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

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA
EL PROCESO DE REFRIGERACIÓN POR AGUA EN UNA VULCANIZADORA DE
BANDAS DE TRANSPORTE EN REIMPEX S.A.**

Por


SEBASTIÁN ZAPATA OCHOA

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Directora

**NORMA PATRICIA GUARNIZO
INGENIERA ELECTRÓNICA**


**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
INSTITUCION UNIVERSITARIA
MEDELLIN
2016**

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


RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es diseñar un proceso automatizado para el vulcanizado de bandas de transporte, con el fin de mejorar los tiempos de producción y generar un aporte al cuidado del medio ambiente mediante el almacenamiento y reutilización del agua que actualmente es desperdiciada en el proceso, lo cual es posible gracias a que el agua no es contaminada por ningún agente externo o químico. Lo que se busca es diseñar un sistema de almacenamiento y refrigeración mediante la circulación del agua de manera controlada en la línea SDM (Soluciones Diversas de Movimiento) de Reimpex S.A, a través de la medición de variables como temperatura y presión con lo que se lograría un ahorro significativo en el consumo de este servicio.

Para la implementación de este sistema de vulcanizado que se quiere diseñar se debieron abarcar varios contenidos en los cuales se investigaron temas como sensores para controlar una variable importante del proceso que es la temperatura y la medición de la presión, el proceso de vulcanizado, los componentes principales de la máquina encargada de realizar este proceso, además de elementos finales de control como válvulas, bombas para generar la recirculación del agua, entre otros temas, que serán expuestos en esta tesis y todo esto con el fin de seleccionar los elementos adecuados para el diseño de este sistema, como herramienta principal se investigó y se trabajó por medio de un software llamado logosoft-comfort de Siemens para el diseño del programa que controlará todo el proceso de vulcanizado por medio de un PLC logo, el cual es adecuado para el desarrollo de este proyecto.


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

Palabras clave: Vulcanizado, sensores, PLC, temperatura, presión, biselado, troquelado, bandas, tipos de empalmes, recirculación, bombas.

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

RECONOCIMIENTOS

La realización de esta tesis fue posible gracias a la colaboración brindada por la asesora NORMA GUARNIZO, docente del INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO (ITM) Institución universitaria, quien tuvo a cargo la responsabilidad de guiarme en este proceso y brindarme las herramientas necesarias para realizar este trabajo de grado, a quien agradezco su tiempo, paciencia y disposición, gracias a su ayuda fue posible recoger la información necesaria y correcta, las cuales fueron de gran apoyo en este proyecto, así mismo a la empresa REIMPEX S.A. que me dio la oportunidad de trabajar en este proyecto de investigación, permitiéndome analizar el proceso de vulcanizado de bandas y así poder demostrar por medio de un diseño de automatización mejoras para el proceso, dando una opción a la empresa que pueden implementar a futuro.

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

ACRÓNIMOS

ADJ Adjust

ANSI Instituto Nacional Estadounidense de Estándares

ATM Atmósfera

AWG American Wire Gauge

CM Centímetros

CPU Unidad de Proceso Central

CPVC Cloruro de polivinilo clorado

DIN Instituto Alemán de Normalización

FBD Diagramas de Bloques de Función

FEM Fuerza Electromotriz

GND Ground

HMI Interfaz Máquina Hombre

HP Horse power

IEC Comisión Electrotécnica Internacional

LCR Circuitos Resonantes

LVDT Transformador Diferencial Variable Lineal

NEMA Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos

NTC Coeficiente de Temperatura Negativo

PID Proporcional Integral Derivativo

PLC Controlador Lógico Programable

PSI Libras por Pulgada Cuadrada

PTC Coeficiente de Temperatura Positivo

PVC Poli cloruro de vinilo

RTD Detector de Temperatura Resistivo


SA Sociedad Anónima

SI Sistema Internacional


SSR Solid state relays

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 El vulcanizado.....	4
2.2 Empalmes vulcanizados.....	7
2.2.1 Empalmes vulcanizados en caliente.....	7
2.2.2 Empalmes vulcanizados en frio.....	9
2.3 Vulcanizadora bandas de transporte	10
2.4 Sensores de temperatura	13
2.4.1 Sensores de temperatura RTD.....	14
2.4.2 Termistores.....	18
2.4.3 Sensores de temperatura termopares.....	22
2.4.4 Sensores de temperatura con semiconductores.....	28
2.5 Sensores de presión.....	35
2.5.1 Manómetros.....	36
2.5.2 Sensores de presión electromecánicos.....	41
2.6 Acondicionamiento de sensores resistivos.....	49
2.7 Controlador lógico programable (plc)	51
2.7.1 Historia.....	51
2.7.2 Tipos de PLC.....	54
2.7.3 Lenguajes de programación.....	58
2.8 La válvula como elemento final de control.....	61
2.8.1 Tipos de válvulas.....	66
2.9 Bombas	75
2.9.1 Tipos de bombas.....	76

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

2.10 Torres de enfriamiento.....	88
2.10.1 Torres de tipo atmosférico.....	89
2.10.2 Torres de corriente mecánica	90
2.10.3 Clasificación por caudal de aire y construcción.....	92
2.10.4 Relleno de las torres de enfriamiento.....	94
2.11 Ecuación general de la energía	96
2.11.1 Número de Reynolds, flujo laminar o turbulento.....	98
2.11.2 Pérdidas de energía (HL).....	100
2.11.3 Potencia agregada y eficiencia mecánica de las bombas.....	108
3 METODOLOGÍA.....	110
3.1 Diseño actual del proceso de vulcanizado.....	110
3.2 Desarrollo de cálculos para nuevo diseño del proceso de vulcanizado	117
3.2.1 Cálculos del consumo de agua en vulcanizadoras.....	117
3.2.2 Cálculos para selección de tubería, bomba y válvulas para cada vulcanizadora. ..	122
3.2.4 Valor actual consumo de agua.....	131
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	136
4.1 Resultados	136
4.1.1 Diseño Tanque de almacenamiento para el agua.....	137
4.1.2 Elección del tipo de PLC a utilizar y desarrollo del software.....	141
4.1.3 Diseño Eléctrico.....	144
4.1.4 Sistema de control.....	151
4.1.5 Tubería y accesorios.....	154
4.1.6 Diseño 3D proceso de vulcanizado.....	155
4.2 Discusión.....	162
5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	164
5.1 Conclusiones	164
5.2 Trabajo Futuro	165
5.3 Recomendaciones para el sistema propuesto	166
REFERENCIAS	171
APÉNDICE	181
Apéndice A	181
Apéndice B.....	182

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

Apéndice C.....	183
Apéndice D	184
Apéndice E.....	185
Apéndice F.....	186
Apéndice G.	187

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de vulcanizado	3
Figura 2. Comportamiento del azufre en las moléculas del caucho	6
Figura 3. a) Empalme Biselado, b) Empalme Biselado vulcanizado	8
Figura 4. a) Empalme de dedos (Finger), b) Empalme de dedos (Finger) vulcanizado	9
Figura 5. Unión caucho espumoso – banda transporte (caucho-nylon-caucho).....	10
Figura 6. Vulcanizadora bandas de transporte.....	11
Figura 7. Resistencia de máquina vulcanizadora.....	12
Figura 8. Vejiga neumática de presión.	13
Figura 9. Sensor PT100	15
Figura 10. Curva característica sensor PT100	16
Figura 11. Conexión PT100 2 hilos.....	17
Figura 12. Conexión PT100 3 hilos.....	17
Figura 13. Conexión PT100 4 hilos.....	18
Figura 14. Tipos de termistores y simbología.	19
Figura 15. Grafica Termistor NTC vs PT100.....	20
Figura 16. Circuito de Linealización termistor NTC.....	21
Figura 17. Curva de Trabajo termistor PTC	22
Figura 18. Junta caliente termopares	22
Figura 19. Fuerza electromotriz a diferentes temperaturas	23
Figura 20. Circuito termopares efecto Peltier.....	23
Figura 21. Circulación de corriente en un conductor efecto Thompson	24
Figura 22. Gráfica respuesta (f.e.m) vs temperatura para cada tipo de termopar.....	25
Figura 23. Tipo junta Termopar	26
Figura 24. Terminales termopar tipo J.....	28
Figura 25. Terminales termopar tipo K	28
Figura 26. Simbología del diodo	29
Figura 27. Polarización de diodo	30
Figura 28. Simbología diodo zéner.....	31
Figura 29. Salida lineal del LM335.	31


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

Figura 30. Encapsulados del sensor de temperatura LM335.....	32
Figura 31. Conexión del LM335.	32
Figura 32. Salida Lineal del LM35.....	33
Figura 33. Encapsulados del sensor de temperatura LM35.....	34
Figura 34. Conexión Pull-down lm35	34
Figura 35. Tipos de Presión.....	36
Figura 36. Manómetro de bourdon tipo “C”	37
Figura 37. Tubos de Bourdon.	38
Figura 38. Manómetro con diafragma.	39
Figura 39. Manómetro con fuelle	40
Figura 40. Sensor de presión electromecánico (potenciómetro)	42
Figura 41. Transductor de inducción variable.	43
Figura 42. Transformador Diferencial (LVDT).	44
Figura 43. Transductor de reluctancia variable.	45
Figura 44. Galga extensiométrica cementada.	46
Figura 45. Galga extensiométrica de silicio fundido.	47
Figura 46. Relación esfuerzos y deformaciones.	48
Figura 47. Transductor Piezoeléctrico.....	49
Figura 48. Puente de Wheastone.	50
Figura 49. Esquema Proceso a Controlar por un PLC.....	54
Figura 50. Estructura PLC Nano	55
Figura 51. PLC Nano siemens 230RC.....	56
Figura 52. Estructura PLC compacto.	56
Figura 53. PLC Compacto Siemens S7-1200.....	57
Figura 54. Estructura PLC Modular Siemens S7-300	58
Figura 55. Estructura ladder.	60
Figura 56. Estructura lenguaje FBD.	61
Figura 57. Válvula de control representativa.....	63
Figura 58. Tipo de conexiones de válvula a tubería.	64
Figura 59. Válvula de compuerta.	64
Figura 60. Servomotor neumático.	65
Figura 61. Servomotor Eléctrico.	66
Figura 62. Tipos de válvula de globo.	67
Figura 63. Válvula de ángulo.	68
Figura 64. Válvulas de tres vías.....	69
Figura 65. Válvula de compuerta.	69
Figura 66. Válvula en Y.	70
Figura 67. Válvula de cuerpo partido.	71
Figura 68. Válvula de compresión.....	71
Figura 69. Válvula de obturador excéntrico rotativo.....	72
Figura 70. Válvulas de obturador cilíndrico excéntrico.	73
Figura 71. Válvula de mariposa.....	73
Figura 72. Válvulas de bola.....	74
Figura 73. Válvula de flujo axial.....	75



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

Figura 74. Primera bomba descrita por Arquímedes.....	76
Figura 75. Componentes de una bomba centrífuga de flujo radial.....	77
Figura 76. Bomba centrífuga de flujo axial.....	78
Figura 77. Tipos de Impulsores para bombas centrífugas.....	79
Figura 78. Bomba de desplazamiento positivo de pistón.....	80
Figura 79. Bomba alternativa de diafragma.....	81
Figura 80. Bomba alternativa de pistón de simple efecto.....	83
Figura 81. Bomba alternativa de pistón de doble efecto.....	83
Figura 82. Bomba Rotativa de engranajes.....	85
Figura 83. Bomba Rotativa de engranajes internos.....	85
Figura 84. Bomba rotativa de aletas.....	86
Figura 85. Bomba rotativa de tres tornillos.....	87
Figura 86. Bomba rotativa de 3 lóbulos.....	88
Figura 87. Torre de enfriamiento atmosférica.....	89
Figura 88. Torre de corriente forzada.....	91
Figura 89. Torre de corriente inducida.....	92
Figura 90. Torre de caudal contrario.....	93
Figura 91. Torre de caudal cruzado.....	94
Figura 92. Relleno tipo salpicadura.....	95
Figura 93. Relleno tipo laminar.....	96
Figura 94. Flujos laminar, de transición y turbulento.....	99
Figura 95. Diagrama de Moody.....	103
Figura 96. Coeficiente de resistencia para salida de fluidos de un tanque.....	105
Figura 97. Coeficiente de resistencia para la entrada de un fluido hacia un tanque.....	106
Figura 98. Coeficiente de resistencia para componentes de tubería.....	107
Figura 99. Caja de control para vulcanizadoras.....	111
Figura 100. Válvula para el paso del agua en el proceso de vulcanizado.....	112
Figura 101. Sistema de distribución del agua hacia las planchas de la vulcanizadora.....	113
Figura 102. Tanque de almacenamiento del agua.....	114
Figura 103. Instalación neumática para generar presión al proceso de vulcanizado.....	115
Figura 104. Sistema de válvulas que permiten el paso de aire hacia la vejiga y planchas.....	116
Figura 105. Distribución actual en planta vulcanizadoras.....	117
Figura 106. Medición de Temperatura salida agua vulcanizadora.....	124
Figura 107. Medición de presiones del agua a la entrada y salida de la vulcanizadora.....	128
Figura 108. Diagrama de flujo proceso de vulcanizado.....	137
Figura 109. Diseño para tanque de almacenamiento.....	139
Figura 110. Diseño de relleno para tanque en acero inoxidable.....	140
Figura 111. Lateral entrada de aire en tanque.....	141
Figura 112. Esquema eléctrico de control LOGO 230RC.....	145
Figura 113. Circuito de Potencia y control proceso de refrigeración.....	146
Figura 114. Conector multipolar industrial.....	147
Figura 115. Configuración conector multipolar macho/hembra plancha superior.....	148
Figura 116. Configuración conector multipolar macho/hembra plancha inferior.....	149
Figura 117. Sensor de Flota.....	150

Figura 118. Circuito de control nivel de tanque.	151
Figura 119. Electroválvula.	152
Figura 120. Válvula de bola.	153
Figura 121. Válvula anti retorno.....	153
Figura 122. Bomba periférica pedrollo.....	154
Figura 123. Vista isométrica diseño 3D.	156
Figura 124. Acercamiento sistema de distribución del agua.	157
Figura 125. Tubería PVC distribución agua fría.	157
Figura 126. Entrada y salida de agua en vulcanizadora.	158
Figura 127. Entrada de agua al tanque de almacenamiento.	159
Figura 128. Relleno acero inox instalado.	160
Figura 129. Perforaciones tubería CPVC entrada tanque.	161
Figura 130. Limpieza de tubería.....	166
Figura 131. Aplicación de pegamento.....	167
Figura 132. Gabinete eléctrico.....	168
Figura 133. Elementos de protección.	170

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22


1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

En Reimpex S.A. existe una línea de producción llamada SDM (Soluciones diversos de Movimiento) que es la encargada de la elaboración de las bandas de transporte y de transmisión con una gran variedad de materiales según las especificaciones que desee el cliente, cada una de estas bandas tiene su proceso dependiendo de la utilidad que tenga, en esta parte de producción de la empresa es donde encontramos una debilidad a la hora de realizar el proceso para las bandas de transporte.

En el proceso de vulcanizado para las bandas de transporte interviene mucho el operario, ya que tiene que estar pendiente del sonido de la alarma de temperatura que indica la finalización del proceso, refrigerar por medio de una válvula permitiendo el paso del agua y retirar el agua que queda interno en las planchas, una de los grandes problemas de este proceso es la cantidad de agua que se gasta en la refrigeración de las planchas sin ningún tipo de control.

Por tal motivo se desea diseñar un sistema automático de control que nos permita optimizar este proceso de producción, diseñando un sistema de almacenamiento y recirculación de agua por medio de un tanque de almacenamiento y un sistema de control de temperatura que controle la llegada de la vulcanizadora al set-point programado, la abertura y cierre de la electroválvula que nos permitan el paso del agua para refrigerar y la activación de la motobomba para la recirculación del agua, la refrigeración de estas planchas se hace con agua a temperatura

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

ambiente por tal motivo se debe diseñar un tanque para que el agua que se reutilice este +/- 25 Celsius y el agua que llegue al tanque que en su primer minuto es vapor no afecte el proceso.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general.

Diseñar un sistema automático de control de temperatura para el proceso de refrigeración por agua en una vulcanizadora de bandas de transporte en Reimpex S.A.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Diseñar el sistema eléctrico y de cableado para el control de temperatura.
- Diseñar el manual de usuario, el código de programación y la simulación del sistema.
- Diseñar el sistema mecánico de almacenamiento y recirculación del agua.

2. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de este trabajo se realizará con base en el diseño de un sistema automático de control de temperatura para el proceso de refrigeración de bandas en una máquina vulcanizadora.

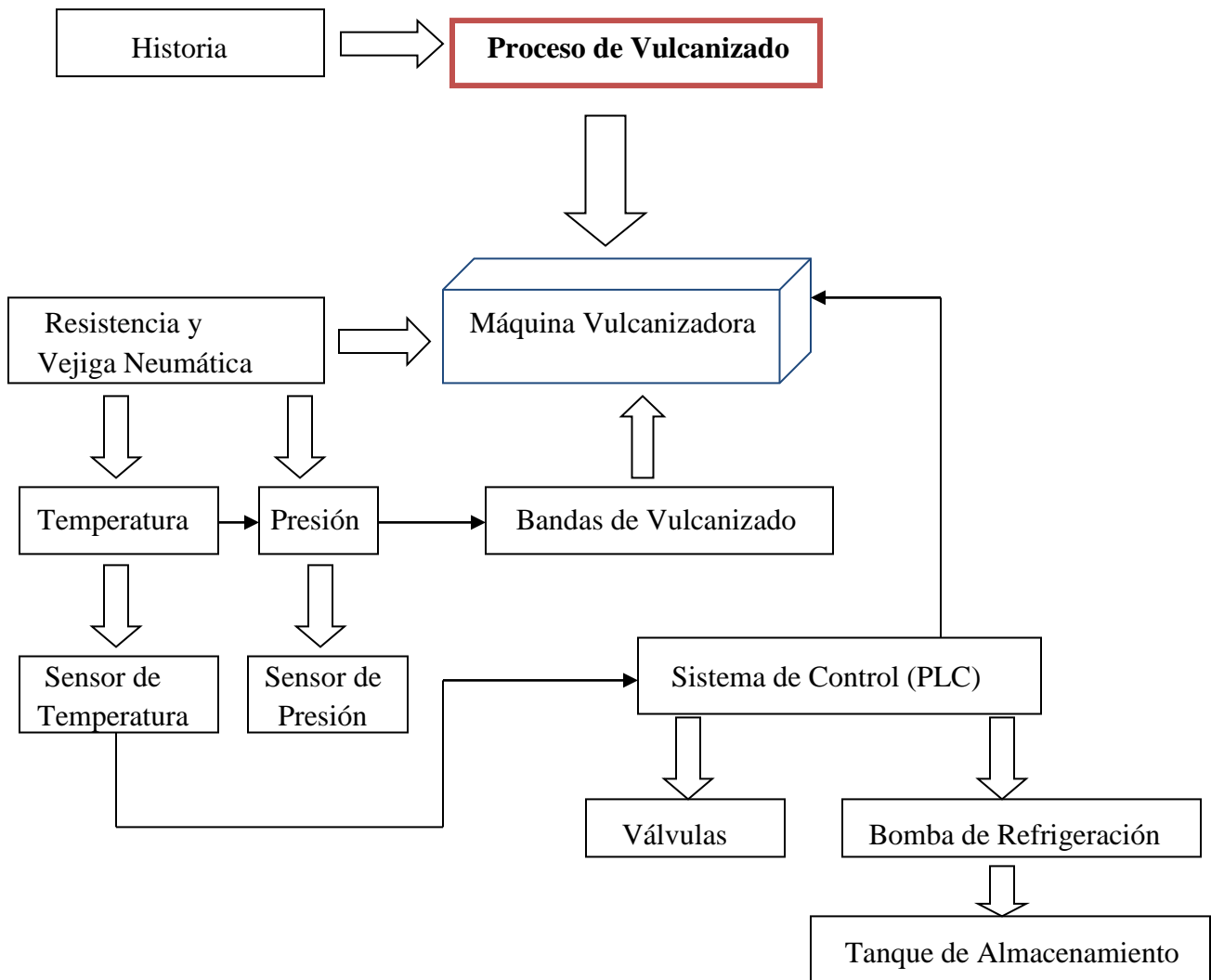




Figura 1. Proceso de vulcanizado

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.1 El vulcanizado

El proceso de vulcanizado, llamado así en honor al Dios romano del fuego y la metalurgia “Vulcano”, consiste en calentar el caucho crudo con presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y así obtenga mayor resistencia al tener contacto con el calor, fue descubierto por Charles Goodyear (1800 – 1860), tras varios años de intentar hacer del caucho un compuesto más estable sin resultado alguno en 1839 accidentalmente al caer un trozo de caucho mezclado con azufre en un horno Charles Goodyear observó que el caucho no se carbonizó, al contrario se fundió con el calor, con base en este resultado, realizó varias pruebas calentando el caucho mezclado con el azufre a una temperatura de 132°C por cuatro horas con vapor y a presión, en consecuencia obtendría un caucho más rígido, este proceso que requiere de un aumento de la temperatura y la presión aún sigue siendo la base de la industria del caucho.


Con el pasar de los años se descubrieron varios elementos que servirían para acelerar este proceso como lo fueron el óxido de zinc (bajo el proceso a 3 horas con una temperatura de 140°C), la Tiocarbanilida (Acelerante que llevó el proceso a 1.1/2 hora con una temperatura de 140°C) y en 1921 se incluyeron algunos ácidos grasos como el ácido esteárico (bajando el proceso a 20 min con una temperatura de 140°C), en efecto actualmente se han realizado estudios más avanzados para crear acelerantes más efectivos, como lo es el acelerador de vulcanización M, que está compuesto generalmente por nitroclorobenceno ($C_6H_4ClNO_2$), hidrosulfuro de sodio (NaHS) y disulfuro de carbono (CS_2), estos tres elementos son mezclados en un reactor a temperaturas de precalentamiento (20°C a 45°C) y calentamiento (65°C a 120°C), obteniendo

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

este elemento por medio de la condensación que se genera en el reactor al aplicar estas dos etapas de temperatura (Zhang et al, 2010).

En el vulcanizado se produce el entrelazamiento de las moléculas del caucho gracias a la inclusión del azufre, el cual forma cadenas con sus propios átomos estabilizando la estructura morfológica. Cabe resaltar que en un proceso de vulcanizado moderno no solo se utiliza el azufre, también se incluyen otras sustancias químicas que nos ayudan a controlar la velocidad del vulcanizado y la regularidad del proceso. Así, parámetros como la temperatura, la presión y el tiempo de vulcanizado, son de vital importancia para garantizar un resultado óptimo, para un operario es difícil ajustar estas variables ya que es un proceso no lineal, que puede ser inestable y con posibles tiempos de retraso. Con el avance de la teoría de control moderna se ha desarrollado una nueva etapa para este proceso, tomando como buena opción para el control de la temperatura y la presión un controlador PID (Wang et al, 2007).

Como podemos observar en la Figura 1, el caucho sin la inclusión del azufre es un material flexible y débil, compuesto por cadenas de polímeros elásticas las cuales no están unidas entre ellas, al incluir el azufre en el proceso de vulcanizado, los polímeros del caucho constituyen enlaces cruzados uniéndose químicamente entre sí, dando como resultado un caucho más estable y rígido.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

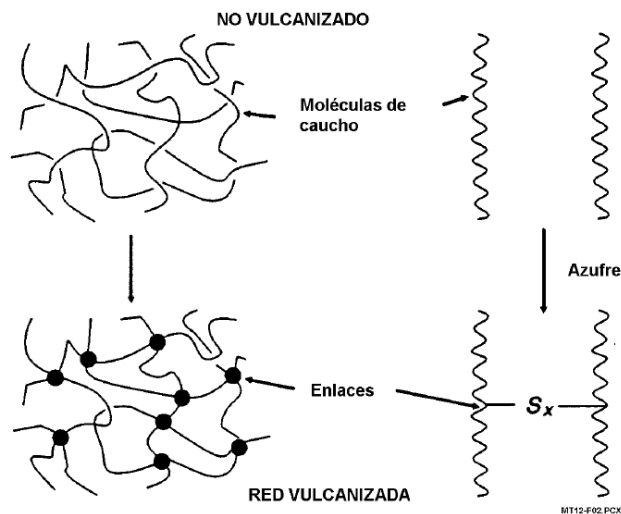



Figura 2. Comportamiento del azufre en las moléculas del caucho

Fuente: Castaño, N. Historia del caucho (p.8). De http://www.calzawebperu.com/PDF/historia_caucho.pdf

Las aplicaciones en la industria son amplias para este proceso, ya que el caucho puede ser utilizado en productos industriales como el calzado, bandas transportadoras, correas de transmisión, en ingeniería como amortiguadores de choque, aislamiento de cables, sellos estáticos, rodillos, cámaras (Air-bags), vejigas (bladders), agrícolas como mangueras para riego, así mismo en el área de la medicina y automovilística para la elaboración de los neumáticos, en los cuales se ha estudiado la manera de aumentar la eficacia en su fabricación por medio de modelos matemáticos, proponiendo realizar una producción de dos etapas y así distribuir la carga de operación en los equipos para obtener un tiempo de retardo mínimo (Yu et al, 2011).

Se han realizado estudios con respecto al caucho natural vulcanizado para automóviles, ya que surgió la necesidad de diseñar componentes de caucho contra fallas por fatiga (Woo et al, 2009), para aumentar la extensión de la garantía y evitar fallas durante el funcionamiento, por lo

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

tanto la predicción de la fatiga es una tecnología clave para la seguridad y la fiabilidad de los elementos de caucho en el ámbito automovilístico.


2.2 Empalmes vulcanizados

Este tipo de empalmes comenzaron a ser desarrollados por la necesidad de unir las bandas que serían utilizadas para el transporte de objetos, en principio este sistema se implementó para las bandas hechas de textiles de algodón y luego con el pasar de los años se fueron desarrollando nuevos materiales (textiles sintéticos) como el poliéster, para cubrir las necesidades industriales se comienzan a elaborar bandas más flexibles, que pudieran soportar más tensión y obtener mejores resultados en el proceso de vulcanizado.

2.2.1 Empalmes vulcanizados en caliente.

Este proceso es realizado habitualmente en las bandas que van a ser utilizadas en el transporte de algún producto (frutas, verduras, envases de vidrio, productos agrícolas, madera, productos de aseo, entre otros) y se obtiene uniéndose ambos lados de la banda en un empalme sin fin, es llamado así ya que sus extremos son vulcanizados para que la banda cumpla su función apropiadamente. Es esencial para este proceso entregar una temperatura adecuada dependiendo el tipo de material de la banda para que el proceso de vulcanizado sea adecuado y garantizar una presión uniforme por medio de una vejiga sobre toda la zona de vulcanización, este proceso nos brinda algunas ventajas como lo son una buena resistencia a la tensión, no se ve afectado el espesor de la banda empalmada al terminar el vulcanizado y operación silenciosa de la banda.

- **Empalme Biselado:** Este tipo de empalme se realiza en las bandas de transporte que se componen de caucho o lona ya que estos materiales no son termo sellables, por tal motivo

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

lleva una pega especial en los extremos de la banda donde se realizó el proceso de biselado para que al momento de vulcanizar se logre una adherencia muy resistente en esta zona. Como se observa en la Figura 2, luego de biselar podemos ver las tres capas en las que se compone la banda y en su mayoría son en el orden Caucho-Nylon-Caucho.

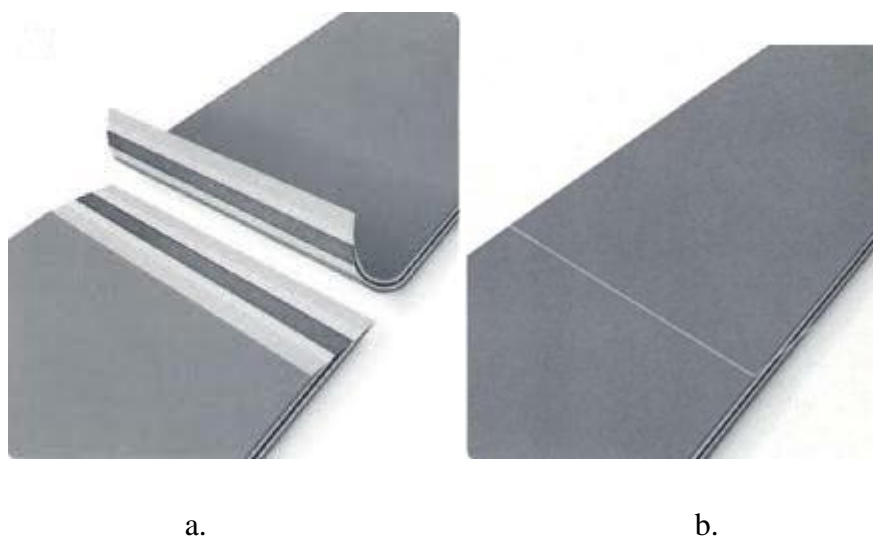

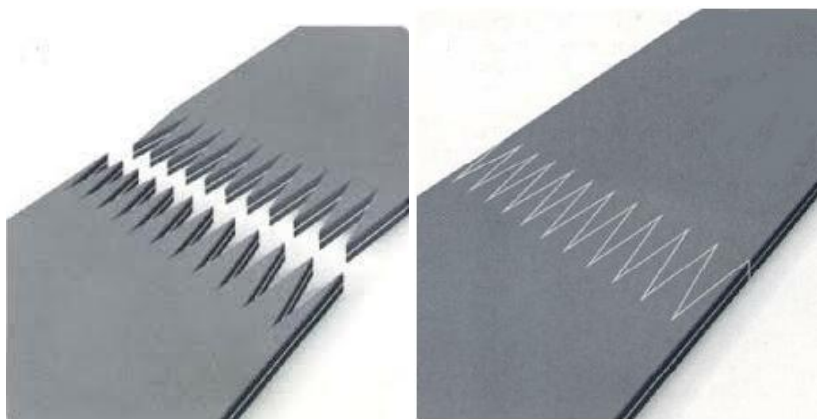


Figura 3. a) Empalme Biselado, b) Empalme Biselado vulcanizado

Fuente: Indarbelt. Sistemas de empalme. De <http://www.indarbelt.es/html/productos/bandas.htm#empalmes>

- **Empalme de dedos (Finger):** Este tipo de empalme se utiliza en bandas de transporte de PVC, poliuretano y silicona, lleva una película (Fillm) sobre la zona de unión de igual material que la banda para que al momento de vulcanizar se genere una unión estable y resistente de los extremos, además hay bandas que por sus características son Termo-Sellables esto quiere decir que no necesitan de una película para sellar el empalme.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22




a.

b.

Figura 4. a) Empalme de dedos (Finger), b) Empalme de dedos (Finger) vulcanizado
Fuente: Indarbelt. Sistemas de empalme. De <http://www.indarbelt.es/html/productos/bandas.htm#empalmes>

2.2.2 Empalmes vulcanizados en frío.

Este proceso a diferencia de los empalmes vulcanizados en caliente se realiza por medio de pegamentos especiales los cuales a una temperatura ambiente generan el vulcanizado entre los extremos de las bandas en los cuales solo se utilizan los empalmes biselados vistos anteriormente, cabe agregar que los materiales que se utilizan como lo son el caucho espumoso y la lona no son muy resistentes a altas temperaturas, además podemos incluir sustancias que aceleren la acción en los pegamentos para disminuir el tiempo de vulcanizado y de la misma manera que para los empalmes en caliente debemos ofrecer una presión uniforme en el área donde vamos a vulcanizar, este proceso tiene una limitante muy elemental y es que al momento de utilizar la banda se debe tener precaución a la temperatura que va ser expuesta debido a que el empalme puede comenzar a separarse a una temperatura aproximada de 80 °C; las bandas que se someten a este proceso son utilizadas para el transporte de objetos y nos ofrecen ciertas ventajas como lo son una operación silenciosa, luego del proceso no se ve afectado el espesor de la banda,

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

rodillos de tensión no sufren daño y prestan una buena resistencia a la tensión, podemos encontrar empalmes tales como caucho-caucho, caucho-lona, caucho-metal, lona-lona y en ocasiones encontramos uniones como se observa en la Figura 4, donde el caucho espumoso recubre la banda de transporte.

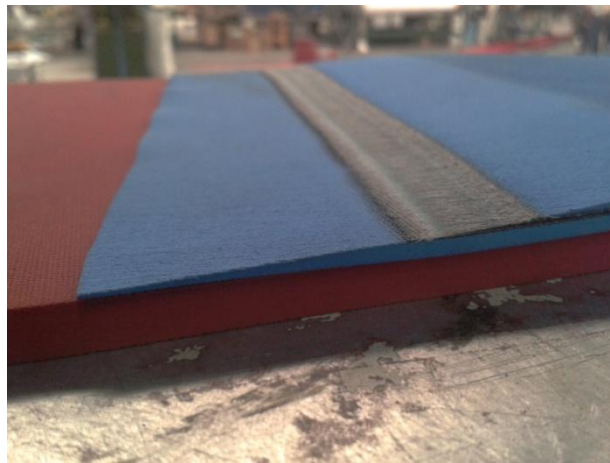


Figura 5. Unión caucho espumoso – banda transporte (caucho-nylon-caucho).

2.3 Vulcanizadora bandas de transporte

Esta máquina tiene la función de realizar los empalmes vulcanizados en caliente de las bandas que se utilizaran para el transporte de elementos, es versátil y ligera, posee un sistema de presión por medio de una vejiga, un sistema de calentamiento que se realiza por medio de resistencias y un sistema de enfriamiento al interior de cada plancha.



	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 6. Vulcanizadora bandas de transporte.

La máquina vulcanizadora como se observa en la Figura 6, se componen de dos planchas, superior e inferior las cuales internamente poseen una resistencia eléctrica que abarca todo el largo de las planchas y se alimenta a 220V AC, además cuentan con un sensor de temperatura (pt100) para la medición de la temperatura en cada plancha (Superior e Inferior) y así tener un control de esta variable fundamental para el proceso, así mismo contiene una vejiga neumática que nos genera presión sobre la banda que se va vulcanizar, la cual está ubicada solo en la plancha superior de la máquina, internamente cada plancha posee un sistema en serpentín que permite circular el agua en el interior de estas y así realizar el proceso de enfriamiento.

- **Resistencia:** Este elemento convierte la energía eléctrica en calor y es la encargada de hacer el proceso de vulcanizado por medio de la conducción del calor que esta genera, fundiendo el material y fusionándolo para hacer el tipo de empalme que deseemos, este

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

elemento es controlado por medio de un relé de estado sólido (SSR), el cual va conectado a un control de temperatura.

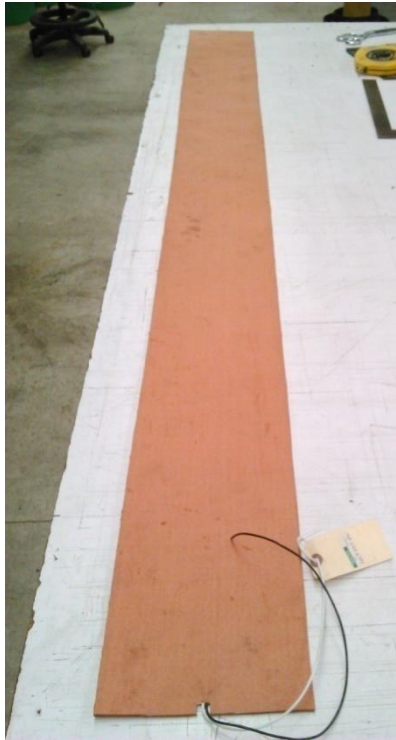


Figura 7. Resistencia de máquina vulcanizadora.

- Vejiga Neumática:** Esta parte de la máquina se encarga de garantizar que el empalme de la banda sea uniforme, maneja una presión máxima de 40 psi y se gradúa dependiendo el tipo de banda que se vaya a vulcanizar, el control de la presión se hace por medio de un manómetro y la máquina solo puede ser despresurizada en el momento que se llega a una temperatura cercana a los 26°C cuando se realiza el proceso de refrigeración.



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



Figura 8. Vejiga neumática de presión.

2.4 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 muchos 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 et al, 2013).

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

2.4.1 Sensores de temperatura RTD.

Su funcionamiento se basa en el principio de la resistividad de los materiales que se caracterizan por un coeficiente térmico positivo en la variación de la resistencia eléctrica, 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.(Pallas, 2003, p68), en la Ecuación 1 se pueden observar las variables con las cuales hallamos la resistencia que debe tener nuestro dispositivo de medición:

$$R = R_0 (1 + \alpha T) \quad (1)$$

Dónde:


R: Resistencia en ohmios a T °C.

R₀: Resistencia en ohmios a 0 °C.

α: Coeficiente de temperatura de la resistencia de los materiales.

T: Temperatura actual.

Los materiales más comunes para la elaboración de las RTD por sus características resistivas como se observa en la Tabla 1, son el cobre, níquel siendo el material de mayor sensibilidad y platino, este último fue utilizado como medidor de temperatura por primera vez en el año de 1871

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

por W. siemens, siendo el más utilizado aunque su sensibilidad sea menor pero es más preciso y estable presentando un costo mayor.

Metal	Resistividad $\mu\Omega/\text{cm}$	Coefficiente de t° $\Omega/\Omega, ^\circ\text{C}$	Intervalo útil de temp $^\circ\text{C}$	Resist a 0°C Ω	Precisión $^\circ\text{C}$
Platino	9.83	0.003850	-200 a 950	25, 100, 130	0.01
Níquel	6.38	0.0063 a 0.0066	-15 a 300	100	0.50
Cobre	1.56	0.00425	-200 a 120	10	0.10

Tabla 1. Características Resistivas Platino, Níquel y cobre.

**Fuente: Ingeco Z.S. Sensor de Temperatura por resistencia. De <http://www.ingecozs.com/pt100.pdf>
Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.229). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial.**


En general como se observa en la Figura 9, 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; Hoy en día son los sensores más utilizados en diferentes aplicaciones como domésticas, automovilísticas e industriales por las características que ofrecen y por este motivo su campo de aplicación va en aumento.



Figura 9. Sensor PT100

Fuente: DirectIndustry. Sonda de Temperatura PT100. De <http://www.directindustry.es/prod/riels-instruments/sondas-temperatura-pt100-70609-1100585.html>

- **Sensor de Temperatura PT100:** Una PT100 es un sensor de temperatura el cual está compuesto por un alambre de platino, el cual a 0°C nos entrega 100 Ohmios y a medida

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

que va aumentando la temperatura directamente aumenta su resistencia como se observa en la Figura 10, también tenemos la PT500 la cual a 0°C nos entrega 500 Ohmios y la PT1000 la cual a 0°C nos entrega 1000 Ohmios, pueden entregarnos precisiones de una décima (0.1) Ohmios por cada grado, una gran ventaja de estos sensores es que no se descompone dando medidas erradas solo se abren por lo cual el dispositivo medidor que puede ser un control de temperatura mostrará una falla de sensor, la PT100 también presenta otras ventajas como son la anti-vibración, anti-corrosión, buena capacidad de intercambio, la reproducibilidad y la estabilidad; a menudo es utilizada para la medición de temperatura baja-media (Liu et al, 2010).

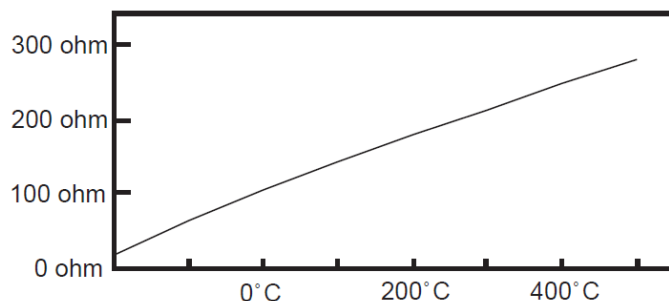



Figura 10. Curva característica sensor PT100

Fuente: Arian Control & Instrumentación. PT100, su operación, instalación y tablas. De <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>.

Existen tres modos de conexión de sus hilos, la conexión de 2 hilos como se observa en la Figura 11, 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. El instrumento de medición recibirá el total $R(t) + R_{c1} + R_{c2}$ creando un error inevitable. Esto se puede corregir usando un cable de un calibre lo mayor posible (18AWG) para disminuir la resistencia de R_{c1} y R_{c2} y así disminuir el error en la lectura.

