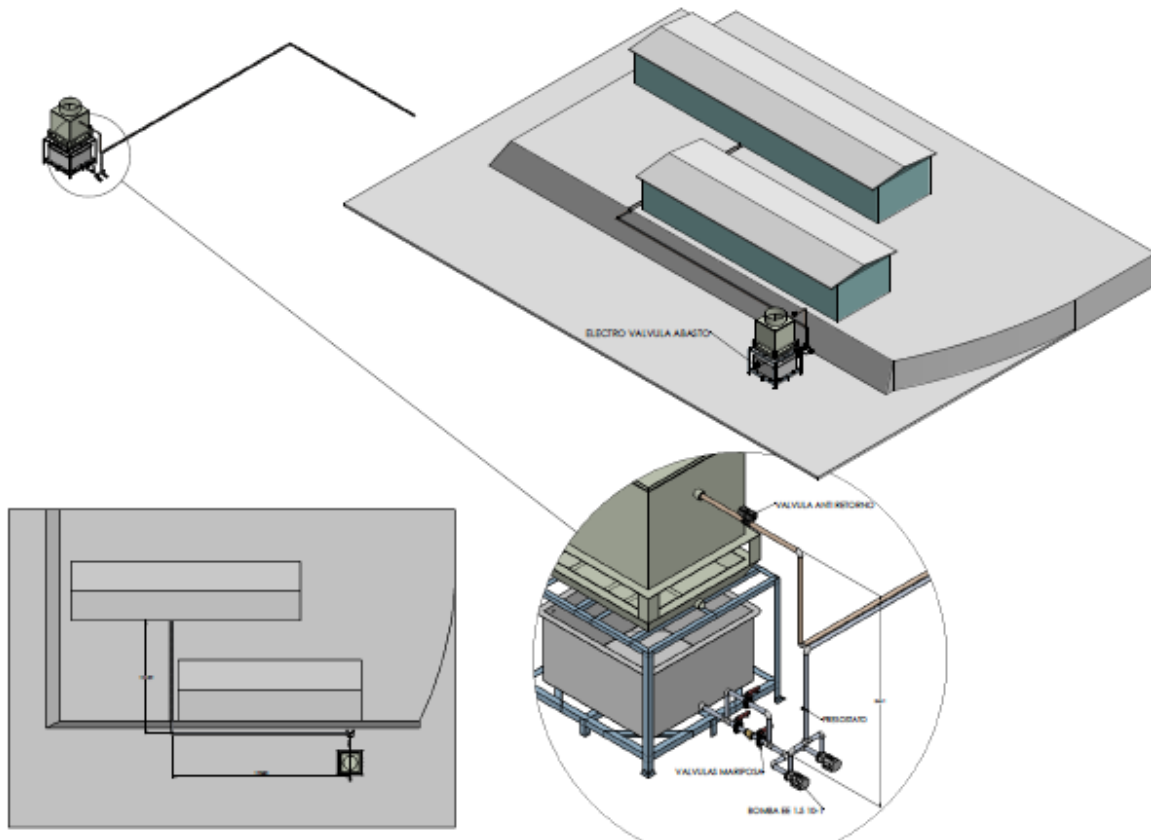



Figura 71. Vista general distribución del sistema propuesto.  
Fuente: (Esquema CAD, s.f.).

Para finalizar, en esta gráfica se puede evidenciar la imagen global de la nueva ruta de transporte que recorrerá el agua de la torre hasta llegar a la planta de producción. Igualmente, permite observar la ubicación geográfica de la torre con respecto a la planta, desde una vista superior, donde se puede encontrar cada una de las reformas hechas a la torre de enfriamiento.

Cuando se propuso calcular las pérdidas de masa por evaporación de agua, se ignoraron algunas variables para que la reacción térmica que ocurre cuando hay transferencia de masa de estado líquido a gaseoso, sea lo suficientemente grande para ser considerada en este diseño, que pretende elevar la eficiencia de funcionamiento de la torre de enfriamiento. Según Cengel y Ghajar, (2011) la transferencia de masa puede ocurrir en líquidos, sólidos y gases; por ejemplo, llega un momento en el que una taza de agua que se deja en un cuarto se evapora como resultado de que las moléculas de agua se difunden hacia el aire (*transferencia de masa líquida a gaseosa*). En el sistema actual, el líquido

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

regresa a la torre a 32°C luego que termina su recorrido por el proceso, este dato es experimental tomado con un termómetro por infra-rojo marca fluke 59 MAX.

La fuerza impulsora para la transferencia de masa es la diferencia de concentración; puede verse la temperatura como una medida de la “concentración de calor” y de este modo, una región a alta temperatura es aquella que tiene una alta concentración de calor; por lo tanto, el calor al igual que la masa se transfiere de las regiones más concentradas hacia las menos concentradas; si no hay diferencia de temperatura entre dos regiones, entonces no existe transferencia de calor; de modo semejante, si no existe diferencia entre las concentraciones de una especie en regiones diferentes de un medio, no habrá transferencia de masa. Con este dato fue suficiente para prescindir de cálculos matemáticos para determinar la cantidad de agua que se evapora en el proceso, porque la concentración de calor no es suficiente para que exista este fenómeno.



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

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. ESTUDIO DEL CONSUMO DE AGUA DEL SISTEMA ACTUAL Y EL PROPUESTO

A continuación, se presentan los registros del consumo del agua durante un mes, tomados diariamente:

Fecha	Horas	Consumo Empresas Medellín	medidor Públicas de	Diferencia
12/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61454m <sup>3</sup> -	61458m <sup>3</sup>	4m <sup>3</sup>
13/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61458m <sup>3</sup> -	61465m <sup>3</sup>	7m <sup>3</sup>
14/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61465m <sup>3</sup> -	61470m <sup>3</sup>	5m <sup>3</sup>
15/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61470m <sup>3</sup> -	61473m <sup>3</sup>	3m <sup>3</sup>
16/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61473m <sup>3</sup> -	61479m <sup>3</sup>	6m <sup>3</sup>
17/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61479m <sup>3</sup> -	61487m <sup>3</sup>	8m <sup>3</sup>
19/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61487m <sup>3</sup> -	61491m <sup>3</sup>	4m <sup>3</sup>
20/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61491m <sup>3</sup> -	61500m <sup>3</sup>	9m <sup>3</sup>
21/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61500m <sup>3</sup> -	61504m <sup>3</sup>	4m <sup>3</sup>
22/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61504m <sup>3</sup> -	61509m <sup>3</sup>	5m <sup>3</sup>
23/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61509m <sup>3</sup> -	61513m <sup>3</sup>	4m <sup>3</sup>
24/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61513m <sup>3</sup> -	61520m <sup>3</sup>	7m <sup>3</sup>
26/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61520m <sup>3</sup> -	61523m <sup>3</sup>	3m <sup>3</sup>
27/08/2013	24 7:AM- 7:AM	61523m <sup>3</sup> -	61527m <sup>3</sup>	4m <sup>3</sup>

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>		Código	FDE 089
			Versión	03
			Fecha	2015-01-27

28/08/2013	24	7:AM- 7:AM	61527m <sup>3</sup> - 61434m <sup>3</sup>	7m <sup>3</sup>
29/08/2013	24	7:AM- 7:AM	61434m <sup>3</sup> - 61540m <sup>3</sup>	6m <sup>3</sup>
30/08/2013	24	7:AM- 7:AM	61540m <sup>3</sup> - 61543m <sup>3</sup>	3m <sup>3</sup>
31/08/2013	24	7:AM- 7:AM	61543m <sup>3</sup> - 61551m <sup>3</sup>	8m <sup>3</sup>
02/09/2013	24	7:AM- 7:AM	61551m <sup>3</sup> - 61560m <sup>3</sup>	9m <sup>3</sup>
03/09/2013	24	7:AM- 7:AM	61560m <sup>3</sup> - 61564m <sup>3</sup>	4m <sup>3</sup>
04/09/2013	24	7:AM- 7:AM	61564m <sup>3</sup> - 61569m <sup>3</sup>	5m <sup>3</sup>
05/09/2013	24	7:AM- 7:AM	61569m <sup>3</sup> - 61576m <sup>3</sup>	7m <sup>3</sup>
06/09/2013	24	7:AM- 7:AM	61576m <sup>3</sup> - 61579m <sup>3</sup>	3m <sup>3</sup>
07/09/2013	24	7:AM- 7:AM	61579m <sup>3</sup> - 61585m <sup>3</sup>	6m <sup>3</sup>
Consumo semanal de agua desperdiciada por la torre				<b>131m<sup>3</sup></b>

Tabla 3. Registros consumo de agua.

