ADECUACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LOS BANCOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DEL LABORATORIO DE PLANTAS TÉRMICAS

JOEL ENRIQUE RUBIANO ARÉVALO

JAVIER PINZÓN AYALA

JOSÉ ELIÉCER CONTRERAS SERRANO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2004

ADECUACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LOS BANCOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DEL LABORATORIO DE PLANTAS TÉRMICAS

JOEL ENRIQUE RUBIANO ARÉVALO

JAVIER PINZÓN AYALA

JOSÉ ELIÉCER CONTRERAS SERRANO

Memoria de Grado como Requisito Parcial para obtener el Título de Ingeniero Mecánico.

Director
OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2004

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su más sincera gratitud a:

OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA, Ingeniero Mecánico, profesor de la escuela de Ingeniería Mecánica y director de este proyecto. Por su colaboración.

La escuela de Ingeniería Mecánica. Por su cooperación en la construcción del sistema eléctrico y en la adquisición de materiales.

Al personal del taller de ingeniería mecánica. Por su contribución en la construcción de partes primordiales constituyentes del proceso de reestructuración.

A aquellos seres, quienes no valoraron el trabajo y la inversión aportada por los autores, en el desarrollo de esta ardua labor.

...Y a las demás personas que intervinieron en beneficio de nuestra labor.

Al Omnipotente; gracias a Él, he alcanzado mis metas.

A JOSÉ HORACIO RUBIANO y HORTENSIA ARÉVALO; Mis adorados padres, debo a ellos quien soy y lo que he logrado.

A NANCY ELIZABETH y DANIEL HORACIO; Mis hermanos, por su invaluable respaldo.

A mis grandiosas amigas, por su apoyo incondicional.

...Y a mis compañeros, por su gran esfuerzo al concluir esta ardua tarea.

Joel Enrique

A DIOS, por permitir que mi deseo de ser Ingeniero Mecánico se cumpliera.

A mis Padres y hermanos, por su apoyo y valiosa ayuda.

Javier

En la bondad y gracia de DIOS y la Virgen del Carmen, a mis padres; ELSA MARÍA SERRANO Y FERMÍN CONTRERAS, a mis hermanos y a todos los que de alguna u otra forma estuvieron a mi lado durante mi lucha por alcanzar esta meta, les doy gracias de corazón.

José Eliécer

CONTENIDO

		Pág.
INTRODUCCIÓN		1
1.	LABORATORIO DE MAQUINAS TÉRMICAS	6
1.1.	DESCRIPCIÓN	6
1.2	DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO DE LA SECCIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR	7
1.3	DIAGNOSTICO DE LOS BANCOS DE PRUEBAS	8
1.3.1	Banco de conducción transitoria	8
1.3.2	Banco de convección	10
1.3.3	Banco de emisividad superficial	13
1.3.4	Banco de intercambiadores de casco y tubo	14
1.3.5	Sistema de intercambiadores de tubos concéntricos	19
1.3.6	Banco de torre de enfriamiento	22
1.4	EQUIPOS	24
1.4.1	Bombas	24
1.4.2	Líneas de Conducción	26
1.4.2.1	Líneas de Conducción de Agua	27
1.4.2.2	Líneas de Conducción de Vapor	29
1.5	DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO	31

2. ACONDICIONAMIENTO DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO 34

2.1 DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO DE LA SECCIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR 34

2.2 ACONDICIONAMIENTO DE LOS BANCOS DE PRUEBAS 35

2.2.1 Banco de conducción transitoria 35

2.2.2 Banco de convección 36

2.2.3 Banco de emisividad superficial 38

2.2.4 Banco de intercambiadores de casco y tubo 38

2.2.5 Banco de intercambiador de tubos concéntricos 41

2.2.6 Banco de torre de enfriamiento 43

2.3 SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DEL LABORATORIO 43

2.3.1 Sistema de control de potencia y suministro de energía eléctrica 43

2.3.2 Sistema de monitoreo 44

2.4 INSTALACIONES DEL LABORATORIO 45

2.5 SEÑALIZACIÓN 47

2.5.1 Redes de tubería 47

2.5.2 Sistemas de control 48

2.5.3 Bancos de experimentación 49

3. DISEÑO DE LA RED HIDRÁULICA Y DE VAPOR 52

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO 52

3.1.1 Tubería de suministro 54

3.1.1.1 Línea de succión 55

3.1.1.2 Línea de descarga 56

3.1.2 Tubería de drenaje 57

3.1.3 Tubería de circulación 58

3.2 ANÁLISIS DE PERDIDAS DE CARGA DEL SISTEMA HIDRÁULICO 59
3.2.1 Perdidas de carga en los equipos 59

3.2.2 Perdidas de carga del sistema hidráulico 64

3.2.2.1 Circuitos para las bombas de la tubería de suministro 64

3.2.2.2 Circuito para la bomba de la tubería de circulación 68

3.3 SELECCIÓN DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS 71

3.3.1 Bombas centrífugas para la tubería de suministro 71

3.3.2 Bomba centrífuga para la tubería de circulación 75

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL TANQUE COLECTOR 76

3.5 ADECUACIÓN DE LA RED DE CONDUCCIÓN DE VAPOR 78

4. CONCLUSIONES 80

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83

ANEXOS 84

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Diagnóstico Banco de conducción transitoria 10

Tabla 2. Diagnóstico banco de convección 13

Tabla 3. Diagnóstico banco de emisividad superficial 14

Tabla 4. Especificaciones del Condensador 16

Tabla 5. Especificaciones del Intercambiador 1 16

Tabla 6. Especificaciones del Intercambiador 2 16

Tabla 7. Especificaciones del Intercambiador 3 17

Tabla 8. Diagnóstico banco de intercambiadores de casco y tubos 18

Tabla 9. Diagnóstico banco de Intercambiadores de tubos concéntricos 22

Tabla 10. Diagnostico banco torre de enfriamiento 24

Tabla 11. Especificaciones del motor para las bombas 25

Tabla 12. Diagnóstico del banco de bombas de alimentación de los intercambiadores 26

Tabla 13. Caudal suministrado por las bombas centrífugas 26

Tabla 14. Caudal suministrado por las bombas centrífugas 29

Tabla 15. Estado de la tubería de conducción de vapor 31

Tabla 16. Pérdidas en el banco de Tubos Concéntricos 61

Tabla 17. Pérdidas en el Banco de Casco y Tubos a diferentes caudales 61

Tabla 18. Perdidas de carga para el circuito de la bomba 1 66

Tabla 19. Perdidas de carga para el circuito de la bomba 2 67

Tabla 20. Perdidas de carga en la red de circulación 70

Tabla 21. Especificaciones de las bombas 1 y 2 72

Tabla 22. Especificaciones de la bomba 3. 76

Tabla 23. Coeficientes de perdidas menores k para entradas de tuberías. 92

Tabla 24. Coeficientes de perdidas K para contracciones graduales: ductos redondos y rectangulares. 93

Tabla 25. Longitudes equivalentes adimensionales para válvulas y accesorios. 94

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Ubicación del Laboratorio de Máquinas Térmicas 6

Figura 2. Ubicación de los bancos de pruebas dentro de la sección de transferencia de calor 7

Figura 3. Banco de conducción transitoria 9

Figura 4. Esquema del banco de conducción transitoria 9

Figura 5. Estado del Banco de convección 10

Figura 6. Esquema del banco de convección 11

Figura 7. Estado del Banco de emisividad superficial 14

Figura 8. Estado del Banco de intercambiadores de casco y tubos 15

Figura 9. Geometría del sistema 15

Figura 10. Representación gráfica de banco de intercambiadores de casco y tubos 17

Figura 11. Estado del Sistema de intercambiadores de tubos Concéntricos 19

Figura 12. Geometría del condensador 20

Figura 13. Geometría de los calentadores 20

Figura 14. Haz de tubos concéntricos 21

Figura 15. Esquema del Intercambiador de tubos concéntricos 21

Figura 16. Estado del Banco torre de enfriamiento 23

Figura 17. Esquema del banco torre de enfriamiento 23

Figura 18. Rejillas metálicas en los canales del laboratorio 24

Figura 19. Estado de las Bombas centrífugas 25

Figura 20. Tuberías de conducción y bancos de pruebas 27

Figura 21. Tubería de conducción de agua (tubería color verde) 28

Figura 22. Estado de la Tubería de vapor 29

Figura 23. Trampa de vapor 30

Figura 24. Panel de control de suministro eléctrico (Tacos) 32

Figura 25. Panel de control para las bombas 32

Figura 26. Panel selector de termocúplas 33

Figura 27. Panel para el banco de condensado (variador de velocidad) 33

Figura 28. Localización de los bancos de pruebas dentro de la sección de transferencia de calor 34

Figura 29. Distribución de los bancos de emisividad superficial y de intercambiadores de tubos concéntricos 35

Figura 30. Banco de conducción transitoria 36

Figura 31. Banco de convección 37

Figura 32. Representación gráfica del Banco de convección 37

Figura 33. Banco de emisividad superficial 38

Figura 34. Banco de intercambiadores de casco y tubos 39

Figura 35. Representación gráfica del Banco de intercambiadores de casco y tubos 40

Figura 36. Banco de intercambiadores de tubos concéntricos 42

Figura 37. Representación gráfica del Banco de intercambiadores de tubos concéntricos 42

Figura 38. Cofre del sistema de control de potencia y suministro de energía eléctrica 44

Figura 39. Cofre del sistema de monitoreo 45

Figura 40. red de Canales 45

Figura 41. Canales secundarios 46

Figura 42. Caja auxiliar para suministro de vapor y agua 46

Figura 43. Señalización sobre el tanque colector 47

Figura 44. Rótulos del sistema de control de potencia y suministro de energía eléctrica 48

Figura 45. Rótulos del sistema de monitoreo 48

Figura 46. Señalización sobre el banco de intercambiadores de casco y tubos 49

Figura 47. Señalización sobre el banco de intercambiadores tubos concéntricos 50

Figura 48. Señalización sobre el banco emisividad superficial 50

Figura 49. Señalización sobre el banco convección 51

Figura 50. Vista en planta de la localización de los equipos del laboratorio de transferencia de calor 53

Figura 51. Diagrama de la red de suministro de agua 55

Figura 52. Tubería de drenaje 58

Figura 53. Tubería de circulación 58

Figura 54. Máximo requerimiento: Tubería de suministro 62

Figura 55. Máximo requerimiento: Tuberías de drenaje 63

Figura 56. Circuitos hidráulicos de mayor requerimiento para cada bomba centrífuga 64

Figura 57. Tubería de circulación 68

Figura 58. Red de tuberías de circulación 70

Figura 59. Curvas de los circuitos hidráulicos1 y 2 y de las bombas centrífugas disponibles 71

Figura 60. Bombas centrífugas en la red de suministro 72

Figura 61. Especificaciones de bombas centrífugas 73

Figura 62. Especificaciones de bombas centrífugas 74

Figura 63. Curvas del circuito hidráulico 3 y de las bombas centrífugas posibles 75

Figura 64. Bomba centrífuga de la red de circulación 76

Figura 65. Tanque colector 78

Figura 66. Red de conducción de vapor 79

Figura 67. Tanque colector de condensado 79

Figura 68. Líneas de Energía. 85

Figura 69. Evolución del perfil de velocidad en un ducto. 86

Figura 70. Rugosidad relativa para tuberías de materiales comunes en ingeniería. 89

Figura 71. Factor de fricción para flujos completamente desarrollados en ductos circulares. 90

Figura 72. Coeficientes de perdidas K para flujos a través de cambios súbitos de área. 93

Figura 73. Energía del sistema en los puntos de instalación de la bomba centrífuga. 98

Figura 74. Curvas características típicas para bombas centrífugas a velocidad constante. 98

Figura 75. intercambiador de una sola corriente, con cambio de fase 102

Figura 76. intercambiador de dos corrientes en flujo unidireccional, sin cambio fase 103

Figura 77. Intercambiador de dos corrientes en contra-flujo, sin cambio de fase 104

Figura 78. Intercambiador de dos corrientes en flujo cruzado. 104

Figura 79. Intercambiador de dos corrientes en contra-flujo cruzado. 105

Figura 80. Intercambiador de dos corrientes a pasos múltiples. 106

Figura 81. Intercambiador de casco y tubos: un paso por casco y dos pasos por tubos. 107

Figura 82. Intercambiador de doble tubo o tubo concéntrico. 108

Figura 83. Clasificación y Designación de Intercambiadores según TEMA. 110

Figura 84. Partes de un intercambiador de casco y tubos. 111

Figura 85. Arreglos de tubos mas utilizados. 112

Figura 86. Tipos de bafle. 113

LISTA DE PLANOS

Plano 1. Distribución en planta de la sección de transferencia de calor.