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

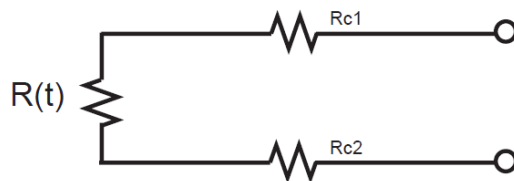


Figura 11. Conexión PT100 2 hilos.

Fuente: Arian Control & Instrumentación. PT100, su operación, instalación y tablas. De <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>.

El modo de conexión de 3 hilos como se observa en la Figura 12, es muy utilizado actualmente ya que nos entrega una medida más precisa debido a que soluciona el problema del error en la lectura final, que es generado por la resistencia de los cables como se presenta en la conexión de dos hilos.

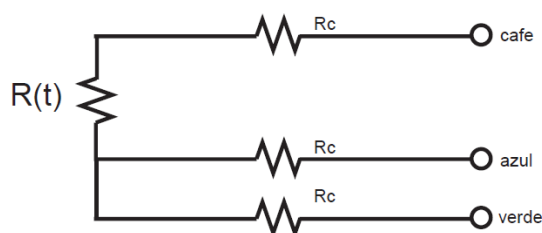


Figura 12. Conexión PT100 3 hilos.

Fuente: Arian Control & Instrumentación. PT100, su operación, instalación y tablas. De <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>.

La conexión de 4 hilos como se observa en la Figura 13, es la más precisa de todas, ya que en sus 4 cables puede variar la resistencia en comparación de las dos conexiones expuestas anteriormente y no influirá en la lectura final, pero es más costosa, internamente el instrumento que recibe la medición (Control de Temperatura, entre otros) de las PT100 tiene una conexión tipo puente de Wheatstone para el funcionamiento de cada uno de los tipos de conexiones mencionados anteriormente.

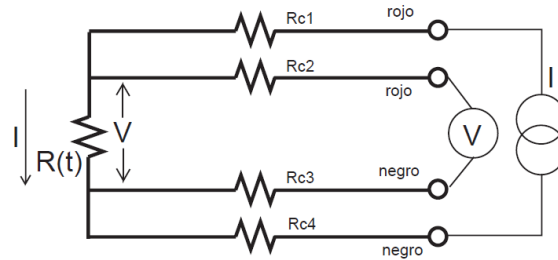



Figura 13. Conexión PT100 4 hilos.

Fuente: Arian Control & Instrumentación. PT100, su operación, instalación y tablas. De <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>

Con el objetivo de estudiar las propiedades dinámicas de los dispositivos de temperatura resistivos se han realizado ensayos que consisten en una prueba de inmersión, por esta razón se somete una PT100 a una corriente de aire con un flujo de 2m/s, durante 350 segundos, sometiéndose a una temperatura inicial de 30°C llegando hasta una temperatura final de 53°C, los resultados son almacenados y analizados por un software diseñado para identificar y predecir las propiedades dinámicas de los dispositivos de medición RTD (Rupnik et al, 2013), de igual forma este dispositivo es utilizado para ayudar a realizar estudios como por ejemplo el determinar la conductividad térmica de los polímeros de película delgada, que por lo general son buenos aislantes térmicos (Reddy & kanchi, 2010).

2.4.2 Termistores.

Son sensores resistivos variables con la temperatura pero no depende de sus conductores como si lo es para las RTD, depende de un semiconductor el cual se comporta como un resistor térmico 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 va desde los -70°C hasta los 500°C, son más económicos y sensibles aunque su funcionamiento no sea lineal, este tipo de sensor presenta una alta sensibilidad a las variaciones de temperatura por lo cual es

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

utilizado ampliamente en la industria para procesos de control, estos sirven para medición de la temperatura en gases, líquidos y sólidos debido a su forma compacta y 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 14 se observan los ejemplos de las formas que podemos encontrar estos sensores en la industria y su simbología.

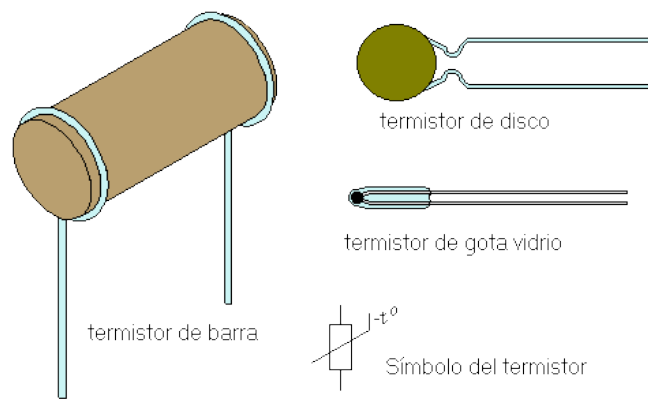


Figura 14. Tipos de termistores y simbología.

Fuente: Los divisores de tensión. De <http://www.hispavila.com/3ds/tutores/divstension.htm>

Este dispositivo lo podemos encontrar con dos denominaciones las cuales indican su funcionamiento y estas son la NTC (Negative Temperature Coefficient) y para algunos casos la PTC (Positive Temperature Coefficient). En comparación con los termopares y las RTD, los termistores no ofrecen mayor exactitud y estabilidad, pero si nos ofrece una elevada sensibilidad, esto es debido a su alta resistividad, en la Figura 15 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.

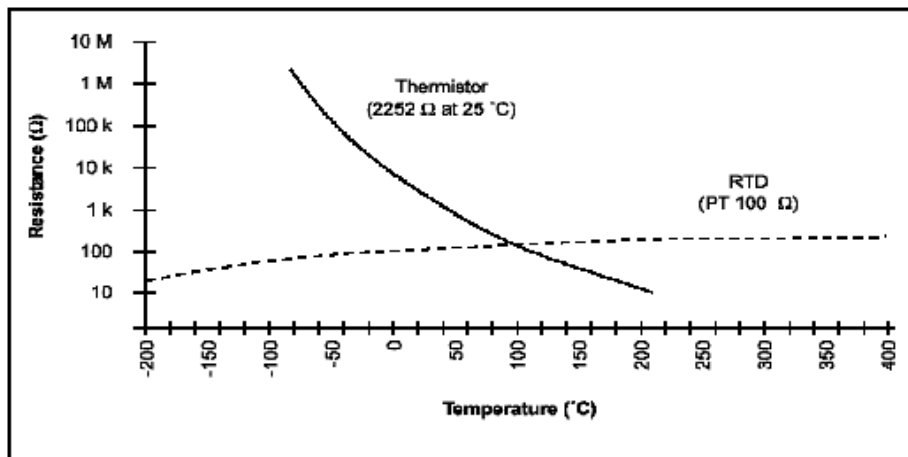


Figura 15. Grafica Termistor NTC vs PT100

Fuente: National Instruments. Medir temperatura con un RTD o termistor. De <http://www.ni.com/white-paper/3643/es/>

- NTC (Negative Temperature Coefficient):** Los termistores NTC son resistencias no lineales cuyo ohmiaje (Ω hasta $M\Omega$) 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 $1M\Omega$ a 25°C , tienen una sensibilidad del $4\% / ^\circ\text{C}$ a 25°C , este efecto de coeficiente negativo se da cuando la temperatura externa varia 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 serie o en paralelo como se observa en la Figura 16, además se puede realizar una linealización digital por medio de una computadora, la cual utilizando un modelo matemático del termistor calcula el valor correspondiente de la temperatura. 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 varía rápidamente al cambio de la temperatura y esta señal es enviada a un circuito eléctrico que controla la temperatura de la incubadora.

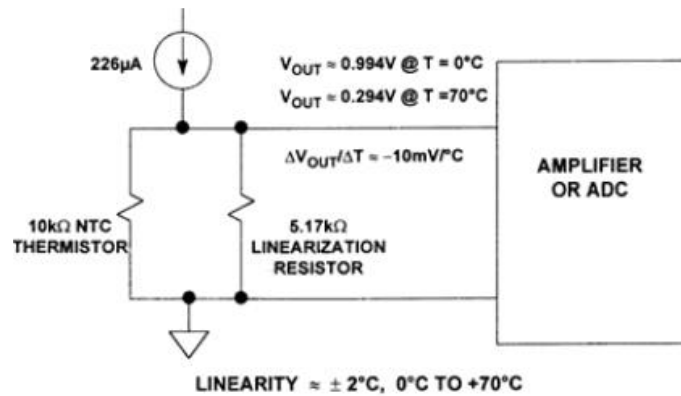


Figura 16. Circuito de Linealización termistor NTC

Fuente: Mayné, J. Sensores acondicionadores y procesadores de señal. De <http://www.jcee.upc.edu/JCEE2002/MAYNEPONENCIA.pdf>

- **PTC (Positive Temperature Coefficient):** Los termistores PTC son resistencia no lineales y cuyo ohmiaje (Ω hasta $M\Omega$) 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 17 se observa su curva de trabajo, este dispositivo presenta una característica especial y es que cuando se sobre pasa el valor de temperatura crítico 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.

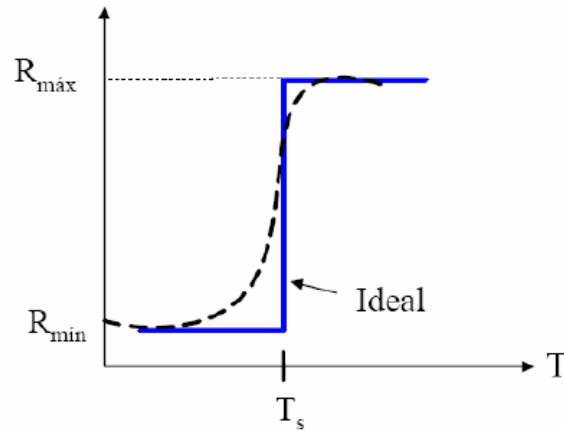


Figura 17. Curva de Trabajo termistor PTC

Fuente: Márquez, D. Calderón, J. Fundamentos de medición de temperatura. De <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/damarquezg/Temp.pdf>

2.4.3 Sensores de temperatura termopares.

Estos sensores También llamados termoeléctricos son muy utilizados en la industria ya que nos brindan un amplio rango de medida, buena exactitud, rápida respuesta a cambios de temperatura, versatilidad y un bajo costo, su funcionamiento se basan 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 18, están soldados formando una junta caliente y allí es donde se genera una diferencia de temperatura que origina una fuerza electromotriz.

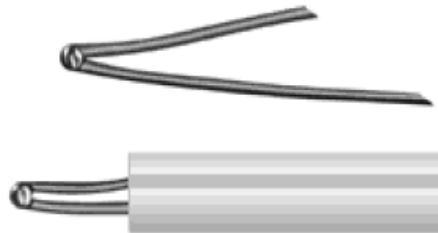


Figura 18. Junta caliente termopares

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

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 T_1 y T_2 a temperaturas diversas, aparece una fuerza electromotriz (f.E.M) detectada por un voltímetro como se observa en la Figura 19 y se mide en mili-voltios (mV) la cual solo depende de la diferencia de temperatura entre las uniones o también llamadas junta caliente (T_1) donde se realiza el aumento de temperatura (T_2).

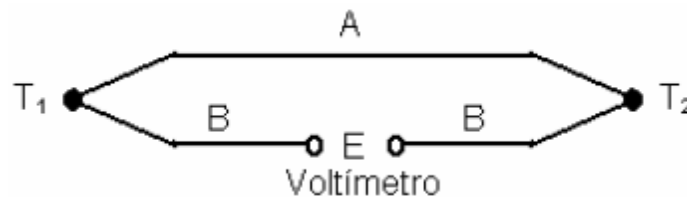


Figura 19. Fuerza electromotriz a diferentes temperaturas

Fuente: JM Industrial. Termopares. De http://www.jmi.com.mx/documento_literatura/Termopares.pdf

- **Efecto Peltier:** Fue descubierto por Jean C. A. Peltier en 1834 y consiste en hacer circular corriente por un circuito de termopares de dos metales diferentes como se observa en la Figura 20, 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 nos 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.

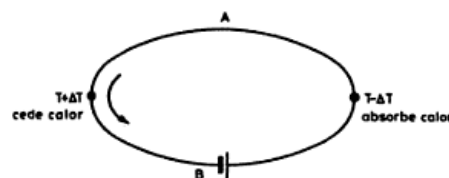



Figura 20. Circuito termopares efecto Peltier

Fuente: Pallas, Ramón. (2007). Sensores y Acondicionamiento de Señal 4ta edición (p.274). Barcelona (España): Maracombo.

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

- Efecto Thompson:** Fue descubierto por William Thompson (Lord kelvin) en 1847-54 y este efecto consiste en hacer circular una corriente a través de un conductor como se observa en la Figura 21, entregando una transferencia de calor 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.

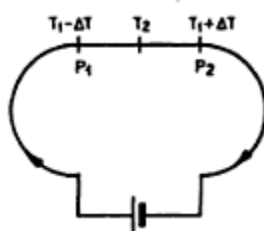


Figura 21. Circulación de corriente en un conductor efecto Thompson

Fuente: Pallas, Ramón. (2007). Sensores y Acondicionamiento de Señal 4ta edición (p.275). Barcelona (España): Maracombo.

- 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 una 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 22, la magnitud de la (f.e.m.) fuerza electromotriz entregada en μV (micro-voltios) por el termopar depende de su clasificación, podemos observar que los termopares tipo E, J y K, debido a su composición tienen una magnitud más elevada con el aumento de la temperatura.

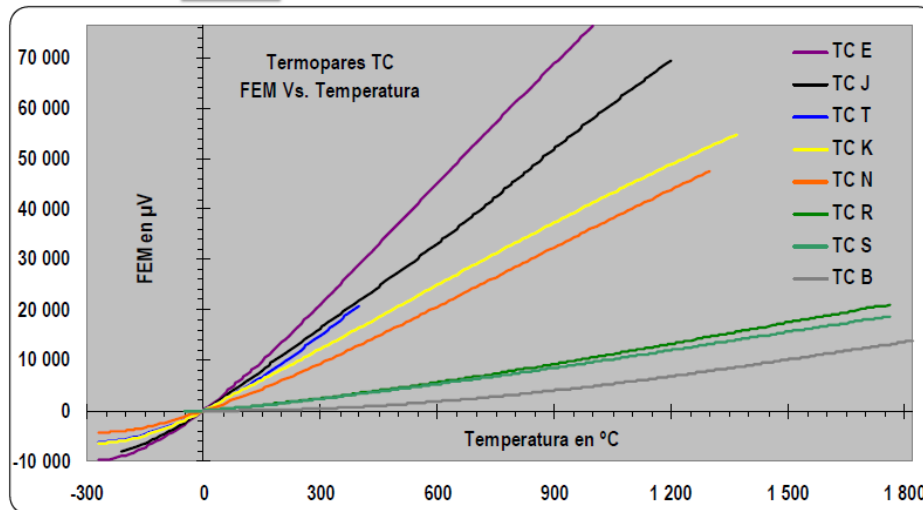



Figura 22. Gráfica respuesta (f.e.m) vs temperatura para cada tipo de termopar

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

Los termopares utilizados comúnmente en la industria los podemos identificar con una letra asignada por la ANSI-MC96.1-1975, en la Tabla 2 se observa la clasificación para los termopares y con ella su composición y rango de trabajo, los más importantes son los termopares tipo J,K,N y T llamados termopares de metales base ya que están hechos de materiales como el cobre, níquel, aluminio, entre otros y los termopares R,S y B están elaborados de nobles como el platino y rodio, estos sólo son utilizados cuando se van a medir temperaturas muy elevadas que exceden las capacidades de las temperaturas de los materiales base. Pueden ser protegidos mediante una vaina que generalmente es de acero inoxidable, en la Figura 23 se observa 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 (Oxido de Magnesio) que nos proporciona un aislamiento eléctrico pero nos entrega una respuesta muy lenta y tipo expuesta la cual queda por fuera de la protección

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

dando una respuesta más rápida que la aterrizada; debemos tener en cuenta que la temperatura de operación no supere la de fusión de la junta.



Figura 23. Tipo junta Termopar

Fuente: West Instruments de México S.A. Termopares Industriales. De http://westmexico.com.mx/pfd/west2/tc_ind/info_tec.pdf



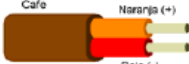


IDENTIFICACIÓN DE TERMOPARES					
Tipo	Conductores		Códigos de color		Rango
	Aleación (+)	Aleación (-)	Grado Termopar	Grado Extensión	
J	Hierro Fe	Constantano Cu-Ni			Grado Termopar 0 a 750°C Grado Extensión -60 a 200°C
K	Cromel Ni-Cr	Alumen Ni-Al			Grado Termopar -200 a 1250°C Grado Extensión -60 a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

Tabla 2. Identificación Termopares

Fuente: West Instruments de México S.A. Termopares Industriales. De http://westmexico.com.mx/pfd/west2/tc_ind/info_tec.pdf

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

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 nos ofrecen algunos aspectos positivos como son:

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

Algunas negativas como lo son baja sensibilidad y linealidad.

- **Identificación de un Termopar Tipo J y K:** Los termopares tipo J como se observa en la Figura 24, 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.


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



Figura 24. Terminales termopar tipo J
Fuente: De http://es.omega.com/ppt/pptsc_es.asp?ref=xc_j_tc_wire


Los termopares tipo K como se observa en la Figura 25, 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 .



Figura 25. Terminales termopar tipo K
Fuente: De <http://www.directindustry.es/prod/labfacility/cables-termopares-aislantes-pvc-86559-851335.html>

2.4.4 Sensores de temperatura con semiconductores.

Los semiconductores son dispositivos elementales para el desarrollo de la tecnología electrónica y su uso en sensores ha ido en aumento debido a que su conductividad eléctrica es

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

afectada por la temperatura, las deformaciones mecánicas, los campos eléctricos y magnéticos, entre otros. Estos dispositivos son fabricados por lo general de materiales como el Silicio el cual por sus características físicas nos permite integrar junto al sensor funciones de procesamiento de la señal detectada, agregando que este material mecánicamente es igual de fuerte como el acero y no presenta histéresis mecánica (Pallas, 2007). El componente más utilizado es el diodo, cuya simbología se puede observar en la Figura 26, está constituido por dos materiales semiconductores de tipo N y P, dicha unión se denomina juntura PN o NP de tal manera que la corriente fluya en una sola dirección.

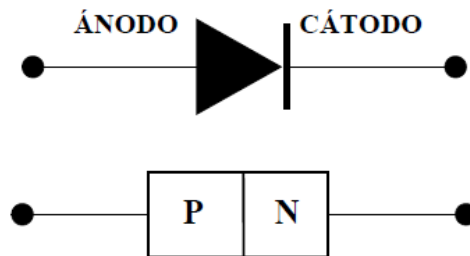


Figura 26. Simbología del diodo

Fuente: Diodos y aplicaciones. De <http://webs.uvigo.es/mdgomez/DEI/Guias/tema4.pdf>

Su funcionamiento se basa en la polarización directa o inversa como se observa en la Figura 27, la cual consta de energizar el diodo en sentido ánodo - cátodo o viceversa para la polarización inversa.

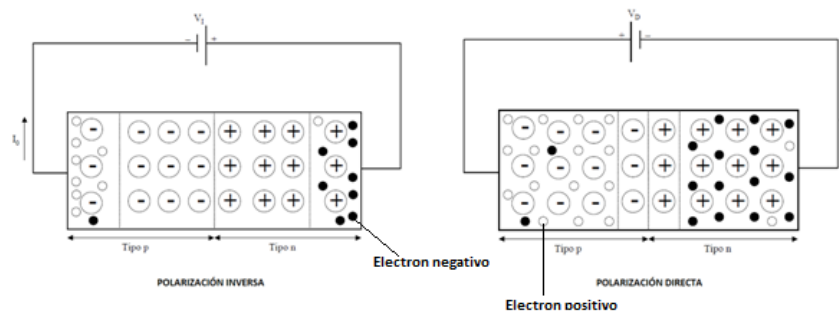


Figura 27. Polarización de diodo

Fuente: Diodos y aplicaciones. De <http://webs.uvigo.es/mdgomez/DEI/Guias/tema4.pdf>

Cuando utilizamos la polarización directa los electrones negativos que se encuentran en el lado del material tipo N o también llamados electrones libres, pasan al lado del material P que tiene portadores de carga mayoritarios positivos o también llamados huecos, esto nos indica que se presenta una falta de electrones para formar un enlace covalente. Actualmente se consiguen sensores de temperatura con salidas de voltaje analógico y digital ya que están compuestos a base de silicio.

También podemos encontrar el diodo zéner Figura 28 que son básicamente diodos de silicio, el cual tiene el mismo principio de funcionamiento mencionado anteriormente con la diferencia que si este es polarizado de forma directa funciona como un diodo normal, pero si es polarizamos de forma inversa este diodo trabaja como un regulador de voltaje y es utilizado para estabilizar una tensión.


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



Figura 28. Simbología diodo zéner.

Fuente: El diodo zéner. De http://www.rftorrent.com/el_diodo_zener.pdf

- Sensor de temperatura con LM335:** Este dispositivo es el encargado de medir la temperatura en la cual se encuentra determinado entorno o superficie a la cual puede ser pegado o cementado, son semiconductores porque trabajan como un diodo zéner, pueden ser calibrados fácilmente a 25°C teniendo una posible desviación en la medida menor a 1°C, trabajan a una potencia de 1W y a corrientes que van desde los 450μA hasta los 5mA sin verse alteradas sus propiedades, además de esto posee una salida lineal como se observa en la Figura 29.

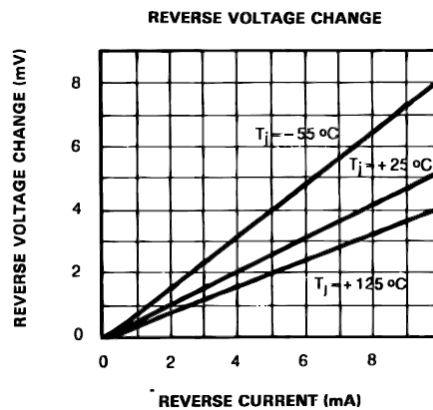



Figura 29. Salida lineal del LM335.

Fuente: SGS Thomson (1997). Precisión Temperature Sensors. De http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/M/3/5/LM35.shtml

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

Su fabricación se presenta en los encapsulados TO92 y el SO8 como se observa en la Figura 30, su rango de medición va desde los -40°C hasta 100°C siendo este aspecto una de sus desventajas ya que nos ofrece un rango de medida muy limitado, son económicos y de un tamaño reducido no superiores a 4 milímetros.

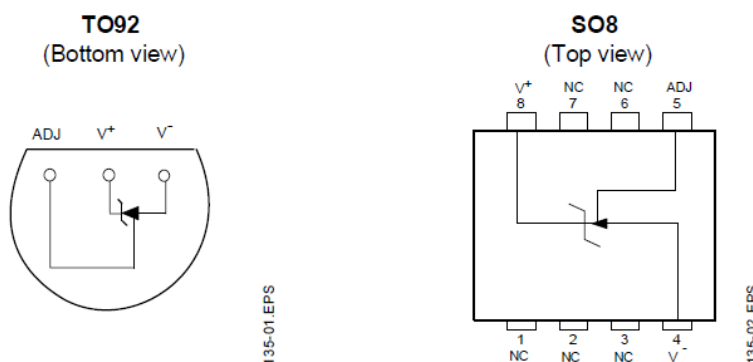


Figura 30. Encapsulados del sensor de temperatura LM335.
Fuente: SGS Thomson (1997). PrecisionTemperatureSensors. De http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/M/3/5/LM35.shtml

Este dispositivo entrega un voltaje de salida proporcional a la temperatura de medición, con un coeficiente nominal de 10mV/K , presentando un voltaje de salida de 2.73V a 0°C y 3.73V a 100°C , este sensor funciona con dos terminales como se observa en la Figura 31 y una tercer terminal que utilizamos para ajustar la precisión de este sensor por medio de un trimmer que va conectado en la terminal ADJ.

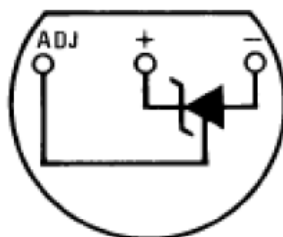



Figura 31. Conexión del LM335.
Fuente: Laboratorio de Interfaces Universidad de san luís (2009). Sensores de temperatura, RTD'S, termopares y sensores integrados. De <http://www0.unsl.edu.ar/~interfases/labs/lab08.pdf>

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

Al momento de usar este sensor debemos tener algunas precauciones como no exponerlo directamente a la llama, no someterlo a temperaturas que no estén en su rango de trabajo y no debe ser sumergido en sustancias corrosivas o líquidos. El LM335 puede ser utilizado como un sensor de temperatura básico, sensor de temperatura aislado, como un controlador de temperatura, termómetro de °C, sensor de temperatura diferencial, entre otros.

- Sensor de temperatura con LM35:** Este sensor es el encargado de medir la temperatura que se encuentra determinado entorno o superficie a la cual puede ser pegado o cementado, su funcionamiento es similar al sensor LM335 visto anteriormente, presenta una salida lineal como se observa en la Figura 32, trabaja con corrientes entre los 30µA y 120µA en su salida dependiendo la temperatura que se exponga el sensor.

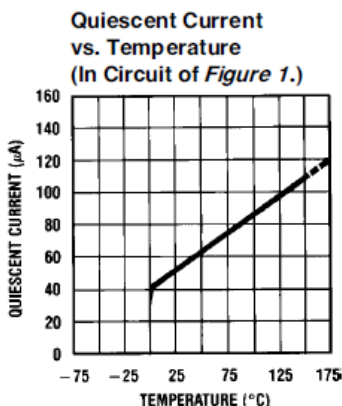



Figura 32. Salida Lineal del LM35

Fuente: National Semiconductor (1994). LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D Precision Centigrade Temperature Sensors. Recuperado el 27 de Enero de 2014. De http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/M/3/5/LM35.shtml

Produce un voltaje de salida de 10mV/°C, de tal manera que el voltaje entregado a 25°C es de 250mV y de 1V a 100°C, posee un rango de medida que va desde los -55°C hasta los 150°C, tiene

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

un voltaje de operación entre 4 y 30 voltios y un voltaje a su salida de hasta 6V, se presenta en los encapsulados que se observan en la Figura 33, siendo el más común el TO-92.

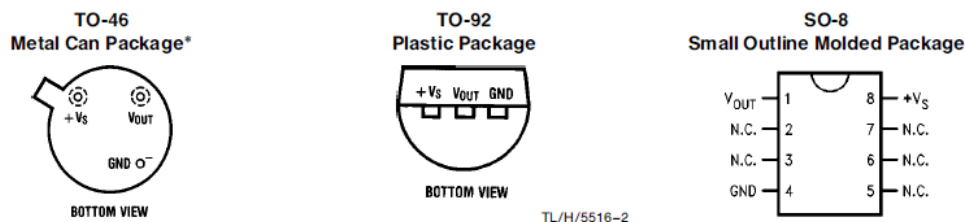


Figura 33. Encapsulados del sensor de temperatura LM35.
Fuente: National Semiconductor (1994). LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D
PresicionCentigradeTemperaturesensors. Recuperado el 27 de Enero de 2014. De
http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/M/3/5/LM35.shtml

Cabe agregar que este sensor puede medir temperaturas bajo cero utilizando una resistencia pull-down, siendo conectada desde la terminal de salida del sensor Vout, llevándola a una tensión negativa (GND) como se observa en la Figura 34.

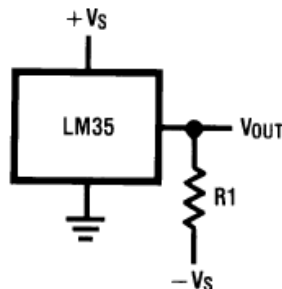



Figura 34. Conexión Pull-down lm35
Fuente: National Semiconductor (1994).
LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35DPresicionCentigradeTemperaturesensors. Recuperado el 27 de
Enero de 2014. De http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/M/3/5/LM35.shtml

Se deben tener algunas recomendaciones al momento de utilizar este dispositivo como es no exponerlo directamente a la llama, trabajar siempre en su rango de medida y no sumergirlo en líquidos o sustancias corrosivas. El LM35 puede ser utilizado como termómetro de °C ó °F, también como sensor remoto de temperatura con conexión a tierra y como sensor de temperatura análogo.

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

2.5 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. Es una fuerza por unidad de superficie y en la ecuación 2 se puede observar su definición matemática, la podemos medir en unidades tales como el pascal, bar, psi (libras por pulgada cuadrada), atmosferas o kilogramos por centímetros cuadrados, cada una de estas unidades de medición se utiliza dependiendo el proceso a medir o del equipo de medición que tengamos.

$$Presión(P) = \frac{Fuerza(F)}{Área(A)} \quad (2)$$

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, 1997), además como se observa en la Figura 35 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 atmosfera ejercido sobre la superficie de la tierra.


	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 35. Tipos de Presión


Fuente: Unidades de presión. De <http://jaloal.wordpress.com/neumatica-4oeso/unidades-de-presion/>

Investigaciones recientes sobre sensores de presión a través de métodos teóricos y experimentales presentados en (Xie, Li et al, 2015) exponen un sistema innovador para la medición de la presión por medio del fluido magnético, este sensor experimental está compuesto por un tubo de vidrio y un par de bobinas de detección, las cuales se encargan de detectar la posición de un núcleo magnético, presentando una relación lineal entre la presión de entrada y el voltaje de salida en todo el rango de medición.

2.5.1 Manómetros.

- **Manómetro con tubo de bourdon.**

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 36, 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, esta sellado en un extremo y va conectado por medio de una biela a una cremallera la cual le da movimiento a un piñón y

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


este a su vez al eje de la aguja indicadora de presión y su otro extremo va fijo en un soporte por el cual ingresa el aire o fluido 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, estudios realizados según (Marick, S et al, 2014) el tubo de bourdon es utilizado para medir el caudal de determinado fluido por medio de cambios de presión, este transductor de presión está diseñado para detectar esos pequeños cambios en la presión del fluido en una tubería horizontal y ha sido utilizado para medir la velocidad del agua a través de una tubería.



Figura 36. Manómetro de bourdon tipo “C”.

Fuente: Manómetros. De <http://www.sabelotodo.org/aparatos/manometros.html>

Cabe agregar que el tubo de bourdon que lleva el manómetro internamente puede tener otras formas como se observa en la Figura 37, 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 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.

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

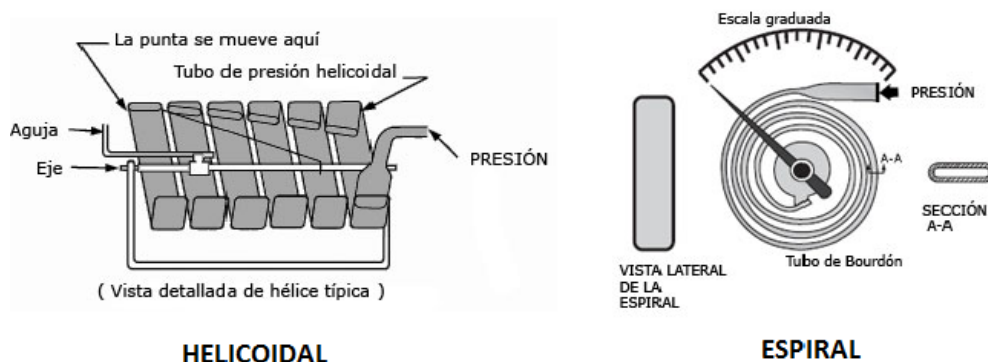


Figura 37. Tubos de Bourdon.
Fuente: Dispositivos de control y medida de la presión. De
<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica34.htm>

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 Figura 38, 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 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.

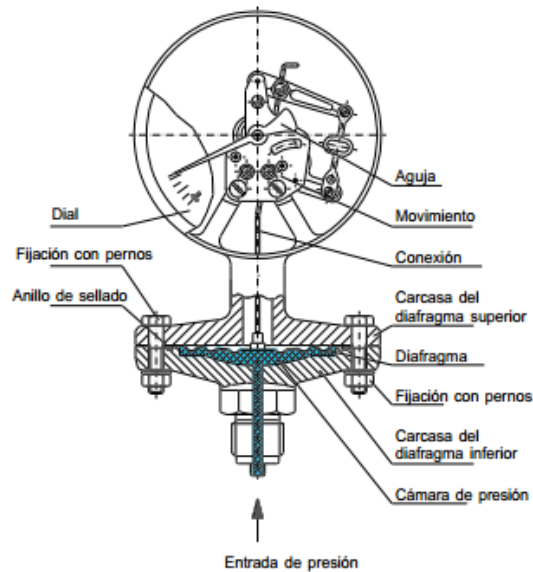



Figura 38. Manómetro con diafragma.

Fuente: Wika. Manómetros con elementos elásticos. De http://www.wika.com.ar/upload/DS_IN0001_ES_1365.pdf

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; Los manómetros de diafragma también pueden ser utilizados en los transductores de presión, sobre el diafragma van unidos medidores de tensión que van detectando la deformación de este y así cambiando su resistencia, por medio de un puente de wheatstone se transmiten las mediciones eléctricas hacia un dispositivo de lectura como por ejemplo un voltímetro digital.

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

- **Manómetro con fuelle.**

Son dispositivos de larga duración con un funcionamiento similar al manómetro con diafragma, estudios han confirmado que resisten millones de ciclos de trabajo sin sufrir deformación alguna, se utilizan para realizar mediciones pequeñas que no superen los 2 bares, para la elaboración del fuelle se utilizan materiales como el bronce fosforoso y el resorte que cumple la función de no permitir la expansión completa del fuelle se somete a un tratamiento térmico para no sufrir daños por fatiga. El funcionamiento de este manómetro consiste en introducir aire por su conexión a presión como se observa en la Figura 39, lo cual produciría la expansión del fuelle, este movimiento es transmitido por medio de un conjunto mecánico (biela, cremallera y piñón) al indicador el cual nos mostrara la presión de trabajo.

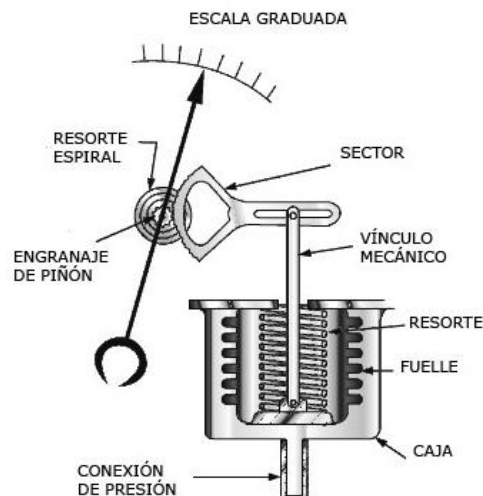



Figura 39. Manómetro con fuelle

Fuente: Dispositivos de control y medida de la presión.

De <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica34.htm>

De igual forma que los manómetros por tubo de bourdon y de diafragma pueden ser utilizados para realizar mediciones de presión en líquidos o gases, dependiendo su aplicación; su indicador

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

se debe adquirir lleno de glicerina para evitar vibraciones en la aguja de medición y así garantizar una medida confiable, presentan un bajo costo en el mercado, son fáciles de instalar y como se ha mencionado anteriormente se debe llevar un control de mantenimiento sobre ellos ya que pueden sufrir daños por fatiga lo cual podría ocasionar mediciones incorrectas.

2.5.2 Sensores de presión electromecánicos.

Estos sensores contienen transductores los cuales se encargan de interpretar el desplazamiento mecánico en señales eléctricas ,van instalados en un elemento mecánico que puede ser un tubo de bourdon “C”, diafragma, fuelle o la combinación de los mismos, en la Figura 40 se puede observar como un potenciómetro puede convertir el movimiento mecánico de un tubo de bourdon “C” a una señal eléctrica o de igual formase puede conectar este potenciómetro directamente a el resorte de un sistema de medición con fuelle, variando la resistencia óhmica del potenciómetro en función de la presión, el movimiento del sistema de medición (tubo de bourdon, diafragma o fuelle) se transmite a un brazo móvil el cual va conectado con el potenciómetro lineal y a su vez este elemento resistivo (Potenciómetro) va conectado a un puente de Wheatstone. Podemos encontrar varios tipos de potenciómetros según el elemento resistivo como el grafito, de resistencia bobinada, de película metálica o de plástico moldeado.

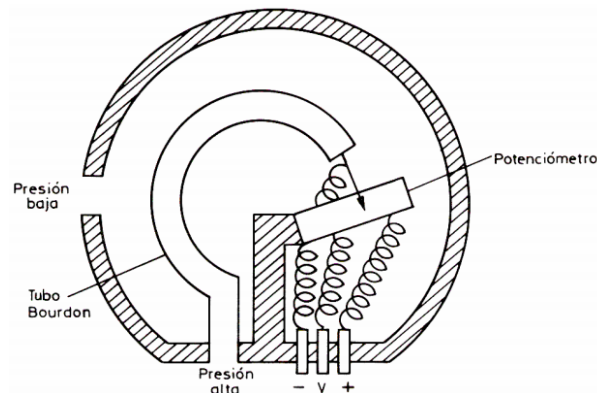



Figura 40. Sensor de presión electromecánico (potenciómetro)

Fuente: Montiel, N. (2004). Transductores resistivos. Recuperado el 21 de noviembre de 2013. De <http://www.iuma.ulpgc.es/~montiel/stas/slides/ftp/0405/02-slide-stas.pdf>

Presenta una señal de salida muy potente por lo cual no necesita de un amplificador para la alimentación de los instrumentos de indicación, su sensibilidad para pequeños movimientos es muy baja, presenta una estabilidad deficiente con el tiempo y son muy sensibles a las vibraciones externas al sistema, su rango de medida va de 0 hasta 300 bar, con una precisión del 1% al 2%.

- **Transductores magnéticos.**

Transductores de inductancia variable: Su funcionamiento se basa en el desplazamiento de un núcleo móvil ferromagnético que va instalado en un sistema de fuelle por medio de un vástago no ferromagnético como se observa en la Figura 41, el cual produce el movimiento axial del núcleo a través de una bobina que es alimentada con corriente alterna, generando un aumento de la inductancia que es proporcional al segmento metálico del núcleo que se encuentra al interior de la bobina. La F.E.M de autoinducción generada se opone a la F.E.M de alimentación y por tal motivo a medida que se va ingresando el núcleo móvil a la bobina se va reduciendo la corriente que hay presente en el circuito ya que la F.E.M de autoinducción va aumentando a medida que ingresa el núcleo móvil, este dispositivo de medición presenta algunas ventajas como lo es tener

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

una respuesta de medida lineal, son pequeños, de construcción robusta y no hace falta realizar ajustes críticos en el montaje; tiene una precisión de $\pm 1\%$ y su rango de medida va de 0 hasta 300 bar.

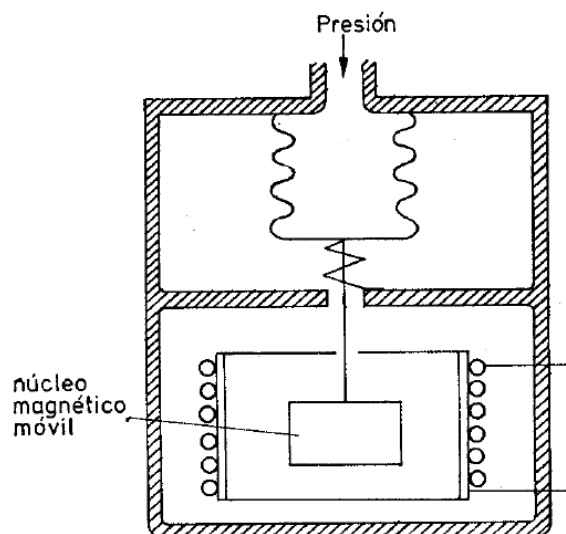


Figura 41. Transductor de inducción variable.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.79). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial.