Fuente: (elaboración propia)


La siguiente tabla hace referencia al valor del m<sup>3</sup> de agua para los diferentes estratos y sectores para el municipio de Copacabana, ya que la empresa Postelectras Dishierros S.A esta ubicada en este sector.

#### Municipio de Copacabana

SECTOR	ACUEDUCTO			ALCANTARILLADO		
	Cargo Fijo (\$/ Instalación)	Cargo por consumo (\$/ m <sup>3</sup> )		Cargo Fijo (\$/ Instalación)	Cargo por consumo (\$/ m <sup>3</sup> )	
		0 -20 m <sup>3</sup>	> 20 m <sup>3</sup>		0 -20 m <sup>3</sup>	> 20 m <sup>3</sup>
<b>Sector Residencial</b>						
<i>Estrato 1</i>	3,876.58	548.41	1,096.81	1,772.23	821.56	1,643.12
<i>Estrato 2</i>	4,806.96	680.02	1,096.81	2,126.68	985.87	1,643.12
<i>Estrato 3</i>	7,753.16	1,096.81	1,096.81	3,544.46	1,643.12	1,643.12
<i>Estrato 4</i>	7,753.16	1,096.81	1,096.81	3,544.46	1,643.12	1,643.12
<i>Estrato 5</i>	12,637.65	1,787.80	1,787.80	5,316.69	2,464.68	2,464.68
<i>Estrato 6</i>	14,963.60	2,116.85	2,116.85	6,273.70	2,908.32	2,908.32
<b>Comercial</b>	11,629.74	1,824.00		5,316.69	2,464.68	
<b>Industrial</b>	10,079.11	1,824.00		4,607.80	2,136.06	
<b>Oficial y Exenta</b>	7,753.16	1,096.81		3,544.46	1,643.12	

Tabla 4. Valor m<sup>3</sup> de agua en Copacabana

Fuente: (Postelectras Dishierros, 2013)

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

Entonces,  $131 \text{ m}^3$  de agua consumida equivale a **\$ 238.944**, teniendo en cuenta que el  $\text{m}^3$  de agua para el sector industrial cuesta **\$1.824**.

A continuación, se calcula la cantidad de agua desperdiciada. Se realiza la medición en  $\text{m}^3$  del agua almacenada en la tubería de impulsión y retorno desde la torre de enfriamiento hasta el proceso, para definir qué cantidad es la que se está desperdiciando debido a la discontinuidad del suministro eléctrico.

DESCRIPCION	LONGITUD
Longitud tubo de 2" (impulsión)	93.2 metros
Longitud tubo de 4" (retorno)	52.8 metros
Valor $\text{m}^3$ de agua industrial \$ 1.824	

Tabla 5. Descripción y longitudes de tubería.

Fuente: (elaboración propia)

$$V = \pi r^2 x h \quad \text{Ecuacion (1)}$$

Donde:

$$V = \text{volumen}$$

$$r = \text{radio de la tubería}$$

$$h = \text{longitud de la tubería}$$

Reemplazando en Ecuación (1), para tubería de 2":

$$V_{2"} = \pi(0.0254\text{m})^2 x 93.2\text{m}$$

$$V_{2"} = 0.18\text{m}^3$$


Reemplazando en Ecuación (1), para tubería de 4":

$$V_{4"} = \pi(0.0508\text{m})^2 x 52.8\text{m}$$

$$V_{4"} = 0.42\text{m}^3$$

Volumen total almacenado en la tubería

$$V_T = V_{2"} + V_{4"}$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

$$V_T = 0.18m^3 + 0.42 m^3$$

$$V_T = \mathbf{0.6m^3}$$

El sistema actual tiene en promedio ocho veces al mes en las que falla el sistema eléctrico, por las razones antes mencionadas. Por consiguiente:

$$V_T = 0.6 m^3 \times 8 = 4.8m^3$$

$$V_{AGUA DESPERDICIADA MENSUAL} = \mathbf{4.8m^3}$$

Según la tabla 5 el valor del  $m^3$  industrial es de \$ **1.824**, multiplicando este valor por el volumen de agua desperdiciada da como resultado un consumo de agua de \$8.755:

$$valor\ en\ \$\ del\ agua\ desperdiciada\ mensualmente = 4.8 m^3 \times \$ 1824 = \$ \mathbf{8755}$$

## 5.2. ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA DEL SISTEMA ACTUAL Y EL SISTEMA PROPUESTO


Potencia de la bomba	<i>1.5 Hp = 1.2 Kw</i>
Amperaje de placa (I)	<i>5.9 A</i>
Voltaje de placa (v)	<i>220</i>
Factor de potencia de placa (FP)	<i>0.86</i>
Eficiencia de placa (EF)	<i>0.84</i>
Tiempo de trabajo	<i>24 horas x 26 dias al mes = 264 horas mensuales</i>
Valor kwh industrial	<i>\$450</i>
Cantidad	<i>2 Und</i>

Tabla 6. Datos de placa de los motores de las bombas centrífugas.

Fuente: (elaboración propia)

El sistema actual cuenta con líneas de distribución de agua, las cuales están ensambladas con exceso de accesorios (codos, uniones, reducciones, válvulas) y por el largo recorrido de las líneas de impulsión ocasionan que los motores de las bombas consuman más energía.

Para calcular el consumo de energía mensual en un sistema trifásico es necesario aplicar la siguiente ecuación:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

$$P = \frac{(\sqrt{3}) V I (FP)}{1000 X EF} \text{ Ecuacion (2)}$$

$$E = Pt = \frac{(\sqrt{3}) V I (FP)}{1000 X EF} x \text{ horas} = Kwh \text{ Ecuacion (3)}$$

Donde:

$E$  = energía consumida en Kwh

$I$  = amperaje de placa

$V$  = voltaje de placa

$FP$  = factor de potencia

$\text{horas}$  = horas de operación del motor

$EF$  = eficiencia

Entonces reemplazando en la ecuación (3):

$$E = \frac{(\sqrt{3}) X 5,9 \text{ AMP} X 220 \text{ V} X 0,86}{1000 X 0,84} x 264 \text{ horas}$$


$$E = \frac{510431,7}{840} = 607,65 \text{ Kwh}$$

Luego de calcular el consumo de energía eléctrica de una sola bomba se multiplica por dos unidades, además del valor del  $Kwh$  industrial para hallar el valor total del consumo de energía eléctrica, así:

$$607,65 \text{ Kwh} X 2 X \$450 \text{ Kwh} = \$ \mathbf{546.885}$$

El consumo mensual de los motores de las bombas centrífugas instaladas en el sistema actual es de \$ **546.885 \$8.**

Al igual que las bombas, el ventilador de la torre de enfriamiento funciona las 24 horas al día durante 6 días a la semana. Como se mencionó anteriormente, se propone instalar un control de temperatura que ayudará a disminuir el consumo de energía eléctrica del motor del ventilador de la torre en un 45% aproximadamente.