Plano 2. Red de tuberías de suministro

Plano 3. Red de tuberías de drenaje

Plano 4. Red de tuberías de circulación

Plano 5. Red de conducción de vapor

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Sistemas hidráulicos. 84

Anexo B. Selección de Bombas y Motores. 96

Anexo C. Intercambiadores de Calor. 102

INTRODUCCIÓN

La Escuela de Ingeniería Mecánica; adscrita a la Universidad Industrial de Santander, posee varios laboratorios que cuentan con herramientas y equipos, necesarios para contribuir con la labor de enseñanza de los conocimientos básicos de ingeniería, imprescindible en la formación técnica. Uno de ellos; el laboratorio de plantas térmicas, cuenta con varias secciones que poseen equipos y bancos de experimentación en la rama térmica de vital importancia en el desarrollo ingenieril.

Durante la ejecución de las practicas de laboratorio se presentan algunas anomalías que repercuten en forma negativa en el desarrollo de dichas prácticas en aspectos relacionados con:

- Confiabilidad en los resultados o datos obtenidos en las pruebas.

- Operatividad de los equipos o bancos de prueba.

- Análisis de resultados en la comparación de conceptos teóricos con los resultados prácticos.

En la continua realización de las experiencias del laboratorio correspondiente a la asignatura de transferencia de calor aplicada, se han venido observando una serie de falencias en el sistema hidráulico, las cuales son:

- Existe dificultad en el cebado de cada una de las bombas, debido a que el banco de bombas se encuentra por encima del nivel del tanque de suministro y por tal razón es necesario realizar la operación de cebado manualmente.
- Se presentan fugas por fallas en los sellos de las bombas.

- Las bombas de diferentes capacidades se hallan succionando de una misma línea; en estas condiciones y con ambas bombas en funcionamiento, la de mayor capacidad descompensa a la otra.

- No se dispone de sistemas de control y regulación de flujo para cada banco de bombas.

- Las líneas de succión y descarga de las bombas se encuentran corroídas y la película de pintura que las identifica se encuentra deteriorada.

- Los controles de protección y accionamiento eléctrico de la bomba centrífuga No 2 se hallan en pésimas condiciones.

También se observan fallas en las redes de conducción de vapor y en la organización y estado de los equipos, las cuales son:

- En las líneas de vapor, se observa que el aislante se encuentra en mal estado.

- La distribución inadecuada de los bancos de pruebas dificulta el acceso al operario para la realización de las practicas. A su vez se presentan fugas en algunos bancos debido al deterioro de sus sellos.

- Los tableros de accionamiento eléctrico de los equipos se encuentran en malas condiciones.

- Equipos como el banco de convección y el de intercambiadores de tubos concéntricos trabajando en malas condiciones.

- La erradicación de los problemas hidráulicos tanto en las líneas hidráulicas como en los equipos conllevara a la mejora de la ejecución y análisis de las practicas del laboratorio.

Este trabajo de grado denominado: “ADECUACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LOS BANCOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DEL LABORATORIO DE PLANTAS TÉRMICAS” tiene por objetivo optimizar el sistema hidráulico, así como, realizar el correspondiente mantenimiento para los equipos requeridos en la comprobación experimental de fenómenos de transferencia de calor, como consecuencia de una diferencia de temperaturas existente entre diferentes medios.

Este trabajo también busca reducir el área ocupada por los equipos de experimentación y monitoreo, con el fin de conceder espacio a futuras instalaciones de nuevos equipos, así como, permitir el cómodo acceso a los operarios de los equipos en la ejecución de los diversos procesos incluidos dentro cada practica experimental de la sección de transferencia de calor.

Con el fin de mejorar el funcionamiento del conjunto de bancos de transferencia de calor se ha de realizar modificaciones:

- Rediseñar el trazado de la tubería de suministro y descarga de agua y vapor para los bancos de intercambiadores de calor.

- Implementar el sistema de medición de temperatura y presión sobre las líneas hidráulicas para los bancos de pruebas.

- Redistribución de la localización los bancos de intercambiadores de calor del laboratorio de Plantas Térmicas, para mejorar las condiciones de trabajo requeridas en las experiencias a realizar en cada banco.

- La reparación de los equipos o bancos de experimentación.

- Diseñar y construir el sistema de protección y suministro eléctrico del sistema de bombas para garantizar el correcto funcionamiento.

- Diseñar y construir el panel de control de potencia para el sistema de bombeo, con el propósito de monitorear y controlar el funcionamiento del sistema hidráulico.

- Rotular e identificar los diferentes componentes del sistema de suministro y las líneas de la red hidráulica.

- Revisar y/o reformar el protocolo de los bancos de intercambiadores de calor, con el fin de acondicionarlos al sistema hidráulico de suministro de agua.

Este texto se conforma de tres grandes secciones; necesarias para la comprensión de los procesos desarrollados dentro de la reforma en el laboratorio de plantas térmicas.

El primer capítulo, describe la organización actual de los equipos así como el diagnóstico de las líneas hidráulicas de suministro y de circulación y también el estado de cada banco de pruebas perteneciente a la sección de transferencia de calor, los cuales necesiten de fuentes de flujos de agua o vapor para su operación.

El segundo capítulo describe el proceso de diseño de la red hidráulica para el suministro y descarga de agua para los bancos de pruebas, así como las reformas ejecutadas sobre las diferentes líneas de conducción de agua o vapor.

El tercer capítulo enumera las modificaciones realizadas para cada banco de pruebas, sistemas de control y monitoreo, así como reformas en la localidad del laboratorio.

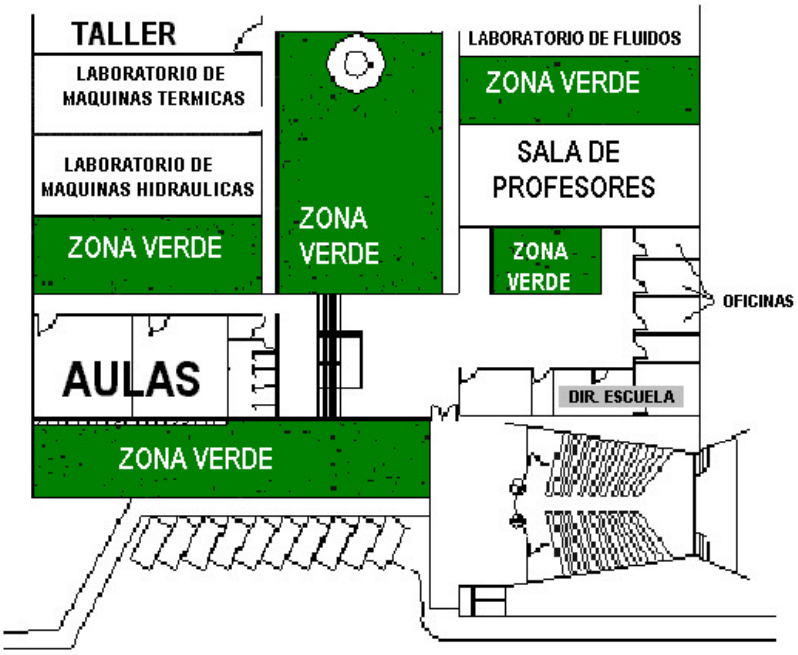
Adicionalmente, se han anexado bases teóricas para la realización de cálculos hidráulicos, así como la descripción de sistemas de intercambio de calor.

1. LABORATORIO DE MAQUINAS TÉRMICAS

1.1. DESCRIPCIÓN

El laboratorio de máquina térmicas se encuentra localizado dentro de la facultad de ingeniería mecánica según se aprecia en la Figura 1.

Figura 1. Ubicación del Laboratorio de Máquinas Térmicas



El laboratorio de máquina térmicas cuenta con un área total de (26.5x7.2) m^2. Este espacio se encuentra distribuido en las siguientes secciones:

- Aire acondicionado y refrigeración: área útil de 7.2 x 8 m^2.
- Plantas térmicas: área útil de 7.2 x 8.1 m^2.
- Transferencia de calor: área útil de 7.2 x 10.4 $m^{2.}$.

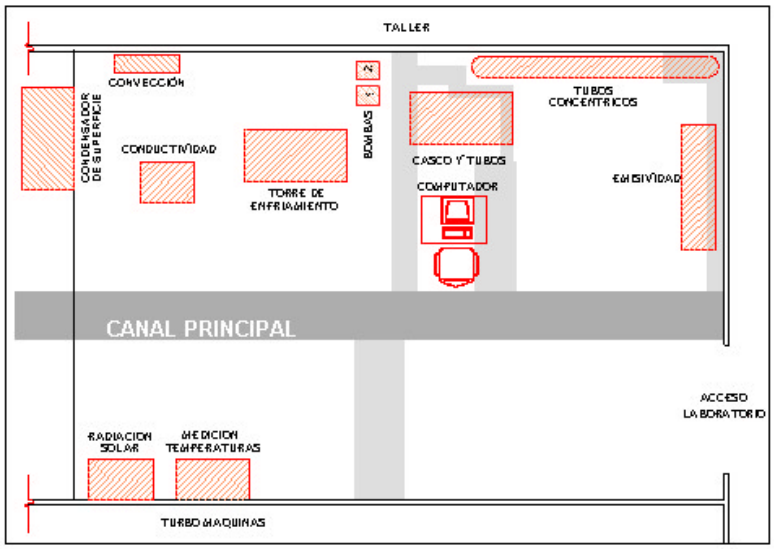
1.2 DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO DE LA SECCIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR

En la sección de transferencia de calor cuenta con los siguientes bancos:

- Banco de conducción transitoria (móvil).
- Banco de emisividad superficial (anclado a la pared).
- Banco para la medición de temperaturas (móvil).
- Banco de torre de enfriamiento (móvil).
- Banco de intercambiadores de tubos concéntricos (anclado al piso).
- Banco de intercambiadores de casco y tubos (anclado al piso).
- Banco de convección (anclado a la pared).
- Banco de radiación solar (móvil).

La posición que ocupa cada banco dentro de la sección de transferencia de calor puede verse en la figura 2.

Figura 2. Ubicación de los bancos de pruebas dentro de la sección de transferencia de calor.



Como se observa en el diagrama anterior, la ubicación de los equipos se encuentra muy próxima; como es el caso del banco de intercambiadores de casco y tubos con las bombas centrífugas o con el banco de intercambiadores de tubos concéntricos así como también entre las bombas centrífugas con el banco de torre de enfriamiento.

La poca distancia presente entre los bancos impide el cómodo acceso de los operarios a los equipos.

1.3 DIAGNOSTICO DE LOS BANCOS DE PRUEBAS

De los bancos anteriormente mencionados; a continuación, se presentará el estado de cada uno de aquellos que estén incluidos dentro de la reforma hidráulica y los cuales son:

- Banco de conducción transitoria.
- Banco de convección.
- Banco de emisividad superficial.
- Banco de intercambiadores de casco y tubos.
- Banco de intercambiador de tubos concéntricos.
- Banco de torre de enfriamiento.

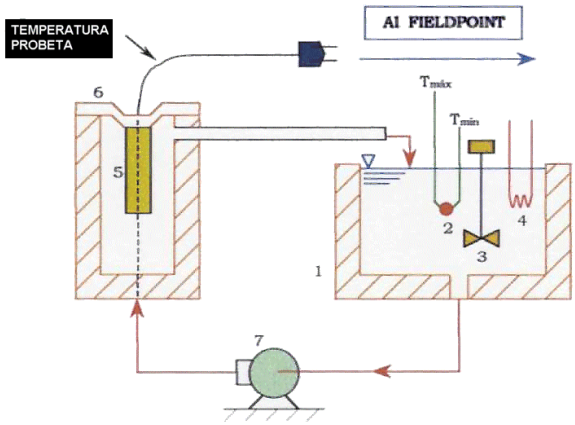
1.3.1 Banco de conducción transitoria. Este banco fue adquirido por la universidad, es de marca TAMSON de procedencia Norte Americana, consta de 2 probetas cilíndricas una de acero y otra de bronce cada una con una termocúpla incorporada.