También es considerado un transductor de inductancia variable el transformador diferencial, normalmente identificado con las siglas LVDT (Linear Variable Differential Transformer) el cual presenta el mismo principio de funcionamiento con la diferencia que este dispositivo trabaja con tres bobinas, al momento de alimentar la bobina principal con corriente alterna se genera un flujo magnético induciendo tensión en las dos bobinas del secundario, cuando el núcleo se encuentra en posición central las tensiones para cada bobina del secundario son iguales, pero al realizar un movimiento axial bien sea hacia la derecha o hacia la izquierda, una de las tensiones del secundario crece y la otra disminuye en la misma magnitud. En la Figura 42 se puede observar una aplicación muy usual para medir presión por medio de un tubo de bourdon “C” con el

transformador LVDT, cabe agregar que este dispositivo también puede ser utilizado para realizar mediciones de aceleraciones.

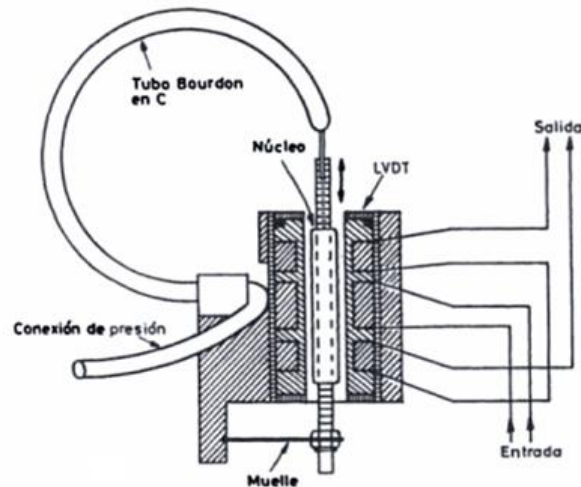


Figura 42. Transformador Diferencial (LVDT).

Fuente: Pallas, Ramón. (2007). *Sensores y Acondicionamiento de Señal 4ta edición* (p.201). Barcelona (España): Maracomb

Transductores de reluctancia variable: Este sistema contiene un imán o electroimán que va fijo y es el encargado de crear un campo magnético por medio de un voltaje inducido de manera constante, dentro de este campo se desplaza una armadura magnética móvil como se observa en la Figura 43, la cual va instalada en un sistema de medición de fuelle por medio de un vástago generando un movimiento axial con respecto al imán, a medida que la armadura magnética va cambiando de posición varía la reluctancia y el flujo magnético del circuito, este cambio de flujo genera una corriente inducida del bobinado y esta es proporcional al desplazamiento de la armadura. Este sistema no tiene problemas por histéresis mecánica ya que el movimiento de la armadura es muy leve y no presenta contacto con las partes fijas, presenta sensibilidad a las vibraciones, una estabilidad media en el tiempo, son sensibles a la temperatura, poco los afecta la humedad. Tienen una precisión de $\pm 0.5\%$ y su rango de medida va de 0 hasta 300 bar.

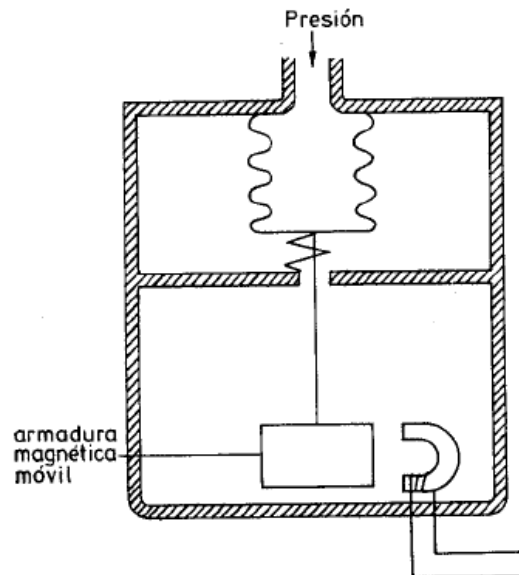


Figura 43. Transductor de reluctancia variable.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.80). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial.


Galgas extensométricas: Su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia de un conductor o semiconductor que pueden ser fabricados por aleaciones de cromo, níquel o cobre y níquel, cuando este se somete a un esfuerzo mecánico por efecto de una presión ejercida sobre la superficie en la cual se encuentre este dispositivo presenta un efecto llamado principio de resistividad eléctrica de los materiales, que fue descubierto por Lord kelvin en 1856, donde la resistividad de un material aumenta al ser expandido o disminuye al ser comprimido, en la ecuación 3 se puede observar la definición matemática de este concepto.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3)$$

Dónde:

R: Resistencia eléctrica del material.

ρ : Resistividad del material.

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

l : longitud del conductor metálico.

A: Área transversal del conductor.

Este dispositivo puede ser cementado esto indica que el alambre está distribuido en forma de zig-zag como se observa en la Figura 44 y va adosado a una placa hecha con materiales como polímeros y que puede ser reforzada por fibra de vidrio, manejando un rango de medida de 0 hasta 3000 bar o sin cementar en la cual el alambre descansa sobre un armazón fijo y otro móvil bajo una pequeña presión, manejando un rango de medida de 0 hasta 600 bar, para medir la resistencia de las galgas extensiométricas se utiliza un puente de Wheatstone, en el cual las galgas pueden ser de una o todas las resistencias del puente.

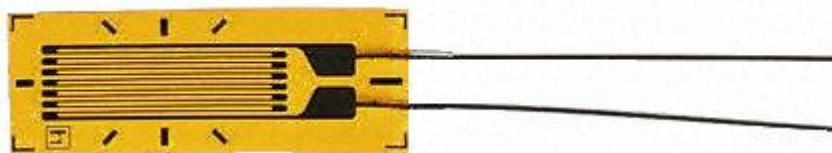


Figura 44. Galga extensiométrica cementada.

Fuente: <http://es.rs-online.com/web/p/galgas-extensiométricas/0632180/>

Una innovación de la galga la establecen los transductores de silicio difundido, los cuales van situados como se observa en la Figura 45, en contacto con el diafragma de un sistema de medición de presión y así tomar los cambios de esta variable para convertirla en señales eléctricas, el sensor está fabricado a partir de mono-cristales de silicio formando internamente varios puentes de Wheatstone constituyendo una galga extensiométrica auto contenida, manejando un rango de medida de 0 hasta 600 bar.

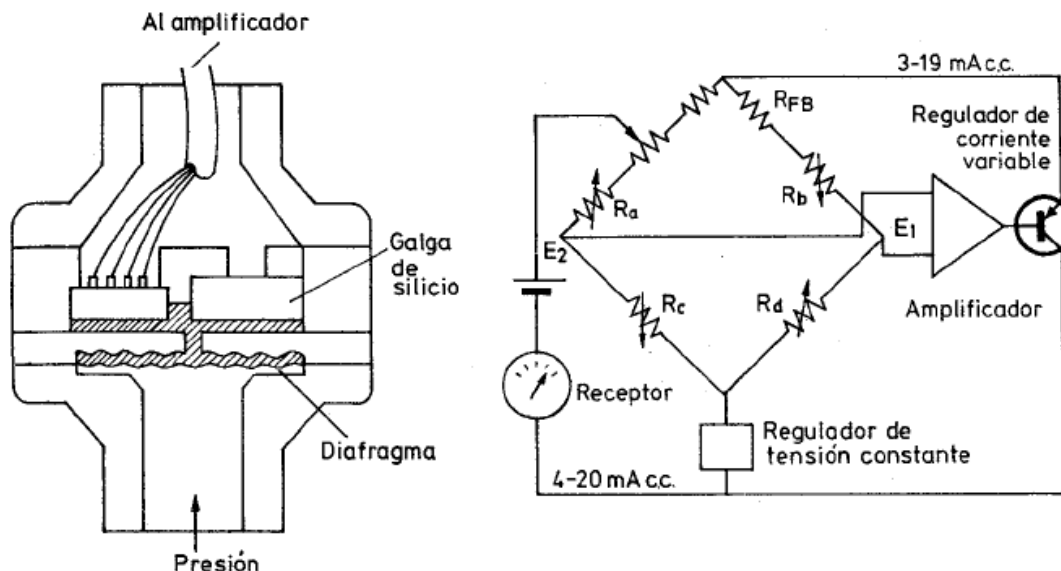


Figura 45. Galga extensiométrica de silicio fundido.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.83). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial.

Se debe tener presente que este dispositivo no se debe llevar fuera del margen elástico de deformaciones como se observa en la Figura 46 ya que sufriría daños por rupturas, este dispositivo no se ve afectado por campos magnéticos, presentan compensación de temperatura y maneja una precisión del 0.5%, también posee algunas desventajas como lo son la alta sensibilidad a las vibraciones, una señal de salida débil por lo cual debe ser conectado a un amplificador de corriente y poca estabilidad en la precisión de la medida con el tiempo.

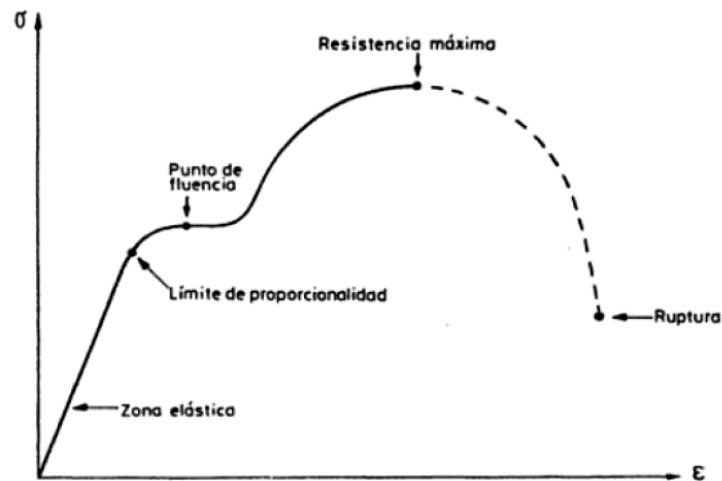



Figura 46. Relación esfuerzos y deformaciones.

Fuente: Pallas, Ramón. (2007). Sensores y Acondicionamiento de Señal 4ta edición (p.61). Barcelona (España): Maracombo.

Existen diversos tipos de galgas extensiométricas, como lo son las galgas metálicas que son de mayor uso hoy en día y se componen de un soporte que se pueden encontrar de hilo bobinado o plegado con soporte de papel o impresas en fotograbado (Pallas, 2007), todo depende del uso final, que puede ser para un diafragma como se vio anteriormente, para medir torsión o para determinar esfuerzos máximos y mínimos.

Transductores piezoeléctricos: El efecto piezoeléctrico fue descubierto por Jacques y Pierre Curie en 1880, este fenómeno se presenta en algunos sistemas cristalinos como el cuarzo y el titanato de bario los cuales presentan la aparición de cierta carga eléctrica cuando sometemos el cristal a algún tipo de deformación, pueden llegar a soportar temperaturas de 150°C en trabajo continuo y 230°C en trabajo intermitente, estos cristales van instalados entre dos laminas metálicas como se observa en la Figura 47 las placas metálicas que van conectadas a un amplificador de corriente proporcionando una respuesta lineal son las encargadas de captar la corriente. Son dispositivos pequeños, de construcción robusta y ligeros, son capaces de realizar

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

respuestas de hasta un millón de ciclos por segundo, también tienen algunas desventajas como lo son la sensibilidad a los cambios de temperatura y la baja señal de salida por lo de que deben ser conectados a un amplificador y acondicionadores de señal. Tienen una precisión del 1% y su rango de medida va de 0 hasta 600 bares. Según (Wang, Chuai et al, 2015) actualmente se adelantan estudios sobre los sensores piezoresistivos-nanofilm de polisilicio, los cuales presentan una tecnología de superficie micromecanizada, resistiendo presiones de hasta 2 MPa, logrando temperaturas de trabajo en el rango de -40 a 200°C.

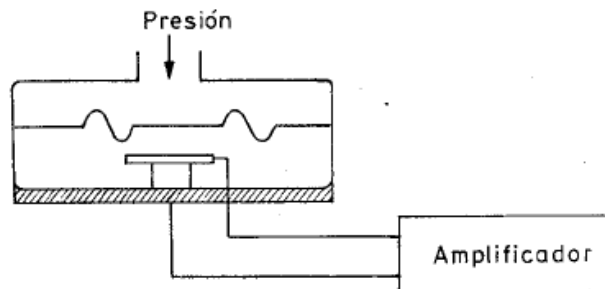


Figura 47. Transductor Piezoeléctrico.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.83). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

2.6 Acondicionamiento de sensores resistivos

También llamado puente de hilo, trabajado inicialmente en 1833 por el señor Samuel hunter christie (1784-1865), pero perfeccionado por charles wheastone (1802-1875) quien comenzó a darle varios usos cuando lo descubrió en 1843 y por tal motivo lleva su nombre, es un instrumento muy preciso y su función es la de medir resistencias (ohmios) para circuitos de corriente continua e impedancias para circuitos de corriente alterna, como se observa en la Figura 48, este puente consta de cuatro resistencias las cuales forman dos divisores de tensión en forma

paralela y lleva un medidor de voltaje en los nodos D y B para hacer la medición de las diferencias de tensión entre ambos divisores.

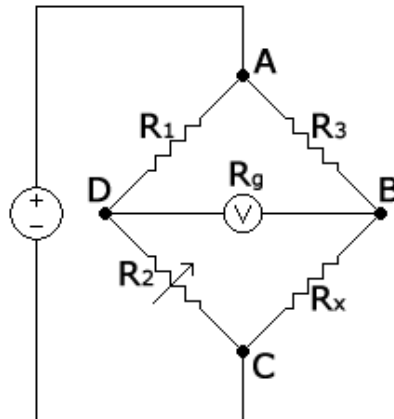



Figura 48. Puente de Wheastone.

Fuente: La web de física. De <http://forum.lawebdefisica.com/threads/11310-Problema-Puente-de-Wheatstone>

Su funcionamiento consiste en tener las resistencias R_1 y R_3 del mismo valor en ohmios, la resistencia R_2 es variable y esta se debe ajustar hasta tener una diferencia de potencial $R_g=0$, a esto se le llama equilibrar el puente, significa entonces que si no sabemos el valor de R_x debemos ajustar el valor de R_2 hasta equilibrar el puente y obtendríamos que $R_x=R_2$. Muchos instrumentos llevan este sistema incorporado como lo son los medidores de temperatura para las RTD, los medidores de presión para tecnologías de vacío, circuitos resonantes (LCR) para detectar fenómenos como la resonancia paramagnética, entre otros, dispositivos que varían el valor de su resistividad de acuerdo a las variables antes mencionadas y también se utiliza en los sistemas de distribución de energía eléctrica donde nos sirve para detectar interrupciones o fallas en las líneas de distribución eléctrica. Con la ecuación 4 podemos verificar el equilibrio del puente y para la ecuación 5 podemos hallar el valor o verificar el valor de la resistencia R_x que se puede expresar en términos de las resistencias restantes.

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

$$\frac{R1}{R2} = \frac{R3}{Rx} \quad (4)$$

$$Rx = R2 \frac{R3}{R1} \quad (5)$$


Para la ecuación (3) a R2 se le llama rama patrón del puente y a las resistencias R3 y R1 se les llama ramas de relación, esta ecuación también nos indica que los cambios en Rx son directamente proporcionales a los cambios que debemos realizar en R2 para tener el puente en estado de equilibrio.

2.7 Controlador lógico programable (plc)

2.7.1 Historia.


El controlador lógico programable más conocido como PLC (Programmable logic controller), surgió por la necesidad de reemplazar los circuitos de control complejos de la industria como lo era la lógica cableada de los relés los cuales eran utilizados para aplicaciones de control secuencial, en 1968 GM Hydramatic (la división de transmisiones automáticas de la General Motors) emitió una solicitud para realizar un sistema de control que sustituyera la lógica cableada, siendo ganadora la propuesta realizada por Bedford Associates proponiendo un sistema denominado controlador digital modular (MODICON, Modular Digital Controller), así el MODICON-84 fue el primer PLC construido en la historia.

En la década de los 70 los PLC'S eran máquinas de estado secuencial con CPU basadas en un desplazamiento de bit, de igual forma comenzaron aparecer avances en estos dispositivos de control, apareciendo el primer sistema de comunicación (Modbus) entre PLC'S, logrando estar

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

separados del proceso que controlaban, agregando también la posibilidad de recibir señales analógicas. En los 80s se estandarizo la comunicación con el protocolo MAP (Manufacturing Automation Protocol) de General Motor's, ya se permitían operaciones en 16bits, se comienza a implementar la programación simbólica por medio de computadores personales reemplazando los terminales de programación y se comenzaron a reducir las dimensiones físicas, siendo una década de muchos avances para este dispositivo de control. En los 90s se comienzan a implementar en los PLC'S los microprocesadores de 32bits, añadiendo operaciones matemáticas complejas, comunicación entre PLC'S de diferentes marcas y con la norma (IEC 61131-3) se unificó el sistema de programación para todos, ahora se puede programar por medio de diagramas de bloques, listas de instrucciones y texto estructurado.

El PLC es un dispositivo electrónico, que trabaja de manera secuencial y cíclica, esto quiere decir que una vez terminado el programa regresa a la primera instrucción, se programa mediante un software que es instalado en un computador y lo proporciona el fabricante de cada uno de estos o tenemos la opción de hacer la programación en algunos PLC mediante una pantalla acompañado de una teclado en la parte frontal del dispositivo; son utilizados en la industria para realizar procesos de manufactura sustituyendo labores humanas que pueden demandar mucho esfuerzo y desgastes físicos, además incorporan funciones especiales lógicas de cálculo numérico, regulación PID, temporización, registro, conteo, entre otras, para controlar a través de entradas y salidas digitales o análogas determinadas máquinas o procesos industriales, además tenemos la opción de maniobrar y monitorear un proceso mediante pantallas de operación HMI (Human-machine Interface). En los resultados experimentales mostrados en (Zhou, M et al, 2013) se

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

propone un método de trabajo secuencial basado en tres fases: El modelado, por su flexibilidad y buen comportamiento en tiempo real es utilizado el lenguaje de programación BIP que traduce (Comportamiento-Interacción con prioridad), en la fase de verificación el sistema es comprobado por la UPPAAL ayudando a la corrección del modelo y generando mayor fiabilidad, para la última fase que es la de síntesis se propone un código cíclico por medio de un algoritmo.


Podemos utilizar el PLC cuando presentemos las siguientes necesidades:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción constantemente variables.
- Procesos secuenciales.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo constante de variables en segmentos del proceso industrial.
- Maniobra de maquinaria e instalaciones.

Además este dispositivo nos brinda algunas ventajas como lo son:

- Disminución en el tiempo de elaboración de proyectos.
- Espacio de ocupación muy reducido.
- Mantenimiento fácil y más económico.
- Posibilidades de añadir nuevas modificaciones a bajo costo.
- Manejo de varias máquinas y/o procesos con el mismo PLC.

Un PLC posee las herramientas necesarias respecto a software y hardware para recibir señales de sensores, controlar procesos y tomar decisiones para un buen desempeño según el programa

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

ingresado por el operador, la implementación de este en la industria se realiza con el fin de mejorar y optimizar procesos, logrando así reducir tiempos y costos de producción según se expone en (Estévez, Marcos et al, 2007).

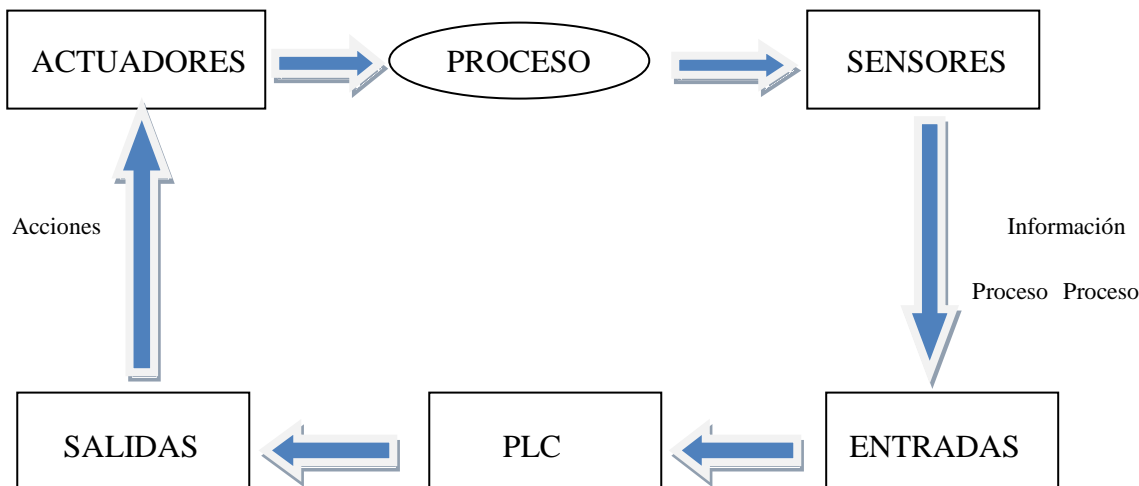



Figura 49. Esquema Proceso a Controlar por un PLC.

Existen varias presentaciones para los PLC'S y estas se diferencian por su capacidad I/O, funciones, tamaño, memoria, entre otras y se clasifican en las siguientes categorías:

2.7.2 Tipos de PLC.

- **PLC Nano:** La forma nano como se observa en la Figura 50, en el mismo equipo se encuentran la CPU, sus entradas y salidas (I/O) generalmente menos de 100 adicionando sus módulos de ampliación y el puerto de comunicación, además para algunos modelos cuenta con una pantalla y teclado con los cuales podemos interactuar ingresando el programa deseado, modificar datos y funciones en caso de ser necesario, de igual manera

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

puede ser conectado a un computador para ingresar el programa diseñado previamente en un software por medio de su puerto de comunicación. Esta forma nano es utilizada cuando el proceso industrial que se va intervenir no es muy amplio y no es necesario utilizar un gran número de salidas y entradas, también puede ser utilizado por conceptos de espacio, a este PLC podemos agregarle módulos adicionales de entradas/salidas y análogos en caso de ser necesario.

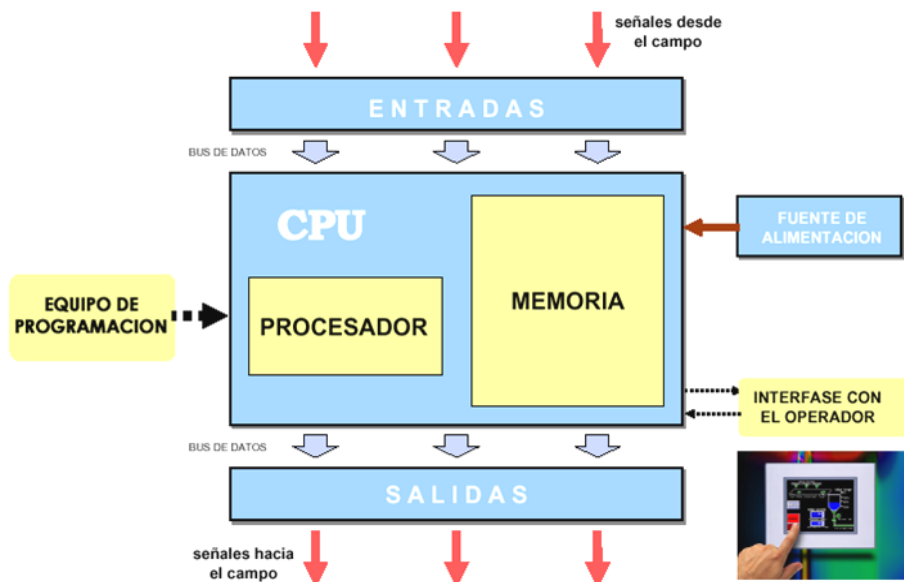


Figura 50. Estructura PLC Nano
 Fuente: <http://aplicacionesdeplc.blogspot.com/>


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



Figura 51. PLC Nano siemens 230RC

Fuente: <http://cl.rsdelivers.com/product/siemens/6ed10521fb000ba6/logo-230rc-8di-4da/0499829.aspx>

- PLC Compacto:** Como se observa en la Figura 52, incorpora en el mismo modulo la CPU, puerto de comunicación, fuente de alimentación y entradas/salidas digitales, su tamaño es superior al nano, soporta gran variedad de módulos especiales y puede soportar alrededor de 500 En/Sal digitales, puede ser utilizado para procesos industriales grandes, este dispositivo para algunos modelos y fabricantes posee la opción de tener una pantalla, acompañada del teclado para realizar operaciones directamente desde el PLC.

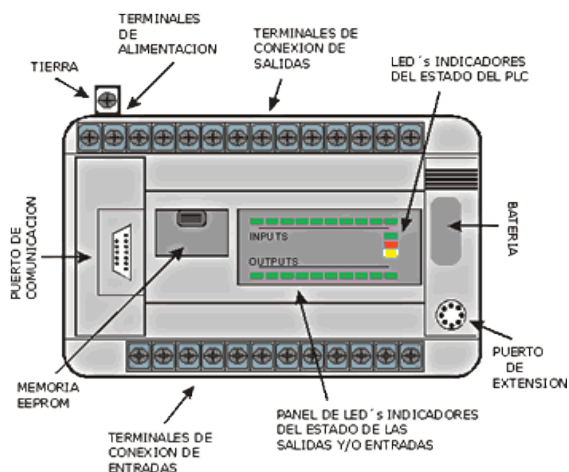


Figura 52. Estructura PLC compacto.

Fuente: Partes de un PLC. De <http://aprendeplc.blogspot.com/2011/03/partes-de-un-plc.html>


	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22




Figura 53. PLC Compacto Siemens S7-1200

Fuente: <http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/equipment-sets/automation-technology-plc/siemens-components-for-edutrainner/trainer-package-simatic-s7-1200-dc-dc-dc.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC41NTMuNzI2Mg>

En el diseño que se presenta en (Hong, W. 2011) exponen el modelo compacto antecesor del S7-1200 refiriéndose al S7-200, el cual trabajando con una CPU 266 es seleccionado y utilizado para realizar el proceso de control de un sistema hidráulico, siendo un PLC compacto y potente este equipo ofrece al sistema diseñado fiabilidad, seguridad, un alto nivel de automatización y todo tipo de facilidades en el manejo del software y hardware.

- **PLC Modular:** Para este tipo de PLC como se observa en la Figura 54, los bloques de entradas y salidas están separados de la CPU, algunos poseen una fuente de alimentación incorporada, poseen un puerto de comunicación para ingresar nuestro programa diseñado previamente en un software instalado en un computador según la necesidad ya que en este caso no se tienen teclas y una pantalla para interactuar, este tipo de PLC lo utilizamos cuando el proceso industrial que vamos a intervenir es muy extenso y tenemos la necesidad de utilizar varios bloques de entradas y salidas, ya que este nos permite trabajar con una gran cantidad, de igual manera soporta gran variedad de módulos especiales.

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

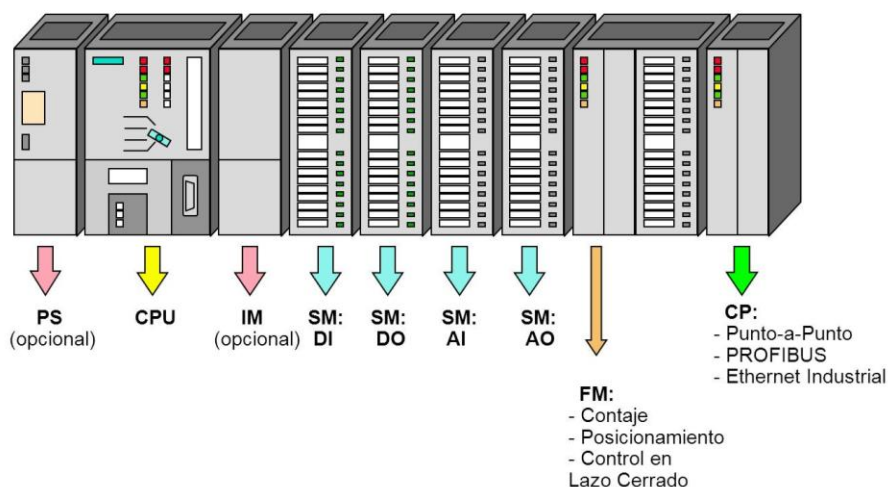



Figura 54. Estructura PLC Modular Siemens S7-300
 Fuente: <http://profesorpaul.blogspot.com/2011/08/plc-modular.html>

2.7.3 Lenguajes de programación.

La programación para un PLC se puede definir como un conjunto de órdenes, las cuales nos permiten ejecutar determinada secuencia de control, como lo pueden ser tareas de automatización y por tal motivo cada usuario elige trabajar con el programa que más se sienta a gusto y tenga un mejor dominio de acuerdo a sus necesidades y esta información es almacenada en la memoria del PLC; como se mencionó anteriormente estos dispositivos (PLC's) han avanzado con el pasar del tiempo lo que ha conllevado a un desarrollo equivalente en la programación, cabe agregar que actualmente cada fabricante de PLC diseña su propio software de programación.

Debido a esta variedad de fabricantes la comisión electrotécnica internacional (IEC) en 1979 observo la necesidad de implantar y aplicar la norma IEC61131-3 que fue creada estandarizar los lenguajes de programación de los PLC's, con el objetivo de crear un conjunto de instrucciones comunes y así poder ser utilizado por cada fabricante, basados en esta norma (Liang y Li, 2011)

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

demuestran por medio de resultados el buen rendimiento y fiabilidad del software del PLC para aplicaciones en la industria.

- Lenguaje de programación LADDER:** También denominado lenguaje de contactos o escalera, es muy popular en los PLC's ya que fue introducido con el primer PLC hace más de 35 y está basado en los esquemas eléctricos de control clásico, por tal motivo es muy fácil adaptarse es este tipo de programación cuando se tienen conocimientos de simbología eléctrica, los cuales están normalizados bajo la norma NEMA y son utilizados por todos los fabricantes de PLC's, en la Tabla 3 podemos observar sus principales símbolos y su descripción.

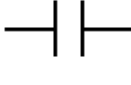
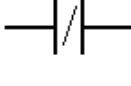
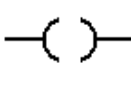

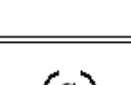


Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema.
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización.
	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un uno lógico. Su activación equivale a decir que tiene un uno lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bina RESET dan una enorme potencia en la programación.
	Bobina SET	Permite desactivar una bobina SET previamente activada.

Tabla 3. Simbología lenguaje de programación ladder.

Fuente: Mecatrónica en movimiento (2013). Lenguajes de programación de PLC's. Recuperado el 27 de enero de 2014. De <http://movimientomecatronica.blogspot.com/>

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

Una vez conocidos los símbolos del lenguaje ladder es importante conocer como se observa en la Figura 55 la estructura de un programa y su orden de ejecución por parte del PLC, la distribución de este nos muestra que los contactos siempre van al lado izquierdo y las bobinas y otros elementos al lado derecho, además de esto las líneas verticales que se encuentran en sus extremos representan la alimentación del circuito de control que se está diseñando y su orden de ejecución va de arriba hacia abajo y de derecha a izquierda dando una función principal a los contactos los cuales siempre accionaran las bobinas.

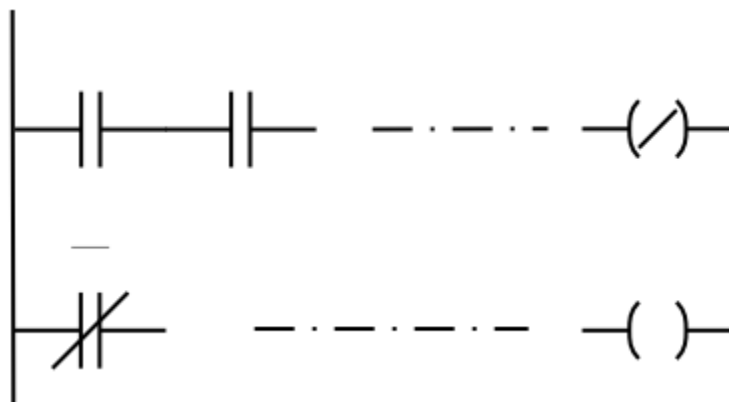


Figura 55. Estructura ladder.

Fuente: Mecatrónica en movimiento (2013). Lenguajes de programación de PLC's. Recuperado el 27 de enero de 2014. De <http://movimientomecatronica.blogspot.com/>

Las funciones lógicas complejas como los contadores, temporizadores, registros de desplazamiento entre otros se ingresan como diagramas de bloques.

- **Lenguaje de programación FBD:** La característica de este lenguaje es programar bloques de función, los cuales van conectados entre sí como se observa en la Figura 56, asemejándose a un esquema eléctrico, cada bloque poseen una interfaz de entradas/salidas definida y un código interno oculto, además cada una de estos bloques se puede utilizar en varias ocasiones en el mismo programa ajustándose a la necesidad del usuario.

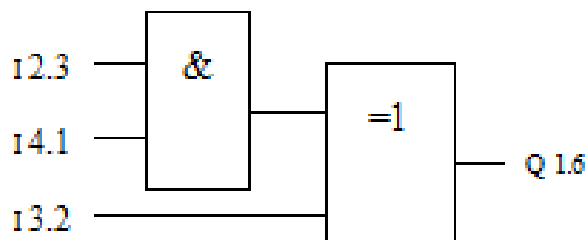


Figura 56. Estructura lenguaje FBD.

Fuente: Mecatrónica en movimiento (2013). Lenguajes de programación de PLC's. Recuperado el 27 de enero de 2014. De <http://movimientomecatronica.blogspot.com/>

Cada bloque solo se ejecuta cuando todas sus entradas han sido evaluadas y cada bloque se evalúa completamente cuando sus salidas se han calculado, las funciones lógicas estándares se rigen bajo la norma IEC 1131-3, en la Tabla 4 podemos observar tres funciones básicas para este tipo de programación y su designación interna.


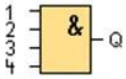

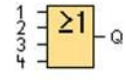

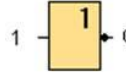

Representación en el circuito eléctrico	Representación en LOGO!	Designación de la función básica
Conexión en serie contacto normalmente abierto. 		AND (AND)
Conexión en paralelo contacto normalmente abierto 		O (OR)
Contacto cerrado. 		INVERSOR (NOT)

Tabla 4. Bloques de función básicos.

Fuente: Monografías. Simulador para aprender a manejar un vehículo con un PLC. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos93/simulador-aprender-manejar-vehiculo-plc/simulador-aprender-manejar-vehiculo-plc.shtml>

2.8 La válvula como elemento final de control

Este elemento de control es el encargado de permitir el paso de determinado fluido o variar el caudal de este, modificando así las pérdidas de energía como pueden ser agua, aceite, aire

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

comprimido entre otros, cumple la función de regular y retener el fluido, todo esto depende de la parte del proceso que se esté interviniendo, pueden ser accionadas manualmente por medio de un operario, por medio de un actuador que este a su vez es accionado por una señal neumática o de control como por ejemplo un servomotor, o una combinación de ambas señales, actualmente en la industria encontramos diversos tipos de válvulas las cuales son utilizadas dependiendo la línea del proceso donde serán instaladas. El procedimiento propuesto en (Gomes et al, 2015) expone una metodología de ubicación de válvulas para el control del fluido de un deposito hacia los pozos petroleros, basada en realizar un proceso de optimización dinámica utilizando indicadores económicos y técnicos, tomando como objetivo principal el reducir el número de variables y espacios de búsqueda hacia el problema.

- **Componentes principales**

Una válvula está conformada por un cuerpo principal el cual debe estar fabricado de materiales muy resistentes para resistir presiones máximas, a la erosión y corrosión producida por fluidos, en la Figura 57, observamos los elementos que van instalados internamente como son el obturador y los asientos, componentes que se encargan de regular o retener el paso de determinado fluido y en su parte superior tenemos una tapa, sobre esta se encuentra el dispositivo de accionamiento (manual o controlado); posee un vástago que es el encargado de unir el obturador con el servomotor y dispone de un indicador que señala la posición en que se encuentra la válvula (apertura o cierre).

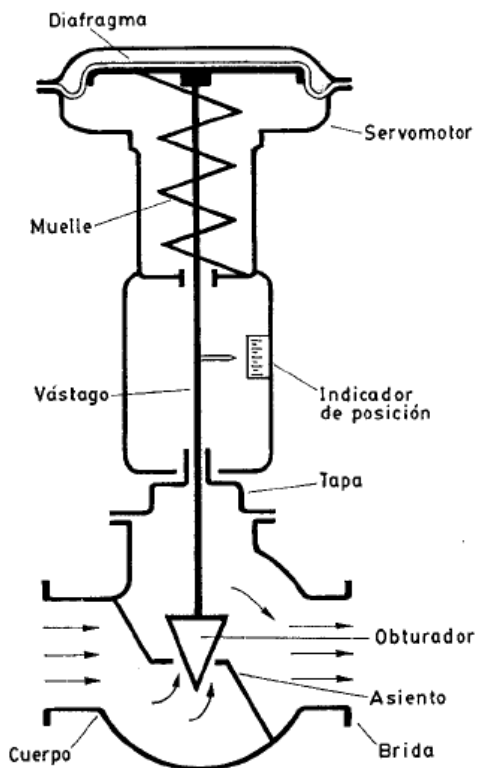



Figura 57. Válvula de control representativa.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.365). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

Las bridas o roscas se ubican a los extremos del cuerpo de la válvula y son las encargadas de acoplar este dispositivo a la línea, las normas DIN y ANSI como se observa en la Figura 58 son las encargadas de normalizar el tipo de brida o rosca a utilizar de acuerdo a las presiones y temperaturas de trabajo, cabe agregar que las válvulas de unión roscada solo se utilizan hasta un diámetro de 2”.

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

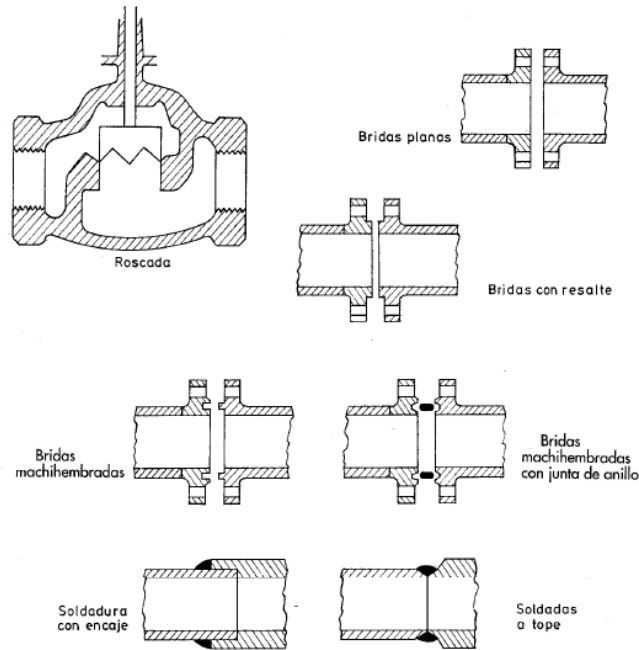


Figura 58. Tipo de conexiones de válvula a tubería.

Fuente: Creus, A. (1997). *Instrumentación Industrial* (p.371). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

Como se mencionó anteriormente también tenemos válvulas de accionamiento manual como se observa en la Figura 59, la cual luego de su tapa posee su sistema de transmisión mecánico que pueden ser reductores o juego de engranajes, sistema que debe ser accionado por el operario por medio de un volante.

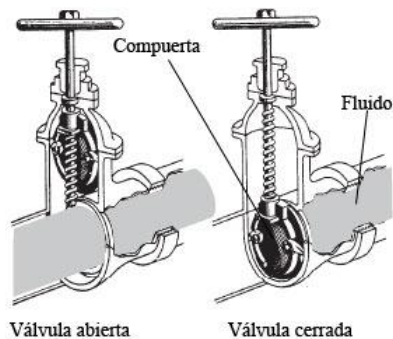



Figura 59. Válvula de compuerta.

Fuente: Neumática e hidráulica. *Conceptos básicos de neumática e hidráulica*. Recuperado de http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica30.htm

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

Actualmente en la industria se encuentran diversos tipos de válvulas, todo depende de su uso final y características internas, la gran mayoría las podemos encontrar en ambos tipos de accionamientos y su selección la realiza cada usuario de acuerdo a la necesidad del proceso.