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

Potencia de la bomba	$10 \text{ Hp} = 7.4 \text{ Kw}$
Amperaje de placa (I)	$27 \text{ A}$
Voltaje de placa (v)	220
Factor de potencia de placa (FP)	0.88
Eficiencia de placa (EF)	0.82
Tiempo de trabajo	$24 \text{ horas} \times 26 \text{ dias} = 264 \text{ horas mensuales}$
Valor kwh industrial	\$450
Cantidad	$1 \text{ Und}$

Tabla 7. Datos de placa motor ventilador de la torre.

Fuente: (elaboración propia)

Entonces reemplazando en la ecuación (3):

$$E = \frac{(\sqrt{3}) \times 27 \text{ AMP} \times 220 \text{ V} \times 0,88}{1000 \times 0,82} \times 264 \text{ horas}$$

$$E = \frac{2390196,85}{820} = 2914,8 \text{ Kwh}$$

Luego de calcular el consumo de energía eléctrica del ventilador de la torre se multiplica por el valor del *Kwh* industrial para hallar el valor total del consumo de energía eléctrica, así:

$$2914,8 \text{ Kwh} \times \$450 \text{ Kwh} = \$ \mathbf{1'311.660}$$


El consumo mensual del motor del ventilador de la torre según la configuración del sistema actual es de \$ **1'311.660**.



Figura 72. Cuarto de bombas Postelectras.  
Fuente: (Elaboración propia)



Figura 73. Cuarto de bombas Postelectras.  
Fuente: (Elaboración propia).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Las líneas de impulsión de agua de la torre hacia la empresa tienen un recorrido de **93.2m** en tubería de 2", lo cual ocasiona pérdidas de presión en las líneas de distribución cuando ésta llega a las máquinas trefiladoras, debido a la ubicación del cuarto de bombas y por el recorrido que debe hacer el agua; presentando así un funcionamiento deficiente. Por esta razón, se utilizan dos bombas para suplir la presión necesaria del sistema; por tal motivo, el consumo de energía es elevado. Con el fin de dar solución a esta situación, se propone un rediseño de la distribución de la red de tuberías, el cual emplea **51m** de tubería de 2", esto representa una disminución del 56,6% en la tubería de impulsión.

DESCRIPCION	LONGITUD
Tubería de impulsión de 2" sistema actual	93.2 metros
Tubería de impulsión de 2" sistema propuesto	51 metros

Tabla 8. Comparación de longitudes de las tuberías de impulsión entre el sistema actual y el propuesto.

Fuente: (elaboración propia)



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

# CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

Con el diseño propuesto se logra disminuir las pérdidas de agua, energía, recorridos y accesorios innecesarios; además permite facilitar el trabajo de operación y monitoreo del personal encargado dentro de la empresa para esta tarea.

Se identifica el consumo mensual de agua y energía, por medio de seguimiento periódico y levantamiento de información, para establecer los índices a mejorar.

Se elige la estrategia de control que cumpla con los requerimientos del diseño propuesto, para optimizar el funcionamiento del sistema de refrigeración de la empresa Postelectras Dishierros S.A.

Se realiza un diseño de distribución de la tubería, para mejorar el sistema de bombeo desde la torre hacia la empresa, además se evidencia que no hay transferencia de masa; por lo tanto, no existen pérdidas por evaporación.


Se programa una secuencia en PLC para que, de forma lógica, los actuadores y sensores controlen el funcionamiento del sistema de refrigeración.

## **6.1. RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA EL SISTEMA PROPUESTO**

### **6.2. SISTEMA ELÉCTRICO**

Inicialmente, es importante aclarar que la instalación y operación del sistema eléctrico sea realizado por personal calificado o con conocimientos de electricidad, que utilice las herramientas y técnicas necesarias para el cableado de los elementos eléctricos requeridos en el sistema propuesto.

Para el sistema eléctrico se recomienda seguir las normas técnicas NTC 2050, cuyo objetivo es la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


el uso de la electricidad; mediante disposiciones necesarias para la seguridad, mantenimiento adecuado e instalaciones libres de riesgos. Además de la NTC 3475, la cual hace referencia a las características técnicas de los gabinetes, tableros o paneles como el material, acabado, protección contra la humedad y la corrosión, entre otras. Debido a que la norma NTC 2050 es tan extensa, ya que abarca todo tipo de instalaciones, materiales, métodos, cálculos, conexiones, circuitos, ambientes, etc; es necesario aplicarla al caso de los gabinetes eléctricos de baja tensión, con el fin de brindar seguridad a las personas que lo operan y protección a los elementos eléctricos que están al interior del gabinete como PLC, contactores, interruptores, borneras, entre otros.

Se recomienda instalar un gabinete eléctrico de acero en lámina de 2 mm de espesor de 600mm de ancho y 800mm de alto con una profundidad de 300mm, que permita realizar cambios o ajustes al interior del gabinete; éste debe resistir los esfuerzos mecánicos, eléctricos y térmicos, así como los efectos de la humedad y la corrosión. Con recubrimiento de pintura electroestática en polvo ignífuga y además que cumpla la norma IEC 60529, IP 66, hermético al polvo y protegido contra salpicaduras de un gran chorro de agua. En la figura 74 se puede observar un gabinete eléctrico de estas características:



Figura 74. Gabinete eléctrico.  
Fuente: (Derrant, s.f.)

A continuación, se puede observar una distribución opcional de los diferentes elementos eléctricos de control y potencia en el interior del gabinete eléctrico.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

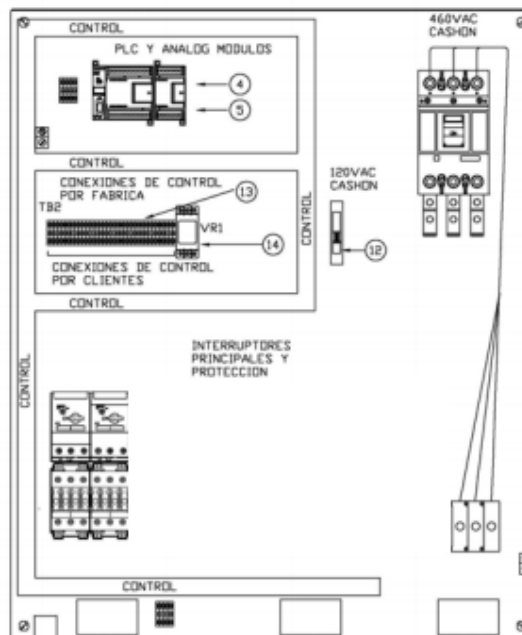



Figura 75. Distribución del tablero de control.  
Fuente: (TowerTech, 2010)

Todo gabinete eléctrico debe ser accesible sólo por el frente, además debe tener su respectivo diagrama unifilar actualizado, al respaldo de la puerta del gabinete, para facilitar la inspección de señales, corrección de fallas o reemplazo de elementos eléctricos, sensores, bombillos pilotos, fusibles, entre otros.

Las conexiones en los tableros deben ser mediante el sistema peine, tanto para la parte de potencia como para la parte de control, utilizando canaletas plásticas según lo recomienda la NTC 2050, En la certificación de la canaleta, se deben verificar aspectos como inflamabilidad, resistencia al impacto, aplastamiento bajo carga, resistencia a la distorsión por calentamiento, espesores y calidad de extrusión. (Reglamento técnico de instalaciones electricas - RETIE, 2013).

Toda parte conductora de corriente debe ser rígida y construida en plata, una aleación de plata, cobre, aleación de cobre, aluminio, u otro metal que se haya comprobado útil para esta aplicación. No se debe utilizar el hierro o el acero en una parte que debe conducir corriente. Para asegurar los conectores a presión y los barrajes se deben utilizar tornillos de acero, tuercas y clavijas de conexión.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

La disposición de las fases de los barrajes en los tableros trifásicos, debe ser A, B, C, tomada desde el frente hasta la parte posterior; de la parte superior a la inferior, o de izquierda a derecha, vista desde el frente del tablero.

Todas las partes externas del panel deben ser puestas sólidamente a tierra mediante conductores de protección y sus terminales se deben identificar con el símbolo de puesta a tierra.