Adicionalmente cuenta con una estructura metálica y los depósitos correspondientes en acero inoxidable, véase figura 3.

Figura 3. Estado del Banco de conducción transitoria

En este equipo se efectuaron modificaciones para mejorar su funcionamiento, como la fabricación de un tanque adicional donde se colocan las probetas, así como también se implementó la conexión al sistema de adquisición de datos. En la figura 4 se observa su esquema.

Figura 4. Esquema del banco de conducción transitoria.



1. CAMARA DE CIRCULACIÓN
2. TERMOSTATO
3. AGITADOR
4. CALENTADOR (RESISTENCIA ELÉCTRICA)
5. PROBETA
6. PLATINA
7. BOMBA DE CAUDAL VARIABLE

En la tabla 1 se muestra la condición de los diferentes elementos que conforman este equipo sujetos a cambios o reparación.

Tabla 1. Diagnóstico Banco de conducción transitoria.

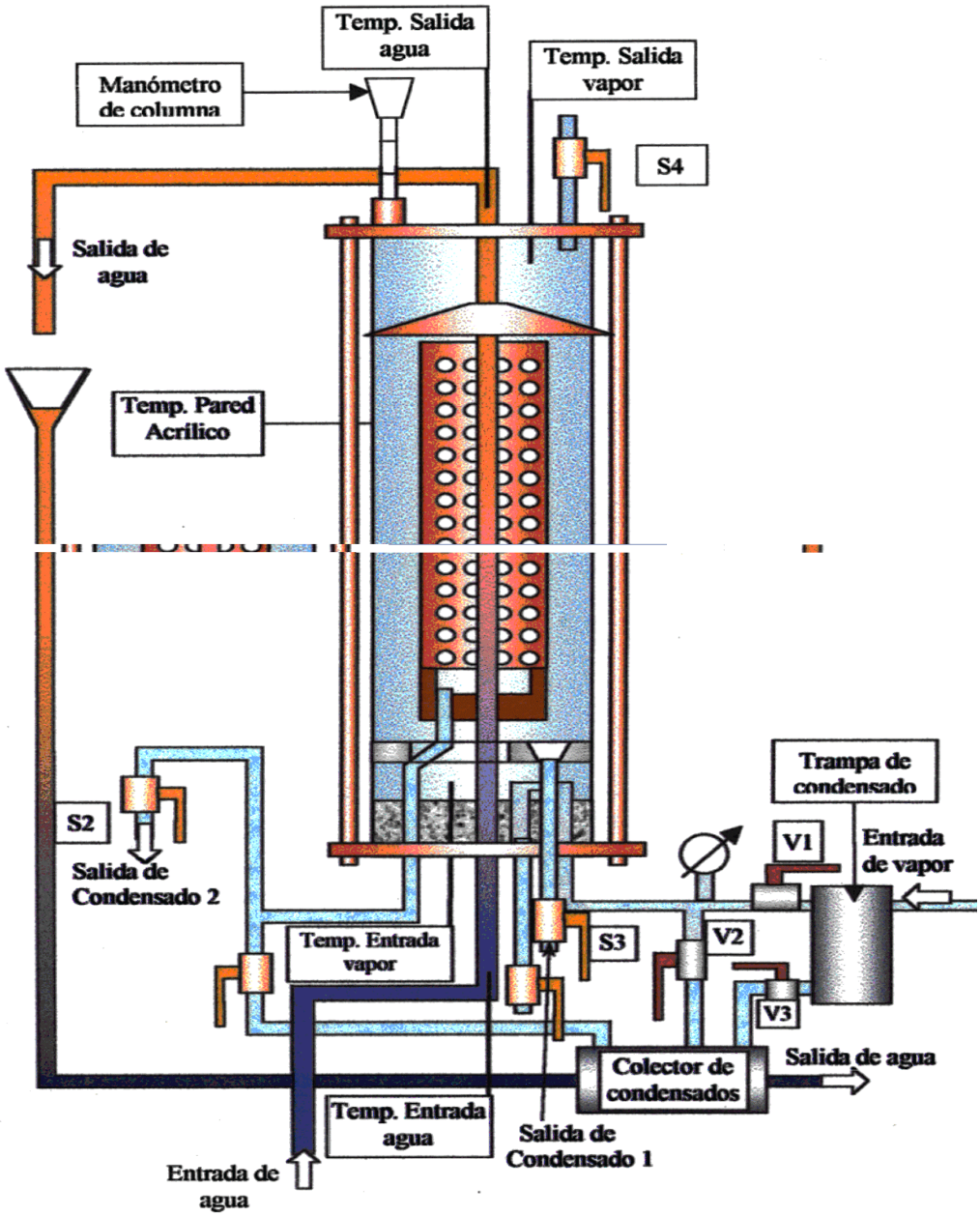
BANCO DE CONDUCCIÓN TRANSITORIA		
ELEMENTO	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Bomba centrífuga variable	Mal estado	No funciona el regulador de caudal en rangos inferiores a 4 GPM.
Conexiones eléctricas	En mal estado.	La conexión eléctrica se encuentra en mal estado.

1.3.2 Banco de convección. El Banco para pruebas de Convección marca Tecnovate es un modelo 9054, sistema para convección libre y forzada, ha sido diseñado para permitir el estudio y la experimentación de los fundamentos básicos de los procesos de transferencia de calor por convección, véase figura 5.

Figura 5. Estado del Banco de convección.

Los diferentes elementos que lo componen se encuentran montados en un tablero anclado a la pared. Consta de un cilindro transparente y en su interior tiene un tubo en bronce rodeado por una lámina perforada. El cilindro es alimentado por vapor, véase figura 6.

Figura 6. Esquema del banco de convección.



El vapor, entra por la base y es descargado dentro de la cámara de prueba verticalmente hacia abajo a través de una curvatura en U que se le hace a la tubería de entrada, dentro de un colchón de viruta de acero inoxidable.

Este colchón de viruta distribuye el vapor que sale uniformemente a través de la cámara de prueba y sirve para atrapar el posible condensado que venga con el vapor entrante.

Un manómetro es localizado sobre la línea de entrada del vapor después de la válvula de estrangulamiento.

Un respiradero (ventana para salida del vapor) y un manómetro (Sello líquido) están ubicados sobre la tapa superior de la cámara de prueba.

Esto permite controlar los rangos de operación dentro de la cámara de prueba desde presión atmosférica (respiradero abierto) hasta 10" de agua por encima de la atmosférica.

Posee un recipiente para el condensado ubicado sobre un soporte de madera, debajo y a la izquierda de la cámara de prueba.

El condensado que se forme sobre el tubo de cobre y se deslice hacia abajo, será recogido en la base de la sección de prueba y llevado a una rata constante al recipiente para condensado.

En la tabla 2 se encuentra la condición en que se encuentran los diferentes elementos del equipo sujetos a modificaciones.

Tabla 2. Diagnóstico banco de convección

BANCO DE CONVECCIÓN		
ELEMENTO	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Soporte	Mal estado	Como está fabricado en madera, tiene secciones mohosas debido a la humedad a la cual está expuesta.
Cilindro de acrílico	Mal estado	Se encuentra quebrado.
Colector de condensado	Mal estado	Presenta grietas. Sus paredes están cristalizadas.
Termocúplas	Funciona correctamente	Las conexiones no son adecuadas.
Tubería de vapor	Mal estado	Presenta fugas en sus accesorios.
Tubería de agua	Mal estado	No presenta facilidades para permitir aforar.
Manómetro de columna	Mal estado	No funciona adecuadamente. Constituye un riesgo para el operario ya que es inestable, y puede quemar la persona cercana con su contenido.
Sellos	Mal estado	Dejan escapar el vapor y el condensado.

1.3.3 Banco de emisividad superficial. Este banco es uno de los más sencillos, consta de dos tubos geométricamente iguales, pero con diferente acabado superficial.

Los dos tubos están unidos en uno de sus extremos a una fuente de vapor, el otro extremo está abierto. Presenta una cubierta metálica de protección y aislamiento, véase figura 7.

Figura 7. Estado del Banco de emisividad superficial

En la tabla 3 se encuentra la condición actual de los diferentes elementos del banco sujetos a modificación.

Tabla 3. Diagnóstico banco de emisividad superficial.

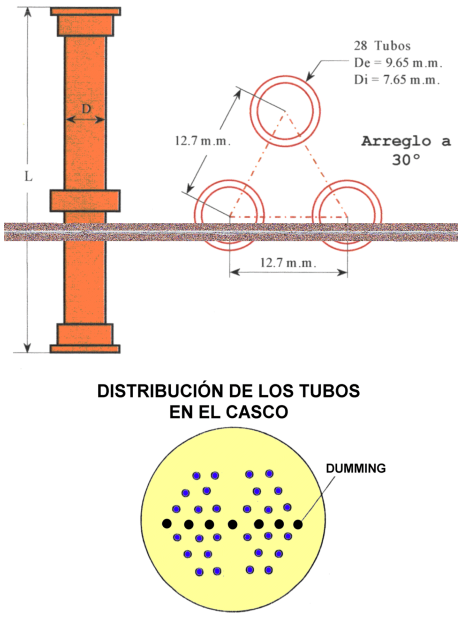
BANCO DE EMISIVIDAD SUPERFICIAL		
ELEMENTO	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Película de pintura para el tubo opaco.	Regular estado	En algunas secciones del tubo no está presente.
Conexiones eléctricas	No adecuadas para uso permanente	Empalmes provisionales.
Alimentación de vapor	En regular estado.	Hecha en manguera y la trampa de liquido desvía también el vapor.
Soporte metálico	En mal estado.	Presenta oxidación.

1.3.4 Banco de intercambiadores de casco y tubo. Este sistema lo conforman un condensador y tres calentadores de casco y tubo. En la figura 8. Se muestra el montaje de este sistema se pueden observar el sentido del líquido enfriante que circula por el condensador, la disposición para la entrada de vapor, lo mismo que la conexión con los calentadores.

Figura 8. Estado del Banco de intercambiadores de casco y tubos

La zona de calentadores cuenta con seis válvulas de bola ubicadas dos por calentador, dispuestas una por una entrada de las secciones lado casco y lado tubo. Estas válvulas permiten el control del flujo que entra a cada calentador y la independización de cualquiera de ellos del resto del sistema, ya sea para estudio o cuando se requiera de un desmontaje. La figura 9 describe la geometría del sistema.

Figura 9. Geometría del sistema.



A continuación se da una información más detallada del condensador y de los intercambiadores en las tablas 4, 5, 6 y 7, mientras que en la figura 10 se observa la representación gráfica del banco de intercambiadores de casco y tubos, así como la ubicación de las termocúplas utilizadas (designadas por la letra T seguida de un número.).

Tabla 4. Especificaciones del Condensador

NÚMERO DE TUBOS	NÚMERO DE PASOS	ARREGLO	NÚMERO DE BAFLES	P/D	L (MM)	D (MM)
28	4	Triangular. 30°	2	1. 32	980	108

Tabla 5. Especificaciones del Intercambiador 1.