El servomotor es el elemento encargado de mover el vástago para el caso de las válvulas automáticas y así controlar el paso del fluido por medio del obturador, puede ser hidráulico, digital, neumático o eléctrico, siendo estos dos últimos los más utilizados, en la Figura 60 se observa un ejemplo de servomotor neumático, el cual está compuesto por el vástago, un diafragma que trabaja en un rango de 3 a 15 psi y un resorte, de tal manera que ejercer cierta presión sobre el diafragma el resorte comenzara a comprimirse dándole movimiento a este mecanismo.

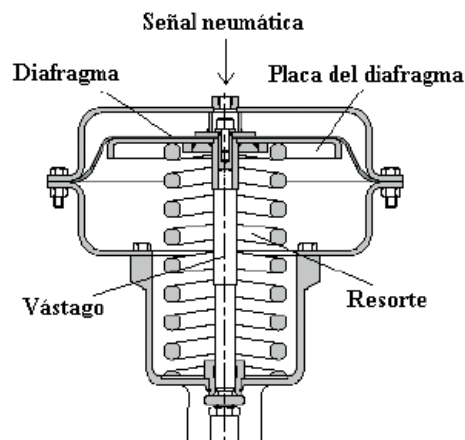



Figura 60. Servomotor neumático.

Fuente: Universidad de la frontera. Elementos finales de control. Recuperado de http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion_y_Control/Ivan_Velazquez/Catedra/Capitulo%205.%20Elementos%20finales%20de%20Control.pdf

A diferencia de este, el servomotor eléctrico como se observa en la Figura 61, se compone de un indicador de posición, un motor que va acoplado a el vástago y se encarga por medio de una juego de piñones de darle el movimiento lineal para controlar el paso del fluido y de una volante

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

para realizar un cierre manual en caso de que el motor presente fallas, el tiempo requerido para que la válvula pase de un estado abierto a cerrado es de aproximadamente 1 minuto. El uso de servomotores es muy utilizado solo cuando se requiere aplicar grandes esfuerzos como por ejemplo en oleoductos.



Figura 61. Servomotor Eléctrico.


Fuente: Universidad de la frontera. Elementos finales de control. Recuperado de http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion_y_Control/Ivan_Velazquez/Catedra/Capitulo%205.%20Elementos%20finales%20de%20Control.pdf

2.8.1 Tipos de válvulas.

Existen varios tipos de válvulas y se clasifican dependiendo su cuerpo y movimiento del obturador, podemos tener 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 62, las podemos 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

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

cierre del obturador ya que este tipo de válvulas trabajan en contra de la presión diferencial del proceso, por este motivo solo se emplean cuando la presión del fluido es baja y se caracterizan por ser poco susceptibles a las vibraciones, estas válvulas trabajan con un actuador de gran tamaño para que el obturador cierre en contra de la presión diferencial del proceso. 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 nos indica que las fugas que entrega una válvula de simple asiento es del 0.1% 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.

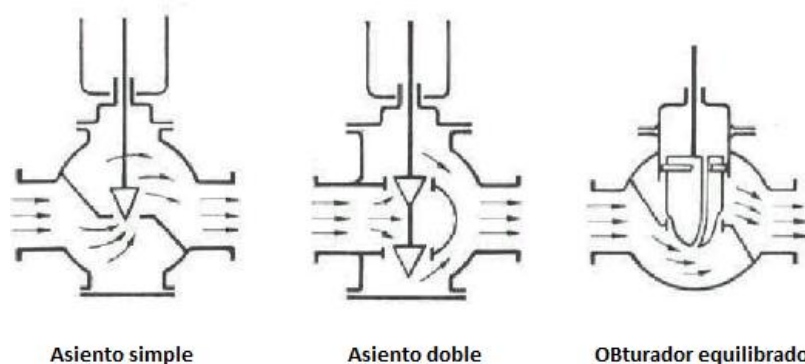



Figura 62. Tipos de válvula de globo.

Fuente: Universidad de la frontera. Elementos finales de control. Recuperado de http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion_y_Control/Ivan_Velazquez/Catedra/Capitulo%205.%20Elementos%20finales%20de%20Control.pdf

Válvula de ángulo: Esta válvula nos permite tener un flujo de caudal regular sin turbulencias excesivas, es ideal para trabajos que presenten una alta presión diferencial y para reducir las

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

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 63, es ideal para el control de fluidos que vaporizan, para el trabajo a presiones altas, para los fluidos que contienen sólidos en suspensión, lodos o líquidos saturados de naturaleza erosiva y ayuda a el drenaje de un fluido determinado.

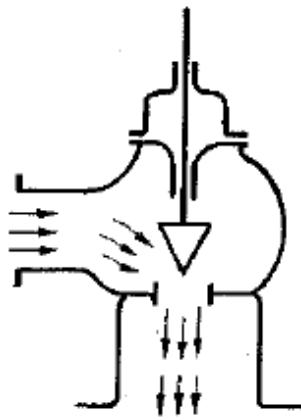


Figura 63. Válvula de ángulo.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.367). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

Válvula de tres vías: Su diseño se observa en la Figura 64 y tenemos dos tipos que son 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 obtenemos 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.

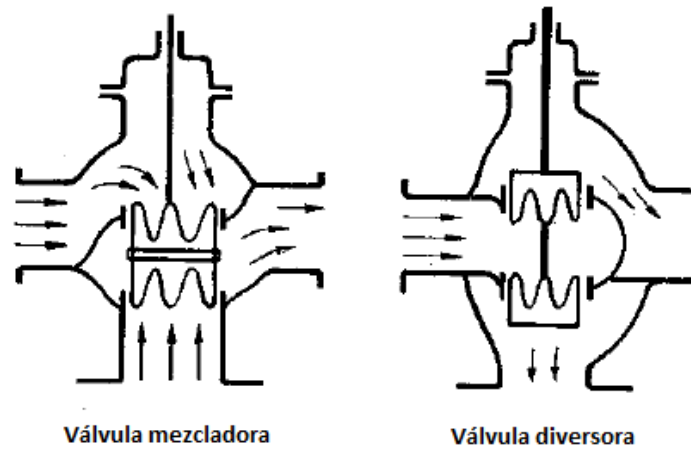


Figura 64. Válvulas de tres vías.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.367). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

Válvula de compuerta: 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 65 su cierre lo realiza por medio de una disco plano, una de sus ventajas es que al momento de estar en apertura total presenta muy poca resistencia al flujo del fluido.

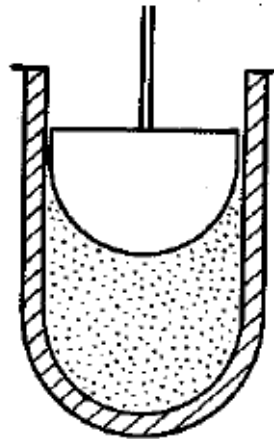



Figura 65. Válvula de compuerta.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.367). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Válvula en Y: En la Figura 66 se observa su forma, este tipo de válvulas son muy utilizadas en instalaciones criogénicas o de metales líquidos, esta válvula contiene una camisa de vacío que le proporciona un aislamiento térmico ideal para procesos que utilicen hidrógeno líquido, si es instalada en cierto ángulo de inclinación posee la característica de auto drenarse. 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.

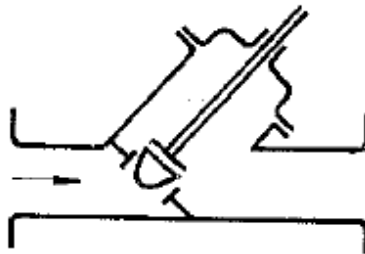


Figura 66. Válvula en Y.

Fuente: Creus, A. (1997). *Instrumentación Industrial* (p.367). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

- Válvulas de cuerpo partido:** Esta válvula es una modificación de la válvula de globo de asiento simple, como se observa en la Figura 67, tiene el cuerpo partido y entre ellas se encuentra su asiento, sus partes internas se pueden reemplazar fácilmente, su forma es relativamente aerodinámica por lo cual reduce en gran medida la acumulación de sedimentos, nos brinda un flujo dócil del fluido sin espacios muertos, es muy utilizada para fluidos viscosos y en la industria alimenticia.

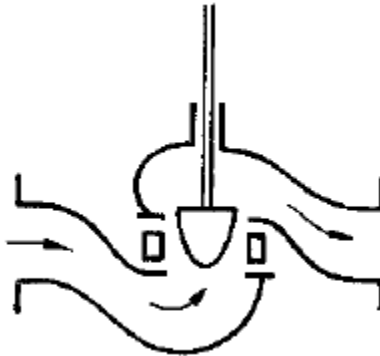


Figura 67. Válvula de cuerpo partido.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.367). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

- 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 o diafragma que pueden ser elaborados de materiales como polietileno, látex, caucho natural entre otros, su forma se puede observar en la Figura 68, presentan un óptimo control de cierre parcial, siendo utilizadas principalmente para fluidos corrosivos, viscosos o que contengan sustancias sólidas en suspensión. Su mantenimiento depende de la vida útil del diafragma que lo determina su resistencia que depende del material en que fue elaborado.

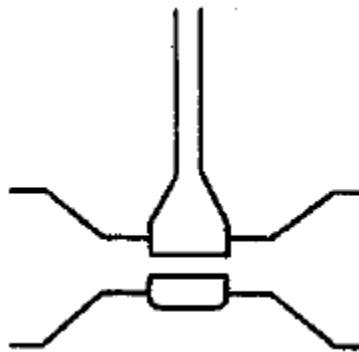



Figura 68. Válvula de compresión.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.367). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

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

- **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 69 el cual debe ser girado 50° para una apertura máxima, va anclada 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.

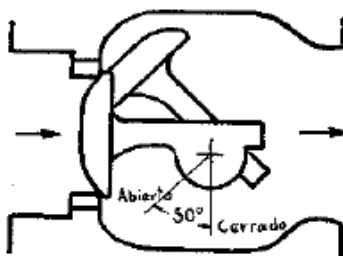


Figura 69. Válvula de obturador excéntrico rotativo.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.367). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

Válvulas de obturador cilíndrico excéntrico: Su obturador asienta contra el cuerpo cilíndrico de la válvula consiguiendo un control preciso del caudal y generando un cierre hermético debido a que en los asientos tiene un revestimiento de goma o teflón, asumiendo una doble función de control y bloqueo, 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 contengan sólidos en suspensión. Son fabricadas de manera que no sea necesaria una lubricación y que el par de torsión necesario para hacer girar la válvula sea despreciable.

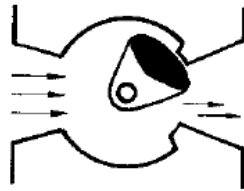


Figura 70. Válvulas de obturador cilíndrico excéntrico.


Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.367). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

Válvula de mariposa: También llamada regulador de tiro debido a su estructura consiste en un disco conectado a un eje diametral que se encarga de regular determinado fluido, 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 71, 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 71. Válvula de mariposa.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.367). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

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

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”, el cual 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 72 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.

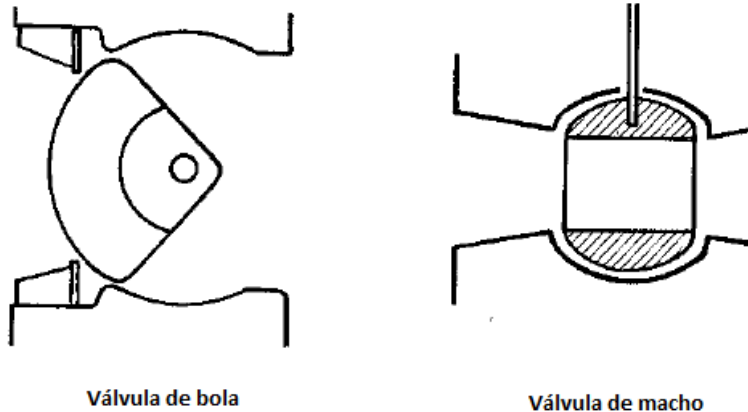



Figura 72. Válvulas de bola.

Fuente: Creus, A. (1997). *Instrumentación Industrial* (p.367). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

- **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

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

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 73.

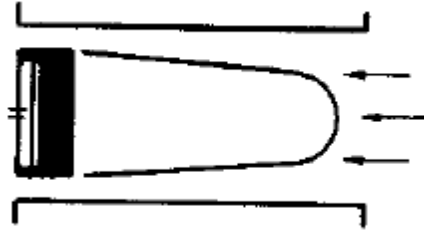



Figura 73. Válvula de flujo axial.

Fuente: Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial (p.367). Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial

2.9 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 diésel que son los encargados de realizar el aumento de energía del fluido. La primera bomba conocida como se observa en la Figura 74, fue la descrita por Arquímedes en el siglo III A.D.C y se le conoce como tornillo de Arquímedes.

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

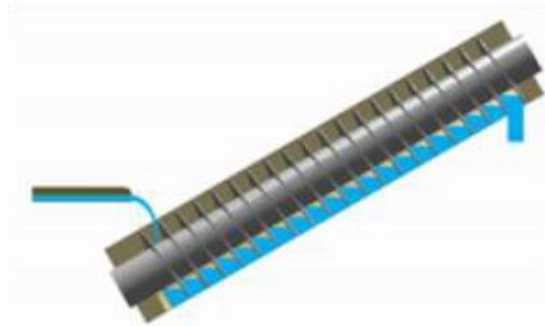


Figura 74. Primera bomba descrita por Arquímedes.

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

2.9.1 Tipos de bombas

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

- 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 , estudios realizados en (Li et al, 2013) demuestran como al utilizar una bomba centrífuga de calor acompañada de una caldera de gas como un sistema híbrido de calefacción el consumo de energía y costo operativo reducen significativamente anualmente en comparación con un sistema de caldera a carbón; las bombas centrífugas de flujo radial como se observa en la Figura 75, 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, aumentando 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.

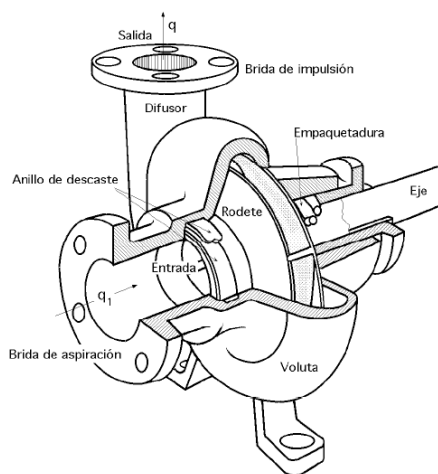


Figura 75. Componentes de una bomba centrífuga de flujo radial.

Fuente: Fernández P. Bombas centrífugas y volumétricas. Recuperado de http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf

Para este tipo de bombas también podemos encontrar de flujo axial como se observa en la Figura 76, 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 la cual por medio de un eje va anclada a un motor eléctrico y así se impulsa el fluido hacia la tubería de salida.

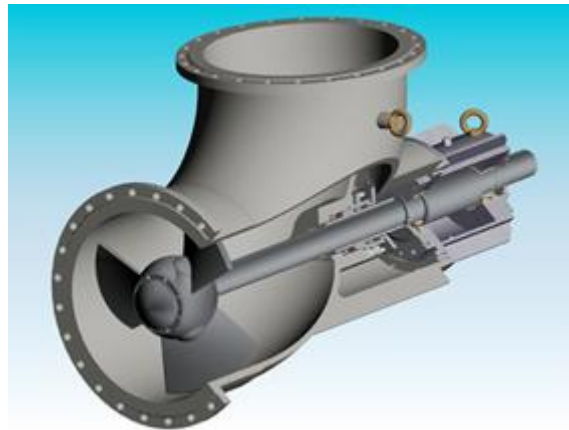



Figura 76. Bomba centrífuga de flujo axial.

Fuente: Weirminerals. Bomba Warman Q. Recuperado de

http://es.weirminerals.com/products_services/centrifugal_slurry_pumps/axial_flow_pumps/warman_q_pump.aspx

Las bombas centrífugas de flujo mixto se caracteriza por darle al fluido velocidades axiales y radiales, además se caracterizan por transportar líquidos con sólidos en suspensión. Estas bombas las podemos 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 77, 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; Las bombas sumergibles son diseñadas para ser sumergidas en su totalidad, es una bomba de diseño portable y son ideales para retirar agua de pozos, construcciones, minas, entre otras aplicaciones, la succión de esta bomba se encuentra en el fondo de su diseño, donde el agua es succionada a través de un filtro y su descarga es vertical.

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

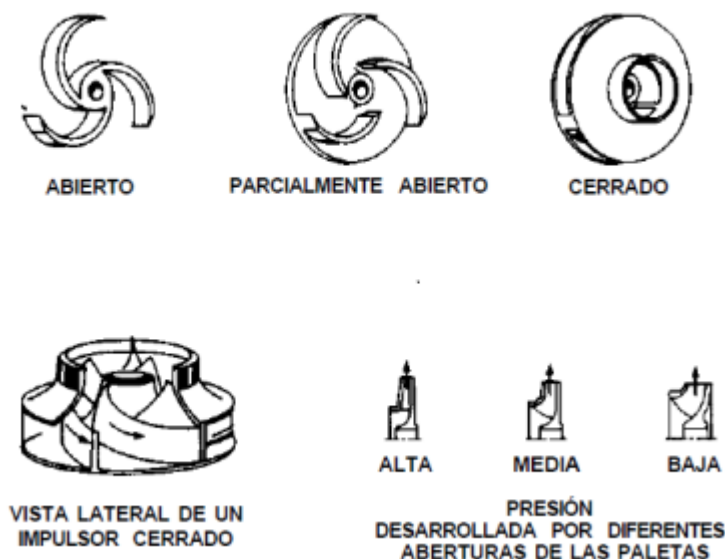



Figura 77. Tipos de Impulsores para bombas centrífugas.

Fuente: Quintero D, Martínez E (14 de septiembre de 2012). Procesos Industriales termodinámica.

Recuperado de <http://gasslave.wordpress.com/>

Las bombas centrífugas presentan una ventaja en comparación con las bombas de desplazamiento positivo y es debido a las condiciones de descarga constante para una presión dada (Niño y Duarte, 2002), además el progreso que se ha dado con el transcurso de los años en los motores eléctricos ha favorecido el desarrollo de bombas centrífugas más ligeras y baratas.

- Bombas de desplazamiento positivo:** Este tipo de bombas también conocidas como volumétricas se diferencian de las centrífugas por su sistema de impulsión o bombeo intermitente del fluido como se observa en la Figura 78, ya que para este tipo de bombas se genera por medio de pistones, diafragmas, tornillos, entre otros y 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

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

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 auto cebantes 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, su funcionamiento ideal es que con cada revolución del rotor del motor o eje impulsor haya una cantidad fija del fluido, la mayoría de este tipo de bombas trabajan con líquidos de un amplio rango en su viscosidad.

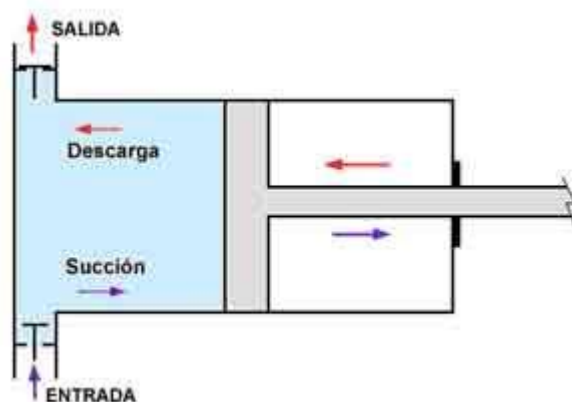



Figura 78. Bomba de desplazamiento positivo de pistón.

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

Un concepto innovador para darle una gran aplicación en la industria es presentado en (Kleinmann et al, 2010) donde nos muestran como un sistema de seguimiento, control y diagnostico puede ser aplicado en las bombas de desplazamiento positivo, este monitoreo permitiría operar las bombas en su punto máximo de rendimiento, evitaría fallas y averías y

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

además brindaría información sobre el mantenimiento de cada tipo de bomba para sus elementos principales.

- Bombas alternativas:** El trabajo de aspiración del fluido es realizado por medio de un pistón o diafragma, elementos que se encargan 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, cuanto más viscoso sea el fluido más tiempo toma la bomba en realizar el llenado satisfactorio sin vacíos (Jiménez, 1997). En la Figura 79 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.

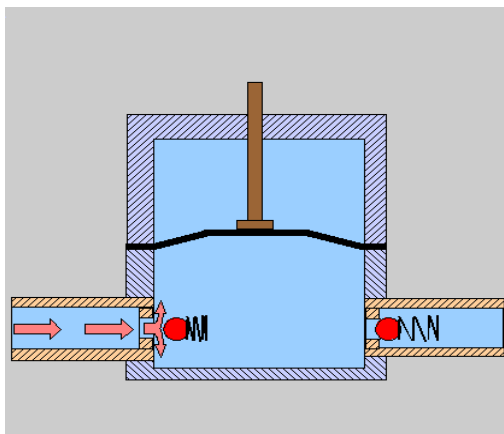



Figura 79. Bomba alternativa de diafragma.

Fuente: Sabelotodo.org. Bombas para líquidos. Recuperado de <http://www.sabelotodo.org/aparatos/bombasimpulsion.html>.

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

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 en procesos para el transporte de líquidos corrosivos y que tengan suspensiones de sólidos abrasivos como puede ser en la construcción, minería, procesos químicos, tratamiento de aguas residuales, entre otras aplicaciones; El diafragma está elaborado de materiales como el buna-N, neopreno, nylon, PT-FE, polipropileno y otros polímeros elastómeros especiales.

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 80 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.

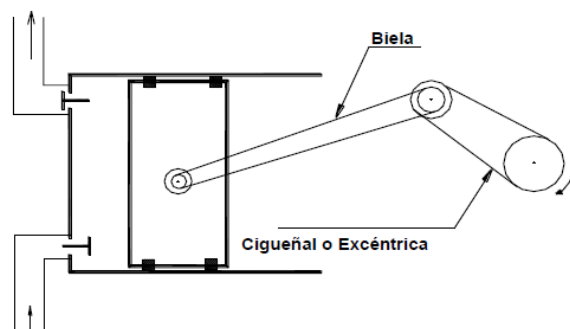


Figura 80. Bomba alternativa de pistón de simple efecto.
Fuente: IMFIA (2009). Bombas volumétricas. Recuperado de <http://share.pdfonline.com/15de5c0a9f684628b5917576a01b702e/BOMBA.pdf>

También encontramos bombas de pistón de doble efecto como se observa en la Figura 81, 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.

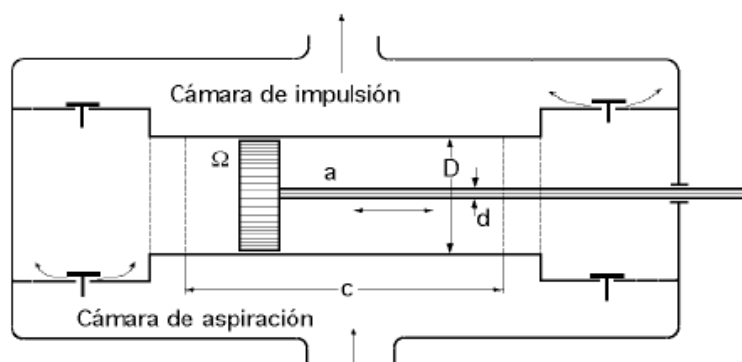



Figura 81. Bomba alternativa de pistón de doble efecto.
Fuente: Fernández P. Bombas centrífugas y volumétricas. Recuperado de http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Bombas rotativas:** Para este tipo de bombas el trabajo de aspiración es realizado por elementos como pueden ser engranajes, tornillo, lóbulos, pistones, entre otros, cada uno de estos elementos mencionados van instalados al interior de una caja fija (estator) en la cual están ubicadas las cavidades de aspiración e impulsión, a diferencia de las bombas alternativas estas no poseen válvulas de aspiración e impulsión al interior de la cámara debido a su principio de funcionamiento el cual consta de tres pasos como lo son el llenado de la cámara del fluido a transportar, luego el aislamiento de las cavidades de aspiración e impulsión para trasladar el fluido de una a otra y por último la expulsión del fluido de las cámaras de trabajo, una característica adicional para este tipo de bombas es que son reversibles lo cual nos indica que tiene la posibilidad de trabajar como motores hidráulicos cuando se les suministra determinado líquido a presión. En la Figura 82 se observa una bomba rotativa de engranajes, el rotor va conectado a uno de los engranajes y el otro es el conducido, el fluido que pasa a través de este tipo de bomba también actúa como refrigerante por tal motivo es de gran importancia no trabajar la bomba en vacío, no están diseñadas para transportar líquidos con sólidos en suspensión y por esto llevan instalados filtros a la entrada de la cavidad de aspiración.

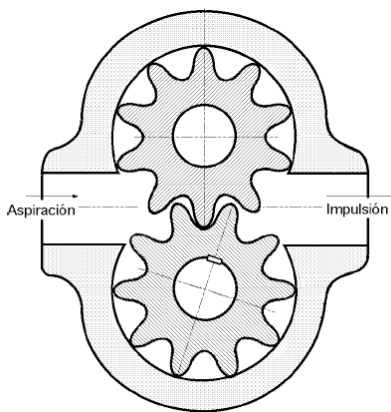


Figura 82. Bomba Rotativa de engranajes.

Fuente: Fernández P. Bombas centrífugas y volumétricas. Recuperado de [http://www.ing.una.pv/pdf material apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf](http://www.ing.una.pv/pdf_material_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf)

Con este tipo de bombas se manejan presiones en un rango de 1500 a 4000 psi, el flujo que este tipo de bombas entregan depende en gran parte del tamaño que presenten los engranajes y su velocidad de rotación, si se presenta un exceso de fluido en la cámara en cada etapa, la bomba lleva una válvula de desagüe la cual se activa a determinada presión. También se pueden encontrar en la industria bombas de engranajes internos como se observa en la Figura 83, donde la corona va acoplada al eje del motor y es la encargada de generar el movimiento del engranaje interno, este tipo de bombas son empleadas para presiones bajas.

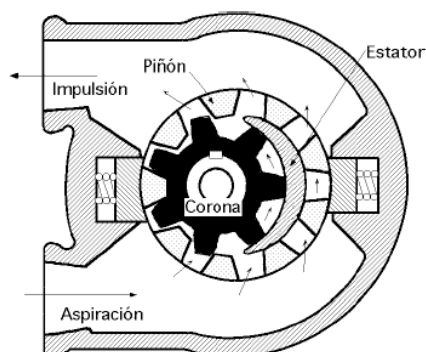


Figura 83. Bomba Rotativa de engranajes internos.

Fuente: Fernández P. Bombas centrífugas y volumétricas. Recuperado de [http://www.ing.una.pv/pdf material apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf](http://www.ing.una.pv/pdf_material_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf)

Las bombas rotativas de aletas como se observa en la Figura 84, están compuestas de cuatro o más aletas y entre más tenga mayor será la presión del fluido en su impulsión, estas van instaladas en el rotor de la bomba que presenta una forma excéntrica, el movimiento de las aletas genera una fuerza centrífuga lo cual produce el proceso de aspiración, así el fluido va llenando los espacios entre aletas que es llamado cámara de trabajo y así genera la impulsión del fluido, cabe agregar que una posible desventaja de esta bomba es el manejo de presiones bajas respecto al resto de bombas rotativas de la industria. Las bombas de aletas admiten la posibilidad de regular su volumen de trabajo, modificando la excentricidad del rotor respecto al estator.

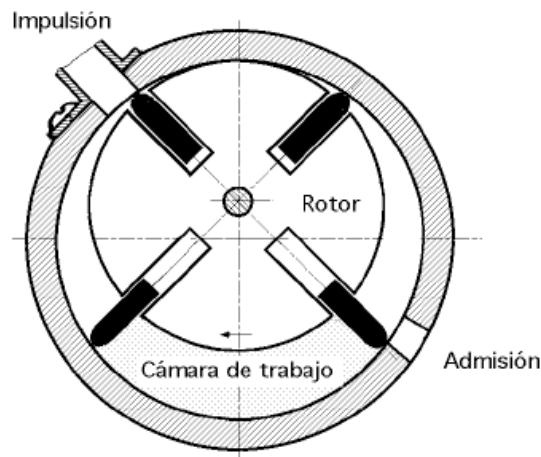



Figura 84. Bomba rotativa de aletas.

Fuente: Fernández P. Bombas centrífugas y volumétricas. Recuperado de http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumentricas.pdf

Las bombas de tornillo se pueden encontrar en la industria de uno o varios tornillos, para el caso de los tres tornillos como se observa en la Figura 85, uno de estos va acoplado al rotor del motor siendo este el tornillo conductor y los dos tornillos de los extremos los conducidos, para garantizar un cierre hermético entre las cámaras de trabajo es necesario que el perfil del tornillo conductor tenga un contorno convexo y los conducidos cóncavo, este tipo de bombas se

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

caracterizan por su trabajo en altas presiones que van entre 1500 y 3000 psi y en las de un solo tornillo de 150 a 360 psi, además de esto por sus altas revoluciones, entre 3000 y 5000 rpm, resaltando su trabajo de forma silenciosa y segura. En general este tipo de bombas son muy utilizadas en la industria petrolera para el bombeo de crudos altamente viscosos, además de esto puede transportar fluidos con sólidos en suspensión.

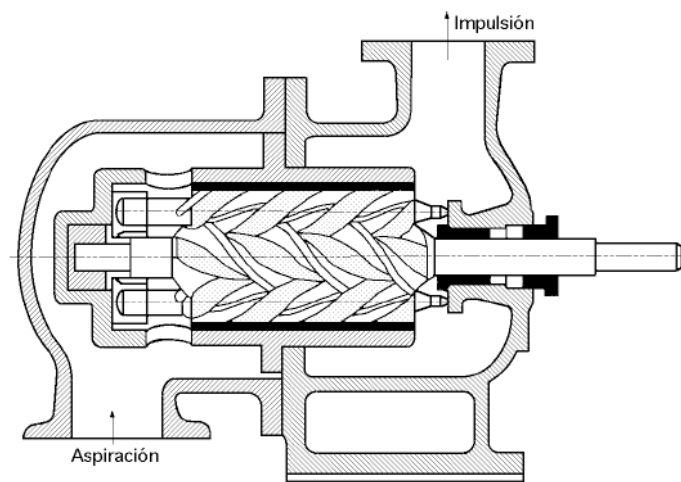



Figura 85. Bomba rotativa de tres tornillos.

Fuente: Fernández P. Bombas centrífugas y volumétricas. Recuperado de http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumentricas.pdf

Para el caso de las bombas de lóbulos Figura 86, su funcionamiento es muy similar a las bombas rotativas de engranajes, se pueden encontrar de dos, tres y hasta cuatro lóbulos, además de presentar dos sistemas de rotación que pueden ser de rotor único o de doble rotor, son reversibles lo que nos indica que pueden trabajar como motores hidráulicos y pueden transportar fluidos con sólidos en suspensión.

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

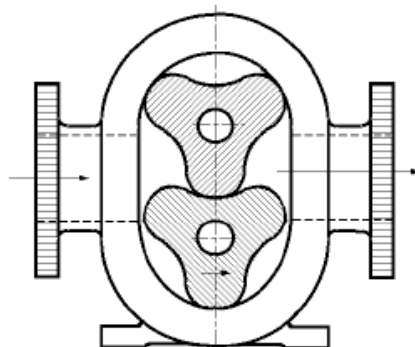



Figura 86. Bomba rotativa de 3 lóbulos.

Fuente: Fernández P. Bombas centrífugas y volumétricas. Recuperado de http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/bombas-centrifugas-y-volumetricas.pdf

2.10 Torres de enfriamiento.

Las torres de enfriamiento como por ejemplo un intercambiador de calor, son utilizadas para bajar la temperatura del agua que tiene como fin su reutilización o recirculación en determinado proceso industrial, poniendo el agua en contacto directo con el aire, el tamaño y capacidad de la torre establecen el nivel de temperatura en el cual la carga calorífica se disipa, determinando a su vez su eficiencia (Grimm y Rosaler, 1996). Para este tipo de sistema podemos encontrar algunos efectos de variables como lo son que el tamaño de la torre varía directamente con la carga de calor a la que se expone y su tamaño también se ve afectado en el diseño al momento de requerir una aproximación mayor a la temperatura final del agua, ya que entre más precisa se requiera menor va ser el tamaño de la torre, por esta razón no es común encontrar torres de enfriamiento con una aproximación menor de 5°F (3°C). Podemos encontrar diferentes tipos de torres de enfriamiento que pueden cubrir capacidades de flujo que van desde los 10 gal/min hasta 250.000 gal/min, además de su condición de trabajo que se pueden clasificar en atmosférico o mecánica.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.10.1 Torres de tipo atmosférico.

Las torres de tipo atmosférico tienen como característica principal la falta de un ventilador para ayudar a crear un caudal de aire, las torres de gran tamaño presentan un relleno pero esto influye en su eficiencia para generar la transferencia de calor necesaria para bajar la temperatura del agua, por tal motivo es más común encontrar en la industria torres de tamaños pequeños y su precio no es muy alto, en la Figura 87 se observa una torre atmosférica pequeña y su funcionamiento se basa en la aspiración natural del aire, además contiene unos inyectores en la parte superior de la torre que se encargan de expulsar el agua en espray y de esta manera entran en contacto el agua y el aire la cual está limitada por la presión que entreguen los inyectores. Este tipo de torres no se recomienda para trabajos en los cuales se necesiten temperaturas muy exactas del agua.

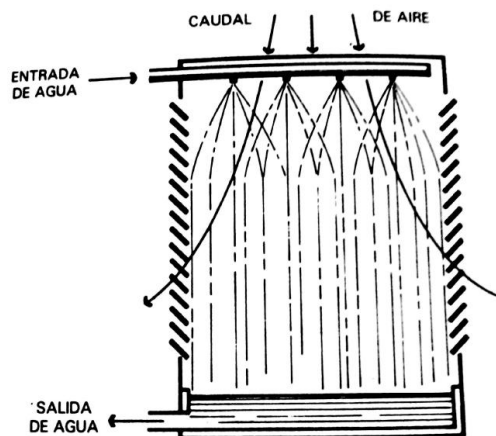



Figura 87. Torre de enfriamiento atmosférica.

Fuente: Grimm, N.Rosaler, R (1996). Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Madrid – España. McGraw-Hill.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.10.2 Torres de corriente mecánica

Las torres de corriente mecánica trabajan con uno o varios ventiladores, los cuales se encargan de generar una corriente de aire a través de la torre y estos a su vez pueden ser controlados en sus revoluciones para regular el caudal de aire y generar una mejora en el rendimiento térmico, estudios realizados en (Saidi et al, 2011) muestran como en Irán avanzan investigaciones relacionadas con el ahorro de energía para este tipo de torres, esto debido a la preocupación por el agotamiento de recursos energéticos, el calentamiento global y la contaminación, mostrando resultados experimentales en base a una función lineal demostrando los beneficios económicos y ambientales que puede traer para las grandes industrias; este tipo de torres a su vez se dividen en torres de corriente forzada e inducida. En las torres de corriente forzada como se observa en la Figura 88, el ventilador va instalado a un extremo de la torre y es el encargado de ingresar la corriente de aire del ambiente a través de la torre a altas velocidades, son torres sensibles al efecto de la recirculación del aire, esto nos indica que cierta corriente de aire que sale de la torre a una temperatura cálida se reintroduce en ella generando un aumento de la temperatura del agua fría; el tipo de ventilador utilizado comúnmente para las torres de corriente forzada son los de soplado centrífugo que aunque utilizan el doble de vatios que los ventiladores tipo helicoidal presentan la ventaja de trabajar con altas presiones estáticas que son generadas por las cargas de las tuberías.

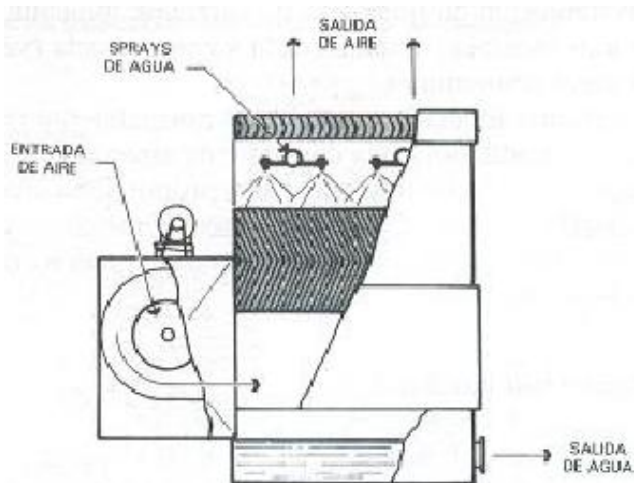


Figura 88. Torre de corriente forzada.

Fuente: Grimm, N. Rosaler, R (1996). Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Madrid – España. McGraw-Hill.

Las torres de corriente inducida como se observa en la Figura 89 tienen su ventilador instalado en la zona de salida del aire caliente, la velocidad que se expulsa el aire de descarga es hasta 4 veces mayor que el aire que entra para bajar la temperatura del agua, por su diseño no es probable que se creen zonas de presión reducidas en las entradas de aire debido a la acción del ventilador, además se debe agregar que por la ubicación de este se facilita el deshielo cuando este tipo de torres trabajan en condiciones extremas, dando así una excelente protección a los elementos mecánicos de la torre.

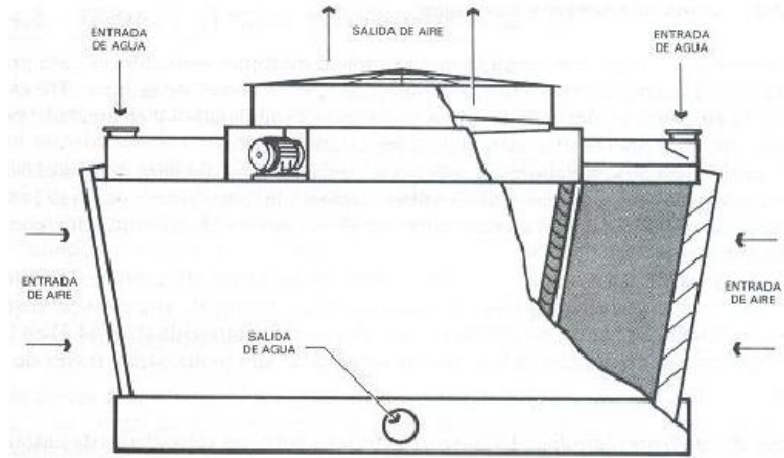



Figura 89. Torre de corriente inducida.

Fuente: Grimm, N. Rosaler, R (1996). Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Madrid – España. McGraw-Hill.

2.10.3 Clasificación por caudal de aire y construcción.

Las torres también se pueden clasificar teniendo en cuenta la dirección del caudal de aire y se dividen en torres de caudal contrario y cruzado. Las torres de caudal contrario como se observa en la Figura 90, en ellas el movimiento del aire es de forma vertical, pasando a través del relleno y en forma inversa de la caída del agua, con el pasar de los años este tipo de torres se han modificado con la inclusión de rellenos más sofisticados, ventiladores y sistemas de espray mejorados ya que históricamente algunas de estas eran muy altas y por tal motivo necesitaban bombas mayores y consumían más potencia por su sistema de ventilación, por su diseño cerrado es más complejo realizar mantenimiento a estas torres pero tiene como ventaja el retardo al crecimiento de algas debido a que el agua no está expuesta a la luz solar.

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

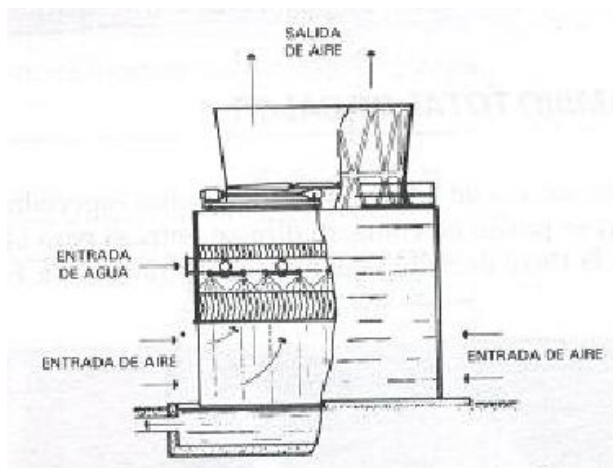


Figura 90. Torre de caudal contrario.

Fuente: Grimm, N. Rosaler, R (1996). Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Madrid – España. McGraw-Hill.