Todos los elementos internos que soportan equipos eléctricos deben estar en condiciones de resistir los esfuerzos electrodinámicos producidos por las corrientes de falla del sistema. Las dimensiones, encerramientos y barreras deben permitir espacio suficiente para alojamiento de los terminales y curvaturas de los cables.


Un terminal, tal como un conector de alambre a presión o un tornillo de sujeción, debe encargarse de la conexión de cada conductor diseñado para instalarse en el tablero en campo.

No se permite la unión de varios terminales eléctricos mediante cable o alambres para simular barrajes en aplicaciones tanto de fuerza como de control. Sin embargo, para el caso de circuitos de control estas conexiones equipotenciales se podrán lograr mediante barrajes del tipo “peine”.

El tablero debe tener un barraje para conexión a tierra del alimentador, con suficientes terminales de salida para los circuitos derivados.

Además, un tablero de baja tensión debe tener adherida de manera clara, permanente y visible, por lo menos la siguiente información:

- Tensión(es) nominal(es) de operación.
- Corriente nominal de operación.
- Número de fases.
- Número de hilos (incluyendo tierras y neutros).
- El símbolo de riesgo eléctrico.
- Cuadro para identificar los circuitos.
- Diagrama unifilar del tablero.
- Rotulado para la identificación de los circuitos individuales.
- Instrucciones para instalación, operación y mantenimiento.
- Todo tablero debe indicar, de forma visible, la posición que deben tener las palancas de accionamiento de los interruptores, al cerrar o abrir el circuito.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 6.3. SISTEMA DE CONTROL


Se recomienda elaborar un plan de mantenimiento preventivo para los elementos de control, actuadores y sensores, para garantizar un óptimo funcionamiento, además se recomienda utilizar elementos con las siguientes características:

#### CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Se sugiere emplear un controlador Micro 820 por su facilidad de programación y costo competitivo con respecto a otras marcas de controladores, es uno de los más pequeños controladores de la familia Micro 800 de la marca Allen Bradley, puntualmente la referencia 2080-LC20-20QBB, cuenta con las características necesarias para controlar la torre de enfriamiento: 12 entradas digitales a 24Vdc, 4 entradas análogas, 7 salidas a 24Vdc.



Figura 76. Controlador 2080-LC20-20QBB.  
Fuente: (Rockwell automation.)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

En el apéndice de este trabajo se adjunta el programa diseñado para este plc y una propuesta comercial que incluye los principales dispositivos y la instrumentación requerida para implementar la solución.

### **ELECTROVÁLVULA SUMINISTRO DE AGUA (EV)**

La electroválvula para controlar el cierre y apertura del agua de suministro debe de tener conexión para tubería de ½ NPT y solenoide con bobina de 24 Vdc con el fin de utilizar una salida del PLC.



Figura 77. Electroválvula de 1/2" NPT.  
Fuente: (Danfoss, s.f.)

### **INTERRUPTOR DE PRESIÓN (IP)**

El interruptor de presión de rango ajustable de 4 a 12 bar, conexión de ¼" npt.


	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



Figura 78. Interruptor de presión.  
Fuente: (Danfoss, s.f.)

### **VÁLVULA ANTI RETORNO (VA)**

Para la válvula anti retorno se recomienda instalar una válvula mariposa de dos vías con unidad actuadora giratoria de accionamiento neumático, marca Festo referencia: VZBC-15-FF-40-22-F0304-V4V4T-PP15-R-90-C, con conector para manguera 8mm, diámetro nominal de 4 pulgadas con montaje de cuerpo circular con brida, presión de trabajo 4 bar.

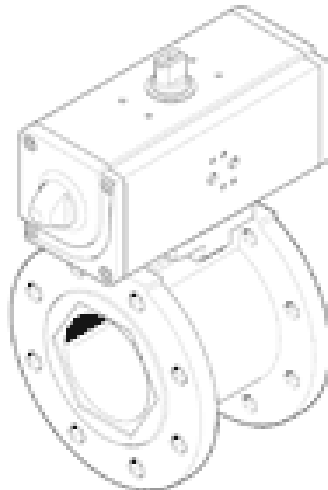



Figura 79. Válvula mariposa de dos vías con actuador giratorio.  
Fuente: (Festo, s.f.)

### **SENSOR DE FLUJO TIPO PALETA:**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

El sensor de flujo debe de tener las siguientes características técnicas: controlador de flujo de rango variable, voltaje de alimentación a 220 Vac, diámetro del tubo en el que se va a instalar de 2", lengüeta inoxidable de interrupción de 250VAC/DC, 60W, conexión de adaptador ½" npt, adaptador roscado de 22mm.



Figura 80. Sensor de flujo tipo paleta de rango variable.  
Fuente: (Nikron, 2010)

### **Controlador de nivel con electrodos por conductividad eléctrica (S1):**

En el sistema de control de nivel de agua en el depósito, se recomienda utilizar un conjunto de electrodos y un controlador de nivel para llenado, los electrodos se pueden ajustar sus longitudes para queden a los niveles deseados. El principio de funcionamiento se basa en la detección de una pequeña corriente eléctrica a través del líquido por medio de un conjunto de electrodos. Cuando el líquido desciende hasta dejar de mojar algún electrodo, la corriente por este electrodo se interrumpe. Un circuito electrónico procesa la información recogida de todos los electrodos y decide la acción a tomar. Las señales generadas por el controlador serán empleadas en las entradas del PLC para el accionamiento de la válvula de suministro de agua (EV) o de alarmas según el caso que sea. A continuación, se observa un conexionado típico de un controlador de nivel, el cual deberá de instalarse dentro del gabinete de control, la alimentación del controlador es de 110 Vac ó 220 Vdc.



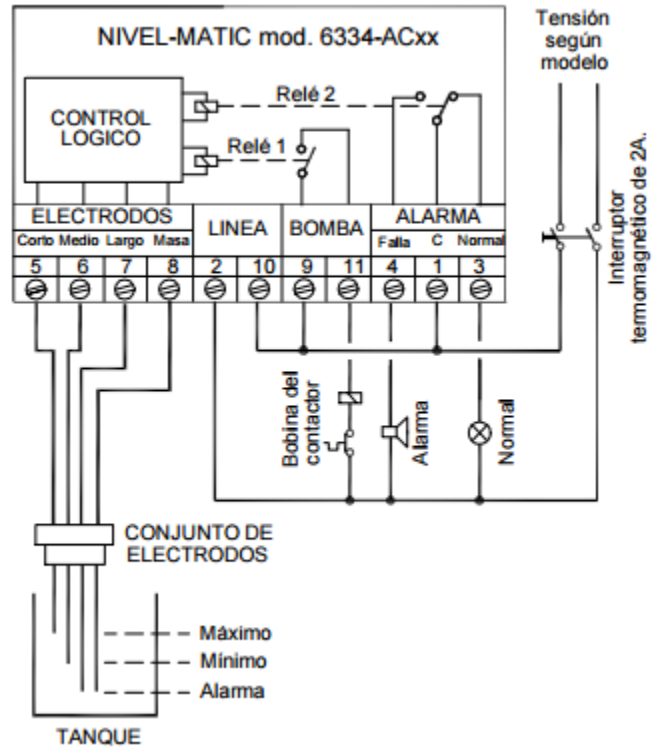



Figura 81. Electrodo y controlador de nivel por conductividad eléctrica.  
Fuente: (<http://www.electrolsrl.com.ar/docs/6334-AC.pdf>)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### SENSOR DE TEMPERATURA (ST)

El sensor de temperatura para el control *on-off* del ventilador utilizar sensor de temperatura PT 100, que brinda un rango de medición ideal para medir el líquido cuando viene del proceso hacia la torre de enfriamiento, conexión al proceso de ½" npt, cabezote IP65, termopozo ¼"x 4" de longitud.




Figura 82. Sensor de temperatura PT100.