NÚMERO DE TUBOS	NÚMERO DE PASOS	ARREGLO	NÚMERO DE SOPORTES	TIPO DE BAFLE	ESPACIO ENTRE BAFLES (MM)	P/D	L (MM)	D (MM)
28	4	Triangular 30 °	17	Segmentado 25%	47. 94	1. 32	980	108

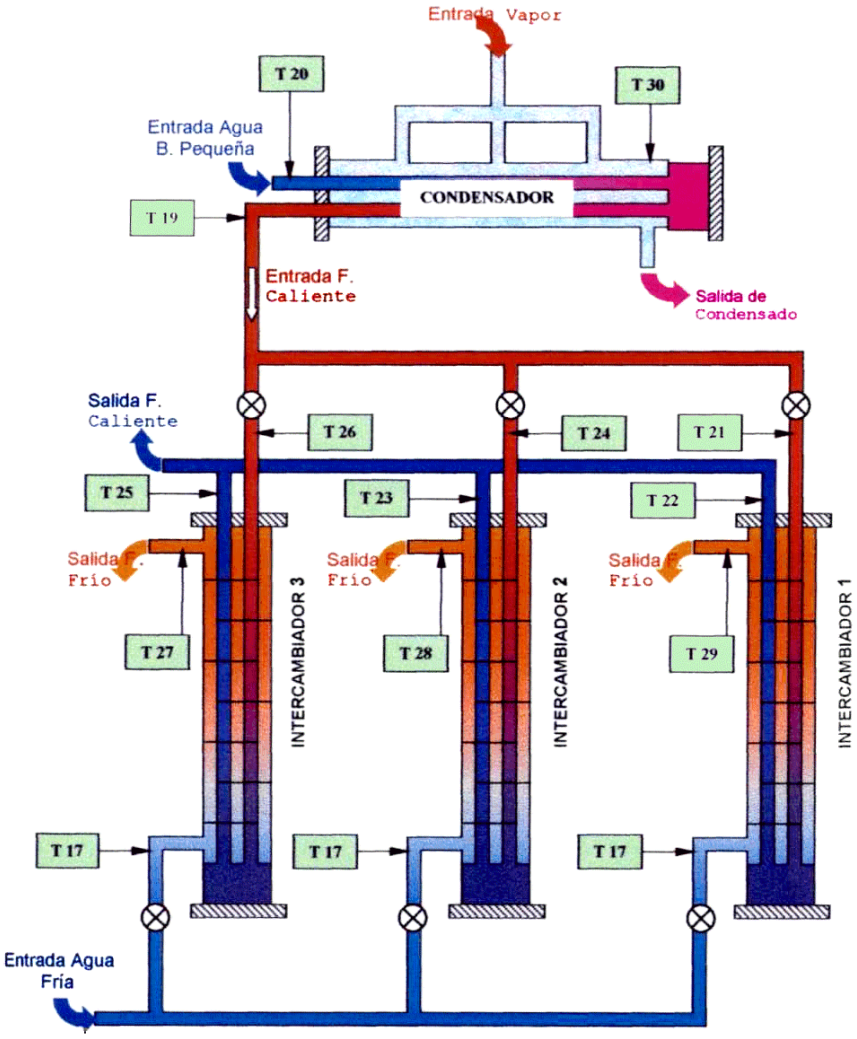
Tabla 6. Especificaciones del Intercambiador 2.

NÚMERO DE TUBOS	NÚMERO DE PASOS	ARREGLO	NÚMERO DE SOPORTES	TIPO DE BAFLE	ESPACIO ENTRE BAFLES (MM)	P/ D	L (MM)	D (MM)
28	4	Triangular 30 °	33	Segmentado 25%	21. 64	1. 32	879	108

Tabla 7. Especificaciones del Intercambiador .

NÚMERO DE TUBOS	NÚMERO DE PASOS	ARREGLO	NÚMERO DE SOPORTES	TIPO DE BAFLE	ESPACIO ENTRE BAFLES (MM)	P/D	L (MM)	D (MM)
28	4	Triangular 30 °	11	Segmentado 25%	19. 55	1. 32	980	108

Figura 10. Representación gráfica de banco de intercambiadores de casco y tubos.



Este banco también posee manómetros, los cuales permiten registrar los valores de presión del vapor a la entrada así como las presiones en las líneas de entrada y salida del agua.

Para el control del flujo del agua en el calentador se encuentra un flujómetro, ubicado a la salida de la bomba de suministro. En el funcionamiento de calentadores se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

En la línea de alimentación de vapor está instalada una válvula proporcional para controlar el flujo de vapor. La tubería de conexión entre los intercambiadores es en cobre y se encuentra en buen estado. Cada uno de los intercambiadores está recubierto con fibra de vidrio y lámina de aluminio que funciona como aislante térmico. En la tabla 8 se encuentra el estado de los diferentes elementos que conforman este banco.

Tabla 8. Diagnóstico banco de intercambiadores de casco y tubos.

INTERCAMBIADOR DE CASCO Y TUBOS		
ELEMENTO	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Condensador	En buen estado El aislamiento esta en mal estado.	No presenta fugas.
Calentador 1	Fuera de servicio El aislamiento esta en mal estado.	Presenta fugas.
Calentador 2	En buen estado. El Aislamiento en mal estado	No presenta fugas.
Calentador 3	En buen estado. El Aislamiento en mal estado	No presenta fugas.
Válvulas	Mal estado.	Presentan fugas.
Conexiones termocúplas	En malas condiciones.	No son adecuadas.
Colector de condensado	Mal estado	Es un recipiente provisional.

1.3.5 Sistema de intercambiadores de tubos concéntricos. Posee ocho haces de tubos comunicados entre sí por codos de 90° con bridas en sus extremos. La estructura metálica de soporte se encuentra en buen estado. El equipo se observa en la figura 11, así como la distribución actual de los haces de tubos para el banco.

Figura 11. Estado del Sistema de intercambiadores de tubos concéntricos

El primer conjunto de haces (los tres superiores) conforma el condensador liquido-vapor, mientras que los restantes cinco haces son los calentadores liquido-liquido en contra-corriente donde se realizaran las pruebas. En las figuras 12, 13 y 14 se observan las dimensiones de los tubos y la constitución un haz de tubos concéntricos. Todos los haces de tubos esta recubiertos con fibra de vidrio y lámina de aluminio.

El fluido de trabajo en los calentadores de calor es agua. El montaje de la línea de vapor permite que este pueda ser suministrado al condensador por la caldera del laboratorio de plantas térmicas o por la caldera ubicada en el salón 107 del Edificio de Ingeniería Mecánica

En el *circuito de agua caliente*; el agua circula por la tubería interna y entra al condensador; donde es calentado por el vapor que pasa a través del ducto

anular de los haces de tubería del condensador, luego pasa a través del calentador y es descargado a una tubería principal que recoge todos los fluidos de los bancos y los conduce hasta la torre de enfriamiento localizada fuera del laboratorio.

En el *circuito de agua fría,* el liquido fluye a través del ducto anular de los calentadores y por medio del flujo de agua caliente de la tubería interna es calentado, para luego ser descargado a una tubería principal que recoge todos los fluidos de los bancos y los conduce hasta la torre de enfriamiento localizada fuera del laboratorio.

Figura 12. Geometría del condensador.

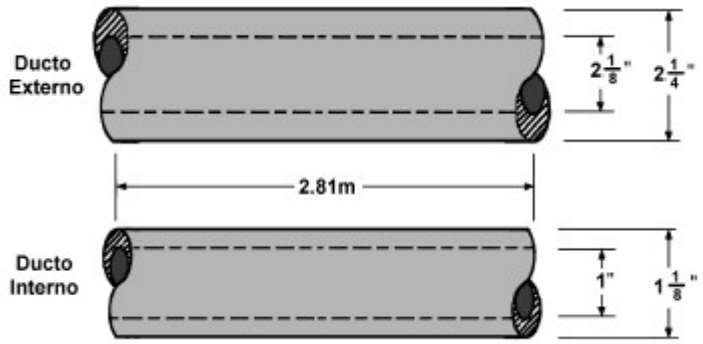


Figura 13. Geometría de los calentadores.

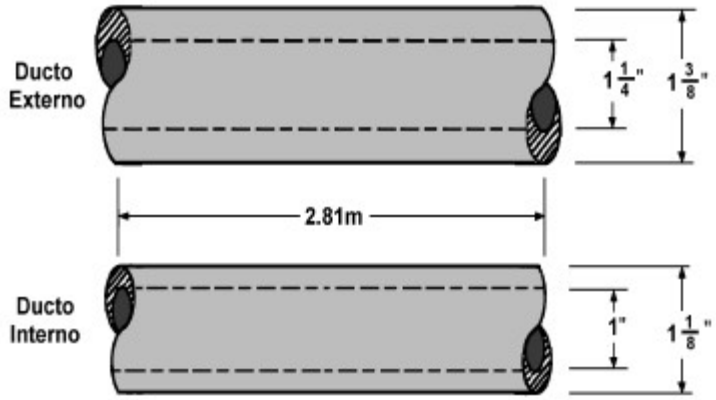
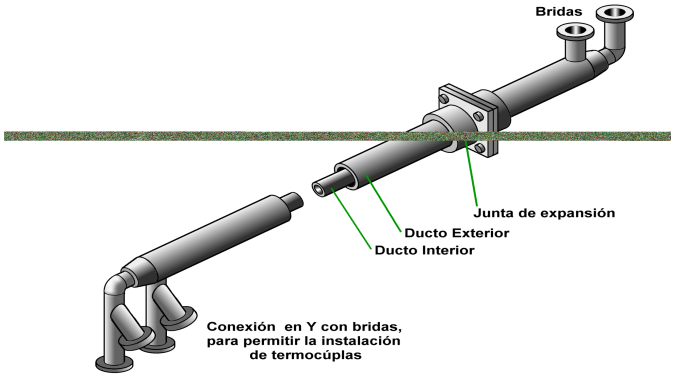
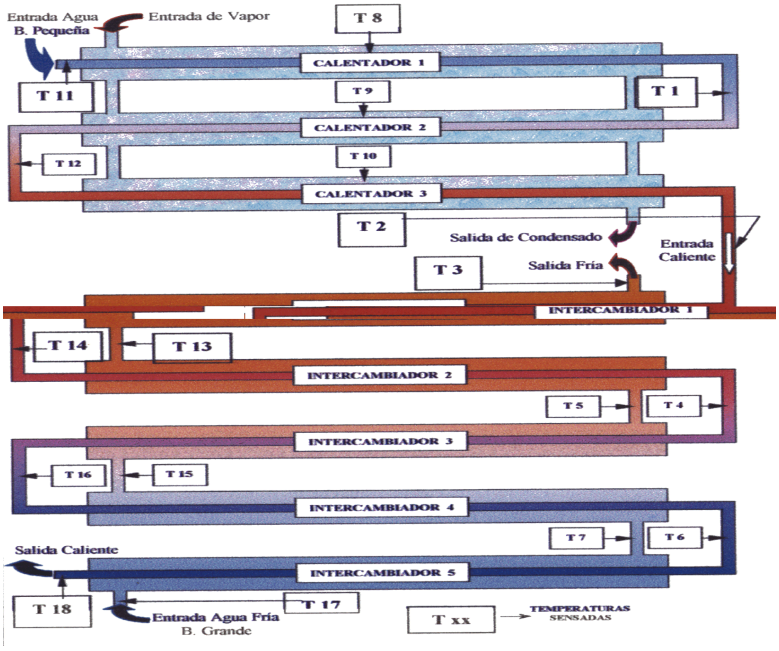


Figura 14. Haz de tubos concéntricos.



Se utilizan 18 termocúplas tipo J roscadas para censar la temperatura del agua caliente a la entrada y salida de cada calentador y del condensador. Por medio de manómetros se registra la presión a la salida de la zona de los intercambiadores. El flujo volumétrico es medido a través del flujómetro, ubicado a la salida de la bomba del circuito de agua fría. El esquema representativo del banco así como las termocúplas utilizadas (designadas por la letra T seguida de un número) se observa en la figura 15.

Figura 15 Esquema del Intercambiador de tubos concéntricos.



El estado del banco de tubos concéntricos se encuentra en la tabla 9.

Tabla 9. Diagnóstico banco de Intercambiadores de tubos concéntricos.

BANCO INTERCAMBIADORES DE TUBOS CONCÉNTRICOS		
ELEMENTO	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Manómetro	Dañado	Ubicado entrada de vapor antes del regulador
Condensador	El aislamiento en mal estado.	Las láminas rotas en algunos tramos. El aislante se encuentra cristalizado
Calentador	Presenta obstrucción en el espacio anular de uno de sus haces de tubos. El aislamiento en mal estado	
Conexiones eléctricas	No son las adecuadas.	Conexiones de las termocúplas al tablero.
Sellos de los haces de tubos	Mal estado	Algunos presentan fugas.