En las torres de caudal cruzado como se observa en la Figura 91, el relleno está dispuesto de tal manera que el aire pasa horizontalmente a través de la caída del agua, sobre las zonas que está ubicado el relleno se encuentran unas cubetas donde se almacena el agua caliente que llega y de ahí es distribuida por el relleno pasando el agua por unos orificios que se encuentran en las bases de cada cubeta, trabajan con un sistema de spray a presión y su mantenimiento es mucho más fácil ya que presenta la facilidad de revisar cada componente interno.

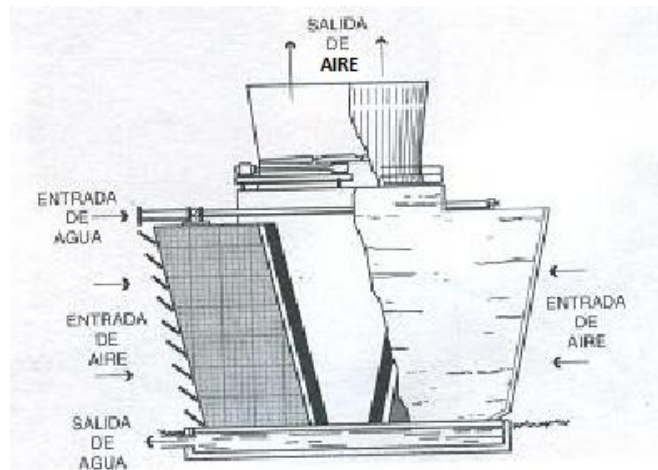



Figura 91. Torre de caudal cruzado.

Fuente: Grimm, N. Rosaler, R (1996). Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Madrid – España. McGraw-Hill.

También podemos clasificar las torres de enfriamiento respecto a su tipo de construcción y estas pueden ser de montaje de campo las cuales se montan en el lugar donde va ser utilizada, por lo general la mayoría de las torres grandes y algunas pequeñas son prefabricadas, marcando cada una de sus piezas y luego son enviadas al sitio de será su instalación final y las torres ensambladas en fabrica son montadas casi por completo en el lugar de fabricación, cuando se fabrica una torre pequeña es transportada intacta pero cuando se trata de una torre multicelular se fábrica por módulos.

2.10.4 Relleno de las torres de enfriamiento.

El relleno en las torres es el encargado de exponer el agua con el aire aumentando así la tasa de calor transferido, también cumple la función de aumentar el tiempo de contacto aire-agua, cabe aclarar que la exposición total del agua también depende en gran parte del tipo de inyectores que se utilizan y la presión a la cual es expulsada el agua, a mayor presión se produce una mejor

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

vaporización y así se aumenta la exposición del agua con el aire. Los tipos de rellenos más utilizados son por salpicadura y laminar.

- Relleno por salpicadura:** Como se observa en la Figura 92, este tipo de relleno hace que el agua pase a través de los diferentes niveles que forman las barras redistribuyendo con efectividad el agua, aumentando el tiempo de contacto aire-agua, va instalado a lo largo de toda la torre para poder garantizar el mayor retardo posible, las barras son fabricadas en materiales como el cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno, polietileno o con madera tratada, en ocasiones son hechas de aluminio enrollado o acero inoxidable para resistir altas temperaturas o aguas de condiciones agresivas (Grimm y Rosaler, 1996), este relleno es ideal para el uso de agua contaminada por su amplio espacio entre cada barra del relleno y no es muy casual encontrarlo en torres de caudal contrario debido que genera una resistencia mayor al caudal de aire en dirección vertical.

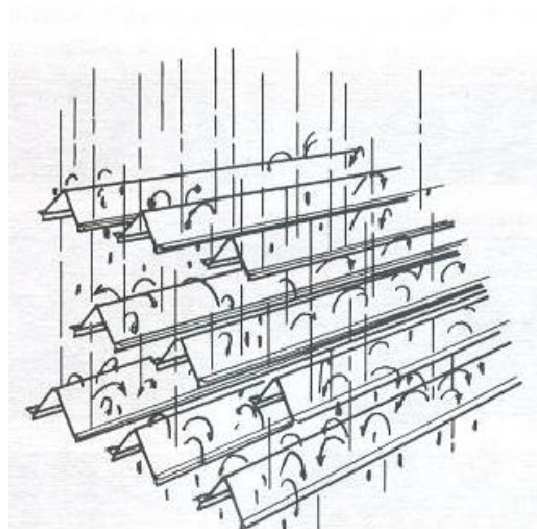



Figura 92. Relleno tipo salpicadura.

Fuente: Grimm, N. Rosaler, R (1996). Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Madrid – España. McGraw-Hill.

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

- Relleno tipo laminar:** Presenta una gran capacidad para exponer una mayor superficie de agua, debido a esto las torres de relleno laminar son más pequeñas que las de tipo salpicadura y presentan un rendimiento similar. Como se observa en la Figura 93, el agua pasa a través de delgadas láminas posicionadas en forma vertical, son moldeadas con trazas arrugadas, presentan un relleno de PVC, están separadas a una distancia de 1.9 cm y son ideales para trabajar con agua limpia ya que la obstrucción de los pasillos entre laminas puede afectar la eficiencia en la transferencia de calor. Este tipo de relleno es igual de eficaz para las torres de caudal cruzado o contrario.

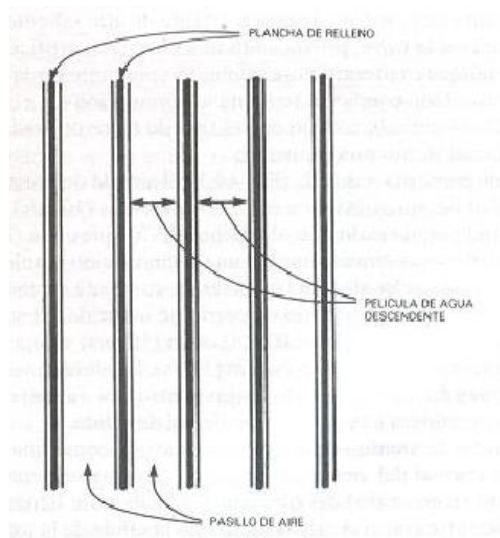



Figura 93. Relleno tipo laminar.

Fuente: Grimm, N. Rosaler, R (1996). Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Madrid – España. McGraw-Hill.

2.11 Ecuación general de la energía

La ecuación general de la energía es utilizada comúnmente para resolver problemas de pérdidas o ganancias de energía, bien sea por el roce o la presencia de mecanismos externos que lleguen a entregar o extraer energía, cada una de los términos que se observan en la ecuación (#)

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

representa una cierta cantidad de energía por unidad de peso del fluido que circula en el sistema, las unidades que maneja según SI (Sistema Internacional) son de N*m/N, o metros y las unidades del sistema americano son lb-pie/lb, o pies; Es importante aclarar que la ecuación general de la energía va escrita en la dirección del flujo y esto quiere decir que va desde el punto de referencia del lado izquierdo hacia el lado derecho.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 * g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} \quad (6)$$

Donde:

P_1 Y P_2 : Presiones del tramo de sistema que se está analizando.

γ : Peso específico del fluido.

Z_1 Y Z_2 : Distancia entre los puntos a analizar.


V_1 y V_2 : Velocidad del fluido.

g : Gravedad.

h_A : Energía que se entrega al fluido con un dispositivo mecánico.

h_R : Energía retirada del fluido.

h_L : Energía perdida por el sistema debido a la fricción.

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

2.11.1 Número de Reynolds, flujo laminar o turbulento.

- Número de Reynolds:** Es un parámetro adimensional de resistencia e influye en que una corriente sea de flujo laminar o turbulento, con números de Reynolds pequeños la corriente es laminar y con número de Reynolds grandes la corriente es turbulenta; esto solo puede ser demostrado de forma experimental y verificado de modo analítico, las características de un fluido que pasa a través de una tubería depende de la densidad, viscosidad, diámetro de la tubería y la velocidad promedio del flujo.

$$N_R = \frac{v_s * D}{\nu} = \frac{\rho * v_s * D}{\mu} \quad (7)$$

Donde:

N_R : Número de Reynolds (Adimensional).

v_s : Velocidad del fluido

D : Diámetro de tubería

ν : Viscosidad Cinemática (m²/s).

μ : Viscosidad Dinámica (N*m/s²).

Flujos a altas velocidades o baja viscosidad, o ambas tienden a ser turbulentos y aquellos que son de alta viscosidad y se mueven a bajas velocidades tienden a ser laminares, si el número de Reynolds es menor a 2000 será laminar y si el número de Reynolds es mayor a 4000 será turbulento.

- Flujo laminar y turbulento:** El estudio experimental de la corriente microscópica en determinados fluidos fue realizado por el señor Osborne Reynolds (1842-1912), así podemos definir como flujo laminar el movimiento de un fluido de manera uniforme y regular a poca velocidad, en esta fase parece moverse como si fueran varias capas, una sobre la otra, por lo general se produce en fluidos que son muy viscosos como lo es el aceite, creando así un esfuerzo cortante entre sus capas; El flujo turbulento es ocasionado cuando un fluido como el agua va a gran velocidad y por tal motivo sus partículas se mueven desordenadamente y se entrecruzan formando así pequeños remolinos, como este flujo es caótico y varía de forma constante al momento de realizar cálculos debemos tener presente el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería, tema que será visto más adelante, en la Figura 94 podemos observar ejemplos de flujo laminar y turbulento.

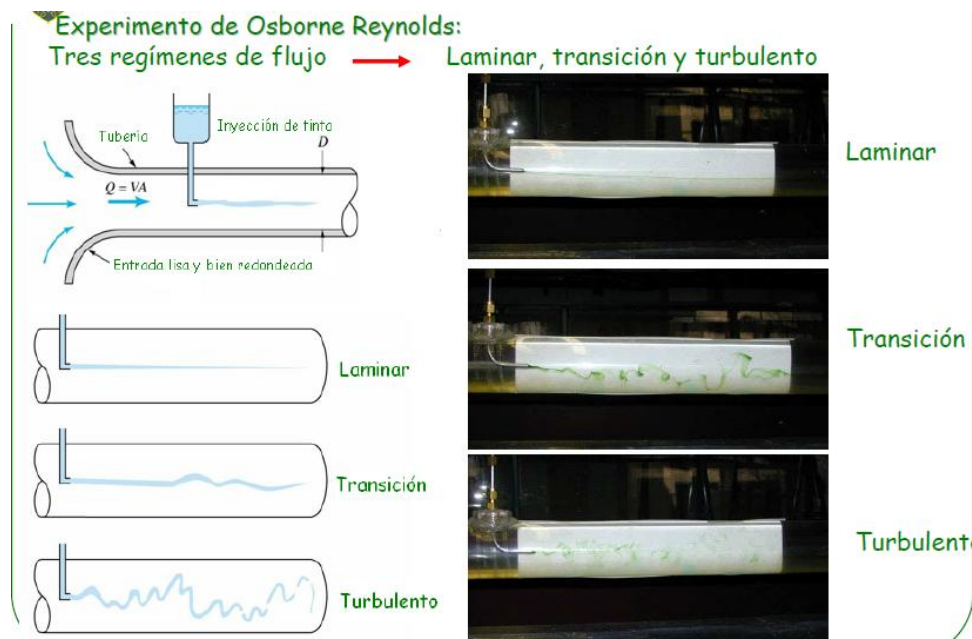



Figura 94. Flujos laminar, de transición y turbulento.

Fuente: González, J. Mecánica de fluidos I. Recuperado de

<http://www.metalurgia.uda.cl/apuntes/Jchamorro/Mecanica-fluidos%20I/EcuacionGeneraldeEnergiaA.pdf>

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

2.11.2 Pérdidas de energía (HL).

En cada uno de los sistemas que analizamos siempre se generan pérdidas de energía debido a la fricción que se crea con los elementos por donde es transportado determinado fluido en movimiento, estas pérdidas se dividen en pérdidas por fricción y pérdidas menores.

- **Pérdidas de energía por fricción:** Un componente que genera pérdidas de energía es la fricción, esta se presenta cuando el fluido circula por una tuberías o tubos y es expresada a través de la ecuación de Darcy que presentamos a continuación:

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Donde:

h_L : Pérdidas de energía por fricción (N*m/N, m, lb-pie/lb o pies).

L : Longitud de tubería o tubo (m o pies).


D : Diámetro de la tubería (m o pies).

v : Velocidad del fluido (m/s o pies/s).

f : Factor de fricción (Adimensional).

g : Gravedad (m/s²).

Esta ecuación siempre es utilizada para calcular las pérdidas de energía en secciones rectas y largas de tubería o tubos redondos, dos coeficientes discriminantes para este cálculo son el tipo de flujo, bien sea laminar o turbulento tema que se va tratar más adelante y que la tubería sea lisa o rugosa.

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

Para hallar el factor de fricción se debe tener en cuenta con qué tipo de flujo (laminar o turbulento) vamos a trabajar y el tipo de tubería para conseguir los resultados de las pérdidas adecuadamente, para esto presentamos dos fórmulas.

Si vamos a trabajar con un flujo de tipo laminar y tuberías de superficie lisas o rugosas se debe calcular el factor de fricción con la ecuación de poiseulle:

$$f = \frac{64}{N_R} \quad (9)$$

Donde:

f : Factor de fricción (Adimensional).


N_R : Número de Reynolds (Adimensional).

Para cálculos donde se tenga un flujo turbulento, tuberías lisas y números de Reynolds < 100.000 para el cálculo de las pérdidas de energía por fricción se debe trabajar con la siguiente fórmula:

$$f = \frac{0.316}{N_R^{1/4}} \quad (10)$$

Si se desea trabajar un flujo turbulento, con Reynolds > 100.000 y tuberías lisas se trabaja con la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10}(N_R \sqrt{\lambda}) - 0.8 \quad (11)$$

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

Por último si se va trabajar con una tubería rugosa y flujo turbulento la siguiente fórmula debe ser usada sólo para este caso ya que allí se incluye la rugosidad relativa de la tubería a utilizar y así hallar el factor de fricción:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log_{10}\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{D}{\varepsilon}\right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}}\right)\right)^2} \quad (12)$$

Uno de los métodos más utilizados para calcular el factor de fricción es el utilizar el diagrama de Moody que se observa en la Figura 95, en esta observamos el factor de fricción versus el número de Reynolds con una serie de curvas paramétricas que están relacionadas con la rugosidad relativa D/ε .

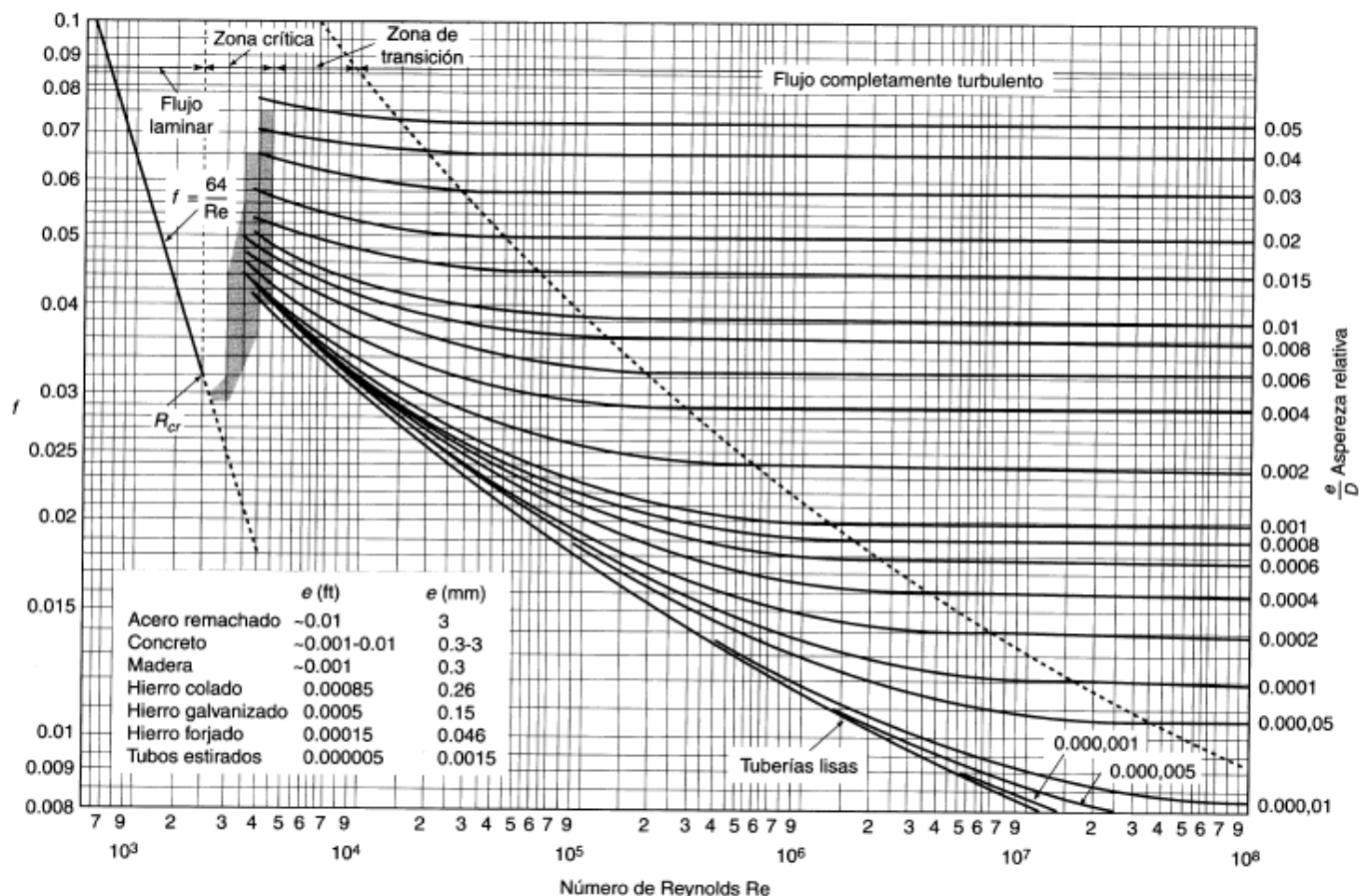



Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, *Trans. ASME*, vol. 66, 1944.)

Figura 95. Diagrama de Moody.

Fuente: Diagrama de Moody recuperado de

<http://www.uclm.es/area/amf/gonzalo/IngFluidosFiles/Multimedia/Graphs/MoodyPeg.pdf>

- Pérdidas menores por fricción:** Este tipo de pérdidas que se presentan en determinado fluido son debido a cambio de dirección, contracciones, ensanchamientos, codos, diafragmas, válvulas, conexiones en T y demás accesorios que puedan ir instalados en una tubería, así podríamos pensar en el trabajo de una válvula, para determinado sistema si esta válvula está completamente abierta las pérdidas pueden ser despreciables pero si está total o parcialmente cerrada puede ser la pérdida más importante del sistema, estas pérdidas son determinadas con la siguiente ecuación:

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

$$h_L = K_L \times \frac{v^2}{2g} \quad (13)$$

Donde:

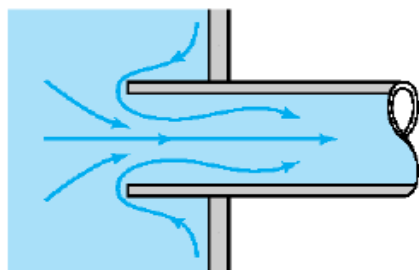
h_L : Pérdidas menores (N*m/N, m, lb-pie/lb o pies).

K_L : Coeficiente de resistencia (Adimensional).

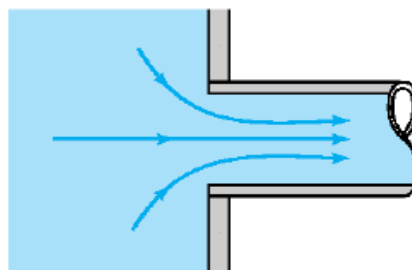
v : Velocidad del fluido (m/s o pies/s).

g : Gravedad (m/s²).

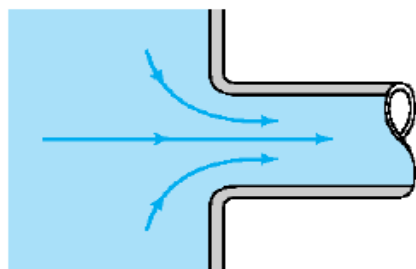
El coeficiente de resistencia varía dependiendo del elemento que se esté analizando, para el caso de la entrada de determinado fluido desde un tanque de almacenamiento o depósito hacia una tubería este coeficiente se observa en la Figura 96, de igual forma si el fluido pasa de una tubería hacia un tanque de almacenamiento o depósito se generan unas pérdidas en el sistema que se observan en la Figura 97, así con esta información determinamos el tipo de pérdida que se va generar en nuestro sistema para estos dos casos; En ambas figuras mencionadas podemos observar las líneas del fluido que nos muestran la dirección teniendo en cuenta que entre más turbulento se muestre el fluido más pérdidas se van a generar en el sistema.



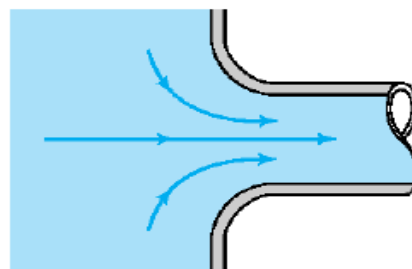
(a) Reentrante, $K_L = 0,8$



(b) de borde ahusado, $K_L = 0,5$



(c) ligeramente redondeado, $K_L = 0,2$



(d) bien redondeado, $K_L = 0,04$

Figura 96. Coeficiente de resistencia para salida de fluidos de un tanque.

Fuente: González, J. Mecánica de fluidos I. Recuperado de

<http://www.metalurgia.uda.cl/apuntes/Jchamorro/Mecanica-fluidos%20I/EcuacionGeneraldeEnergiaA.pdf>

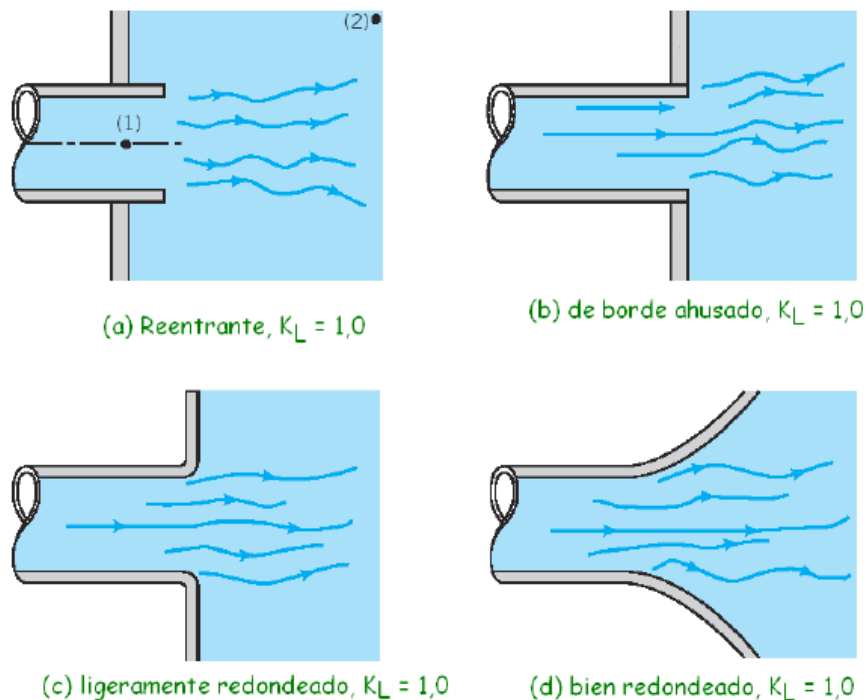



Figura 97. Coeficiente de resistencia para la entrada de un fluido hacia un tanque.

Fuente: González, J. Mecánica de fluidos I. Recuperado de

<http://www.metalurgia.uda.cl/apuntes/Jchamorro/Mecanica-fluidos%20I/EcuacionGeneraldeEnergiaA.pdf>

Las válvulas, conexiones en T y demás elementos de un sistema que se encargan de direccionar, retener o dar paso al fluido también presentan un valor para dicho coeficiente de resistencia el cual se puede observar en la Figura 98,

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

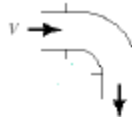

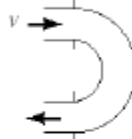


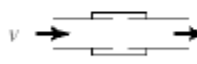

Component	K_L	
a. TUBOS ACODADOS		
Regular de 90°, embridado	0.3	
Regular de 90°, roscado	1.5	
De 90° con gran radio, embridado	0.2	
De 90° con gran radio, roscado	0.7	
De 45° con gran radio, embridado	0.2	
Regular de 45°, roscado	0.4	
b. CODOS DE 180°		
Codo de 180°, embridado	0.2	
Codo de 180°, roscado	1.5	
c. CONEXIONES EN T		
Flujo de línea, embridado	0.2	
Flujo de línea, roscado	0.9	
Flujo derivado, embridado	1.0	
Flujo derivado, roscado	2.0	
d. UNION ROSCADA		
	0.08	
e. VALVULAS		
De globo, completamente abierta	18	
De ángulo, completamente abierta	2	
De compuerta, completamente abierta	0,15	
De compuerta, 1/4 cerrada	0,26	
De compuerta, 1/2 cerrada	2,1	
De compuerta, 3/4 cerrada	17	
De retención a bisagra, flujo hacia adelante	2	
De retención a bisagra, flujo hacia atrás	infinito	
De bola, completamene abierta	0,05	
De bola, 1/3 cerrada	5,5	
De bola, 2/3 cerrada	2,15	

Figura 98. Coeficiente de resistencia para componentes de tubería.

Fuente: González, J. Mecánica de fluidos I. Recuperado de

<http://www.metalurgia.uda.cl/apuntes/Jchamorro/Mecanica-fluidos%20I/EcuacionGeneraldeEnergiaA.pdf>

Al momento de realizar los cálculos para el análisis de pérdidas de energía en determinado sistema se debe tener presente la selección adecuada de cada uno de los coeficientes de los elementos que componen el sistema y al finalizar realizar una sumatoria total de pérdidas para ser agregadas a la ecuación general de la energía.

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

2.11.3 Potencia agregada y eficiencia mecánica de las bombas.

- **Potencia agregada:** Para determinado fluido corresponde a la rapidez con que la energía está siendo transferida, sus unidades son en Joules/segundo o watts (vatios) y se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$P_A = h_A * W \quad (14)$$

Como la rapidez de flujo de peso ($W = \gamma * Q$), en el sistema internacional corresponde a cada newton del fluido que están pasando por la bomba en un intervalo de tiempo, reemplazando en la ecuación obtenemos lo siguiente:

$$P_A = h_A * \gamma * Q \quad (15)$$

Donde:


P_A : Potencia agregada al fluido (vatios).

γ : Peso específico del fluido (N/m^3).

Q : Caudal del fluido (m^3/s).

Por medio de esta ecuación podemos establecer la potencia que necesitamos para nuestro sistema y realizar una debida selección de la bomba.

- **Eficiencia mecánica de las bombas:** Cuando hablamos de la eficiencia de una bomba nos referimos a la relación que hay entre la potencia transmitida al fluido por la bomba y la potencia que es suministrada a la bomba, debemos tener presente que no toda la potencia que es entregada a la bomba la recibe el fluido y esto se debe a las pérdidas que se

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

generan por la fricción mecánica en los componentes de la bomba, fricciones del mismo fluido y las turbulencias. Para el cálculo de esta eficiencia tenemos:

$$e_M = \frac{P_A}{P_I} \quad (16)$$


Donde:

e_M : Eficiencia mecánica de la bomba.

P_A : Potencia agregada al fluido.

P_I : Potencia de entrada a la bomba.

La eficiencia mecánica de una bomba no solo depende de su diseño, también depende de las condiciones en que trabaja, de la cabeza total y la rapidez del fluido.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Este trabajo se desarrolló con base en el método de vulcanizado utilizado en la empresa Reimpex S.A, observando como un punto clave a intervenir la reutilización del agua que se utiliza para la refrigeración de este proceso, actualmente ésta agua no tiene su debido manejo, por lo cual es desechada en su totalidad, influyendo en el medio ambiente por desperdiciar altas cantidades de agua y viéndose reflejado igualmente en un incremento en el costo del servicio, estos dos puntos mencionados nos llevaron a querer intervenir este proceso desde la automatización buscando reutilizar el agua y optimizar en general el proceso de vulcanizado.

3.1 Diseño actual del proceso de vulcanizado.

Hoy en día cada vulcanizadora trabaja con unas cajas de control diseñadas en la empresa Reimpex S.A, las cuales se encargan de controlar la temperatura de cada plancha de la máquina como se observa en la Figura 99, cada vulcanizadora tiene una de estas cajas de control y el operario se encarga de ingresar el set-point deseado en cada control para realizar el proceso de vulcanizado, los controles de temperatura utilizados son de marca Maxthermo y su modelo 5438.


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



Figura 99. Caja de control para vulcanizadoras.

Luego de definir la temperatura a la cual se desea vulcanizar la banda ingresada en la máquina vulcanizadora se activan los suiches que se encuentran en la parte inferior de cada control Maxthermo y así comienzan a calentar las planchas, cuando la temperatura llega a su set-point configurado por medio de unos contactos normalmente abiertos (N.O) se activa una alarma solo cuando los dos controles llegan a la temperatura programada y esto indica al operario que debe dirigirse a la máquina, desactivar los suiches y abrir la válvula como se observa en la Figura 100 que permite el paso del agua que ingresa a la vulcanizadora para realizar el proceso de la refrigeración.



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



Figura 100. Válvula para el paso del agua en el proceso de vulcanizado

La manguera que sale de esta válvula se conecta a una unión en T como se observa en la Figura 101 y así el agua es dirigida a cada plancha de la máquina hasta bajar a una temperatura próxima de 27° Celsius, en esta parte del proceso se encuentra uno de los puntos a mejorar ya que en ocasiones el operario mientras baja la temperatura desempeña otras actividades y se pasa por alto el ir a cerrar la válvula por lo cual se desperdicia mucha agua.

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



ENTRADA DE AGUA FRÍA

Figura 101. Sistema de distribución del agua hacia las planchas de la vulcanizadora.

Los primeros minutos en la salida del agua de las planchas solo sale vapor hasta que se baje la temperatura un poco menos de 100° Celsius, toda esta agua que sale de la vulcanizadora realizando el proceso de la refrigeración es dirigida hacia un tanque pero no recibe ningún tratamiento, se almacena allí y cuando alcanza un nivel es desechada hacia el acueducto como se observa en la Figura 102, esta situación fue la causa principal para la realización del diseño de este proyecto.


	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 102. Tanque de almacenamiento del agua.

La máquina vulcanizadora tiene una vejiga neumática en su plancha superior para generar una presión uniforme a la banda en el proceso de vulcanizado y así generar un vulcanizado óptimo, cada banda debe llevar cierta presión a lo largo del proceso, cuando se instala la banda en la máquina el operario procede a generar la presión necesaria por medio de una unidad de mantenimiento neumática como se observa en la Figura 103, la cual contiene el manómetro regulado y la unidad de filtrado, este sistema es importante ya que debemos garantizar que a la vejiga no le entren ningún tipo de impurezas que puedan causar daños internos.


	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 103. Instalación neumática para generar presión al proceso de vulcanizado.

En el sistema que va acoplado la unidad de mantenimiento neumática se encuentra una válvula nombrada como V2, la cual permite el paso del aire hacia las planchas como se observa en la Figura 104, haciendo el mismo recorrido del agua para el proceso de la refrigeración, esto con el fin de retirar de las planchas de la vulcanizadora el agua que quedo dentro de estas, debido a esto, este paso debe ser el último realizado por el operario para garantizar que en el próximo proceso no se vayan a ver afectados los parámetros de la temperatura y se garantice un vulcanizado óptimo.

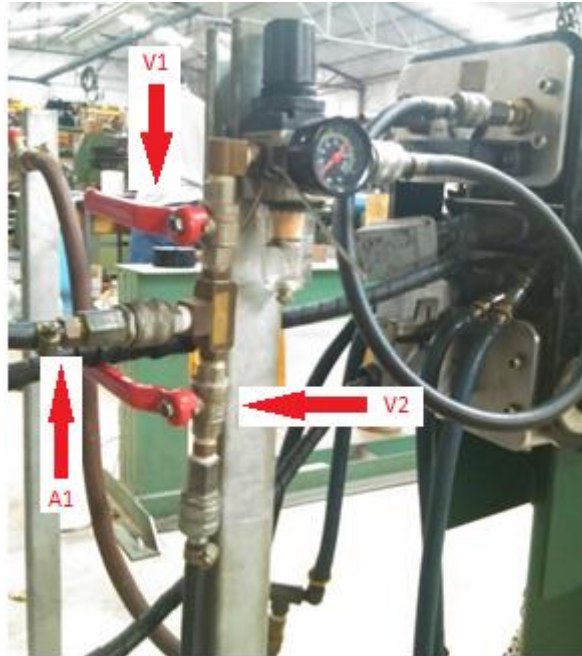


Figura 104. Sistema de válvulas que permiten el paso de aire hacia la vejiga y planchas.

En esta figura también observamos la válvula V1 que es la encargada de permitir el paso del aire hacia la unidad de mantenimiento neumática y la conexión A1 nos muestra el acople principal de donde obtenemos el aire comprimido. En la Figura 105 se observa como están distribuidas actualmente las vulcanizadoras en la empresa Reimpex S.A y para el diseño que se va proponer se piensa respetar este mismo orden ya que no se ve la necesidad de hacer un cambio en la ubicación de las vulcanizadoras.


	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22




Figura 105. Distribución actual en planta vulcanizadoras.

3.2 Desarrollo de cálculos para nuevo diseño del proceso de vulcanizado

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos y desarrollar el nuevo diseño para el proceso de vulcanizado se requiere realizar una serie de cálculos, así con el desarrollo de este punto se puede realizar la selección de los elementos principales del diseño como son electroválvulas, tubería, bombas de agua, entre otros, además se realizara un cálculo del consumo actual de agua en el proceso de vulcanizado.

3.2.1 Cálculos del consumo de agua en vulcanizadoras.

Para la selección de elementos como bombas, válvulas, tanque de almacenamiento y tubería primero debemos saber que volumen de agua vamos a hacer recircular en el sistema de vulcanizado, para esto se realizaron mediciones de caudal en las tres máquinas, para cada una de

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

estas a la salida del agua se instaló un balde de 10 litros y se midió cuanto tiempo se tardaba en llegar a este tope y de esta manera al realizar el aforo volumétrico se tendrá la información de cuantos litros por minuto puede llegar a consumir cada máquina.

A continuación se expondrán las mediciones tomadas y sus respectivos cálculos para determinar el caudal de cada vulcanizadora.

Para calcular el caudal de cada máquina se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (17)$$

Dónde:


Q: Caudal (L/min)

V: Volumen (L)

T: tiempo (min)

- **Vulcanizadora Almex 2200**

En la Tabla 5 se puede observar las mediciones que se ejecutaron para la vulcanizadora, se realizan cinco mediciones de tiempo para llenar un balde de 10 litros, luego de obtener estos tiempos se obtiene un total y se saca un promedio de tiempo, este valor nos va servir para calcular los litros/minuto que expulsa la máquina a la salida del agua.

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

VULCANIZADORA ALMEX 2200		
Tiempo 1	0:00:50	
Tiempo 2	0:00:51	
Tiempo 3	0:00:51	
Tiempo 4	0:00:51	
Tiempo 5	0:00:51	
Ttotal=	0:04:14	11,7647059 L/MIN
Prom.Tiem=	0:00:51	0,19607843 L/SEG

Tabla 5. Medición volumétrica en vulcanizadora Almex 2200.

Para este cálculo se tienen los siguientes datos:

- T: 51 segundos.
- V: 10 litros.

Así: $Q = \frac{10}{51} = 0,1961 \text{ L/seg}$


Al pasar este valor a litros/min se obtiene:

$$Q = 0,1961 \frac{\text{L}}{\text{seg}} \times \frac{60\text{seg}}{1\text{min}} = 11,76 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Luego de este cálculo sabemos que esta máquina vulcanizadora consume 11.76 L/Min.

• **Vulcanizadora Almex 1300**

En la Tabla 6 se puede observar las mediciones que se ejecutaron para la vulcanizadora, se realizan cinco mediciones de tiempo para llenar un balde de 10 litros, luego de obtener estos tiempos se obtiene un total y se saca un promedio de tiempo.

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

VULCANIZADORA ALMEX 1300		
Tiempo 1	0:00:40	
Tiempo 2	0:00:40	
Tiempo 3	0:00:43	
Tiempo 4	0:00:42	
Tiempo 5	0:00:42	
Ttotal=	0:03:27	0,24154589 L/SEG
Prom.Tiem=	0:00:41	14,4927536 L/MIN

Tabla 6. Medición volumétrica Almex 1300.

Para este cálculo se tienen los siguientes datos:

- V: 10 litros.
- T: 41 segundos.


Así: $Q = \frac{10}{41} = 0,2415 \text{ L/seg}$

Al pasar este valor a litros/min se obtiene:

$$Q = 0,2415 \frac{\text{L}}{\text{seg}} \times \frac{60\text{seg}}{1\text{min}} = 14,49 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

• **Vulcanizadora Almex 1600**

En la Tabla 7 se puede observar las mediciones que se ejecutaron para la vulcanizadora, se realizan cinco mediciones de tiempo para llenar un balde de 10 litros, luego de obtener estos tiempos se obtiene un total y se saca un promedio de tiempo.

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

VULCANIZADORA ALMEX 1600		
Tiempo 1	0:00:45	
Tiempo 2	0:00:45	
Tiempo 3	0:00:45	
Tiempo 4	0:00:44	
Tiempo 5	0:00:44	
Ttotal=	0:03:43	13,3333333 L/MIN
Prom.Tiem=	0:00:45	0,2222222 L/SEG

Tabla 7. Medición volumétrica Almex 1600.

Para este cálculo se tienen los siguientes datos:

- V: 10 litros.
- T: 45 segundos.


Así: $Q = \frac{10}{45} = 0,2222 \text{ L/seg}$

Al pasar este valor a litros/min se obtiene:

$$Q = 0,222 \frac{\text{L}}{\text{seg}} \times \frac{60\text{seg}}{1\text{min}} = 13,33 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

De esta manera y sumando los resultados obtenidos se tiene un dato muy importante y son los litros/minuto de agua totales en recirculación para el nuevo sistema de vulcanizado en caso tal que las tres máquinas trabajen al tiempo.

$$Q_{total} = 11,76 + 14,49 + 13,33 = 39,58 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

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

3.2.2 Cálculos para selección de tubería, bomba y válvulas para cada vulcanizadora.

Para esta sección del trabajo se realizarán los cálculos para una debida selección de estos elementos y se trabajará con la ecuación general de la energía, con este tema podremos determinar las pérdidas que se generan en el sistema para hacer un cálculo de la potencia de la bomba, el diámetro de la tubería y así seleccionar los demás elementos con los cuales se va a realizar el diseño.


- Cálculos para selección del diámetro de la tubería Almex 2200:** Hasta el momento solo se conoce un dato de la vulcanizadora y es el consumo de L/min que presenta, a partir de este dato vamos a comenzar a determinar las demás variables que necesitamos para realizar nuestro diseño, inicialmente se pasarán los L/min a m³/seg debido a que algunos cálculos que vamos a realizar necesitaremos nuestro caudal en esta medida:

$$Q = 12 \frac{L}{min} \times \frac{1m^3}{10^3L} \times \frac{1min}{60seg} = 2 \times 10^{-4} \frac{m^3}{seg}$$

Luego de obtener este resultado vamos a calcular el diámetro de la tubería despejando de la ecuación 7 el diámetro de la siguiente manera:

$$D = \frac{4 \times Q}{\pi \times N_R \times v}$$

Para esta ecuación vamos a trabajar con un valor para número de Reynolds de 22300, este valor tan alto se debe a que nuestro flujo debe ser turbulento ya que necesitamos refrigerar y se trabaja con una viscosidad cinemática del fluido teniendo en cuenta que es para agua a 25°C de

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

$8,94 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{seg}$, de esta manera reemplazando obtenemos el siguiente valor para nuestra tubería:

$$D_{\text{Tubería}} = \frac{4 \times 2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}}{\pi \times 11200 \times 8,94 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{seg}} = 0.025 \text{ metros} = 1 \text{ pulg.}$$

Cabe aclarar que respecto al número de Reynolds se realizó una selección final de este valor debido a que por medio de este necesitábamos ajustar la elección del diámetro de la tubería hasta llevarla a 1 pulgada, para respetar la rosca en la succión y descarga de la bomba, esto se debe a que observando los caudales que se manejan se ha seleccionado un tipo de bomba, tema que será visto a continuación.