Fuente: (PCE, 2008) <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/sensores-temperatura.htm>

## 6.4. INSTALACIÓN DE TUBERÍA

Los tubos de presión se comportan como materiales dúctiles bajo carga; son materiales termoplásticos esto significa que estos materiales pueden soportar deformaciones sin sufrir daños, poseen la habilidad de doblarse bajo una carga sin quebrarse y de deformarse de otra manera sin dejar de ofrecer una resistencia continua.

Se requieren técnicas de instalación adecuadas para garantizar que se desarrollen y mantengan los soportes requeridos en el fondo y las presiones pasivas del suelo a los lados del tubo.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Los tubos termoplásticos son diseñados para soportar deformaciones se debe tener un control especial en la compactación del material colocado en la zona de la tubería, teniendo cuidado con esfuerzos excesivos para evitar que se produzca pandeo o aplastamientos.

Para la instalación de la tubería se debe tener en cuenta:

- Limpiar la campana y la espiga a ensamblar, lijar el interior de la campana y la espiga de los tubos.

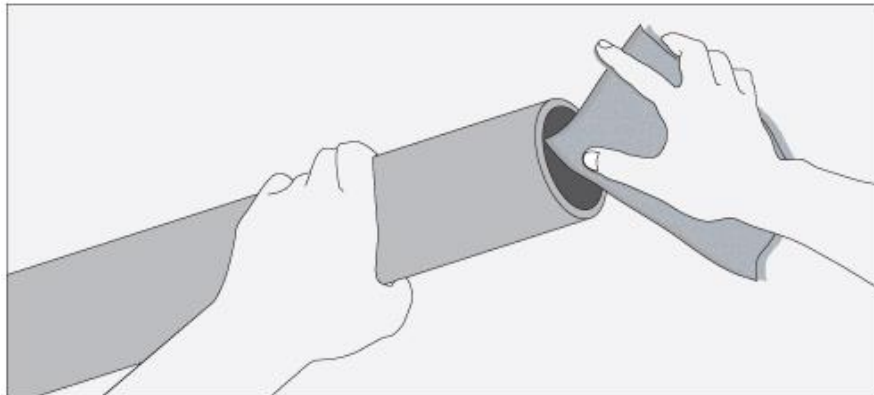


Figura 83. Limpieza de tubería.  
Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

- Aplicar pegamento en el interior de la campana y el exterior de la espiga

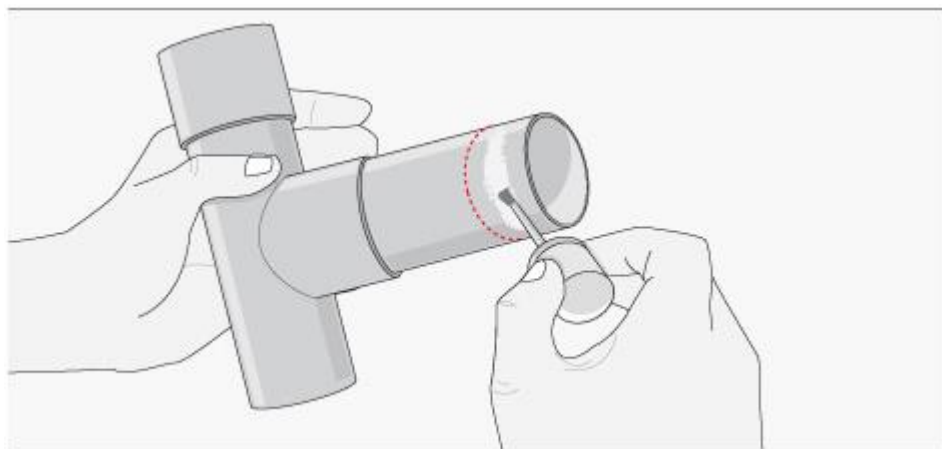



Figura 84. Aplicación de pegamento.  
Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- Introducir la espiga en el interior de la campana verificando la total inserción y dejarlo secar.
- Hacer prueba de presión (funcionamiento de la red de agua) antes de la compactación de la zanja para verificar posibles fugas o fallas.

## **6.5. RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION DE LINEAS SUBTERRANEAS**

- El fondo de la zanja debe ser continuo, liso libre de filos y uniforme.
- El ancho de la zanja debe permitir colocar el tubo dentro de ella que no entre forzada.
- El ancho de la zanja vendrá determinado por la formula  $B = Dn + 300\text{mm}$
- $Dn$  = es el diámetro nominal, con un mínimo de 600mm en caso de zanjas de poca profundidad y de diámetro inferiores a 110mm la anchura mínima podrá ser de 400mm.
- Para la instalación de la tubería deberá estar nivelada y refinada
- El refine consiste en el perfilamiento de las paredes como en el fondo, teniendo especial cuidado de no queden protuberancias rocosas que hagan contacto con el tubo.
- La nivelación en la zanja se realizará con el tipo de cama de apoyo ya sea arena o gravilla, debe tener un espesor no menor de 0.10m debidamente compactado, porque es una zona de material selecto (tierra).
- La compactación será con el mismo material que se saca de la zanja y colocándolo en capas horizontales de 15 a 30 cm de espesor, distribuida uniformemente por todo el ancho de la sección de la zanja, teniendo cuidado de esparcirla suavemente, las capas serán compactadas con pisones manuales no máximo de 30 kg de peso.

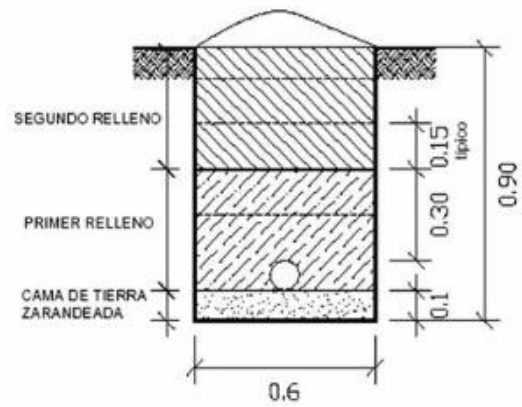



Figura 85. Sección transversal de una zanja para instalación de tubería.  
 Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## REFERENCIAS

---

123rf. (s.f.). Imágenes de archivo: Bridas. España. Obtenido de <http://es.123rf.com/imagenes-de-archivo/bridas.html>

Acevedo Sánchez, J. (2006). Instrumentación y control avanzado de procesos. Ed: Díaz de Santos.

Adum, G. (s.f.). Torres y sistemas de enfriamiento. Ecuador. Obtenido de [http://ariadne.cti.espol.edu.ec/sidweb36/sidweb36\\_3/6166/1045498/TORRES%2BDE%2BENFRIAMIENTO%2BY%2BSISTEMAS%2BDE%2BENFRIAMIENTO.pdf](http://ariadne.cti.espol.edu.ec/sidweb36/sidweb36_3/6166/1045498/TORRES%2BDE%2BENFRIAMIENTO%2BY%2BSISTEMAS%2BDE%2BENFRIAMIENTO.pdf)

Albella, J.M.; Cintas, A.M.; Miranda, T. y Serratosa, J.M. (1993). Introducción a la ciencia de materiales. México.

American society for testing and materials. (2002). standard specification for poly (vinyl choride) plastic pipe fittings. Philadelphia.

Burger, R. (1996). Energy conservation strategy, the ignored cooling water. IEEE. 1852-1856.

C. Whitman, W., & Ohnson, W. (2000). Tecnología de la refrigeracion y aire acondicionado.

Cengel, Y. A., y Ghajar, A. J. (2011). Transferencia de calor y masa. México.

Creus Solé, A. (2011). Instrumentacion Industrial. octava edicion. Barcelona: Marcombo.


Derrant. (s.f.). Gabinete eléctrico. México. Obtenido de [http://www.derrant.com.mx/gab\\_IPP5.html](http://www.derrant.com.mx/gab_IPP5.html)

E., M. (1982). Redes de agua potable. Santiago de Chile.

ESPA. (2012). Guía de selección de bombas ESPA.