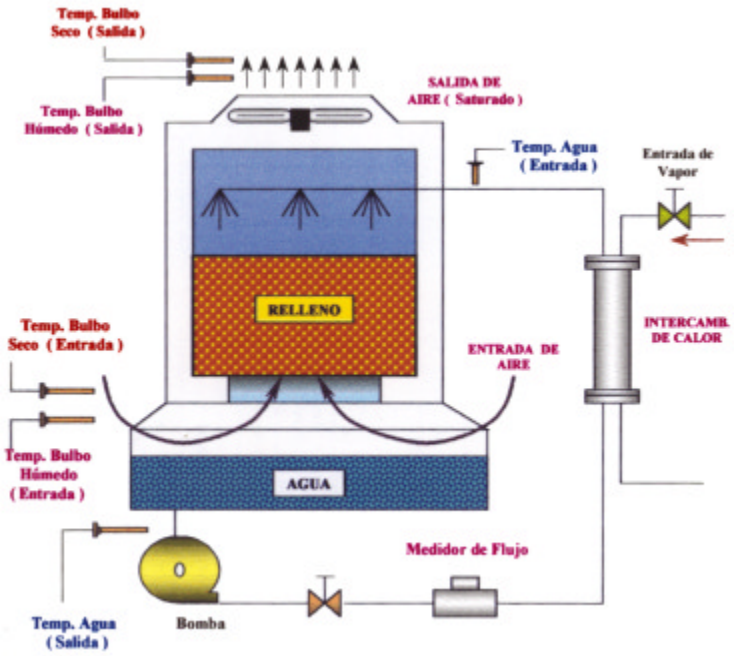
1.3.6 Banco de torre de enfriamiento. Este banco de prueba fue fabricado por estudiantes como proyecto de grado, esta compuesto por un cuerpo en fibra de vidrio, un intercambiador de calor, una electro bomba para la recirculación del agua, estos elementos están montados sobre una base metálica que permite el fácil desplazamiento de este equipo.

El abastecimiento de agua se hace por medio de mangueras conectadas al tanque de la torre.

La alimentación de vapor se efectúa a través de una manguera al intercambiador de calor de la torre. Su aspecto se muestra en la figura 16 y su esquema junto con sus elementos constituyentes se observa en la figura 17.

Figura 16. Estado del Banco torre de enfriamiento

Figura 17. Esquema del banco torre de enfriamiento



En la tabla 10 se encuentran las condiciones actuales de cada uno de los elementos del banco.

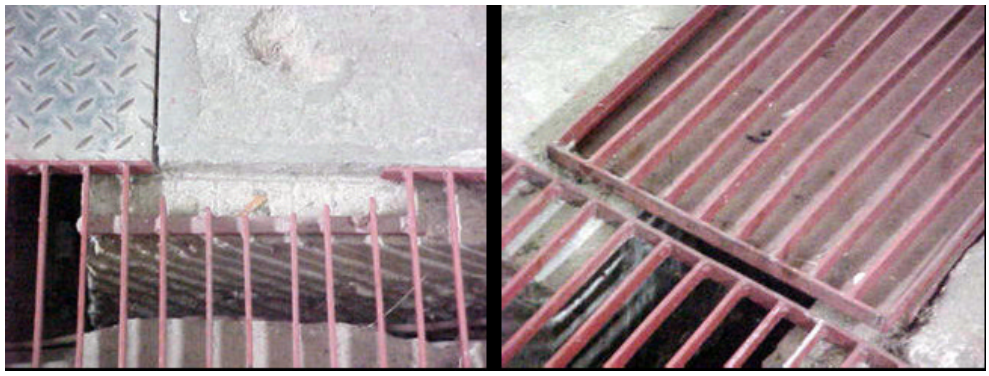
Tabla 10. Diagnostico banco torre de enfriamiento.

BANCO TORRE DE ENFRIAMIENTO		
ELEMENTO	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Tubería de conexión	En buenas condiciones	Esta conformada por mangueras.
Termómetros	En buen estado.	Presenta fugas en las conexiones.

1.4 EQUIPOS

Dentro de los equipos encontramos las Bombas, las calderas, Las líneas de conducción de agua y las líneas de vapor. En la actualidad estas líneas están ubicadas dentro de una red canales en el suelo del laboratorio. Estos canales recogen el agua procedente de los aforos realizados en las diferentes pruebas sobre los bancos de experimentación y están protegidos por rejillas metálicas como se puede observar en la figura 18.

Figura 18. Rejillas metálicas en los canales del laboratorio.



1.4.1 Bombas. En el laboratorio se utilizan dos bombas centrífugas conectadas ambas a la misma tubería de succión las cuales trabajan

imprescindiblemente al tiempo para poder llevar a cabo las experiencias, véase figura 19. Sus especificaciones se presentan en la tabla 11.

Figura 19. Estado de las Bombas centrífugas.

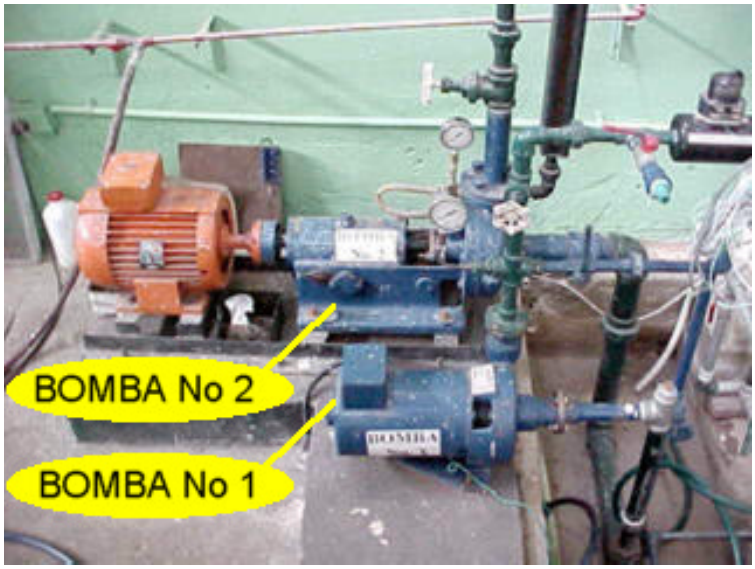


Tabla 11. Especificaciones del motor para las bombas.

BOMBA	RPM	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA Hp	TIPO	CARACTERÍSTICAS
BOMBA 1	3 450	220 V	2 8 A	2	BIFÁSICA	BAJO CAUDAL
BOMBA 2	3600	220 V	13.4 A	5	TRIFÁSICA	ALTO CAUDAL

La bomba 1 impulsa el agua hasta el condensador de cada sistema, en donde se calienta por medio de vapor e ingresa luego a los calentadores.

La bomba 2 suministra agua a los calentadores de cada banco de pruebas.

El estado actual de las bombas y los implementos de medición con que cuentan sujetos a cambios o reparación se encuentra en la tabla 12.

Tabla 12. Diagnóstico del banco de bombas de alimentación de los intercambiadores.

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN INTERCAMBIADORES		
ELEMENTO	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Bomba No. 1	En buenas condiciones de funcionamiento.	Presenta problemas de cebado
Bomba No. 2	Sello de la Bomba se encuentra dañado	Presenta problemas de cebado Presenta fuga
Válvulas de compuerta	Requieren mantenimiento	Algunas presentan fugas.
Conexiones eléctricas	No son funcionales	No tienen identificación
Panel de control	Se encuentra en regular estado	Algunos pulsadores no funcionan. La distribución es inadecuada e incomoda.

En la tabla 13 se observa el máximo caudal que cada bomba centrífuga suministra a cada sección de los bancos de intercambiadores.

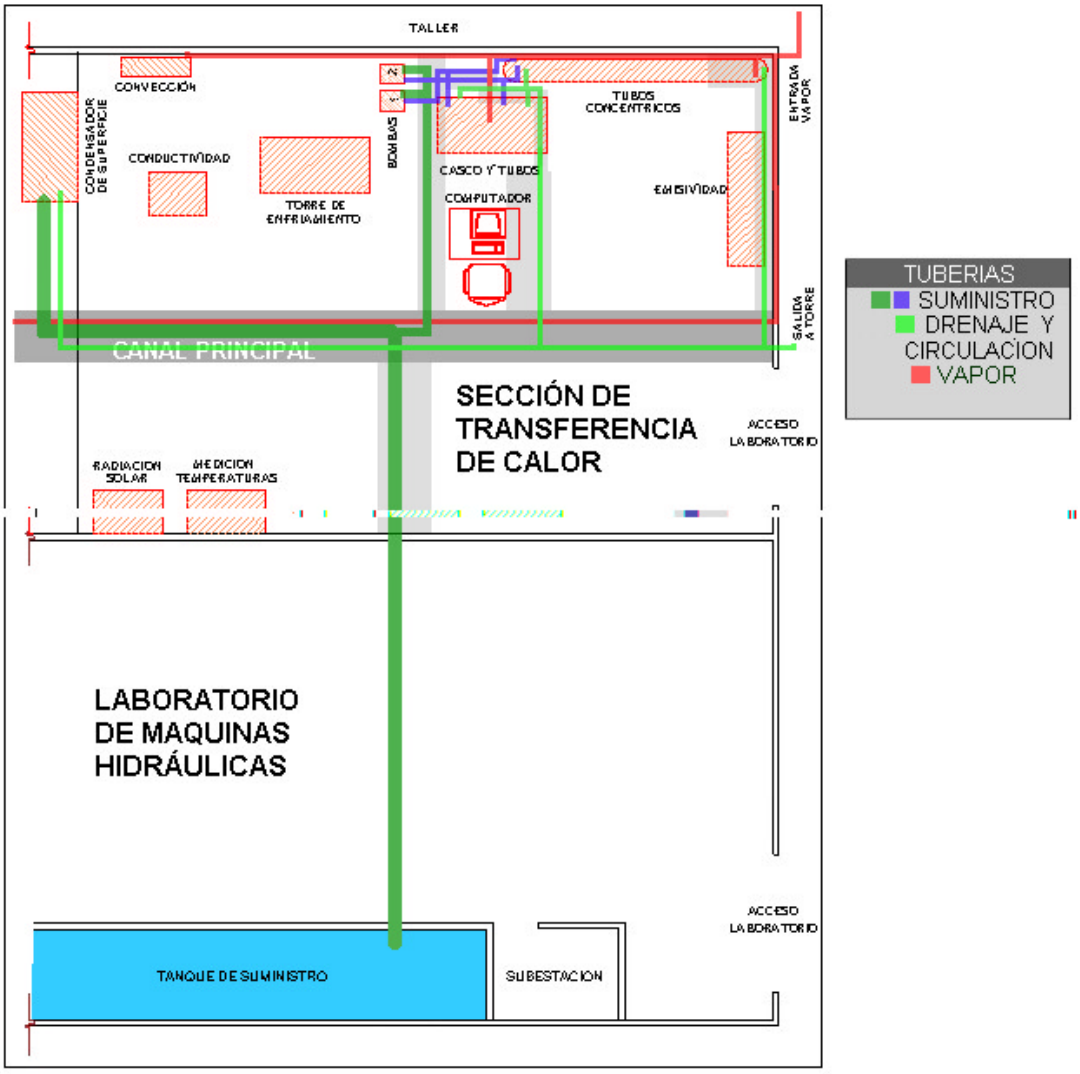
Tabla 13. Caudal suministrado por las bombas centrífugas.

BANCO DE INTERCAMBIADORES	CAUDAL [GPM]	
	Bomba 1	Bomba 2
De Casco Y Tubos	6.91	6.86
De Tubos Concéntricos	10.54	2.593

1.4.2 Líneas de Conducción. Son básicamente dos: líneas de conducción de agua y las líneas de conducción de vapor.

Se observa en la figura 20, la distribución de los bancos de pruebas y las líneas de conducción.