Como en la salida de agua de la vulcanizadora los primeros minutos se tiene vapor y agua caliente debido a la refrigeración de las máquinas, se realizó una medición de temperatura como se observa en la Figura 106 por medio de un termómetro digital, para saber los valores máximos y realizar una selección adecuada de la tubería, registrando una temperatura máxima en su fase de vapor de 64°C y al salir agua caliente 74°C , aclarando que es difícil obtener una buena medición del vapor ya que se debe encerrar para obtener una medida más cercana de la temperatura.


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




Figura 106. Medición de Temperatura salida agua vulcanizadora.

- Cálculos para selección de bomba y válvula para Almex 2200:** Para determinar la bomba que vamos a seleccionar debemos tener muy presente en primer lugar las pérdidas que puede tener nuestro sistema, de esta manera comenzaremos calculando las pérdidas de energía por fricción y pérdidas menores; calculamos dos variables importantes para esta parte del trabajo que son la velocidad del fluido donde se debe tener presente el caudal de consumo de la vulcanizadora y el diámetro de la tubería, además debemos calcular el factor de fricción.

$$Vel_{Fluido} = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 2 \times 10^{-4} m^3 / seg}{\pi \times (0.025)^2 m} = 0.39 \frac{m}{s}$$

Como estamos trabajando con un número de Reynolds menor a 100.000, tubería lisa y un flujo turbulento hallamos nuestro factor de fricción con la ecuación 10, donde:

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

$$f = \frac{0.316}{11200^{1/4}} = 0.03071$$

Teniendo estos valores podemos hallar las pérdidas de energía por fricción con la ecuación 8, además se realiza una sumatoria total de la tubería que vamos a utilizar según diseño y agregamos este valor a la ecuación:


$$h_{L_{Fric}} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} = 0.030 \times \frac{10.8m}{0.025m} \times \frac{0.39^2 m/s}{2 \times 9.77 m/s^2} = 0.103 m$$

Ahora debemos calcular las pérdidas menores en el sistema por medio de la ecuación 13 que se refiere a válvulas, codos, conexiones en “T” y demás componentes que van con la tubería, para esto se debe tener presente que cada elemento tiene un coeficiente de fricción K_L y se harán los cálculos para cada uno de estos, comenzamos con las pérdidas que se generan cuando el agua pasa del tanque de almacenamiento hacia la tubería, si observamos la figura 96 nuestro coeficiente es para una salida reentrante:

$$h_{L_{Tan-tub}} = K_L \times \frac{v^2}{2 \times g} = 0.8 \times \frac{0.39^2 m/s}{2 \times 9.77 m/s^2} = 0.00634 m$$

De igual forma se calculan las pérdidas cuando el agua pasa de la tubería al tanque de almacenamiento, observando la figura 97 se trabaja de igual manera con un coeficiente reentrante:

$$h_{L_{Tub-Tan}} = K_L \times \frac{v^2}{2 \times g} = 1 \times \frac{0.39^2 m/s}{2 \times 9.77 m/s^2} = 0.00793 m$$

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

Ahora se van a calcular las pérdidas para cada uno de los elementos que vamos a utilizar en el diseño para acompañar la tubería como son válvulas, codos, uniones, conexiones en “T” y poder realizar el transporte del agua hacia las vulcanizadoras y tanques de almacenamiento, en la Figura 98 se puede observar el coeficiente de pérdida para cada componente y así poderlo agregar a las ecuaciones.

Para el diseño de este tramo necesitamos 10 codos entre PVC y CPVC, tener presente al coeficiente de fricción multiplicarlo por la cantidad de codos que se vayan a utilizar y así obtener las pérdidas que generen:

$$h_{L_{Codos}} = (Cant\ elem \times K_L) \times \frac{v^2}{2 \times g} = (8 \times 1.5) \times \frac{\frac{0.39^2 m}{s}}{2 \times 9.77 \frac{m}{s^2}} = 0.09\ m$$


Calculamos pérdidas para uniones roscadas que se instalaran en la parte de succión y descarga de la bomba y la válvula:

$$h_{L_{Union}} = (Cantelem \times K_L) \times \frac{v^2}{2 \times g} = (11 \times 0.08) \times \frac{\frac{0.39^2 m}{s}}{2 \times 9.77 \frac{m}{s^2}} = 0.006\ m$$

Para la conexión en “T”:

$$h_{L_T} = (Cantelem \times K_L) \times \frac{v^2}{2 \times g} = (3 \times 2) \times \frac{\frac{0.39^2 m}{s}}{2 \times 9.77 \frac{m}{s^2}} = 0.047\ m$$

Por último se calcula las pérdidas que nos genera la válvula al sistema, para este diseño se selecciona una válvula de bola de 1” con un actuador eléctrico a 110VAC:

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

$$h_{L_{Val}} = (Cant\ elem \times K_L) \times \frac{v^2}{2 \times g} = (2 \times 0.05) \times \frac{\frac{0.39^2 m}{s}}{2 \times 9.77 \frac{m}{s^2}} = 0.00079 m$$

Terminando el cálculo de las pérdidas menores para cada elemento realizamos una sumatoria de estos para hallar la totalidad de las pérdidas menores:

$$h_{L_{Menores}} = 0.00634m + 0.0079m + 0.09m + 0.006m + 0.0047m + 0.0079m = 0.164m$$

De igual forma debemos hacer una sumatoria total de las pérdidas para este tramo del diseño de la siguiente manera:

$$h_{L_{TOTAL}} = h_{L_{Fric}} + h_{L_{Menores}} = 0.103m + 0.164m = 0.267m$$

La vulcanizadora para los cálculos de este diseño actúa como un elemento que retira energía del sistema y por tal motivo debemos hallar la caída de presión hidrostática de la siguiente manera y así poder despejar y calcular la energía retirada del sistema (H_r):

$$\Delta p = \gamma \times H_r$$

El Δp se refiere a la diferencia de presión que tenemos entre el punto de entrada y salida del agua en las vulcanizadoras, estas mediciones se realizaron con un manómetro como se observa en la Figura 107, presentando un valor de 45 psi a la entrada y de 5.63 psi a la salida.


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



Figura 107. Medición de presiones del agua a la entrada y salida de la vulcanizadora.


Para el peso específico γ del agua utilizamos el valor de $9.777 \text{KN}/\text{m}^3$ para una temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, pero estas unidades deben ser pasadas a lb/in^3 así:

$$9.777 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times \frac{224.808 \text{ lb}}{1 \text{KN}} \times \frac{1 \text{m}^3}{61023.74 \text{in}^3} = 0.0360 \text{ lb}/\text{in}^3$$

De esta manera despejamos y reemplazamos los valores y calculamos la energía que es retirada del sistema por medio de la vulcanizadora:

$$H_r = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{(45 - 5.63) \text{ lb}/\text{in}^2}{0.0360 \text{ lb}/\text{in}^3} = 1093.61 \text{ in} = 27.78 \text{ m}$$

Ahora utilizamos la ecuación 6 para hallar la energía que debe ser entregada al sistema y así poder garantizar que el agua va ser transportada a través de la tubería, pasando por la

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

vulcanizadora, hasta llegar al tanque de almacenamiento, despejamos de la ecuación ya mencionada H_A :

$$H_A = \frac{P_2}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{v_2^2}{2g} + H_L + H_r$$

Por facilidad de cancelación pasamos nuestra presión 2 que es la que entra a la vulcanizadora a KN/m^2 :

$$45 \frac{lb}{in^2} \times \frac{1KN/m^2}{0.1450lb/in^2} = 310.26KN/m^2$$

La presión y velocidad 1 equivalen a cero debido a que la velocidad inicial es cero y la presión que se va tener en el tanque al nivel del agua es de 0psi; los valores de Z_1 (altura del agua en tanque de almacenamiento) y Z_2 (altura hasta donde llega el agua que llega de las vulcanizadoras) equivalen a las alturas del sistema; ingresando los valores hallaremos el valor de la energía entregada al sistema:


$$H_A = \frac{310.26KN/m^2}{9.777 KN/m^3} + (1.4m - 0.7m) + \frac{0.39^2}{2 \times 9.77m/s^2} + 0.26m + 27.78m$$

$$H_A = 60.40m$$

Teniendo este dato tan importante podemos hallar la potencia que debe ser agregada al sistema con la ecuación 15 de la siguiente forma:

$$P_A = H_A \times \gamma \times Q = 60.40m \times 9777 \frac{N}{m^3} \times 0.0002 \frac{m^3}{s}$$

$$P_A = 118.27 \frac{N * m}{s} = 118.27W$$


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

Para pasar este valor a HP y así saber que potencia necesitaría la bomba que vamos a seleccionar para poder circular el agua por el sistema de refrigeración y recirculación que se está diseñando, realizamos la conversión de esta manera:

$$HP_{bomba} = 118.27w \times \frac{1HP}{745.7w} = 0.16 HP$$

Así con este valor sabemos que para la selección de una bomba debe tener como mínimo una potencia de 0.16HP para que nuestro sistema sea eficaz y trabaje correctamente, de esta manera no presentaran posibles inconvenientes en la refrigeración de la vulcanizadora, como puede ser que el agua por algún motivo no llegue hasta el tanque de almacenamiento luego de salir de cada vulcanizadora.

- Cálculos para vulcanizadoras Almex 1300 y 1600:** Los pasos para realizar el cálculo del diámetro de tubería, pérdidas menores y por fricción, además de la energía que se debe entregar al sistema para el cálculo de la bomba son similares a los mostrados anteriormente, teniendo en cuenta que cada vulcanizadora presenta un caudal, velocidad de fluido, número de Reynolds y longitud de tubería diferentes, en la tabla 5 observamos el cálculo de cada una de las variables que se deben hallar.

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

CÁLCULO DE VARIABLES PARA VULCANIZADORAS ALMEX			
VARIABLE	ALMEX 2200	ALMEX 1600	ALMEX 1300
Caudal (Q=L/min)	12	13	15
Número de Reynolds	11200	12100	14000
Diámetro de Tubería (D=pulg)	1	1	1
Velocidad del fluido (v=m/s)	0,39	0,42	0,49
Longitud de tubería (L=mt)	10,8	8,23	5,52
Pérdidas por fricción (HLF=mt)	0,103	0,089	0,078
Pérdidas menores total (HLM=mt)	0,16	0,22	0,27
Pérdida Total sistema (HLT=mt)	0,26	0,31	0,35
Energía Retirada del sistema (HR=mt)	27,78	27,78	27,78
Energía Entregada al sistema (HA=mt)	60,49	60,53	60,58
Potencia agregada (PA=vatios)	118,29	128,22	148,07
Potencia mínima para bomba (HP)	0,16	0,17	0,2


Tabla 5. Cálculos de variables.

Con la información obtenida hasta el momento se tiene para cada vulcanizadora con su respectivo caudal, el tipo diámetro de la tubería, pérdidas que se generan y lo más importante saber que cabeza de poder H_A debemos tener presente al momento de elegir la bomba, acompañando este dato del caudal que se debe entregar.

3.2.4 Valor actual consumo de agua.

Uno de los objetivos de este diseño es lograr un ahorro en el consumo del agua para Reimpex S.A. que sea significativo, así no solo se contribuye con el medio ambiente al dar un proceso de almacenamiento y recirculación del agua sino que también se verá reflejado económicamente en la factura de servicios públicos.

Sabemos que la vulcanizadora Almex 2200 presenta un consumo de agua de 11.76 L/min, en promedio esta vulcanizadora si sube a una temperatura de 195°C, tarde en bajar a los 30°C 7 minutos y en este tiempo se gastaría un consumo de agua aproximado de:

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

$$11.76 \frac{L}{min} \times 7min = 82.32 \text{ litros} = 0.082m^3$$

Esta vulcanizadora se utiliza en promedio unas 5 veces al día lo cual daría un consumo diario total de 411.6 litros que equivalen a $0.411m^3$.

EPM para el municipio de Itagüí donde está ubicada la empresa, para el mes de noviembre del año 2015 presenta un valor del m^3 de 1642.28 pesos/ m^3 para el sector industrial; La información sobre el costo/ m^3 se puede observar en su página principal para cada mes del año.

Analizando el consumo de agua de la vulcanizadora Almex 2200 que opera al día un promedio máximo de 5 veces, su consumo tendría un valor aproximado de:

$$0.411m^3 \times \frac{1642.28 \$}{1m^3} = 674.97\$/día$$

Al realizar una comparación sobre el consumo actual, el proceso de refrigeración no presenta una supervisión por parte del operario y la válvula en ocasiones puede llegar a quedar abierta hasta 15 minutos o más, por lo cual se puede llegar al siguiente consumo:


$$11.76 \frac{L}{min} \times 15min = 176.4 L = 0.176m^3$$

Si de las 5 veces que se utiliza en promedio en el día, 2 de ellas se deja la válvula abierta hasta 15 minutos, se tendría un consumo de:

$$176.4 L * 2 = 352.8 L = 0.353 m^3$$

Económicamente tendría un valor de:

$$0.353m^3 \times \frac{1642.28\$}{1m^3} = 579.72\$/día$$

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

Si a este valor le sumamos las otras tres veces en promedio que puede ser utilizada la vulcanizadora diariamente se estaría consumiendo un valor de:

$$C_{diario} = 579.72\$ + 404 \$ = 983.72\$/día$$


$$C_{mensual} = \frac{983.72\$}{día} \times 30 = \frac{29511.6\$}{mes}$$

$$C_{anual} = \frac{29511.6\$}{mes} \times 12 = 354139\$/año$$

En la tabla 6 podemos observar para cada vulcanizadora el valor en el consumo del agua según su caudal y medida de uso, así se puede estimar en promedio un valor de consumo mensual y anual.

CONSUMO DE AGUA ACTUAL PARA VULCANIZADORAS			
VULCANIZADORA	ALMEX 2200	ALMEX 1600	ALMEX 1300
CAUDAL (m ³)	0,08232	0,091	0,105
PROMEDIO CAUDAL SIN CONTROL (m ³)	0,1764	0,195	0,225
VALOR AGUA (\$/m ³)	1642,28	1642,28	1642,28
PROMEDIO USO AL DÍA	5	5	3
PROMEDIO USO DESCONTROLADO DÍA	2	2	1
VALOR CONSUMO DE AGUA DIARIO (PESOS)	984,97	1.088,83	714,39
VALOR CONSUMO DE AGUA MENSUAL (PESOS)	29.549,22	32.664,95	21.431,75
VALOR CONSUMO DE AGUA ANUAL (PESOS)	354.590,59	391.979,39	257.181,05
VALOR TOTAL ANUAL (PESOS)	1.003.751,03		

Tabla 6. Valor consumo de agua en vulcanizadoras.

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

Según diseño mostrado anteriormente para el tanque de almacenamiento, el agua no será desperdiciada, sino almacenada por lo que este consumo de agua mostrado en la tabla 6 se verá disminuido considerablemente, la capacidad total de agua en el tanque será de 700 litros, por lo cual solo se consumirá agua cuando el nivel del tanque este a una capacidad inferior a los 500 litros y se active una electro electroválvula para permitir el llenado del tanque, además el programa diseñado en el logo soft se encargará de desactivar el proceso de refrigeración automáticamente cuando la temperatura llegue a los 30°C y así no se va desperdiciar agua innecesariamente debido a que el operario olvide cerrar la válvula.

El tanque actual es de forma cilíndrica, tiene 58 centímetros de diámetro y el agua puede llegar hasta una altura de 53 centímetros ya que se encuentra el desagüe que dirige el agua almacenada hacia el acueducto, hallando el volumen del tanque tenemos:

$$V = \pi x r^2 x h \quad (18)$$

Donde:


V: Volumen del tanque.

r: radio del tanque cilíndrico.

h: Altura de llenado del tanque cilíndrico.

$$V = \pi x 0.29m^2 x 0.53m = 0.140m^3 = 140 \text{ litros}$$

Teniendo este dato en litros se puede observar que este tanque siempre almacenara 140 litros que económicamente tendrían un valor de:

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$0.140m^3 \times \frac{1642.28 \$}{1m^3} = 230\$$$

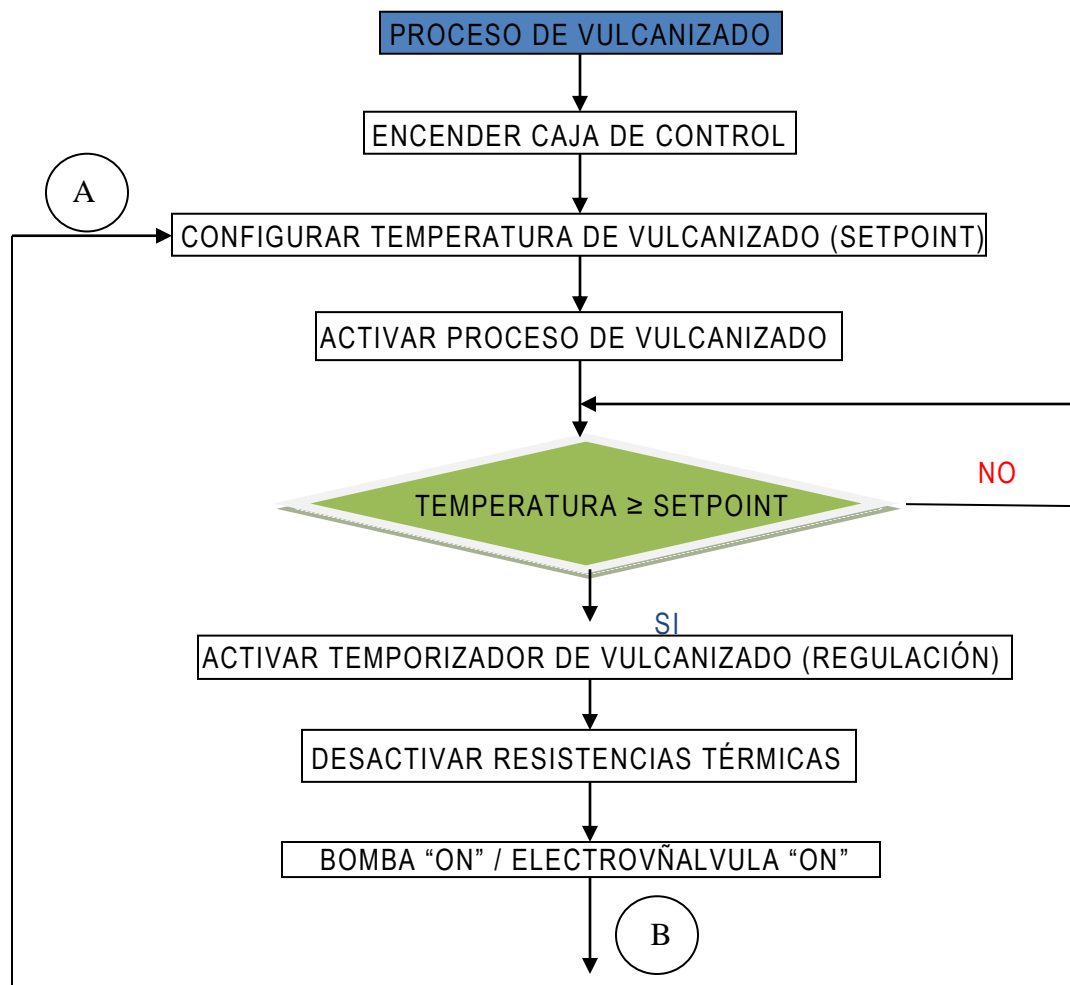
Este valor por pequeño que parezca que equivalen a 140 litros podría abastecer a las vulcanizadoras para el proceso de refrigeración durante un día de trabajo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Con los cálculos ya realizados y teniendo presente que elementos necesitamos para realizar el diseño del proceso de vulcanizado en Reimpex S.A, a continuación se presentará la selección de componentes como válvulas, bombas, tubería y diseño eléctrico, entre otros.

A continuación por medio de un diagrama de flujo se expone el funcionamiento del sistema que se propone en el diseño.



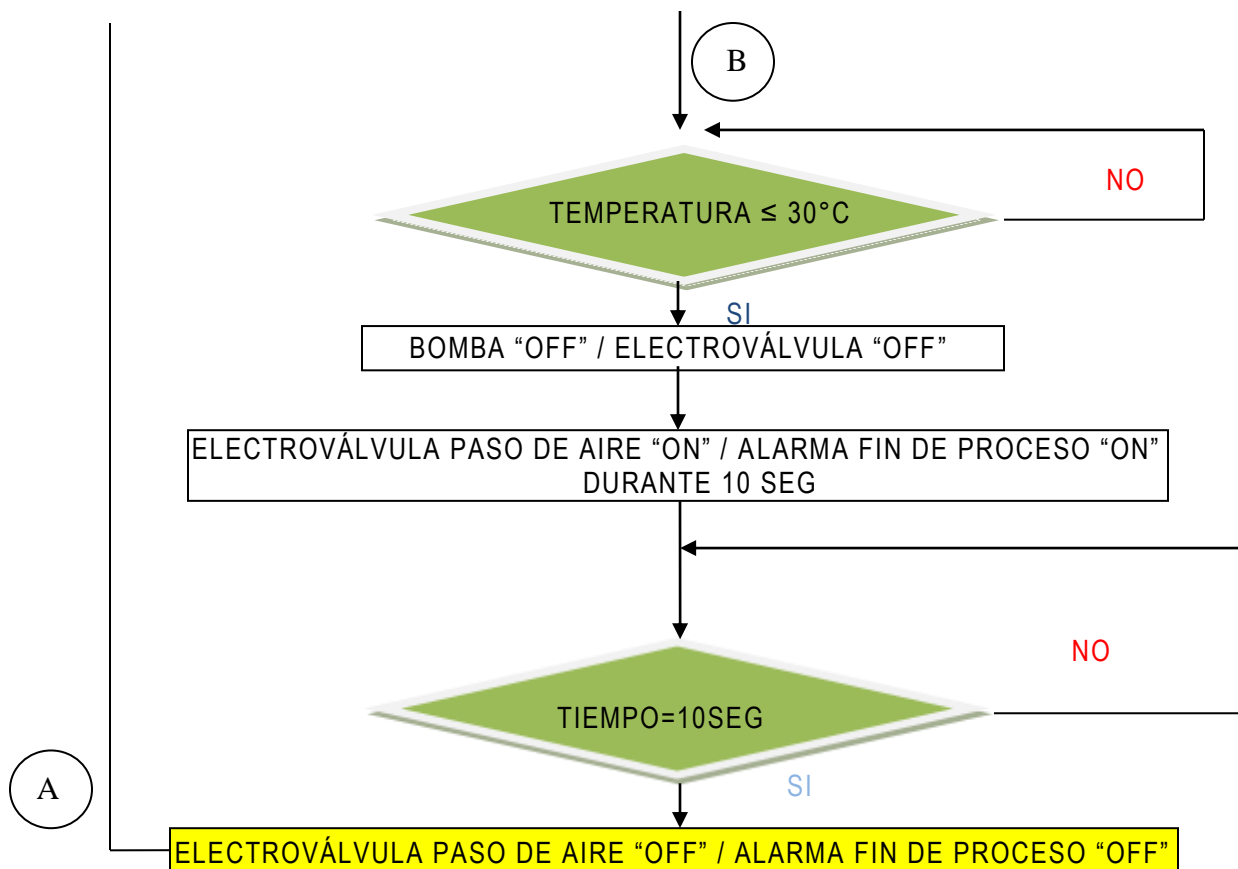



Figura 108. Diagrama de flujo proceso de vulcanizado.


4.1.1 Diseño Tanque de almacenamiento para el agua.

Iniciando el diseño se deseaba trabajar con torres de enfriamiento para el proceso de la refrigeración y así bajar la temperatura aproximadamente hasta unos 25°C, realizando cotizaciones con la empresa Glaciar S.A y de acuerdo a nuestras necesidades cotizaron una torre de enfriamiento modelo GLC-060HC con herrajes en acero galvanizado por un valor de 11´400.000; Por motivos económicos de la empresa adquirir esta torre de enfriamiento no se ajusta al presupuesto, por tal motivo y con la necesidad de realizar un proceso de refrigeración óptimo, se optó por realizar el diseño de un tanque de almacenamiento muy similar a una torre de enfriamiento atmosférica como se observa en la Figura 109, elaborado en fibra de vidrio; Con

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

este diseño se desea conservar una temperatura adecuada del agua que está almacenada y va ser utilizada para el proceso de refrigeración.

El tanque presenta unas medidas de 1 metro de ancho, 1 metro de largo y 1.5 metros de alto, la idea principal de este diseño es que el agua que llega desde las vulcanizadoras no caiga directamente en el agua que está almacenada alterando la temperatura con posibles aumentos en los tiempos de refrigeración, sino que esta agua que proviene de las vulcanizadoras a temperaturas mayores ingrese al tanque por pequeños orificios hechos en la tubería que ingresa al tanque (E1) y caiga a un sistema de relleno elaborado con láminas en acero inoxidable como se observa en la Figura 110, así el agua tenga un mayor contacto con el aire y se logre bajar la temperatura para que no afecte mucho las condiciones del agua almacenada.

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

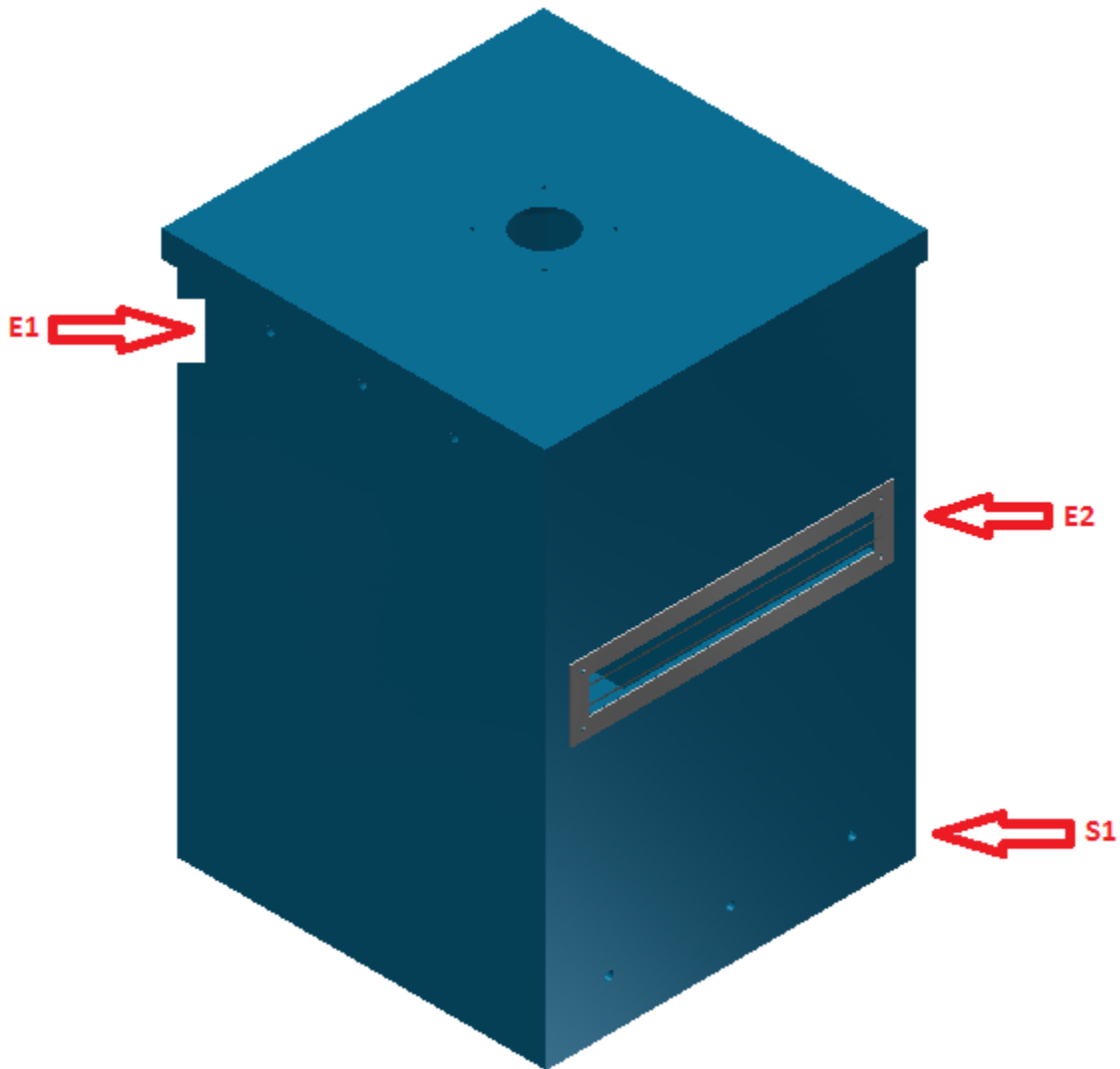


Figura 109. Diseño para tanque de almacenamiento.

Donde:

E1: Son las perforaciones de 1” para ingresar la tubería que llega de cada vulcanizadora en el proceso de refrigeración.

E2: Entrada de aire para simular torre tipo atmosférica.

S1: Perforaciones de 1” para instalar tubería que va hacia las bombas y hacer circular el agua por el sistema.

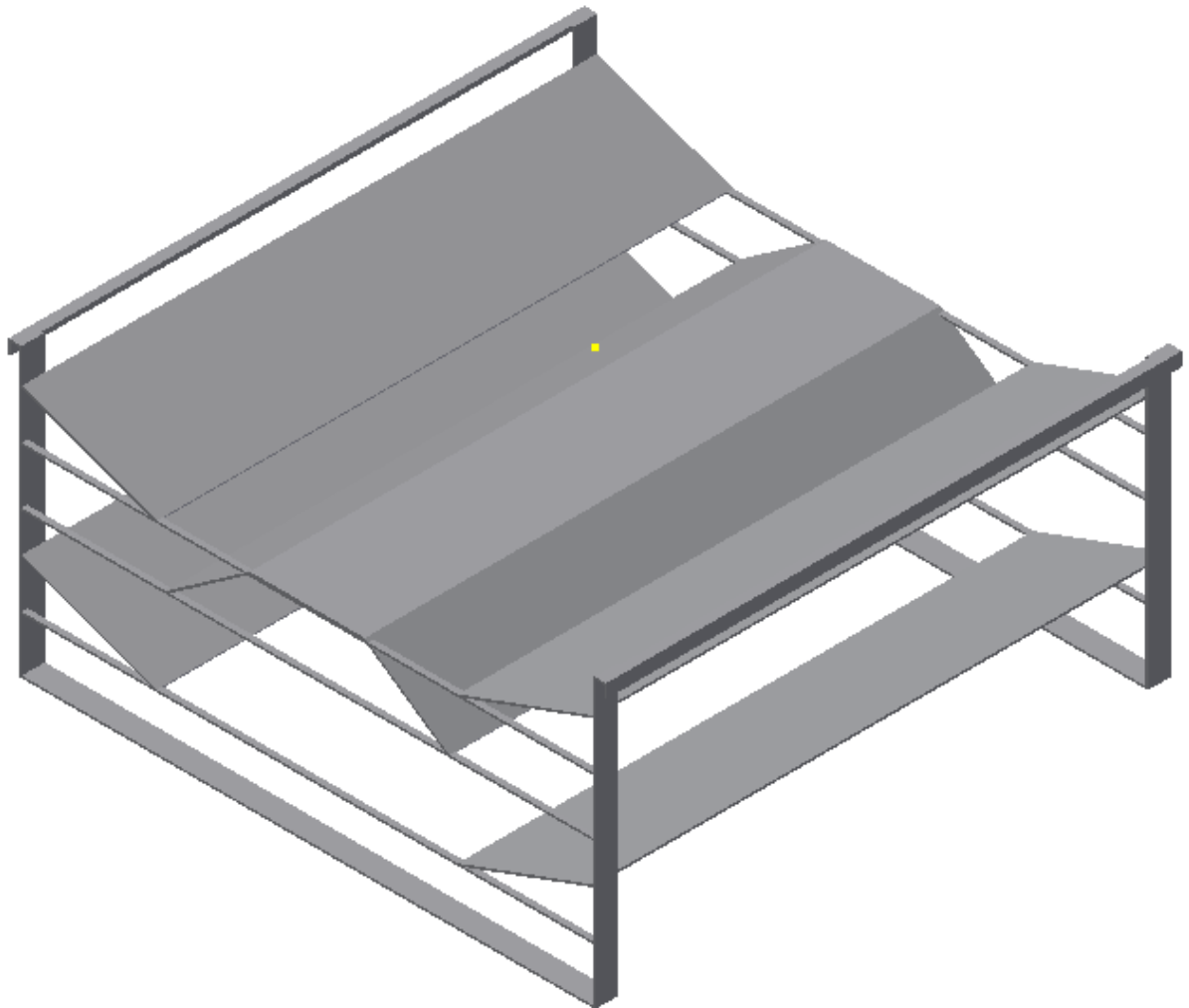



Figura 110. Diseño de relleno para tanque en acero inoxidable.

El nivel de agua va estar a una altura de 70 centímetros y este será controlado por un interruptor de flotador el cual a su vez cuando el nivel esté bajo activara una electroválvula, la cual permitirá el paso del agua y así de esta manera se controla el nivel del agua en el tanque, en la parte superior se diseña la tapa con un agujero de 6 pulgadas para que por este salga el vapor que se pueda generar; las rejillas que van instaladas a ambos extremos del tanque para facilitar la entrada natural del aire se observan en la Figura 111, dispone de dos láminas en acero inoxidable

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

soldadas en un ángulo de 45° hacia el interior del tanque para evitar una posible salida del agua que baja del relleno y por el contrario se deslice por ambas laminas, en sus extremos presenta cuatro perforaciones de 11mm para poder ser sujetados al tanque por medio de tornillos milimétricos de acero inoxidable.

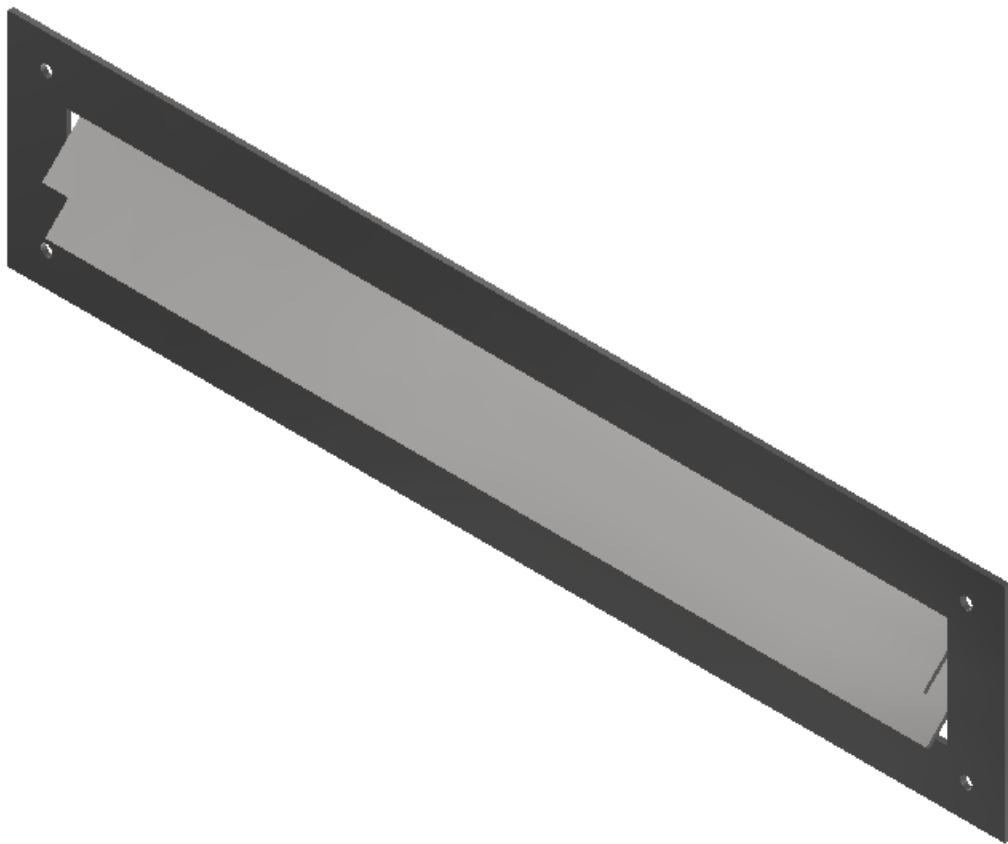



Figura 111. Lateral entrada de aire en tanque.

4.1.2 Elección del tipo de PLC a utilizar y desarrollo del software.


En un principio para mejorar el diseño y trabajando de la mano con la asesora delegada por el ITM (Instituto tecnológico metropolitano) Norma Guarnizo, se pensó en cambiar los controles de

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

temperatura que trabajan en estos momentos (Maxthermo 5438), por unos más avanzados y que nos permitieran controlar el paso de agua por medio de una válvula de control, activando a su vez una bomba de agua para la circulación del agua, se propuso el cal-control 9500, equipo que presenta muchas más ventajas que el actual permitiendo realizar programas para el control de elementos como alarmas, relés de estado sólido, válvulas, entre otros, con la posibilidad de realizar un ingreso manual del programa requerido o por medio de un software que es suministrado por el proveedor, analizando a fondo este equipo (cal-controls 9500) comenzamos a darnos cuenta que era muy limitado para el proyecto que se quiere diseñar y por tal motivo se pasa a la idea de trabajar con un PLC logo de referencia 230RC.

Con base en la decisión tomada respecto al uso de un PLC se comienza a establecer los tipos de entradas y salidas necesarias para el diseño del software y así definir cuántos módulos se implementarían para el proyecto:

- I1: Entrada para activación de salida Q1.
- I2: Entrada para activación de salida Q2.
- AI1 y AI2: Entradas análogas para los sensores de temperatura PT100.
- Q1: Salida para alimentación de SSR (Solid state relays) que es el encargado de alimentar la resistencia y piloto plancha superior.
- Q2: Salida para alimentación de SSR (Solid state relays) que es el encargado de alimentar la resistencia y piloto plancha inferior.
- Q3: Salida para activación de relé, el cual por medio de sus contactos activará el contactor de la bomba y una electroválvula para el paso del agua.


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

- Q4: Salida para activar electroválvula para el paso del aire y realizar expulsión del agua restante en las planchas de la vulcanizadora y además activa una señal de alarma para indicar la finalización del proceso.

Definidos estos parámetros y teniendo claro el tipo del proceso que se desea intervenir y hasta donde se quiere llegar se comienza a determinar los elementos con los cuales se desea trabajar y se llega a la conclusión de trabajar con el siguiente PLC y sus respectivos módulos.

- Logo! 230Rc, 115 – 230 VAC, 8E/4S.
- Módulo de expansión logo! AM2 RTD – 2E Análogas, (-50 +/- 200 °C, PT100/1000).
- Logo TD tex display.

El PLC logo que se selecciona para llevar a cabo el diseño de este software es elegido debido a que se acomoda a la necesidad que presenta el desarrollo del diseño, además de presentar un modelo compacto y de programación simple, los módulos de expansión son necesarios para hacer la conexión de los sensores de temperatura PT100, cada uno de estos módulos presenta 2 entradas análogas y la pantalla logo TD, es muy importante para este diseño ya que es necesario crear una interfaz para el usuario y así sea más ameno realizar la configuración de los parámetros que se deben ingresar para dar inicio a este proceso de vulcanizado; Debido a que se planea trabajar con elementos marca Siemens se ingresa a la página oficial y se procede a descarga el software que se utiliza para el diseño del programa que se necesita y se conoce como logo Soft-Comfort V8.0 demo, como era muy poco lo que se conocía de este software se investiga sobre el tipo de lenguaje que implementa y la función de cada elemento para el diseño del programa, acudiendo a

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

libros, tutoriales de internet, la misma ayuda que nos ofrece el software y el acompañamiento de la asesora se logra plantear un programa ideal para el proyecto que se piensa diseñar, en los apéndices del “A” al “E” se puede observar el diseño del software para realizar el proceso de vulcanizado, además se va anexar un video simulando la programación para el proceso de vulcanizado por medio del PLC logo.