Fernández P. (s.f.). Bombas centrífugas y volumétricas. Paraguay. Obtenido de [http://www.ing.una.py/pdf\\_material\\_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf](http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf)

Festo. (s.f.). Válvula mariposa. Obtenido de [http://www.festo.com/cat/es-co\\_co/products\\_VZBC](http://www.festo.com/cat/es-co_co/products_VZBC)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

García Moreno, E. (1999). Automatización de procesos industriales: robotica y automática. Valencia.

González, Mahulí. (s.f.). Tubos, tuberías y accesorios. Obtenido de: [www.images.google.disco+ciego+accesorios](http://www.images.google.disco+ciego+accesorios)

Guerrero, S (2002). Termopares. Mexico. Obtenido de <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-02-07-TC.pdf>

ICONTEC. (2013). Normas Técnicas Colombianas. Bogotá.

IMFIA. (2009). Bombas volumétricas. Obtenido de <http://share.pdfonline.com/15de5c0a9f684628b5917576a01b702e/BOMBA.pdf>

Ingeniería civil. (2011). Bombas de desplazamiento positivo. Obtenido de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/11/bombas-de-desplazamiento-positivo.html>

JM Industrial. (s.f.). Termopares. México. Obtenido de [http://www.jmi.com.mx/documento\\_literatura/Termopares.pdf](http://www.jmi.com.mx/documento_literatura/Termopares.pdf)

Kuo, B. C. (1996). Sistemas de control automático. México.

Labfacility. (s.f.). Cables termopares aislantes de PVC. España. Obtenido de: <http://www.directindustry.es/prod/labfacility/cables-termopares-aislantes-pvc-86559-851335.html>

M., V. (2007). Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua. caracas.


Márquez, D. Calderón, J. (s.f.). Fundamentos de medición de temperatura. Obtenido de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/damarquezg/Temp.pdf>

Mayné J. (2003). Sensores acondicionadores y procesadores de señal. Obtenido de <http://www.jcee.upc.edu/JCEE2002/MAYNEPONENCIA.pdf>

Ministerio de salud de España. (s.f.). Agentes biológicos. España. Obtenido de [http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/4\\_leg.pdf](http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/4_leg.pdf)

Mott, R. (1996). Mecánica de fluidos aplicada. España.

National Instruments. (2015). Medir temperatura con un RTD o termistor. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/3643/es/>

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Nikron. (2010). Detectores de flujo mecánicos. Argentina. Obtenido de <http://www.nikron.com.ar/automacion/caudal/detectores-de-flujo/mecanicos/controls/>

Ogata, K. (1998). Ingeniería de control moderna. México.

Omega. (2003). Termopares tipo J y Y. España. Obtenido de [http://es.omega.com/ppt/pptsc\\_es.asp?ref=xc\\_j\\_tc\\_wire](http://es.omega.com/ppt/pptsc_es.asp?ref=xc_j_tc_wire)

Organización Panamericana de la Salud. (2005) Implementación de redes de distribución de agua. Obtenido de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/147esp-implemredesdistri.pdf>

Pallás, R. (2007). Sensores y acondicionamiento de señal cuarta edición. Barcelona: Maracombo.

PCE. (2008). Sensores de nivel. España. Obtenido de <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/sensores-temperatura.htm>

Postelectras Dishierros. (2013). Archivos de información financiera. Copacabana, Colombia.

Quintero, D. y Martínez, E. (2012). Procesos Industriales termodinámica. Obtenido de <http://gasslave.wordpress.com/>

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, [RETIE]. (2013). NTC 2050. Bogotá.


Richmond. (2009). Croacia. Obtenido de <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/537/DocumentoFinal.pdf?sequence=1>

Rodríguez Díaz, Francisco; Berenguel Soria, Manuel. (2004). Control y robótica en agricultura. Almería

R-series. (s.f.). Sensores de nivel. Obtenido de <http://sensovant.com/productos/pdf/caudal-flujo-liquidos/nivel/capacitivo/R-Series-Stainless-Steel.pdf>

Sabelotodo ORG. (s.f.). Bombas para líquidos. Obtenido de <http://www.sabelotodo.org/aparatos/bombasimpulsion.html>



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

Siemens. (s.f.). Caudalímetros electromagnéticos. Obtenido de <http://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/medicion-de-caudal/electromagneticos/pages/electromagneticos.aspx>

Tanfoss. (s.f.). Controladores de fluido. Obtenido de <http://industrialautomation.danfoss.com/products/fluid-controls/>

TowerTech. (2010). Manual MK 9000. Obtenido de [http://www.towertechinc.com/documents/ESPANOL\\_SERIE\\_TTXL\\_MANUAL\\_IOM\\_VER\\_MK9000-9\\_REV\\_10012010.pdf](http://www.towertechinc.com/documents/ESPANOL_SERIE_TTXL_MANUAL_IOM_VER_MK9000-9_REV_10012010.pdf)  
[http://www.towertechinc.com/documents/ESPANOL\\_SERIE\\_TTXL\\_MANUAL\\_IOM\\_VER\\_MK9000-9\\_REV\\_10012010.pdf](http://www.towertechinc.com/documents/ESPANOL_SERIE_TTXL_MANUAL_IOM_VER_MK9000-9_REV_10012010.pdf)

Universidad de Buenos Aires. (s.f.). Medición de presión. Argentina. Obtenido de <http://materias.fi.uba.ar/7609/material/S0304MedicionPresion1.pdf>


Vásquez Salazar, R. D., Pupo Urrutia, A. C., & Jiménez Aguas, H. J. (2014). Sistema energéticamente eficiente y de bajo costo para controlar la temperatura y aumentar el oxígeno en estanques de cultivo de alevines de tilapia roja. p. 9-23.

Velásquez, I. (2005). Elementos finales de control. Chile. Universidad de la frontera. Obtenido de [http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion\\_y\\_Control/Ivan\\_Velazquez/Catedra/Capitulo%205.%20Elementos%20finales%20de%20Control.pdf](http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion_y_Control/Ivan_Velazquez/Catedra/Capitulo%205.%20Elementos%20finales%20de%20Control.pdf)

Weirminerals. (2008). Bomba Warman Q. Obtenido de [http://es.weirminerals.com/products\\_services/centrifugal\\_slurry\\_pumps/axial\\_flow\\_pumps/warman\\_q\\_pump.aspx](http://es.weirminerals.com/products_services/centrifugal_slurry_pumps/axial_flow_pumps/warman_q_pump.aspx)

West Instruments de México S.A. (s.f.). Termopares Industriales. (México). Obtenido de [http://westmexico.com.mx/pfd/west2/tc\\_ind/info\\_tec.pdf](http://westmexico.com.mx/pfd/west2/tc_ind/info_tec.pdf)

Wordpress. (2008). Bomba Hidráulica. Obtenido de <http://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/tipos-de-bombas.pdf>

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

FIRMA ESTUDIANTES Juan D. Ag.

Andrés Fias

Javier Sosa

FIRMA ASESOR Patricia Quiróz C.