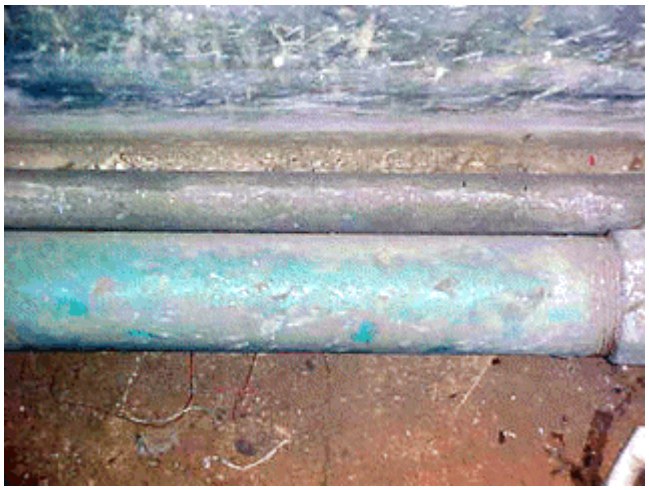
Figura 20. Tuberías de conducción y bancos de pruebas



Se observa en el diagrama anterior que la línea de conducción de agua está conformada por tuberías de suministro y de drenaje y circulación.

1.4.2.1 Líneas de Conducción de Agua. Como su nombre lo indica estas son las tuberías que conducen el agua a los intercambiadores de calor de cada banco y también transportan el agua descargada por los bancos de pruebas a la torre de enfriamiento, su estado se observa en la figura 21.

Figura 21. Tubería de conducción de agua (tubería color verde)



Las tuberías de suministro se dividen en líneas de succión y descarga. La línea de succión esta constituida por tubería de diámetro 2” y al llegar a las bombas es reducida a un diámetro 1½. La línea de descarga esta conformada por tubería galvanizada de diámetro 3/4" STD, para el líquido manejado por la bomba 1 y por tubería galvanizada de diámetro 1" STD, para el líquido conducido por la bomba 2. En la trayectoria de éstas líneas, se encuentran una serie de válvulas de globo, ubicadas en sitios precisos para permitir la independización de los dos bancos de intercambiadores. Este montaje tiene universales, localizados en sitios específicos de la tubería para facilitar el desmontaje de cualquier tramo en caso de ser necesario.

La tubería de drenaje y circulación corresponde a líneas ramificadas; las cuales recolectan el agua de cada sección de los bancos de intercambiadores (tanto para el de casco y tubos como para el de tubos concéntricos) y del condensador de superficie y los descarga en una línea principal que la conduce hasta la torre de enfriamiento localizada fuera del laboratorio de plantas térmicas como se observa en la figura 20.

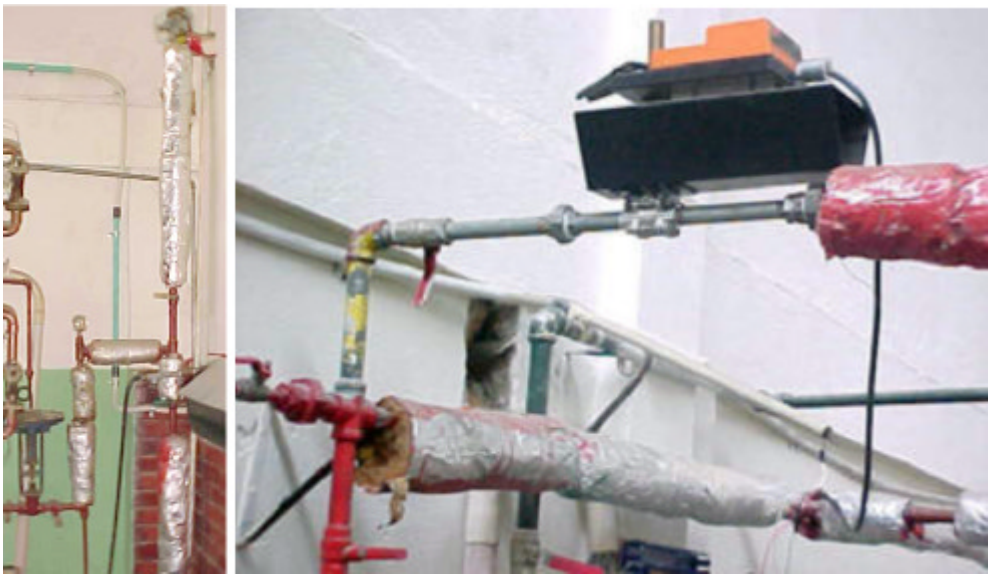
El estado actual de la tubería de conducción de agua se describe en la tabla 14.

Tabla 14. Caudal suministrado por las bombas centrífugas.

TUBERÍA DE CONDUCCIÓN DE AGUA		
TRAMO	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Tubería de descarga	Presenta corrosión. Sus accesorios están deteriorados y poseen fugas.	Falta pintura en algunos tramos
Tubería de succión	Tubería de diámetro 2” en buen estado. Tubería de diámetro 1 ½ presenta corrosión.	Falta pintura en algunos tramos

1.4.2.2 líneas de Conducción de Vapor. Estas líneas se encuentran montadas con tubería galvanizada de diámetro 3/4" STD; aisladas con fibra de vidrio y recubrimiento en lámina de aluminio, desde la salida en las calderas hasta la llegada a los condensadores, véase figura 22.

Figura 22. Estado de la Tubería de vapor.



Posee válvulas de globo para independizar los dos sistemas así como universales para facilitar el desmontaje.
Ante la entrada a los condensadores se encuentra ubicada en la línea de vapor una válvula reductora de presión y una trampa de vapor.

Con la primera nos aseguramos que el vapor de la presión en el sistema no pase del valor de taraje de la válvula. (25 PSI), véase figura 23.

Figura 23. Trampa de vapor.

La trampa de vapor elimina el condensado acumulado en el recorrido hasta los condensadores.

El estado actual de la tubería de conducción de vapor se describe en la tabla 15.

Tabla 15. Estado de la tubería de conducción de vapor.

TUBERÍA DE CONDUCCIÓN DE VAPOR		
TRAMO	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Aislante Térmico	Mal estado	El recubrimiento de aluminio deteriorado. La lana de vidrio está cristalizada.
Tubería	Algunos tramos presentan corrosión.	Falta aislamiento en algunos tramos cerca de la caldera.
Válvula reductora de presión	Mal estado	No entra en operación.

1.5 DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO

Actualmente el laboratorio está alimentado por dos subestaciones, la subestación del taller que alimenta la sección de transferencia de calor y la subestación de la biblioteca que tiene un tablero de distribución ubicado en el sótano del laboratorio de turbo-máquinas hidráulicas y que alimenta las secciones de la planta térmica y aire acondicionado.

En la distribución de las redes eléctricas se encontraron las siguientes deficiencias que repercuten en el funcionamiento de las experiencias, los cuales son:

- Falta señalizar los tacos o interruptores de alimentación de los diferentes equipos, véase figura 24.

- Se aprecia el desorden existente en la distribución de los paneles de control de los equipos, especialmente la incomodidad en el control de las bombas como se observa en la figura 25, donde se aprecia el panel de control actual para las dos bombas de la red hidráulica. El sistema de control de la bomba 2 se encuentra en malas condiciones mientras que los botones de accionamiento están en mal estado.

- Las cajas selectoras de termocúplas se encuentran poseen interruptores en mal estado.

El estado de todos los paneles de control de los equipos se observa en las figuras 24, 25, 26 y 27.

Figura 24. Panel de control de suministro eléctrico (Tacos)

Figura 25. Panel de control para las bombas.

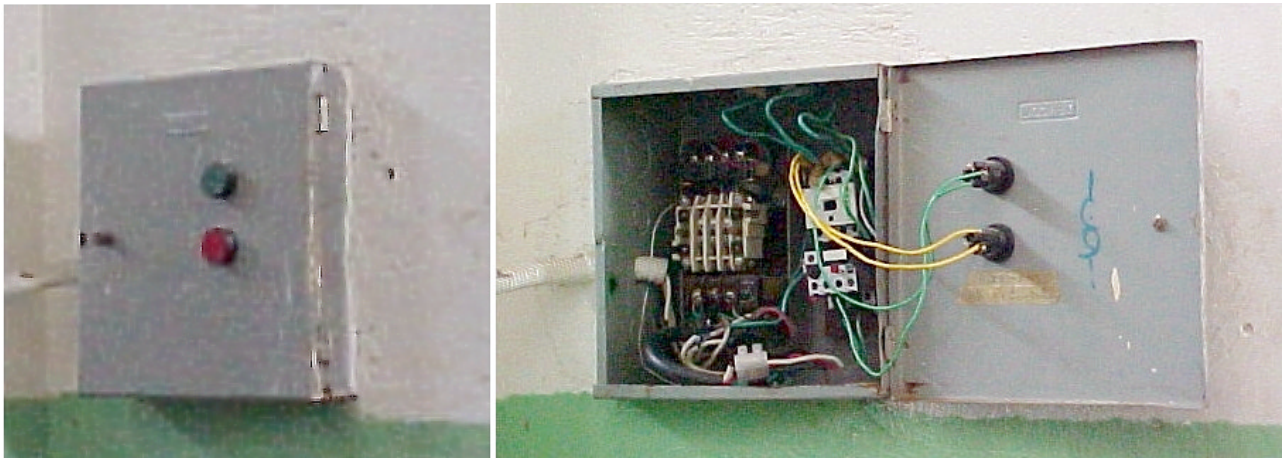


Figura 26. Panel selector de termocúplas

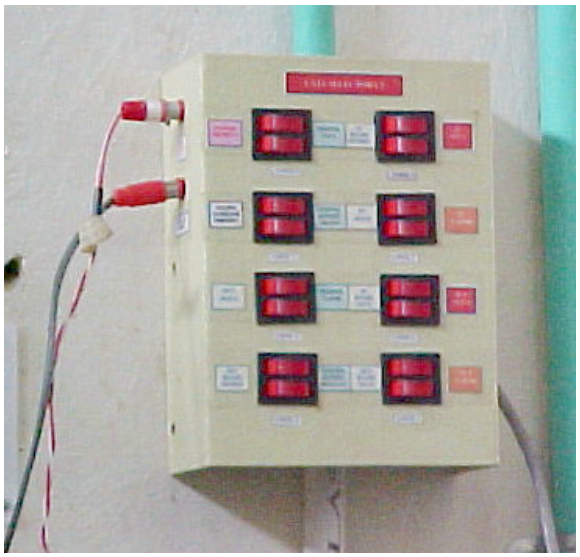


Figura 27. Panel para el banco de condensado (variador de velocida)

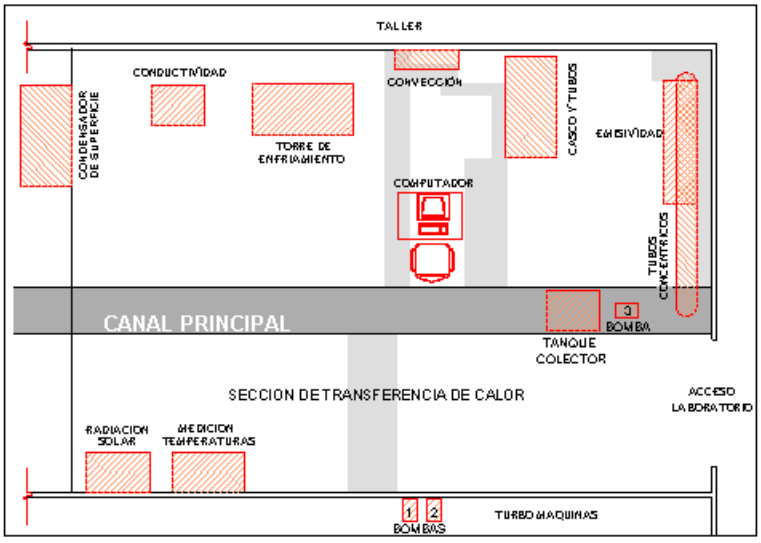
2. ACONDICIONAMIENTO DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO

De acuerdo a los diagnósticos para equipos y sistemas de control y monitoreo realizados y descritos en el capítulo 1, se realizaron las acciones de acondicionamiento de los diferentes equipos y se redistribuyo su ubicación dentro del área asignada. A continuación se describe en detalle cada una de estas acciones.