4.1.3 Diseño Eléctrico.

Para el diseño del sistema eléctrico se realizaron 4 planos elaborados en el software CadeSimu, los cuales abarcan la parte de control y potencia del sistema, además de un circuito independiente que controla el nivel de agua del tanque; en la Figura 112 se observa cómo debe ser la conexión para el LOGO 230RC, el cual es alimentado a 110V AC con una debida protección y su módulo de expansión AM2 PT100, al cual van conectadas los sensores de temperatura de cada plancha como se indica, este módulo es conectado a una fuente de 24V DC y también debe llevar un fusible de protección en la línea; las entradas I1 e I2 como se ha indicado anteriormente son las encargadas de activar las salidas de LOGO Q1 y Q2, las cuales a su vez activan los SSR (Solid State Relay) cada uno de 40 amperios, estos alimentan una de las líneas de cada resistencia, salida Q3 activa bobina de relé “KR1” que se encarga de activar a su vez la bomba y la electroválvula para permitir el paso del agua hacia la vulcanizadora y la salida Q4 activa la electroválvula de aire “EV1” y una alarma de fin de proceso para indicar el operario la finalización del vulcanizado “AL1”, para este circuito de control se recomienda cablear con cable vehículo N°14 AWG.

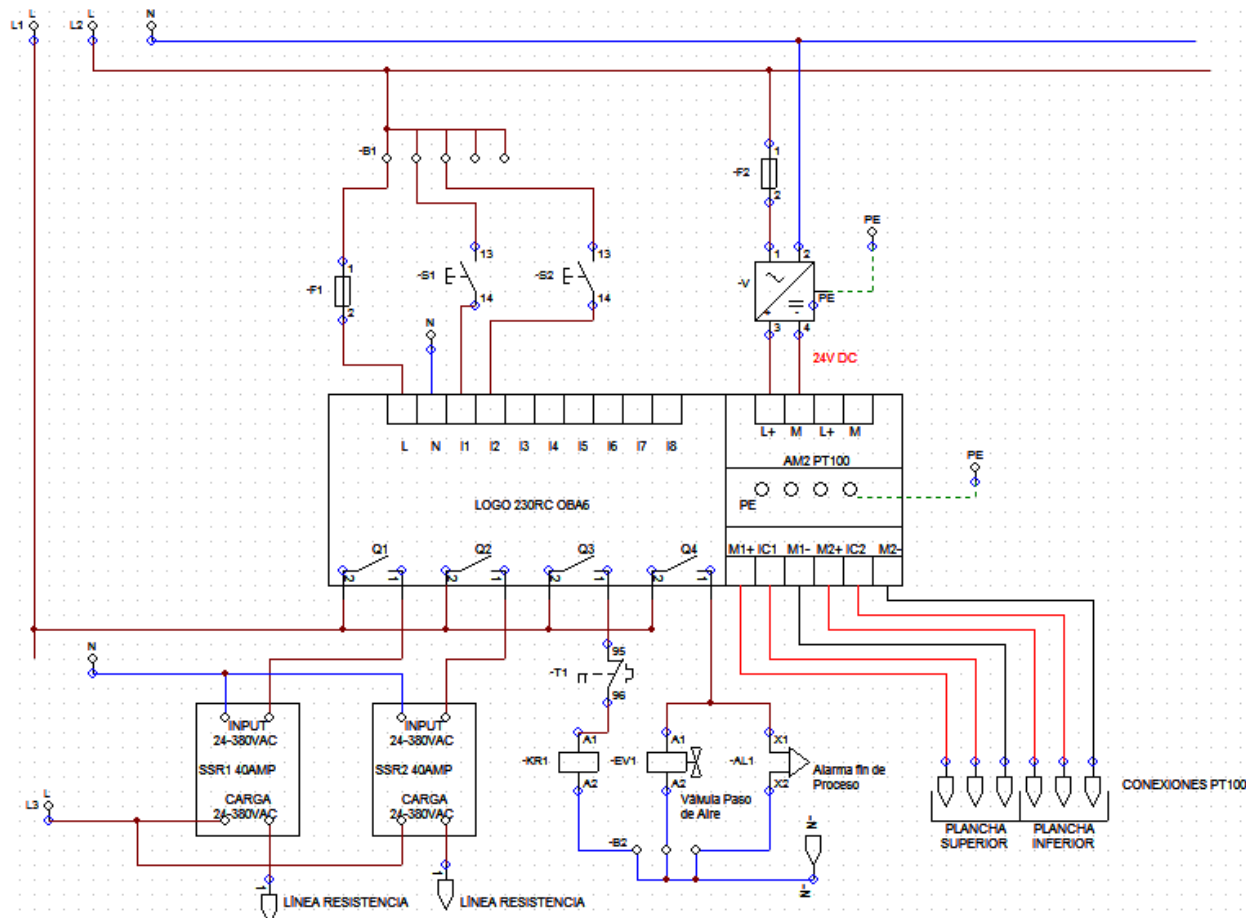



Figura 112. Esquema eléctrico de control LOGO 230RC

En la Figura 113 se observa como debe ser cableada la bomba de agua la cual es activada por medio de un contactor y debe tener un térmico para protección a sobre cargas, optimizando así la durabilidad de la bomba, además de un breaker de protección del circuito ante corto circuitos con el fin de evitar daños, la parte de control de la bomba nos muestra como la salida Q3 del LOGO se encarga de activar un relé “KR1”, el cual cierra sus contactos y activa el contactor de la bomba “KM1” y la bobina de la electroválvula “EV2”, abriéndola y permitiendo el paso del agua hacia la vulcanizadora, cuando la salida Q3 se desactiva la bomba se apaga y la electroválvula se cierra,

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Amperios que consume la vulcanizadora.

Este tipo de conectores los podemos encontrar en el mercado en modelos de 3 hasta 48 polos y en diversos tipos dependiendo la necesidad de montaje, capacidad de amperaje entre 10 y 35 amperios, carcazas y chapetas metálicas de alta resistencia.



Figura 114. Conector multipolar industrial.
Fuente: <http://www.conectica.com.ar/harting.php>

En las Figuras 115 y 116, se observa la conexión eléctrica de los conectores multipolar para cada plancha de la vulcanizadora, internamente cada plancha contiene la resistencia y un sensor de temperatura PT100 que va conectado al módulo AM2 del LOGO, cada una de las líneas de estos elementos está señalada con el número de pin al que pertenece en el conector multipolar hembra, la señal de control y potencia que proviene del gabinete por medio de un conector macho también están marcadas con un número de pin el cual debe coincidir con las conexiones establecidas desde la vulcanizadora como se muestra en el esquema eléctrico para prevenir posibles daños o una mala función del sistema.

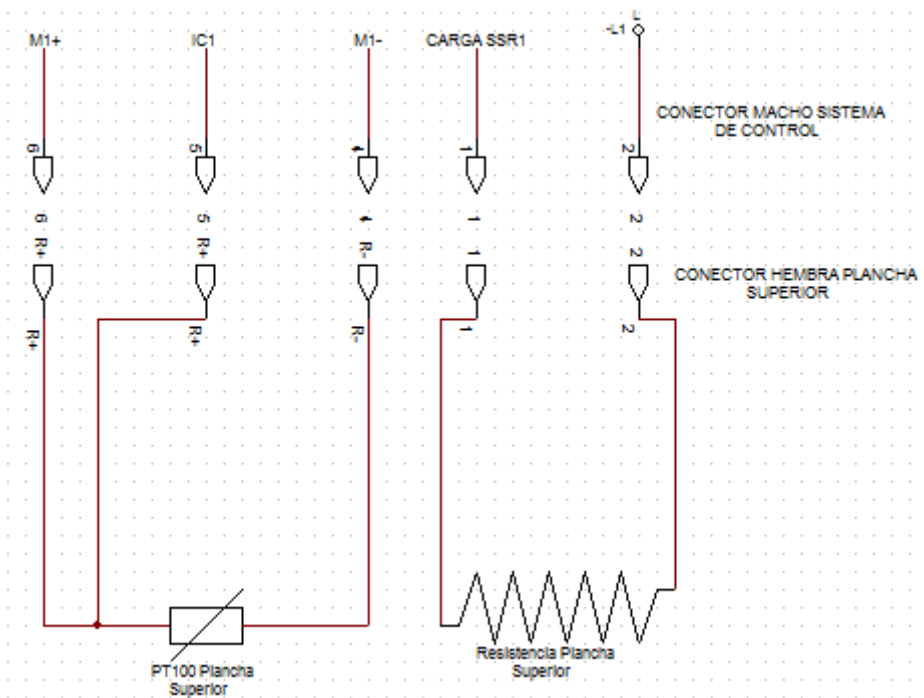



Figura 115. Configuración conector multipolar macho/hembra plancha superior.

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

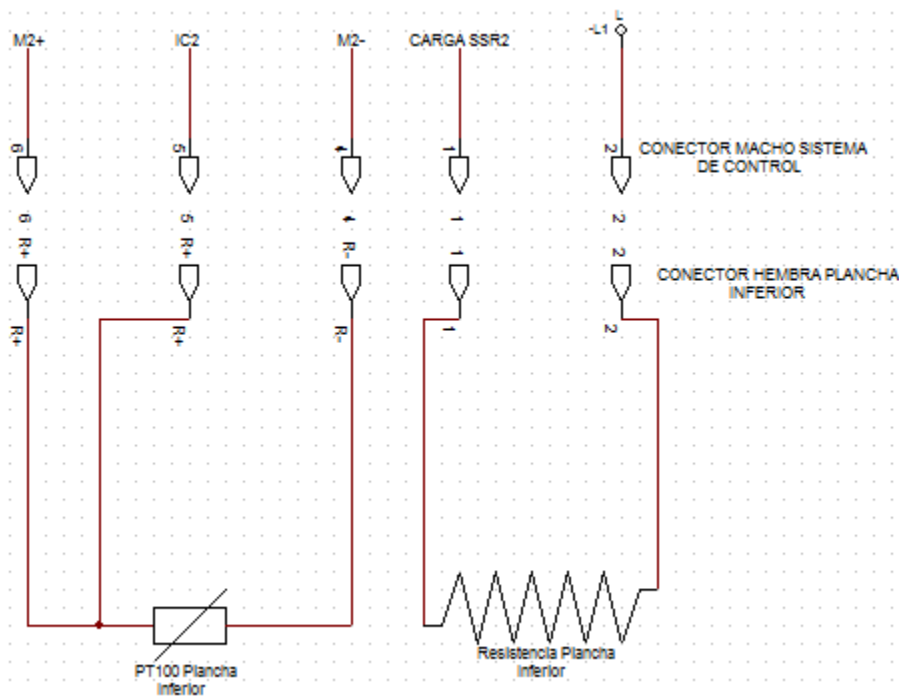



Figura 116. Configuración conector multipolar macho/hembra plancha inferior.

Cada vulcanizadora consume un amperaje diferente:

- Vulcanizadora Almex 2200, 35Amp total, 17.5Amp cada plancha.
- Vulcanizadora Almex 1600, 30Amp total, 15Amp cada plancha.
- Vulcanizadora Almex 1300, 23Amp total, 11.5Amp cada plancha.

Conociendo estos valores y el número de polos que necesitamos que son cinco, más la conexión a tierra, podemos seleccionar el tipo de conector multipolar adecuado para realizar la conexión entre la vulcanizadora y el gabinete de control, para este sistema se necesita 1 juego macho/hembra por cada plancha, además podemos hacer una debida selección del cable que va a conectar cada resistencia de las planchas.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para el control del nivel de agua en el tanque se diseñó un circuito eléctrico independiente, como se desea que el agua en el tanque se mantenga a una altura de 70cm, se debe instalar a una altura aproximada de 66cm un sensor de flota como el que se observa en la Figura 117, para garantizar dicha altura.



Figura 117. Sensor de Flota.

Fuente: <http://www.hqheating.com.my/files/S4.1.pdf>

Este sensor por medio de un contacto NA (Normalmente Abierto) como se observa en la Figura 118, será el encargado de activar y desactivar una electroválvula que permitirá el paso del agua hacia el tanque para mantener el nivel; dicha electroválvula debe ser de ½” y ser conectada directamente al acueducto del agua.

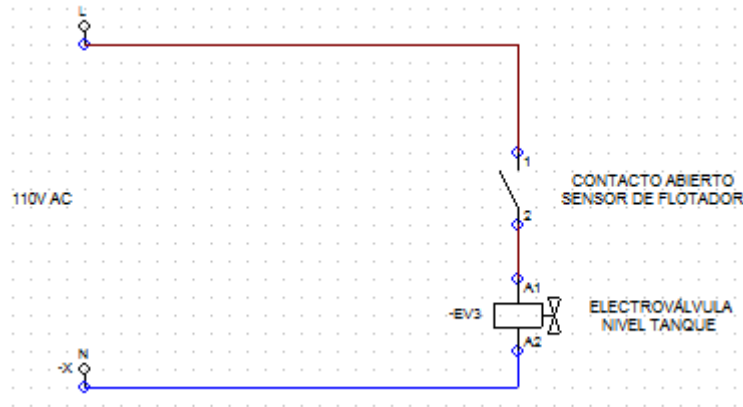


Figura 118. Circuito de control nivel de tanque.

4.1.4 Sistema de control.

Para la implementación de elementos de control, siguiendo los cálculos obtenidos a continuación se presentara la selección realizada con sus respectivas características.

- Electroválvula para el paso del agua, llenado de tanque y paso de aire:** Para el control en el paso del agua que va realizar el proceso de refrigeración debe tener una Electroválvula de 1" en bronce latón, 2/2, normalmente cerrada, servo operada, juntas en FKM, conexión ISO G 1", diferencial de presión 0.3 a 10 BAR, amortiguación golpe de ariete. uso general agua (60 °C), incluye bobina 110V 9 watt; la electroválvula que se va encargar de permitir el paso del agua para llenar el tanque de almacenamiento debe ser de 1/2" en bronce latón, 2/2, normalmente cerrada, servo operada, juntas en FKM, conexión ISO G 1/2", diferencial de presión 0,1 a 20 BAR, uso general agua (60 °C), incluye bobina 110V 9 watt.


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



Figura 119. Electroválvula.

Fuente: http://www.novreczky.eu/danfoss/magnesszelepek/pdf/IC.PD.200.C3.02_01.pdf

La electroválvula que se va encargar de dar paso de aire al interior de las planchas de la vulcanizadora para la expulsión del agua restante se recomienda sea una electroválvula de 3/8", cuerpo de bronce, normalmente cerrada, bobina con conector DIN y LED indicador, diferencial de presión 0 a 10 bar, temperatura de trabajo -20°C a 90°C, incluye bobina 110 V.

- **Válvula de bola:** Esta válvula de 1" debe ser instalada entre la salida del tanque y la succión de cada una de las bombas, esto por cuestiones de mantenimiento o posibles reparaciones, así al abrir la tubería el agua que esta almacenada se mantendrá en el tanque.



Figura 120. Válvula de bola.

Fuente: http://coferval.com/valvula_de_bola


- **Válvula anti retorno:** Se recomienda instalar esta válvula entre la descarga de la bomba y la electroválvula para evitar que el agua se regrese hacia la bomba y se generen posibles sobre esfuerzos causando daños a la bomba.



Figura 121. Válvula anti retorno.

Fuente: <http://jgv-instalaciones.es/fontaneria/>.

- **Bomba:** Para este diseño se desea instalar una bomba periférica de marca pedrollo, modelo PQ100, con alimentación trifásica 220VAC, presenta una potencia de 1.5 HP, 6.3 amperios y maneja un caudal de 15L/min que es ideal para cada vulcanizadora según

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

mediciones de caudal, la medida para la tubería de succión y descarga es de 1”, en el Apéndice F se puede observar las curvas de trabajo y datos para este modelo, aunque la cabeza de la bomba para cada vulcanizadora nos dio 60 metros, esta bomba presenta 70 metros de cabeza y fue seleccionada debido a que es bueno trabajar un 15% por encima de lo calculado y así garantizar una buena circulación del agua por el sistema, se recomienda realizar la conexión eléctrica de la bomba con un cable encautechado 3x14 AWG, el cual tiene una capacidad de 15 amperios.




Figura 122. Bomba periférica pedrollo.

Fuente: <http://www.pedrollo.com.co/es/pq-electrobombas-con-rodete-periferico/127>

4.1.5 Tubería y accesorios.

El diseño se hará con dos tipos de tubería de 1” de diámetro, acompañado de sus respectivos accesorios, para el tramo en que la bomba llevará el agua hacia las vulcanizadoras se escoge tubería de PVC (Policloruro de vinilo) y el tramo que va desde las máquinas hacia el tanque de almacenamiento se selecciona tubería CPVC (cloruro de polivinilo clorado) adecuada para el transporte de agua caliente hasta un rango de 82°C soportando presiones de hasta 100 PSI, esta

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

tubería es ideal para este sistema que transporta agua sin ningún tipo de impurezas debido a que no forma incrustaciones, evitamos la presencia de cobre o plomo en el agua al no presentar corrosión, la conducción del agua es más silenciosa a comparación de tuberías metálicas y se tiene una instalación fácil y sencilla. No se trabajará con tubería galvanizada debido a que si el líquido que se transporta pasa los 60°C se invierte la polaridad del Zinc respecto al acero del tubo y este se corroe en vez de estar protegido, por tal motivo no es recomendable para este proceso ya que la temperatura del agua sobrepasa los 60°C.

4.1.6 Diseño 3D proceso de vulcanizado.

Con la ayuda del software Autodesk Inventor Professional 2014 versión estudiantil, se realiza el diseño en 3D del sistema de vulcanizado, así se puede observar una mejor idea de lo que se desea proponer para mejorar el proceso, allí vamos a observar la ubicación de cada vulcanizadora y el tanque de almacenamiento, como se puede observar en la Figura 123, además de cada elemento que se agregó para este nuevo diseño como son las bombas, electroválvulas y demás elementos que se van a describir a continuación.

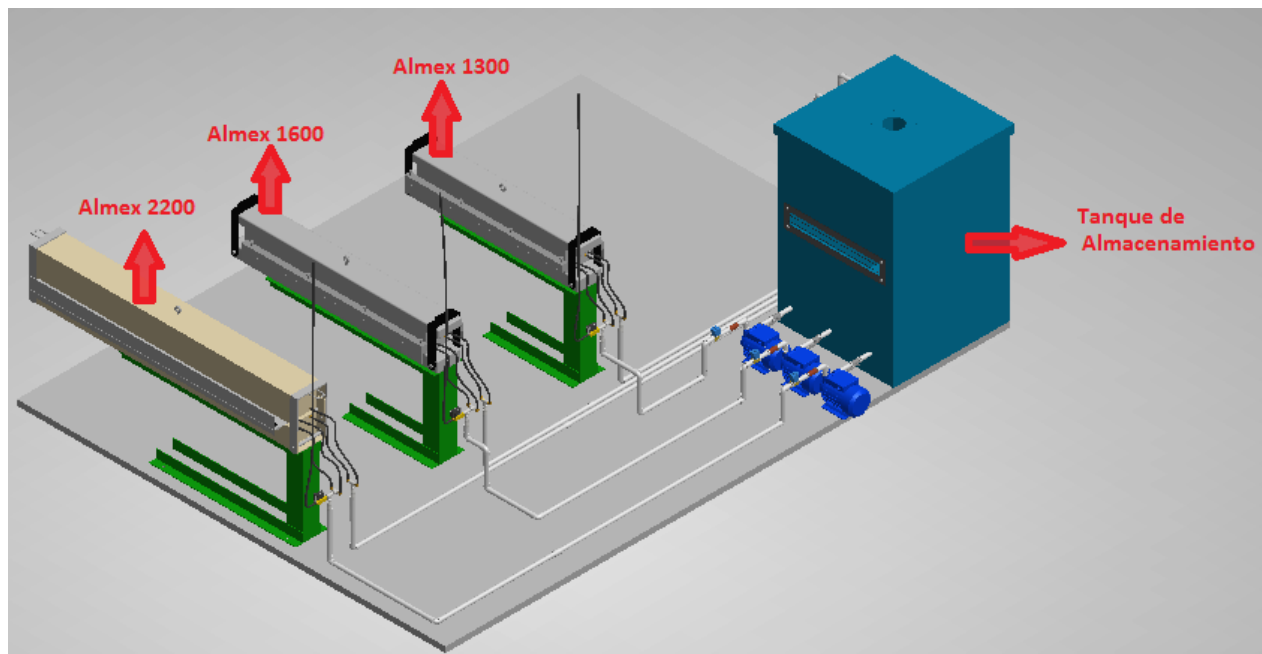


Figura 123. Vista isométrica diseño 3D.

En la Figura 124 se observa la salida del tanque de almacenamiento de agua y por medio de las bombas el agua es dirigida hacia cada vulcanizadora, la válvula “V1” fue instalada antes de la succión de la bomba para realizar un cierre de línea en caso de mantenimiento o daño y el agua que está almacenada en el tanque no se desperdicie, la electroválvula “V2” es la encargada de dar paso al agua para que llegue a cada vulcanizadora, también se observa el cheque que como se dio a entender anteriormente fue instalada en este punto para evitar que el agua se regrese hacia la bomba y no se generen daños

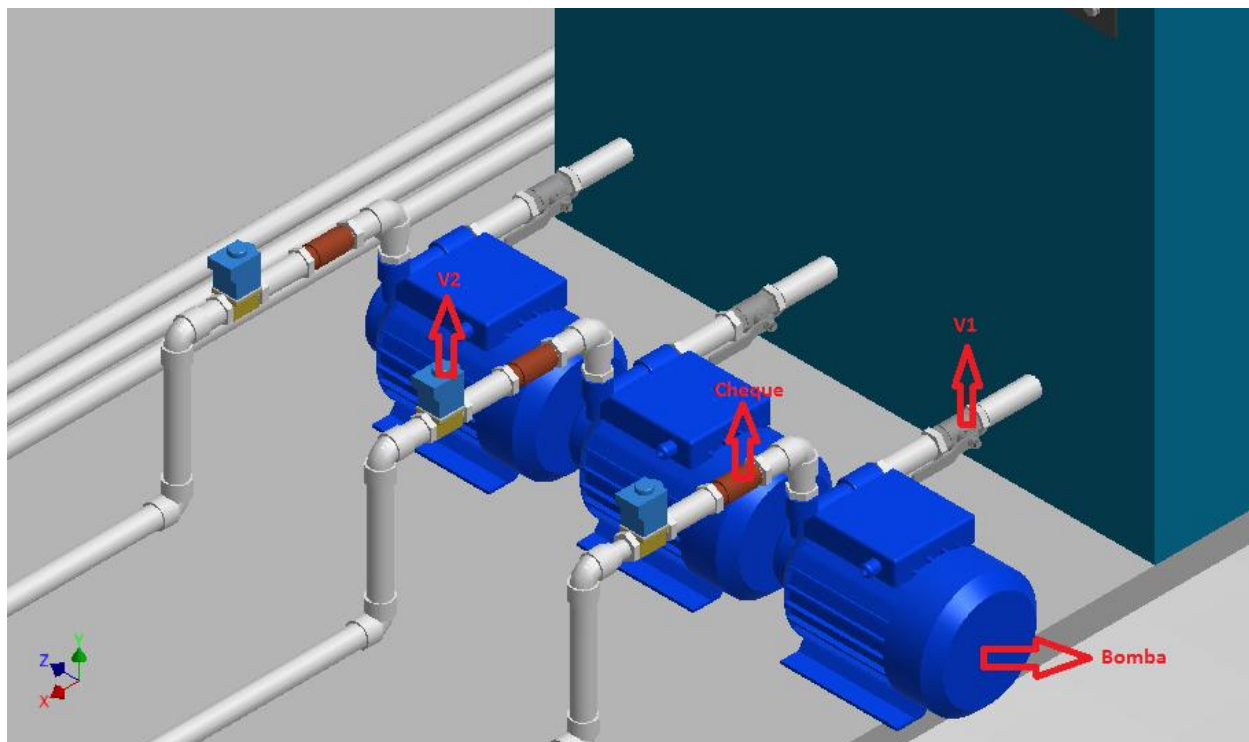


Figura 124. Acercamiento sistema de distribución del agua.

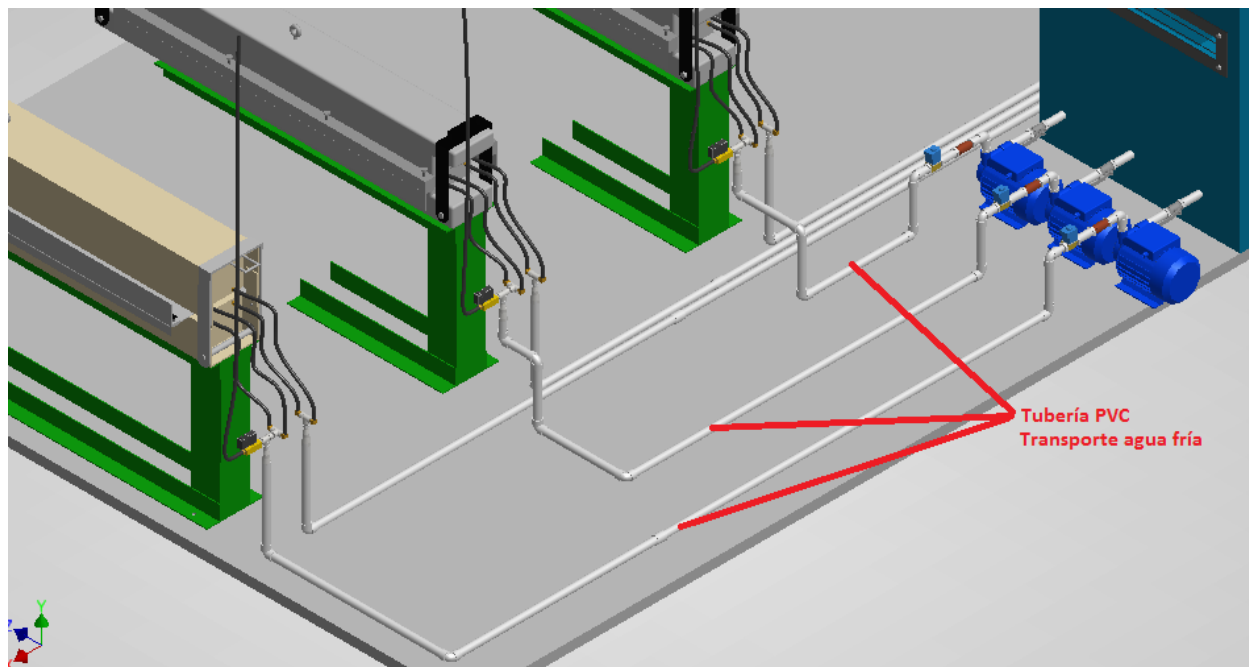


Figura 125. Tubería PVC distribución agua fría.

El transporte del agua fría que sale del tanque de almacenamiento se hace por medio de tubería PVC como se observa en la Figura 125 y es llevada hacia cada vulcanizadora para realizar el proceso de refrigeración en la banda de transporte que se está vulcanizando.

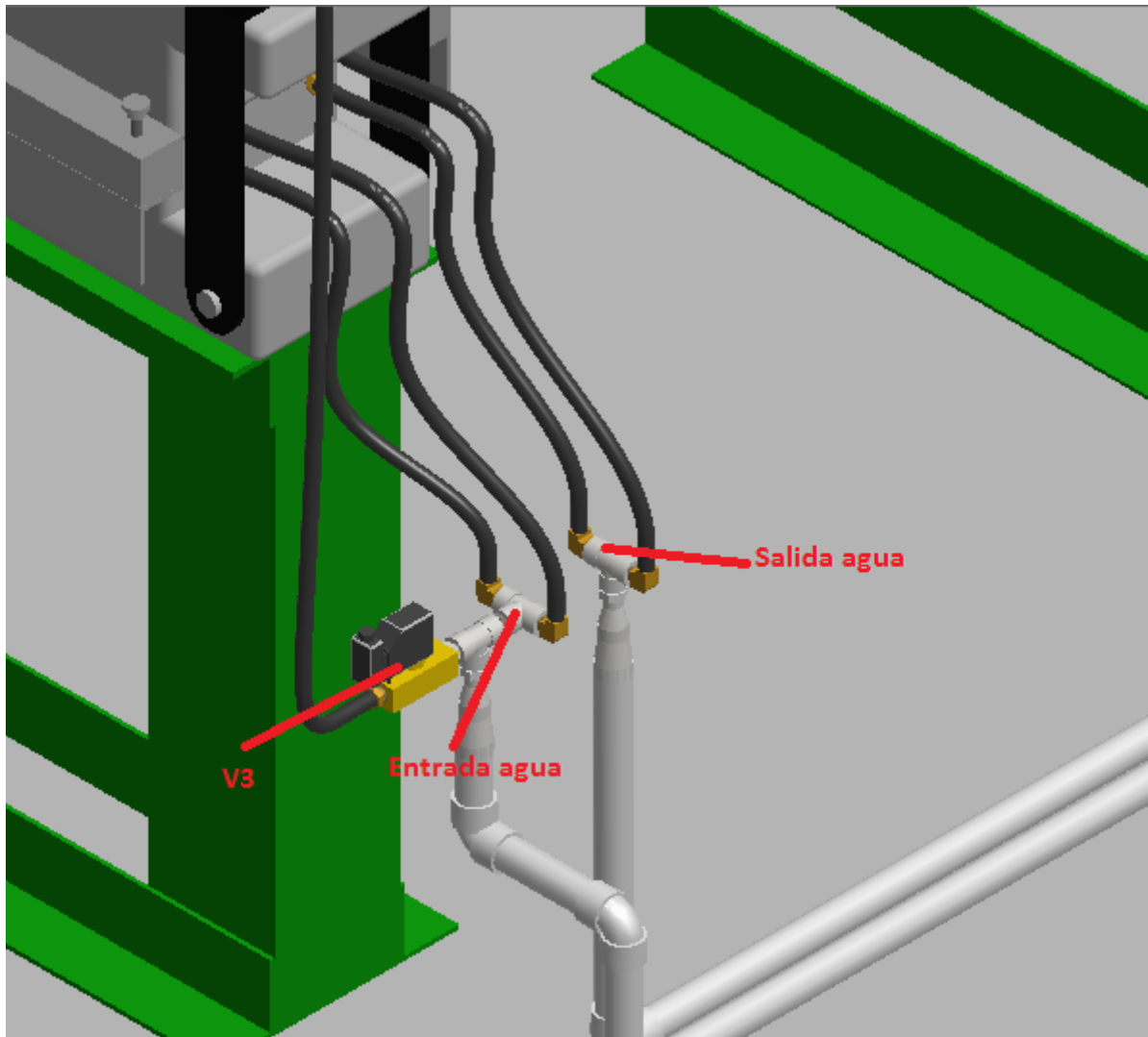



Figura 126. Entrada y salida de agua en vulcanizadora.

En la Figura 126 se observa como por medio de la tubería el agua llega hasta la vulcanizadora y es ingresada el agua fría por medio de unas manieras que se conectan con cada plancha (Superior e inferior), atravesando la vulcanizadora a lo largo, de la misma forma el agua que los

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

primeros minutos que sale es caliente sale por medio de unas mangueras de alta temperatura y cae a la tubería de salida, además se observa una electroválvula “V3” que al finalizar el proceso de vulcanizado es activada para dar paso al aire que va expulsar el agua que quedo depositada al interior de las planchas y así garantizar que el próximo vulcanizado no presente problemas, ya que al no realizar este paso la temperatura se puede demorar mucho en llegar a su setpoint y la banda se puede quemar.

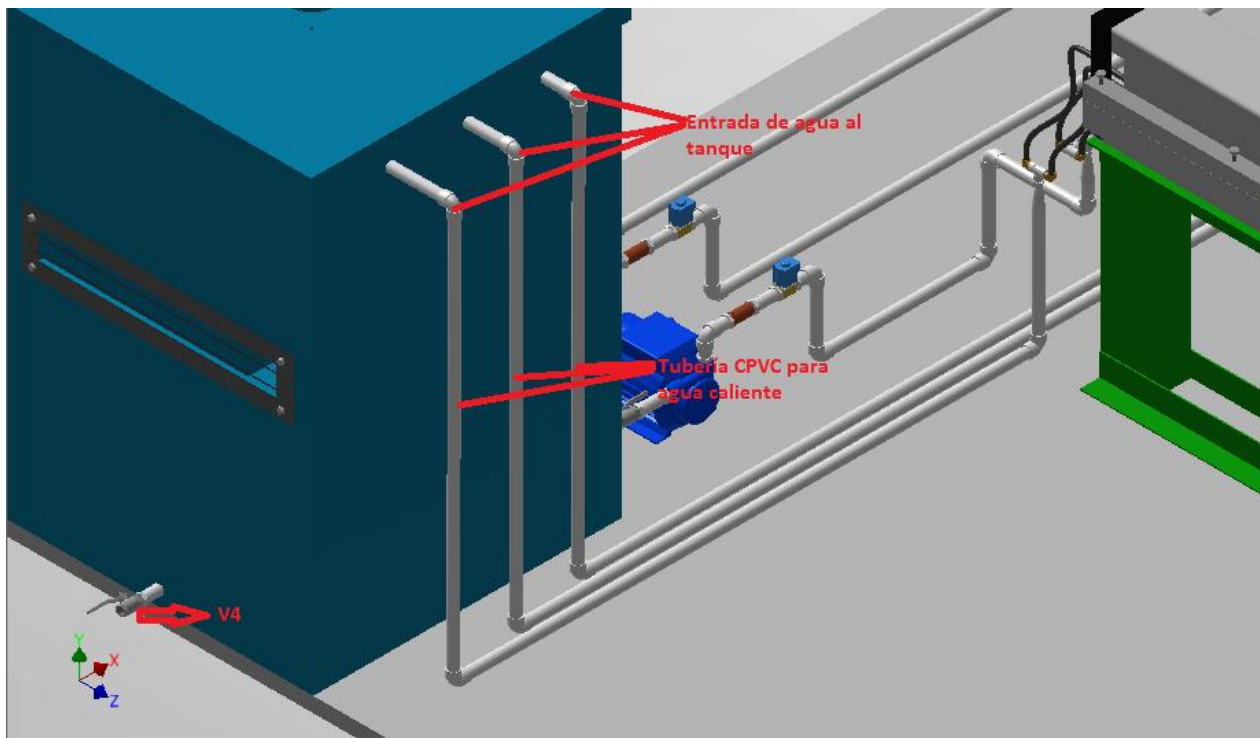


Figura 127. Entrada de agua al tanque de almacenamiento.

Al terminar el proceso de vulcanizado y se activa la refrigeración de la vulcanizadora toda el agua que sale de esta es transportada hacia la parte superior del tanque de almacenamiento por medio de una tubería CPVC para agua caliente como se observa en la Figura 127 y así ser almacenada para que pueda ser reutilizada en un próximo proceso, la válvula “V4” fue instala

para vaciar el agua del tanque y así poder realizar mantenimientos preventivos o en casa de alguna reparación.

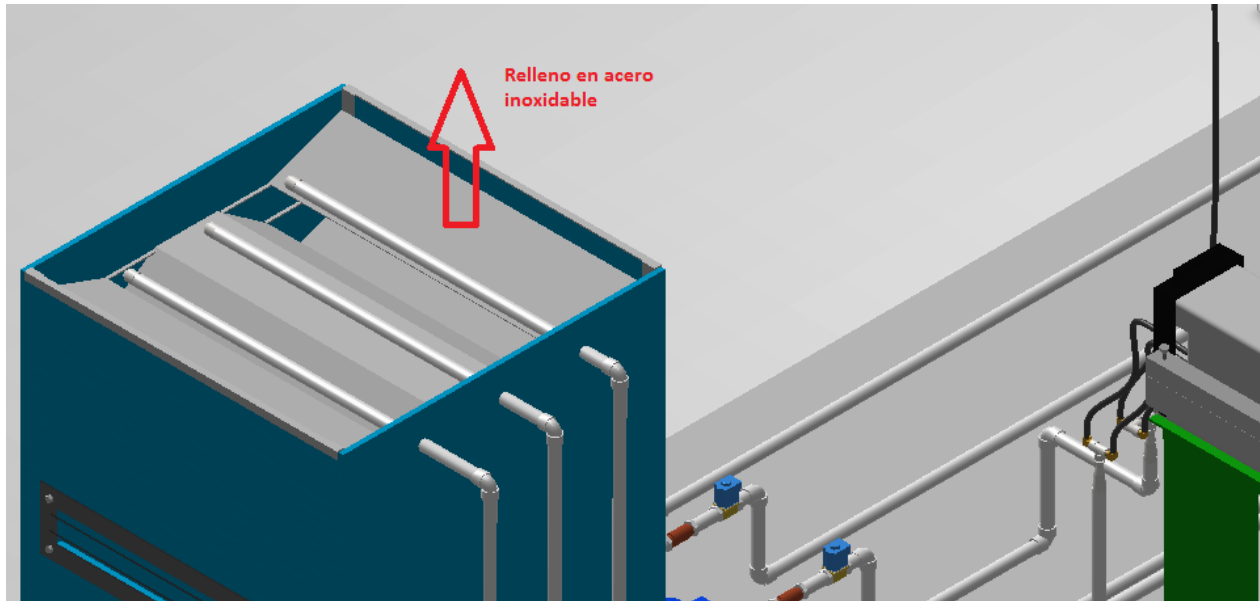



Figura 128. Relleno acero inox instalado.

El relleno en acero inoxidable que fue diseñado se ve instalado en el tanque en la Figura 128, en esta imagen se puede observar como la tubería en CPVC que ingresa por la parte superior del tanque ingresa aproximadamente 90cm para abarcar el relleno, esta tubería será perforada con pequeños agujeros en la parte inferior para crear un efecto tina como se observa en la Figura 129 y justamente el agua haga más contacto tanto con el aire como con el relleno, esto con el fin de que el agua que ingresa al tanque baje su temperatura y al llegar al agua que ya está almacenada no sufra ningún alza en su temperatura y se pueda mantener a unos 25°C aproximadamente.

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

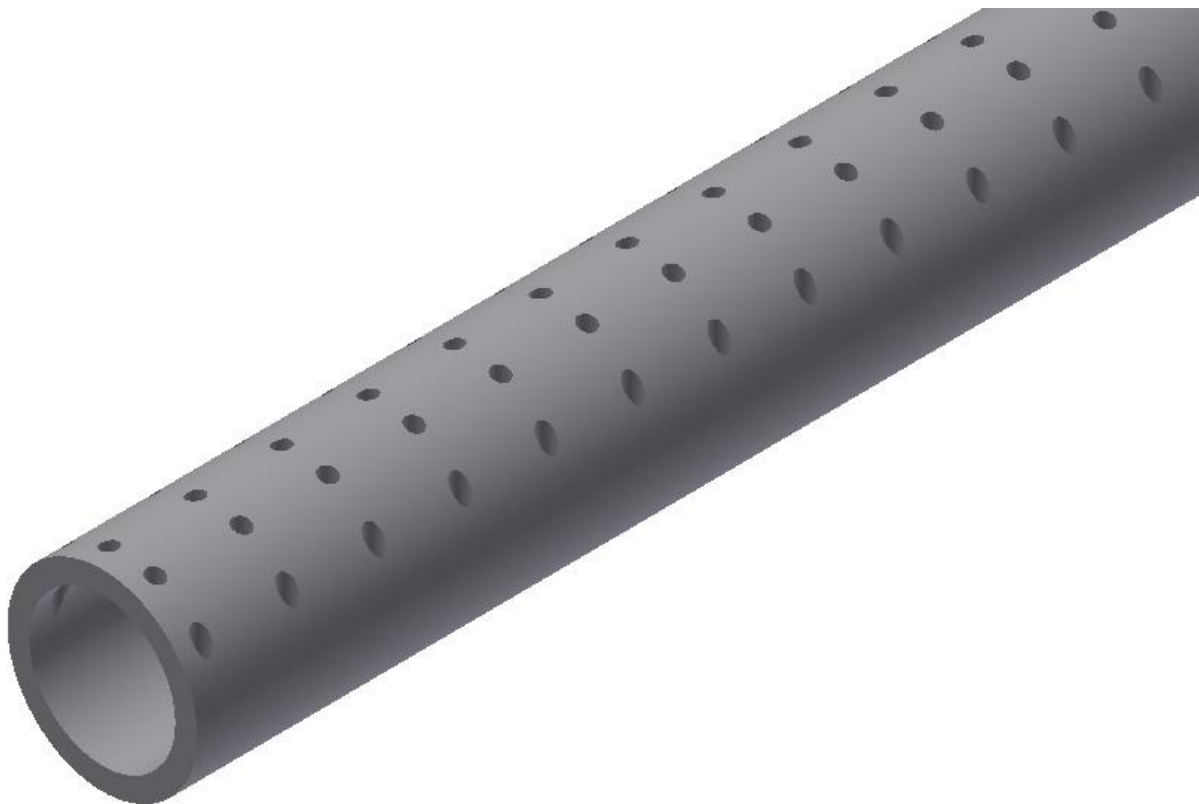



Figura 129. Perforaciones tubería CPVC entrada tanque.