FECHA ENTREGA: 14 de julio de 2016

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_


RECHAZADO \_\_\_ ACEPTADO \_\_\_ ACEPTADO CON MODIFICACIONES \_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

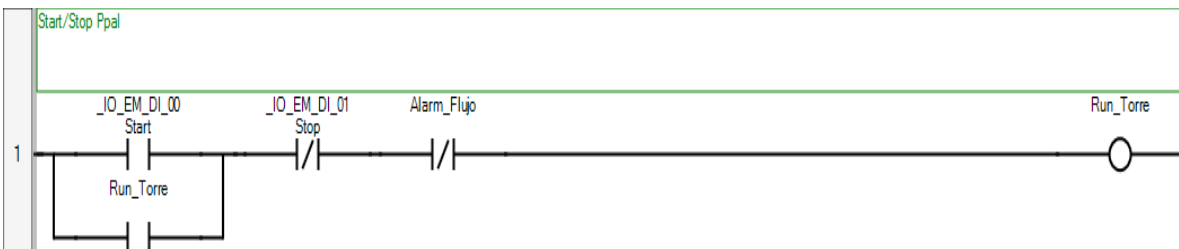
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

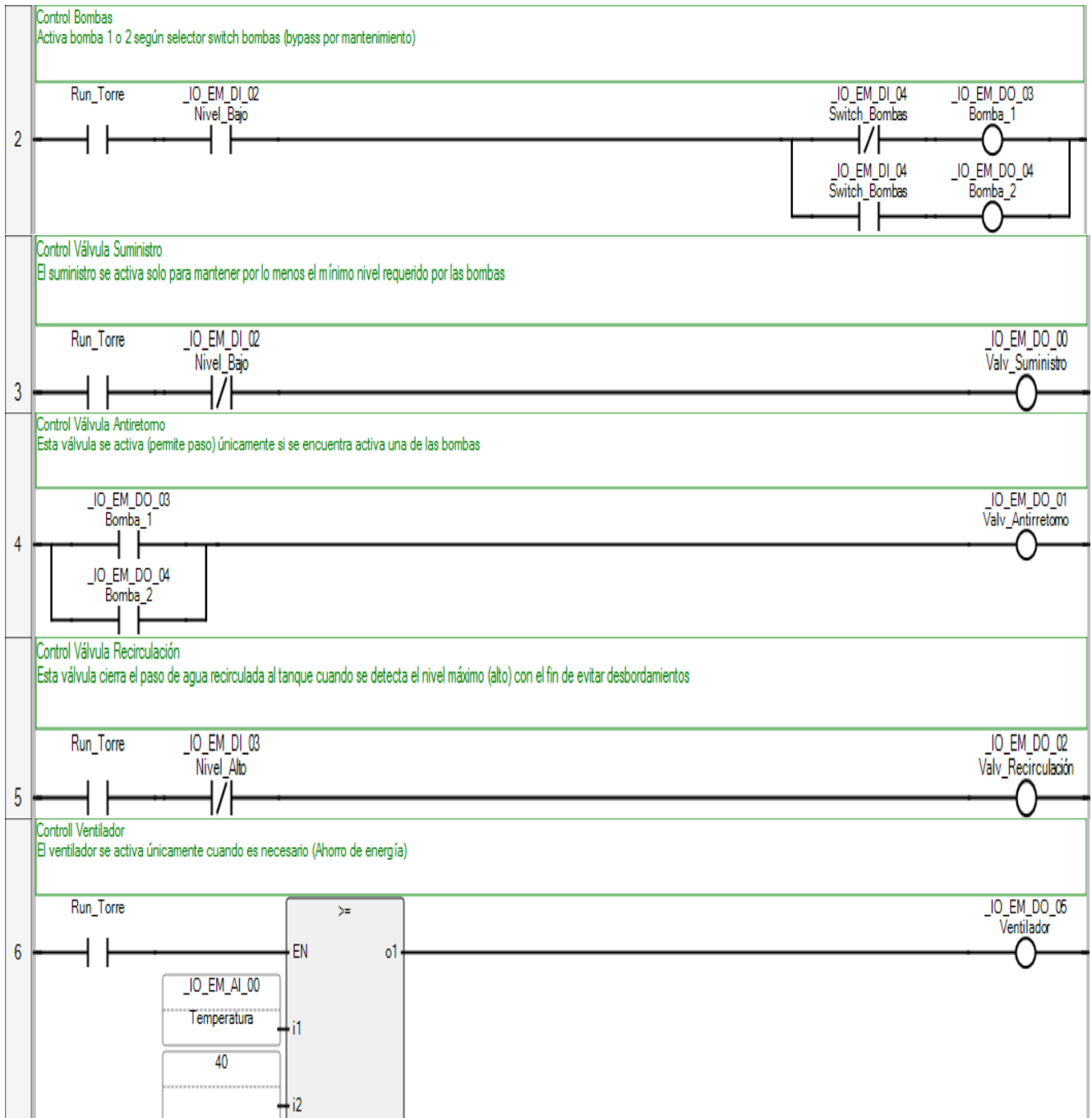
## Anexos

### 8.1. Datos del plc

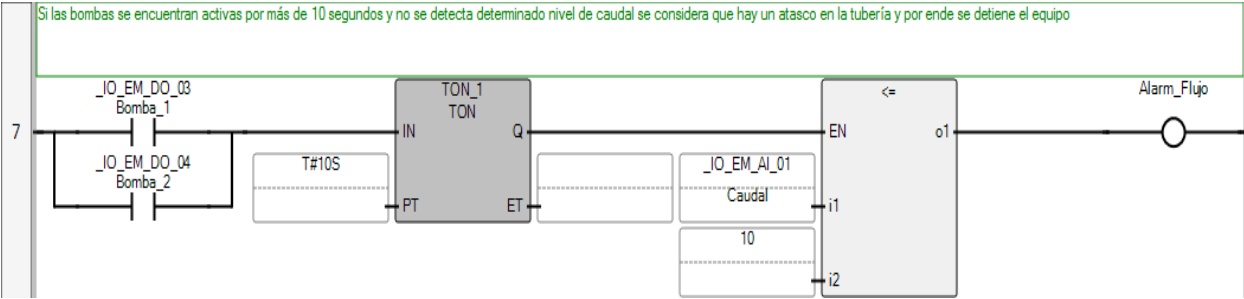
LISTADO DE ENTRADAS Y SALIDAS					
PROYECTO	TORRE DE ENFRIAMIENTO		REVISIÓN	PLC	
CLIENTE	POSTELECTRAS DISHIERROS S.A		0	2080-LC20-20QBB	
I/O	NOMBRE	DISPOSITIVO	VOLTAJE	Interfaz S	
I1.0	Start	Pulsador NO	24 Vdc	Directo	Digital Input
I1.1	Stop	Pulsador NC	24 Vdc	Directo	
I1.2	Nivel Bajo	Sensor Nivel	24 Vdc	Directo	
I1.3	Nivel Alto	Sensor Nivel	24 Vdc	Directo	
I1.4	Switch_Bombas	Selector 2 pos	24 Vdc	Directo	
I1.5					
I1.6					
I1.7					
I1.8					
I1.9					
AI1+	Temp_Agua_retorno +	PT100	0-10 Vdc	Directo	Analog Input
AI1-	Temp_Agua_retorno -	PT100	0-10 Vdc	Directo	
AI2+	Caudal Salida +	Sensor de Flujo +	0-10 Vdc	Directo	
AI2-	Caudal Salida -	Sensor de Flujo -	0-10 Vdc	Directo	
O2.0	Válvula Suministro		24 Vdc	Relé DC/DC 2A	Digital Output
O2.1	Válvula Antirretorno		24 Vdc	Relé DC/DC 2A	
O2.2	Válvula Recirculación		24 Vdc	Relé DC/DC 2A	
O2.3	Bomba Centrífuga 1		24 Vdc	Relé Interfaz	
O2.4	Bomba Centrífuga 2		24 Vdc	Relé Interfaz	
O2.5	Ventilador		23 Vdc	Relé Interfaz	
O2.6					


### 8.2. Programa del plc





 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 8.3. Propuesta comercial

**Medición y Control**  
 LA MEDICIÓN CONFIABLE  
 NIT: 800.094.654-1

COTIZACIÓN: No: 38591

FECHA : JUNIO 29 DE 2016

SEÑOR (A): JUAN DAVID AGUDELO HOYOS  
 EMPRESA: CORTEACEROS S.A.  
 TELÉFONO:  
 VALIDEZ DE LA OFERTA: 15 DIAS  
 FORMA DE PAGO: CONTADO  
 TIEMPO DE ENTREGA: VER CADA ITEM