2.1 DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO DE LA SECCIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Se reubicaron los bancos de pruebas de tal forma que dejaran más espacio disponible para los operarios puedan realizar los procesos correspondientes a cada prueba con comodidad, véase figura 28 y plano 1.

Figura 28. Localización de los bancos de pruebas dentro de la sección de transferencia de calor.



Se cambió la ubicación de los haces de tubos en el intercambiador de tubos concéntricos, con el fin de ahorrar espacio así como permitir el montaje dentro de su estructura, del banco de emisividad superficial, véase figura 29.

Figura 29. Distribución de los bancos de emisividad superficial y de intercambiadores de tubos concéntricos.

2.2 ACONDICIONAMIENTO DE LOS BANCOS DE PRUEBAS

A continuación se describirá las modificaciones realizadas en cada banco de pruebas relacionado con el diagnóstico de cada equipo, según el capitulo 1.

2.2.1 Banco de conducción transitoria. Se cambiaron las conexiones eléctricas defectuosas y se reemplazó la bomba centrífuga, véase figura 30.

Figura 30. Banco de conducción transitoria.

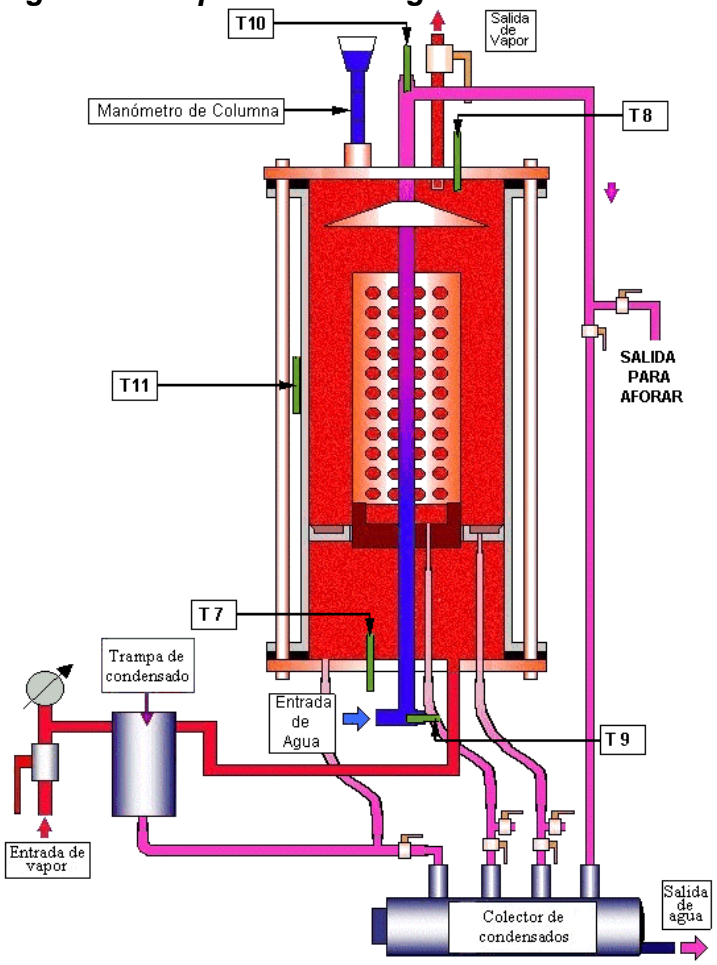
2.2.2 Banco de convección. Prácticamente este banco fue reconstruido por completo, a excepción de algunos accesorios y partes reutilizadas en el ensamble de este equipo. A este banco se le practicaron las siguientes reformas:

- Cambio del soporte de madera por un soporte metálico.
- Rediseño del cilindro plástico y su sistema de sellado.
- Rediseño del colector de condensado.
- Arreglo de fugas y cambio de tubería en mal estado para las conexiones de vapor y salidas del banco de pruebas.
- Redistribución de las conexiones de las termocúplas del banco.
- Independización de cada una de sus líneas de drenaje, con el fin de permitir aforar en cada sección del banco de pruebas por separado.

Se observa su nuevo aspecto en la figura 31, así como su diagrama representativo en la figura 32. Las partes designadas con la letra T seguidas de un número representan las termocúplas requeridas por el banco.

Figura 31. Banco de convección.

Figura 32. Representación gráfica del Banco de convección.



2.2.3 Banco de emisividad superficial. Las reformas hechas a este banco se enumeran a continuación:

- Cambio del soporte metálico y su recubrimiento, para acomodarlo a su nueva ubicación.
- Re-cableado de las conexiones eléctricas.
- Cambio de la tubería de alimentación de vapor.
- Cambio del recubrimiento del tubo opaco.

Su aspecto actual se observa en la figura 33.

Figura 33. Banco de emisividad superficial.

2.2.4 Banco de intercambiadores de casco y tubo. Las modificaciones hechas a este banco se enumeran a continuación:

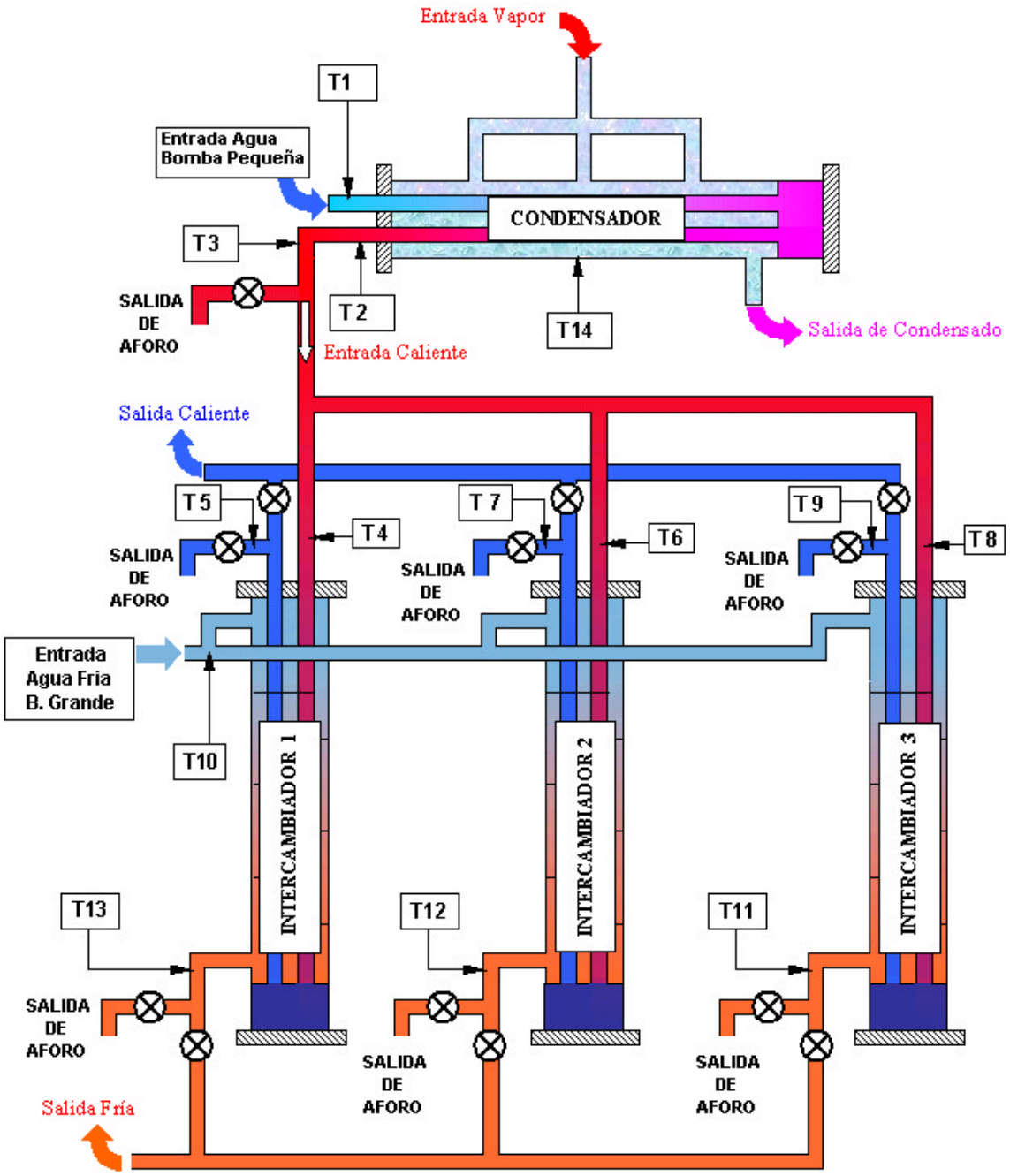
- Se instaló una termocúpla nueva en el intercambiador No 3 debido a que fue retirada una por hallarse en malas condiciones.
- Cambio del aislante y el recubrimiento de aluminio de los intercambiadores y el condensador.

- Cambio de los sellos de papel a sellos de Neopreno en los intercambiadores y el condensador.
- Cambio de las válvulas en mal estado de cada línea de tuberías presente en este banco.
- Cambio de la toda la tubería y accesorios para agua y vapor en el banco de pruebas.
- Cambio en conexiones de tubería de bridas a universales.
- Redistribución de las tuberías de drenaje para independizarlas en cada intercambiador, con el fin de permitir aforos individuales.
- Redistribución de las conexiones eléctricas (termocúplas).

Su apariencia actual se observa en la figura 34, mientras que su esquema representativo puede verse en la figura 35. Las partes designadas con la letra T seguidas de un número representan las termocúplas requeridas por el banco.

Figura 34. Banco de intercambiadores de casco y tubos.

Figura 35. Representación gráfica del Banco de intercambiadores de casco y tubos.



2.2.5 Banco de intercambiador de tubos concéntricos. Los cambios hechos a este banco se describen a continuación:

- Reubicación de la posición de los haces de tubos dentro de su estructura soporte.

- Retiro de un haz de tubos con obstrucción en la sección anular. Por consiguiente, el condensador posee tres haces de tubos mientras que el calentador tiene instalados cuatro.

- Aumento del número de termocúplas. Se instalaron siete termocúplas nuevas en el condensador así como se retiraron las que se hallaban en mal estado.

- Cambio del aislante y el recubrimiento de aluminio de cada haz de tubos.

- Cambio de los sellos entre haces.

- Cambio de la tubería y accesorios para agua y vapor en el banco de pruebas.

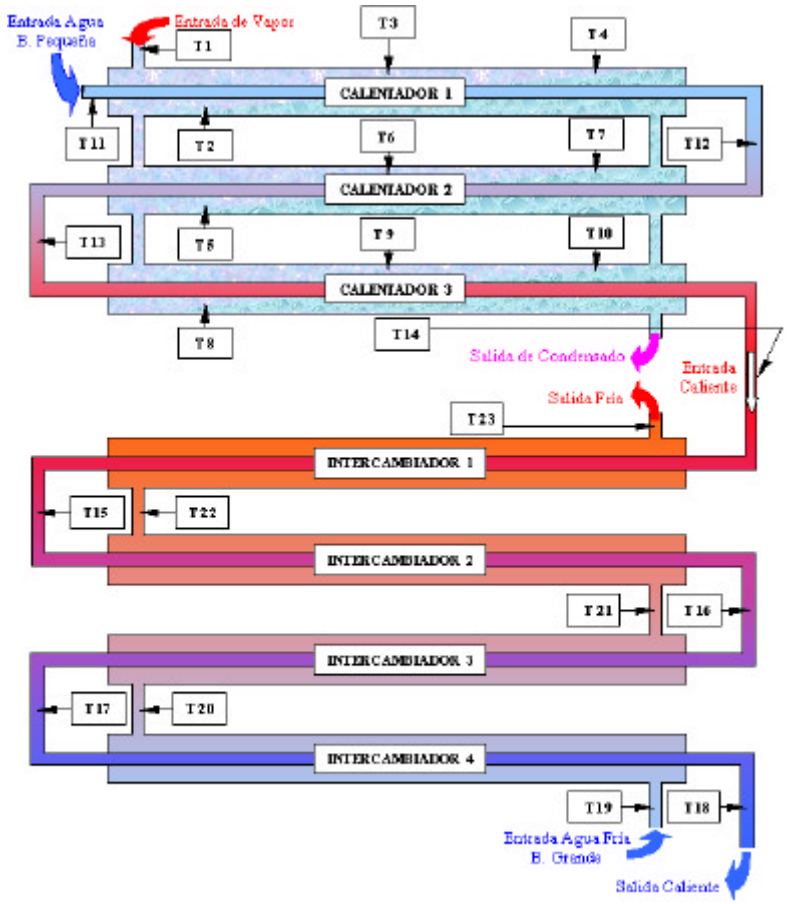
- Redistribución de las tuberías de drenaje para independizarlas en cada sección del intercambiador, con el fin de permitir aforos individuales.