Implementando el diseño del sistema de vulcanizado para Reimpex S.A, podríamos obtener una reducción en los tiempos de producción al realizar cada banda de transporte, esto debido a que el diseño que se presenta es mucho más automatizado que el actual, el operario solo debería instalar la banda en la máquina vulcanizadora adecuadamente e iniciar el proceso y el PLC se encargaría de llevarlo a cabo, dando aviso con una alarma al operario de la finalización por completo del proceso. Actualmente el operario se acerca a la máquina cuando se activa la alarma de la temperatura y el manualmente se encarga de activar la válvula que permite el paso del agua para el proceso de la refrigeración y pueden pasar en ocasiones hasta 20 minutos después de que la temperatura de las planchas llega a un punto cercano de los 30°C que es el momento adecuado

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


para interrumpir la refrigeración y dar por terminado el proceso, donde el operario aún no se acerca a cerrar la válvula y proceder con el desmontaje de la banda, con este nuevo diseño el PLC se encargará de cerrar esta válvula y dará aviso al operario que todo el proceso termino por medio de una alarma.

4.2 Discusión

- Debido al inconveniente presentado al efectuar la selección de la torre de enfriamiento se optó por realizar el diseño de un tanque de almacenamiento, con una capacidad de 700 litros y será el encargado de recoger el agua que llega de cada vulcanizadora a altas temperaturas y por medio del relleno que se diseñó al interior de este tanque se espera que la temperatura del agua baje considerablemente y no afecte el agua que se encuentre almacenada a una temperatura aproximada de 25°C y así ofrecer un proceso de refrigeración más óptimo.
- Por cuestiones de espacio el sistema mecánico de almacenamiento y recirculación del agua no se pudo diseñar de una manera que solo utilizáramos una bomba la cual llevaría el agua desde un pozo que se elaboraría para almacenar el agua que llega caliente de las máquinas, con la ventaja que la temperatura interna que maneja el concreto nos ayudaría a disminuir la temperatura a la cual llegaría el agua, de este pozo sería transportada hacia un tanque de almacenamiento que sería ubicado a una altura aproximada de 5 metros de altura y así el agua que va hacia las vulcanizadoras para el proceso de la refrigeración llegaría a estas por gravedad sin la necesidad de utilizar una bomba por cada máquina y el

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


flujo de agua para cada una lo seguiría controlando por una electroválvula que sería activada por el PLC.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Conclusiones

- Aplicando el diseño de automatización propuesto para el proceso de vulcanizado los tiempos de producción se verán mejorados, reduciendo la finalización del vulcanizado de cada banda, elementos como el PLC, electroválvulas y bombas ayudarían notablemente a volver este proceso más eficiente ya que el operario solo deberá instalar la banda y al sonar la alarma de finalización de proceso bajarla para ser empacada y enviada al cliente.
- Con el diseño del tanque de almacenamiento se podrá reducir el consumo actual de agua, además el relleno que será ubicado en la parte superior ayudará a bajar la temperatura del agua que llega desde las vulcanizadoras y así no se vea afectada el agua almacenada en el tanque.
- Implementando el sistema de almacenamiento y recirculación Reimpex S.A. estaría ahorrando en la factura de servicios un valor aproximado de 80000\$ pesos mensuales, llegando a un valor aproximado anual de 1.000.000\$, este ahorro que se prevé puede ayudar a que la empresa invierta en otra sección, para mejorar insumos, herramientas o también se podría invertir para mejorar la infraestructura.
- Debido a la investigación que se realizó para proponer el diseño de automatización en el proceso de vulcanizado de bandas en Reimpex S.A, fue muy importante conocer más a fondo cada paso que se realiza para la elaboración de las bandas de transporte y así


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

caracterizar los elementos del sistema actual para una debida automatización y diseñar un proceso más eficiente, además se realizaron cálculos de diseño y una elección de elementos para el sistema propuesto, lo que nos permitió pasar de una ámbito empírico a una perspectiva ingenieril para abordar esta tesis.

- La realización de cálculos de diseño ayuda a una debida elección de elementos mecánicos, eléctricos, electrónicos, entre otros, esto nos permite pasar de un ámbito empírico a una perspectiva ingenieril dando al diseño una mayor validez ya que cada elemento seleccionado es respaldado por una serie de cálculos.
- Para Reimpex S.A. traerá beneficios aplicar este diseño debido a la automatización del proceso, lo cual lo vuelve más eficiente y confiable, mejorando los tiempos de producción, lo cual también ayudará a cubrir una mayor demanda en el mercado.

5.2 Trabajo Futuro

- En un futuro se puede pensar en la instalación de un sistema colector de aguas lluvias y así abastecer el tanque de almacenamiento de agua que es utilizado para la refrigeración en el proceso de vulcanizado, esto ayudara aún más a reducir los costos en la factura de servicios públicos, además de seguir mejorando el proceso estas aguas con un buen sistema de filtrado podrían ser utilizadas para otros procesos de la empresa.
- En un futuro se podría pensar en implementar para este sistema un PLC más potente que el utilizado para este diseño, como puede ser un S7-1200 y así unificar el sistema de control, utilizando un solo PLC para el control del proceso de cada vulcanizadora, además de cambiar posibles elementos que con el tiempo se vayan conociendo mejores

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

alternativas y puedan ayudar con el mejoramiento del proceso de vulcanizado para hacerlo cada vez más óptimo.

5.3 Recomendaciones para el sistema propuesto

Para la instalación de la tubería en PVC y CPVC 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, 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.

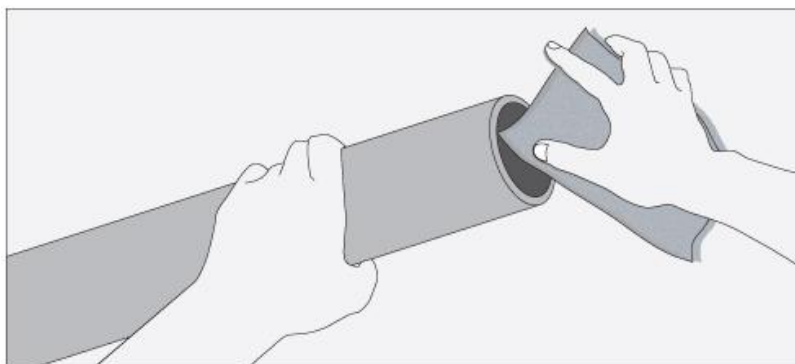



Figura 130. Limpieza de tubería.

Fuente: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/147esp-implementredesdistri.pdf>

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

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

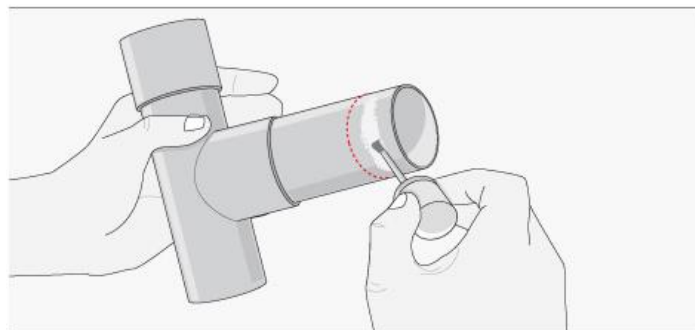



Figura 131. Aplicación de pegamento.

Fuente: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/147esp-implemredesdistri.pdf>

- 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.

Para la implementación de sistema eléctrico es importante aclarar que la instalación y operación del sistema eléctrico debe ser realizado por personal calificado o con conocimientos de electricidad, que utilice las herramientas y técnicas necesarias para la manipulación del cableado y elementos eléctricos requeridos en el diseño propuesto.

Para el sistema eléctrico se recomienda seguir las normas técnicas NTC 2050, cuyo objeto es la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad, mediante disposiciones necesarias para la seguridad, mantenimiento adecuado e instalaciones libres de riesgos. Debido a que la norma NTC 2050 es tan extensa, ya que abarca todo tipo de instalaciones, materiales, métodos, cálculos, conexiones, circuitos, ambientes, entre otros, es necesario enfocarse en nuestro caso que son los gabinetes eléctricos de baja tensión, con

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

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, relés de estado sólido y demás elementos.


Se recomienda instalar un gabinete eléctrico RT doble fondo con medidas de 40cm de ancho y 50cm de alto con una profundidad de 20cm, que permita realizar cambios o ajustes al interior del gabinete, debe de 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 126 se puede observar un gabinete eléctrico de estas características.



Figura 132. Gabinete eléctrico.
Fuente: http://www.derrant.com.mx/gab_IPP5.html

Debe tener su respectivo diagrama unifilar actualizado, al respaldo de la puerta del gabinete, para facilitar inspecciones, corrección de fallas o reemplazo de elementos eléctricos.

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


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

2050, En la certificación de la canaleta se deben verificar aspectos como flamabilidad, resistencia al impacto, aplastamiento bajo carga, resistencia a la distorsión por calentamiento, espesores y calidad de extrusión. (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas - RETIE, 2013). El tablero debe tener un barraje para conexión a tierra del alimentador, con suficientes terminales de salida para los circuitos derivados, además 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.

Es importante para cada uno de los elementos que van a componer el sistema eléctrico como son bombas, PLC, relés, contactores, suiches, cableado, entre otros, realizar una debida selección teniendo en cuenta tipo de voltaje (AC o DC), número de fases, tensión de trabajo y corrientes

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

nominales de operación para no generar posibles daños a estos o un indebido funcionamiento del sistema.


Los dispositivos de protección como fusibles, breakers y térmicos Figura 127, tienen la función de proteger los elementos eléctricos de sobrecargas o corto circuito y así limitar los efectos y consecuencias adversas para el sistema eléctrico.



Figura 133. Elementos de protección.

Fuente:

https://www.google.com.co/search?q=seleccion+de+elementos+electricos&biw=1366&bih=643&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMI5Lza-pDIxwIVQu0eCh0WNggJ&dpr=1#tbn=isch&q=termicos&imgcr=BcEAJri8bT7RZM%3A

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

REFERENCIAS


Arian control & Instrumentación. *PT100, su operación, instalación y tablas*. Recuperado de <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>.

Arian control & Instrumentación. *Que son y cómo funcionan las termocuplas*. Recuperado de <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>

Bausa, J. García, C. Zaragoz, B. Gil, A. Moreno, D. Galiana, A. *Sensores de temperatura*. Recuperado de http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/200304/0.Sens_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf

Calzawebperu. *Historia del caucho*. Recuperado de http://www.calzawebperu.com/PDF/historia_caucho.pdf

Colegio nacional de educación profesional técnica. *El puente de Wheatstone historia y funcionamiento*. Recuperado de <http://conalep.gatica.mx/EI%20puente%20Wheatstone%20y%20Anderson.pdf>

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

Conejo, A. Clamagirand, A. Polo, J. Alguacil, N. (2004). Circuitos eléctricos para la ingeniería. Madrid – España. Mcgraw-Hill.

Contitech. *Manual de empalmes vulcanizados*. Recuperado de <http://clientes.bcsoporte.com/tecniband/wp-content/uploads/2013/03/manual-de-empalmes-vulcanizados.pdf>


Creus, A. (1997). *Instrumentación Industrial*. Barcelona-España. Alfaomega grupo Editorial.

Departamento de física, facultad de ciencias exactas, UNLP. (2013). *Medida de resistencia con el puente de Wheatstone*. Recuperado de http://www2.fisica.unlp.edu.ar/materias/FEIII/FE3_2013_Puente%20W.pdf.

Diodos y aplicaciones. *Dispositivos Electrónicos I*. Recuperado de <http://webs.uvigo.es/mdgomez/DEI/Guias/tema4.pdf>.

Electrónica y microelectrónica para científicos. *Puente de Wheatstone*. Recuperado de http://fisica.udea.edu.co/~labgicm/Curso%20de%20Electronica/2009_Puente_de_Wheaststone.pdf

Elementos y Equipos de control. *Controlador lógico Programable – PLC*. Recuperado de http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Estévez, E. Marcos, M. Orive, D. (2007). Automatic Generation of PLC Automation Projects from Component-based Models. DOI 10.1007/s00170-007-1127-4.

Gomes, C. Schiozer, D. (2015). Optimal placement design of inflow control valve using a dynamic optimization process based on technical and economic indicators. Sciencedirect. 117 – 127. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2014.11.004>

Gonzales, J. Martin, JM. Lladó, R. *Termómetros de Resistencia*. Recuperado de <http://www.ni.com/white-paper/3643/es/>


Gutiérrez, L. (1999). Válvulas de Control. Madrid (España). Aenor

Grimm, N. Rosales, R. (1996). *Manual de diseño calefacción, ventilación y aire acondicionado*. Madrid (España). Mcgraw Hill.

Gromer, Alan. (1998). *Física en la Ciencia y en la Industria*. Barcelona: Editorial Reverté.

Grupo Inymet. *Termopares*. Recuperado de http://www.inymet.com.mx/web_inymet/ingenieria_y_metrologia/informacion/info/TERMO_PARES.PDF

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

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

Hong, W. (2011). Design of PLC-based Hydraulic System for Workpiece Turnover. ScienceDirect. 122 – 126. Doi: 10.1016/j.proeng.2011.08.025.

Instrumentación y Comunicaciones industriales / FI-UNLP. *Historia de los PLC'S*. Recuperado de <http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/ApuntePLC.pdf>.


Jiménez, L. (1997). *Manual de Bombas*. Barcelona (España): Editorial Blume.

Junta de Andalucía. *Transductores, Sensores y Captadores*. Recuperado de http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/TRANSDUCTORES,%20SENSORES%20Y%20CAPTADORES.pdf.

JM Industrial. *Termopares*. Recuperado de http://www.jmi.com.mx/documento_literatura/Termopares.pdf.

Kleinmann, S. Koscielny, J. Hodac, A. Paczynski, A. Stetter, R. (2010). Concept of an advanced monitoring, control and diagnosis system for positive displacement pumps. IEEE. 233-238. Doi: 10.1109/SYSTOL.2010.5676057.

Leal, E. *Sensores de presión*. Recuperado de <http://instrumentacionunefm.files.wordpress.com/2012/05/sensores-de-presion.pdf>.

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

Li, F. Zheng, G. Tian, Z. (2013). Optimal operation strategy of the hybrid heating system composed of centrifugal heat pumps and gas boilers. Sciencedirect. 27 – 36. Doi: 10.1016/j.enbuild.2012.09.044

Liang, Q. Li, L. (2011). The Study of Soft PLC Running System. ScienceDirect. 1234 – 1238. Doi: 10.1016/j.proeng.2011.08.228


Liu, J. Li, Y. Zhao, H. (2010). A Temperature Measurement System Based on PT100. IEEE. 296-298. Doi: 10.1109/iCECE.2010.79.

Marick, S. Kumar, S. Chandra, S. (2014). A Modified Technique of Flow Transducer Using Bourdon Tube as Primary Sensing Element. IEEE. 3033 – 3039. Doi: 10.1109/JSEN.2014.2322199.

Márquez, D. Calderón, J. *Fundamentos de medición de temperatura*. Recuperado de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/damarquezg/Temp.pdf>

Mavainsa. *Válvulas*. Recuperado de http://www.mavainsa.com/documentos/5_valvulas.pdf

Mayne, J. (2003). *Sensores acondicionadores y procesadores de señal*. Recuperado de <http://www.jcee.upc.edu/JCEE2002/MAYNEPONENCIA.pdf>

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

Matrix, Claudio. (2008). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas* 2da edición. México D.F. Alfaomega.

Mott, Robert L. (2006). *Mecánica de Fluidos* 6ta Edición. México, D.F. Pearson Educación.

Mecatrónica en movimiento (2013). *Lenguajes de programación PLC's*. Recuperado de <http://movimientomecatronica.blogspot.com/>.

Metalurgia San francisco s.a. *Vulcanización*. Recuperado de <http://www.sanfranciscomet.com.ar/archivos/Vulcanizacion.pdf>.


Metas (2007). *El Manómetro de Bourdon*. Recuperado de <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-07-08-manometro-bourdon.pdf>

Metas y Metrólogos Asociados (2007). *El manómetro de Bourdon*. Recuperado de <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-07-08-manometro-bourdon.pdf>.

National Semiconductor (1994). *LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D Precisión Centigrade Temperature Sensors*. Recuperado de http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/M/3/5/LM35.shtml.

Niño, R. Duarte, A. (2002). *Hidráulica de tuberías y máquinas hidráulicas*. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia.

Pallas, Ramón. (2007). *Sensores y Acondicionamiento de Señal 4ta edición*. Barcelona (España): Maracombo.

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

Pérez, C. (1994). *Electrónica básica* 2da edición. Medellín (Colombia). Editorial piloto.

Pérez, M. Álvarez, J. Campo, J. Ferrero, F. Grillo, G. (2006). *Instrumentación electrónica*. Madrid – España. Thomson.

PLC open (2003). *Lenguajes de programación*. Recuperado de http://infopl.net/files/documentacion/automatas/infoPLC_net_lenguajes_programacion_V4.pdf

Ramos, G. Hernández, J. Castaño, J. (2002). *Electrónica Industrial y Automatización*. Pereira-Colombia. Cekits.a.


Reddy, A. kanchi, R. (2010). Design and Development of an embedded system for thermal conductivity Measurement of polymer thin films. *2010 2nd International Conference on Mechanical and Electronics Engineering*, V1-454 – V1-459.

Reglamento técnico de instalaciones electricas - RETIE. (2013). *NTC 2050*. Bogotá.

Rehg, James. Sartori, Glenn. (2009). *Programmable Logic Controllers Second Edition*. New Jersey (EE.UU): Pearson Prentice hall.

Rftorrent. *El Diodo Zéner*. Recuperado de http://www.rftorrent.com/el_diodo_zener.pdf.

Rupnik, K. Kutin, J. Bajsic, I. (2013). Identification and prediction of the dynamic proprieties of resistance temperature sensors. *Sensors and Actuators*, 69-75.

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

Siadi, M. Sajadi, B. Sayyadi, P. (2011). Energyconsumptioncriteria and labelingprogram of wetcoolingtowers in Iran. Sciencedirect. 2712-2717. Doi: 10.1016/j.enbuild.2011.06.016


Sgs-Thomson Microelectronics (1997).*Precision Temperature Sensors*. Recuperado de http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/M/3/5/LM35.shtml.

Universidad de Antioquia. *El Diodo como sensor de Temperatura*. Recuperado de http://fisica.udea.edu.co/~labgicm/Curso%20de%20Electronica/2011_El%20diodo%20como%20sensor%20de%20temperatura.pdf.

Universidad de la frontera. *Elementos primarios de medición*. Recuperado de http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion_y_Control/Ivan_Velazquez/Catedra/Capitulo%202.1%20Presion.pdf.

Universidad de Buenos aires. *Medición de presión*. Recuperado de <http://materias.fi.uba.ar/7609/material/S0304MedicionPresion1.pdf>

Universidad de san Luis Facultad de ciencias Físico matemáticas y naturales (2009). *Sensores de temperatura, RTD ´S, termopares y sensores integrados*. Recuperado de <http://www0.unsl.edu.ar/~interfases/labs/lab08.pdf>.

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

Universidad de la frontera. *Elementos finales de control*. Recuperado de http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion_y_Control/Ivan_Velazquez/Catedra/Capitulo%205.%20Elementos%20finales%20de%20Control.pdf

Valencia, Hernán. (1992). *Controladores lógicos programables*. Medellín: Editorial U.P.B.


Wang, C. Xu, Z. Qian, X. & Wang, H. (2007). Vulcanization control of rubber fender based on neutral network PID method. IEEE, 3184-3187. Doi: 10.1109/ICCA.2007.4376949.

Wang, J. Chuai, R. Yang, L. Dai, Q. (2015). *A surface micromachined pressure sensor based on polysiliconnanofilmpiezoresistors*. ScienceDirect. 75-81. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sna.2015.03.008>

West Instruments de mexico s.a. *Termopares Industriales*. Recuperado de http://westmexico.com.mx/pfd/west2/tc_ind/info_tec.pdf

Wika. *Manómetros con elementos elásticos*. Recuperado de http://www.wika.com.ar/upload/DS_IN0001_ES_1365.pdf

Woo, C. Kim, W. Lee, S. Choi, B. & Park, H. (2009). *Fatigue life prediction of vulcanized natural rubber subjected to heat-aging*. Procedia engineering 1, 9-12.

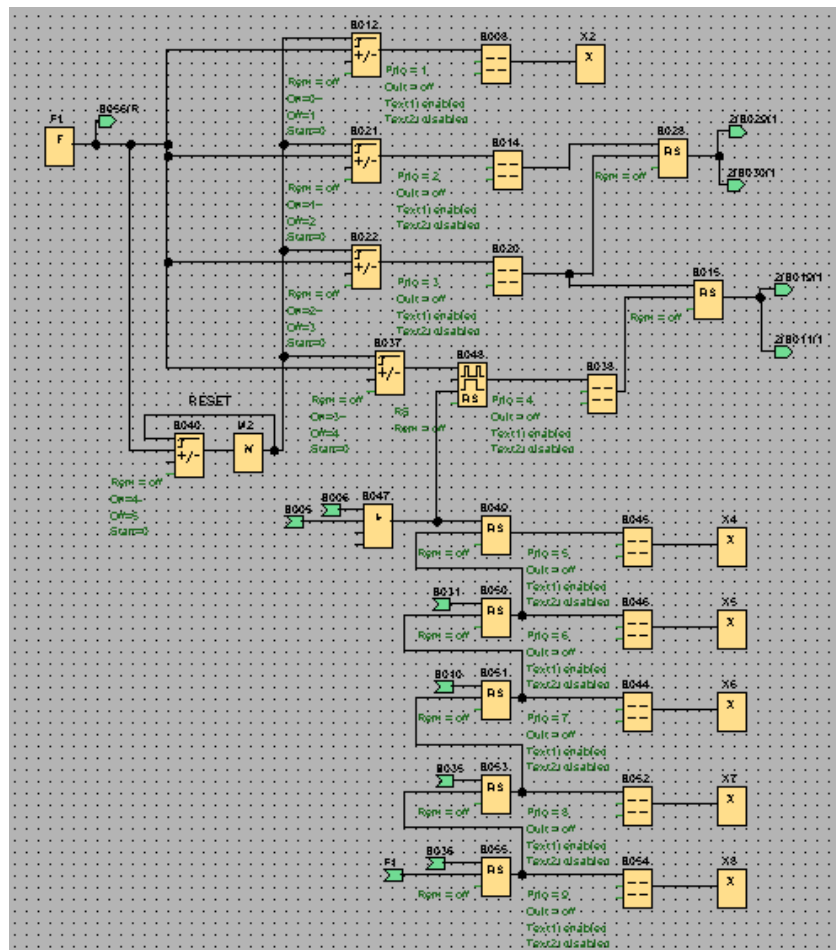
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Xie, J. Li, D. Xing, Y. (2015). The theoretical and experimental investigation on the vertical magnetic fluid pressure sensor. Sciencedirect. 1-13. Doi: <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.sna.2015.03.007>
- Yu, S. Yang, D. Wang, X. Zhu, K. Zheng, B. (2011). A Two-stage Heuristic Method for Vulcanization Production Scheduling. IEEE. 3601-3605.
- Zhang, X. Li, X. Lu, K. (2010). *Automation System for Optimization of Vulcanization Accelerator production.IEEE*, 584-587.
- Zhou, M. Wan, H. Wang, R. Song, X. Su, C. Gu, M. Sun, J. (2013). Formal component-based modeling and synthesis for PLC systems.ScienceDirect.1022 – 1034. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2013.07.003>

APÉNDICE

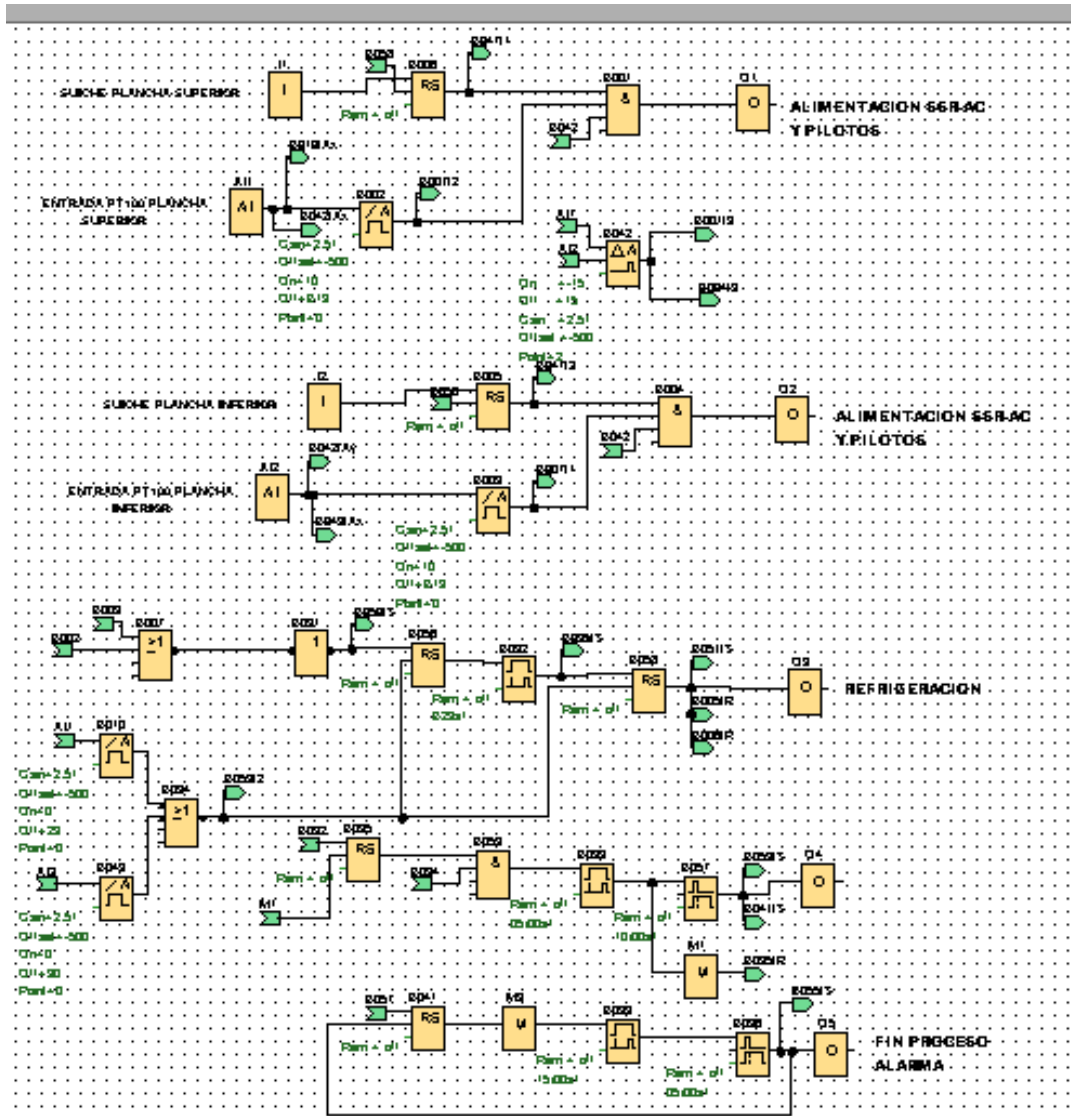
Apéndice A

BLOQUE DE INTERFAZ DEL USUARIO EN PANTALLA LOGO TD PARA LA CONFIGURACIÓN DEL PROCESO DE VULCANIZADO



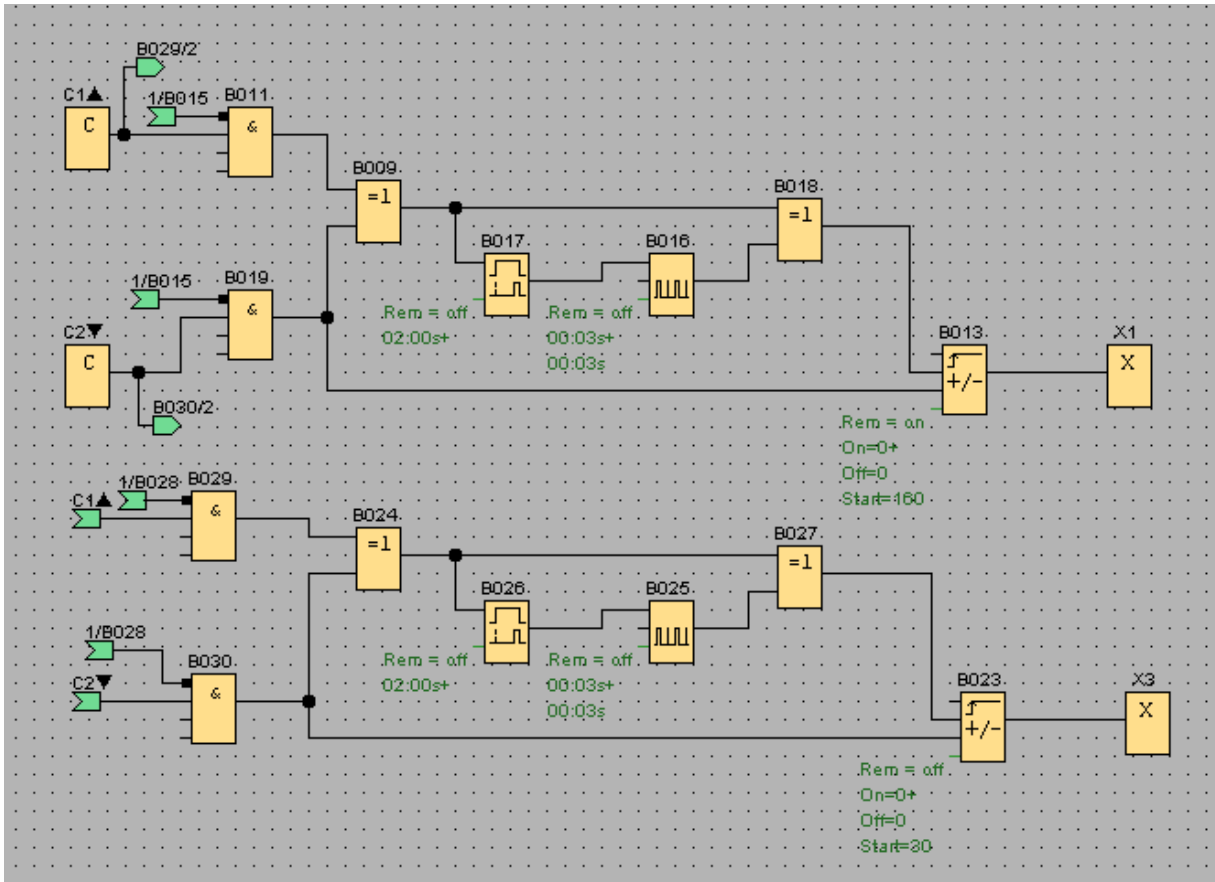
Apéndice B

BLOQUE DE CONTROL DE VARIABLES EN EL PROCESO DE VULCANIZADO



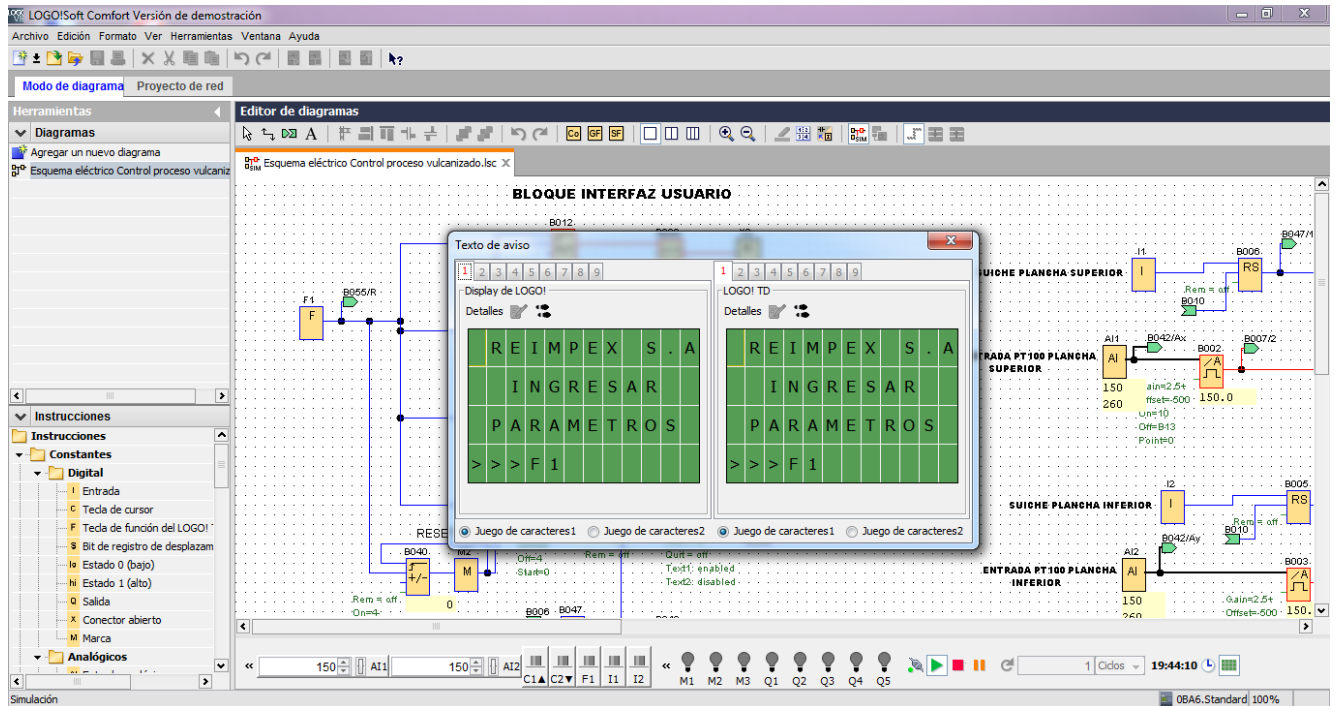
Apéndice C

BLOQUE DE FUNCION DE TECLAS PARA EL AJUSTE DE PARÁMETROS




Apéndice D


PROCESO DE SIMULACIÓN PARA LA VERIFICACIÓN DEL SOFTWARE REALIZADO CON INGRESO DE PARÁMETROS





Apéndice E


CONFIGURACIÓN DEL MENÚ PARA EL PROCESO DE VULCANIZADO

- 

1. Screenshot of the menu configuration. The left panel shows 'REIMPEX S.A' and 'INGRESAR PARAMETROS'. The right panel shows 'REIMPEX S.A' and '>>> F1'.
- 

2. Screenshot of the menu configuration. The left panel shows 'TEMPERATURA' and '160 °C'. The right panel shows 'TEMPERATURA' and '160 °C'.
- 

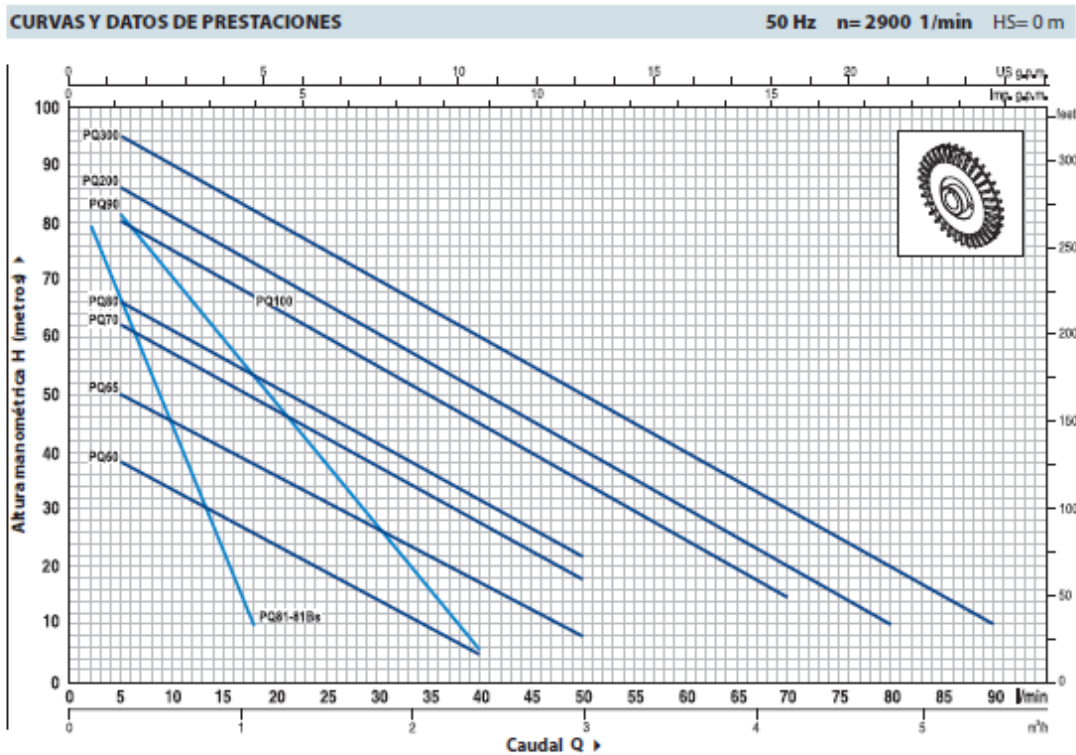
3. Screenshot of the menu configuration. The left panel shows 'TIEMPO DE REGULACION' and '30 SEG'. The right panel shows 'TIEMPO DE REGULACION' and '30 SEG'.
- 

4. Screenshot of the menu configuration. The left panel shows 'PLANCHAS', 'SUP 2.8 °C', 'INF 2.8 °C', and 'SWITCHES ON'. The right panel shows 'PLANCHAS', 'SUP 2.8 °C', 'INF 2.8 °C', and 'SWITCHES ON'.
- 

5. Screenshot of the menu configuration. The left panel shows 'PLANCHAS', 'SUP 150 °C', 'INF 150 °C', and 'EN PROCESO'. The right panel shows 'PLANCHAS', 'SUP 150 °C', 'INF 150 °C', and 'EN PROCESO'.

Apéndice F

CURVAS Y DATOS SOBRE BOMBAS PEDROLLO



MODELO		POTENCIA		Q	Caudal														
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m³/h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4
PQm 60	PQ 60	0.37	0.50	l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	
PQm 65	PQ 65	0.50	0.70	H metros	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5						
PQm 70	PQ 70	0.60	0.85		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8					
PQm 80	PQ 80	0.75	1		65	62	57	52	47	42	37	32	27	18					
PQm 90	PQ 90	0.75	1		70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22					
PQm 100	PQ 100	1.1	1.5		90	82	71	60	49	38	27	17	5						
PQm 200	PQ 200	1.5	2		85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15			
-	PQ 300	2.2	3		90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10		
					100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10	

MODELO		POTENCIA		Q	Caudal									
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m³/h	0	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.96
PQm 81	PQ 81	0.50	0.70	l/min	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
PQm 81-Bs	PQ 81-Bs	0.50	0.70	H metros	90	80	71	63	54	45	37	28	19	10
					90	80	71	63	54	45	37	28	19	10

→ PQ 81 Bs= versión con cuerpo bomba en latón

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 App. A.

Apéndice G.

DISEÑO MECÁNICO PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y RECIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL PROCESO DE VULCANIZADO.