CIUDAD: ITAGUI  
 FAX:  
 E-MAIL: ventas.mdc@corfeaceros.com


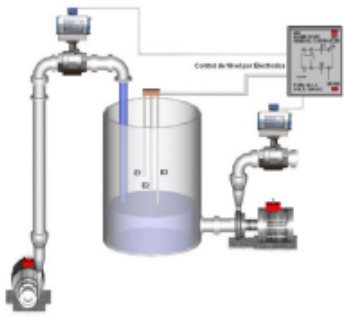
HOJA 1 de 1

CODIGO: 00.007.686


REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CANT.	V. UNIT	V. TOTAL
EV-210 B	<b>VALVULA SOLENOIDE DANFOS</b> Cuerpo de valvula de solenoide en bronce laton 2/2, Uso: agua, aire, aceite, liquidos y gases neutros. Viscosidad: hasta 50cst. <b>Para tubería de 1/2"</b> Presion de 0 - 1,2 BAR OPERACIÓN DIRECTA TAMAÑO DE ORIFICIO 10MM TEMPERATURA DEL MEDIO. -30 A 140 °C	1	USD 71	USD 71
				
BF	<b>BOBINA PARA VALVULA SOLENOIDE 24VDC / 10W WATT.</b>  <b>TIEMPO DE ENTREGA 3 DIAS HABILDES</b>	1	USD 38	USD 38
060-118966	<b>PRESOSTATO DANFOSS KPI 36</b> Rango ajustable 4 a 12 bar Diferencial: 0.5 a 1,6 bares (7.25 a 23.2PSI) Conexión roscada de 1/4" A, Protección IP 33, contacto Para:220 vol - 10 Amp  <b>TIEMPO DE ENTREGA INMEDIATO SALVO VENTA</b>	1	USD 89	USD 89
				


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

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

<b>SFP-601M</b>	Capacidad 15A (220VAC). - JUEGO DE 5 PALETAS INOXIDABLES DESDE 1" HASTA 6" - AJUSTE 1" (21 A 50 LPM) / 2" (58 A 155 LPM) / 3" (115 A 260 LPM) - MAX. PRESIÓN ESTÁTICA: 10 BARES - TEMPERATURA DE AMBIENTE MAX: 0°C-60°C - TEMPERATURA MAX. LIQUIDO: 120°C - CONTACTO ELECTRICO: SPDT / CAPACIDAD 15A (220VAC). CARCASA: PLASTICA CON PERFORACIÓN DE 22 MM	1	\$124.250	\$124.250
<b>TIEMPO DE ENTREGA INMEDIATO SALVO VENTA</b>				
<b>JLC-1-110</b>	<b>CONTROL DE NIVEL POR ELECTRODOS GITTA</b> Alimentación 110 V ó 220 V Contactos de control NA / NC, 5 Amp / 250 VAC. Temporización interna on delay 3 seg Nivel alto-bajo con diferencial y pilotos de señalización. Montaje en base octogonal para riel DIN.	1	\$58.600	\$58.600
				
<b>8P-PFA</b>	Base grande para JLC 8 pines	1	\$9.500	\$9.500
<b>12006</b>	<b>JUEGO DE 3 ELECTRODOS INOXIDABLES</b> Base en politrón Varillas de 1/4" de diametro, Longitud hasta 50 cm	1	\$128.800	\$128.800
<b>DIAGRAMA DE CONEXIÓN</b>				
				
<b>TIEMPO DE ENTREGA 3 A 4 DIAS HABLES</b>				



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

TRR-B-2-75-B-3-4	<b>TERMORRESISTENCIA PT 100 DIN, MYC.</b> Termopozo en acero inoxidable de 1/4" x 4" de longitud Cuello extendido de 3" de longitud Conexión al proceso de 1/2" NPT. Terminal cabezote IP 65 a prueba de interperie de tres hilos.		1	\$222.500	\$222.500
	<b>TIEMPO DE ENTREGA 3 A 4 DIAS HABLES</b>				


**IMPUESTOS: A LOS PRECIOS INDICADOS ANTERIORMENTE SE LES DEBE ADICIONAR EL I. V. A DEL 16 %**

**SERVICIOS** Todo servicio pos-venta de reparación o asesoría por incorrecta instalación o aplicación serán facturado por horas de acuerdo con tarifa interna de Medición y Control S.A.S.

Cordialmente,

**PAOLA PIEDRAHITA RUIZ**  
[asesor-3@medicionycontrol.com.co](mailto:asesor-3@medicionycontrol.com.co)  
 Cel 3013922336

Calle 11C Sur N° 48B-06  
 Teléfono: P. B. X (94) - 448 2986 Fax: (94) 311 5799  
 E-mail: [medicionyc@medicionycontrol.com.co](mailto:medicionyc@medicionycontrol.com.co) \* [www.medicionycontrol.com.co](http://www.medicionycontrol.com.co)  
**MEDELLÍN - COLOMBIA**

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## ELECTRIC-SERVICE S.A.S.

NIT: 900.815.066-9



Juan Agudelo  
 NIT:  
 Dirección:  
 Solicitante: Dpto. Compras  
 Teléfono:

Cotización No.	OC-0002060
Fecha Cotización	06/07/2016

### OFERTA

Item	Descripción	MARCA	Cant	Valor unit	ValorTotal
1	UNI.ACT.VÁL.BO. VZBC-15-FF-40-22-F0304-V4V4T-P PZ P15-R-90-C	FESTO	1	\$ 1.250.186	\$ 1.250.186

<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.250.186</b>
--------------	---------------------

Más IVA Vigente al Momento de la Factura  
 Validez de la Oferta: 15 días  
 Forma de Pago: 30 días  
 Tiempo de Entrega: 14 a 15 días

Cordialmente  
 Diego Alvarez Silva  
 Ingeniero asesor  
 Electric-Service SAS  
 Cel. 3152927145

### ELECTRIC-SERVICE S.A.S.

Dirección: Sede Medellín cl 40 # 83d-23  
 E-mail: diego@electric-service.com.co  
 CEL: 3152927145 - (054) 322-9660






 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Imagen	Código / Ref	Descripción	Cant.	Precio / Unitario	Precio / Total	Borrar
	<a href="#">253477</a> 032U3818-24VDC	Valvula solenoide uso general 2 vias Normalmente cerrada 24 VDC, 1/2"G / 10mm / 1.50 m3/h, Bronce / Directa, Bobina 042N7551 Incluida, agua:60°C / otros:100°C, , danfoss, Entrega: Inmediata	1	504.000	504.000	<input type="button" value="Borrar"/>
<a href="#">Catalogo</a>						
	<a href="#">157206</a> 017-623768 RT-200	Presostato industrial alta gama, 0,2 a 6 bar, 0,07 a 0,16 bar, G 3/8, Liquidos y gaseosos, , danfoss, Entrega: Inmediata	1	1.074.359	1.074.359	<input type="button" value="Borrar"/>
<a href="#">Catalogo</a>						
	<a href="#">170223</a> SFP-60-1	Interruptor de flujo tipo paleta proteccion nema 1, Nema 1 IP20, 0 a 100 °C / 0° a 60°C, 10 Bar, 1/2" NPT, , maycin, Entrega: INMEDIATA	1	236.880	236.880	<input type="button" value="Borrar"/>
<a href="#">Catalogo</a>						
	<a href="#">125204</a>	termoresistencias rtd pt100 con cabezote rosca, 4", 1/2" OD, 1/2" NPT, PT100 Clase B 3 hilos simple, , via, Entrega: Inmediata	1	255.000	255.000	<input type="button" value="Borrar"/>
<a href="#">Catalogo</a>						

[Agregar otros productos](#)  
[Agregar mas termoresistencias-rtd-pt100](#)

<b>Precios en Pesos Colombianos</b>	<b>SubTotal : \$</b>	2.070.239
	<b>Des. 0 % : \$</b>	0
	<b>Sub. Con Des.: \$</b>	2.070.239
	<b>IVA : \$</b>	331.238
	<b>Total : \$</b>	2.401.477