- Redistribución de las conexiones eléctricas (termocúplas).

Su estado actual se observa en la figura 36. Su representación gráfica se ve en la figura 37.

Figura 36. Banco de intercambiadores de tubos concéntricos.

Figura 37. Representación gráfica del Banco de intercambiadores de tubos concéntricos.



2.2.6 Banco de torre de enfriamiento. Este banco por encontrarse generalmente en buenas condiciones, solo se le reviso las conexiones en los termómetros y se procedió a sellar las fugas presentes en esta así como se instalo la línea eléctrica para la conexión de las termocúplas al panel principal.

2.3 SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DEL LABORATORIO

A partir del diagnostico del estado de estos equipos, según el capitulo 1, se ha determinado algunos de estos se hallan en mal estado y también que deben agruparse en un cofre general, según sea su función, para evitar la congestión visual del laboratorio, así como para facilitar su manipulación.

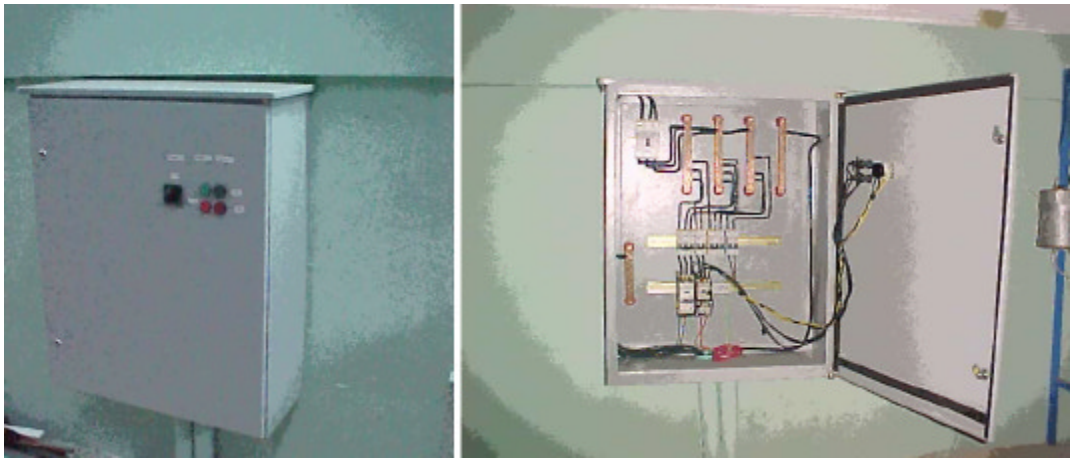
A continuación se describe los cambios realizados a estos equipos, dividiendo estos en dos grandes grupos, los cuales son equipos de control de potencia y suministro de energía eléctrica y equipos de monitoreo.

2.3.1 Sistema de control de potencia y suministro de energía eléctrica. Corresponde al suministro de energía eléctrica para cada bomba hidráulica del sistema hidráulico. Consta de un cofre de control conectado a la subestación, localizada en le laboratorio de maquinas hidráulicas.

En su interior se hallan los controles de protección y encendido de cada bomba hidráulica del sistema hidráulico y de la torre de enfriamiento, ubicada fuera del laboratorio de maquinas térmicas.

Este cofre se observa en la figura 38.

Figura 38. Cofre del sistema de control de potencia y suministro de energía eléctrica.

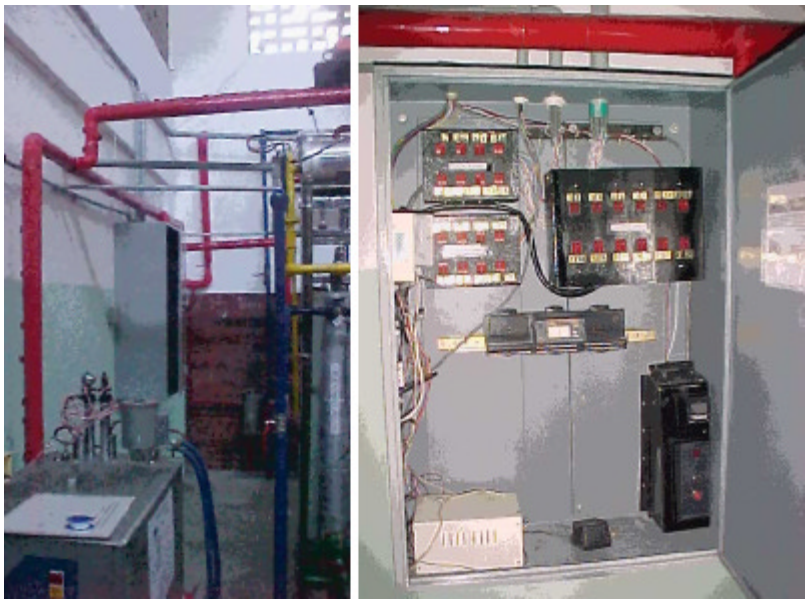


2.3.2 Sistema de monitoreo. Corresponden a éste: módulos para el procesamiento de señales, fuentes de conversión de energía, sensores térmicos y cajas selectoras. Las reformas realizadas a los equipos existentes son:

- Agrupación de fuentes, cajas de selección para las termocúplas y el flujómetro, así como los módulos FieldPoint en un cofre de control.
- Redistribución de las termocúplas para los bancos de convección, emisividad superficial y torre de enfriamiento dentro de una misma caja selectora en el cofre de control.
- Independización de la caja de selección de termocúplas para los bancos de intercambiadores de casco y tubos y de intercambiadores de tubos concéntricos dentro del cofre de control.

El cofre de control del sistema de monitoreo se observa en la figura 39.

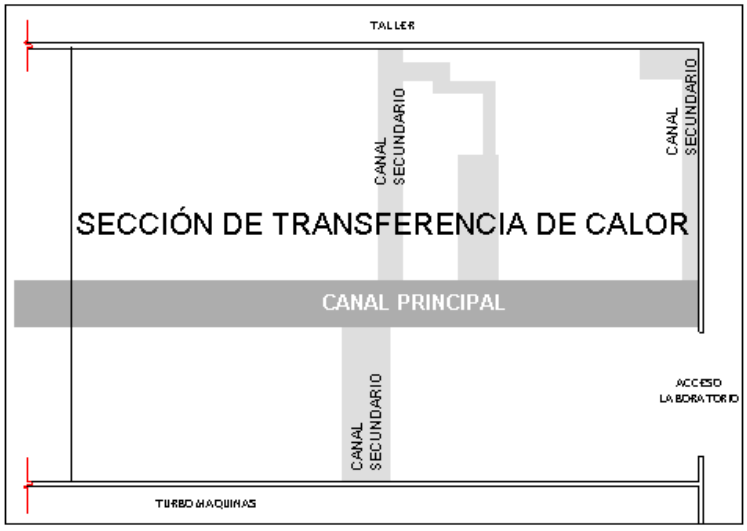
Figura 39. Cofre del sistema de monitoreo.



2.4 INSTALACIONES DEL LABORATORIO

El laboratorio posee un conjunto de canales que tienen por objetivo conducir el agua proveniente de las prácticas del laboratorio, estos se pueden observar en la figura 40.

Figura 40. red de Canales.



A este lugar se le practicaron las siguientes reformas:

- Sellado de canales secundarios con tapas en concreto, véase figura 41.
- Mantenimiento de la pintura en las paredes de la sección de transferencia de calor.
- Disposición de tomas de agua y vapor externas, véase figura 42.

Figura 41. Canales secundarios.

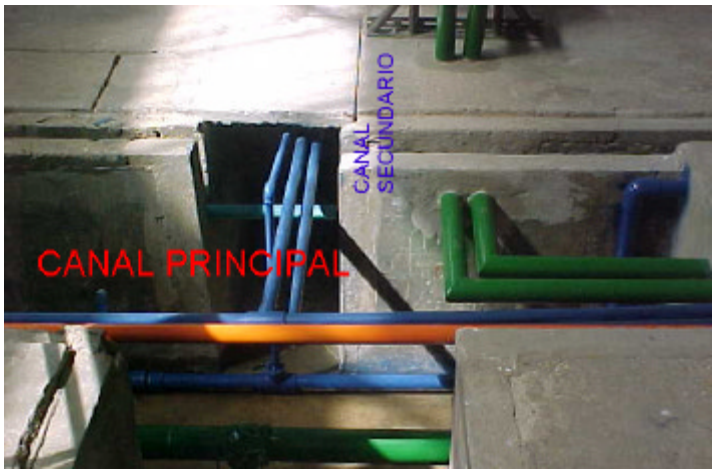


Figura 42. Caja auxiliar para suministro de vapor y agua.

2.5 SEÑALIZACIÓN

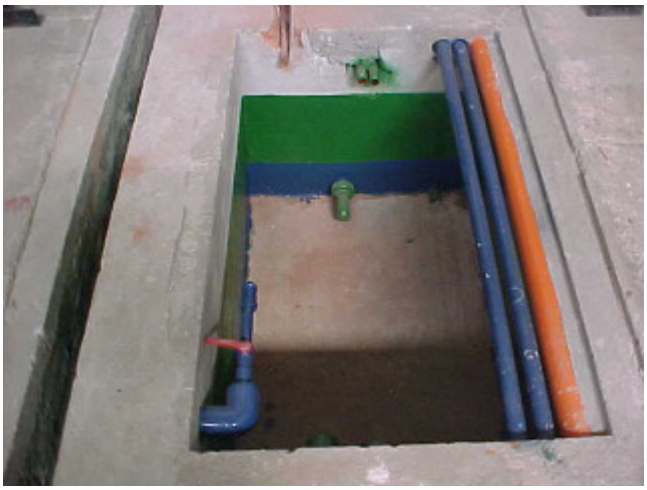
Se acogieron múltiples formas para identificar tuberías, equipos, módulos y controles dentro de la reforma del laboratorio de transferencia de calor, los cuales son mencionados a continuación.

2.5.1 Redes de tubería. Se adoptaron los siguientes colores para el reconocimiento de las diferentes tuberías según su fluido de transporte, así:

- Color verde para la tubería de succión para las bombas y líneas de drenaje para los bancos de pruebas.
- Color azul para la tubería de impulsión en las bombas y la tubería de agua proveniente de la red del acueducto.
- Color amarillo para la tubería que transporta agua caliente.
- Color rojo para las líneas de conducción de vapor.

También se rotularon las bombas centrífugas. Se indicó mediante una franja de color el nivel mínimo permitido en el tanque colector perteneciente a la red de circulación, véase figura 43.

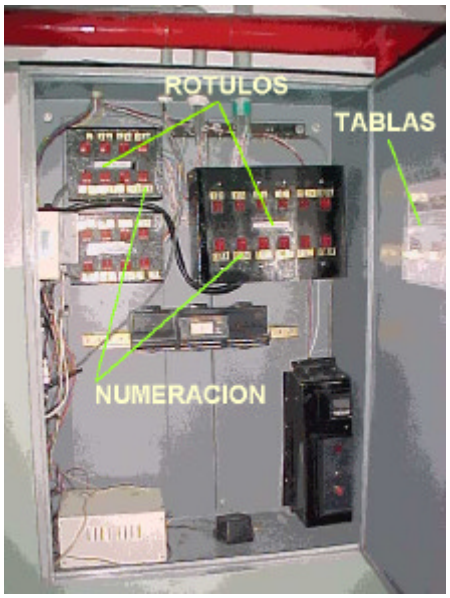
Figura 43. Señalización sobre el tanque colector.



2.5.2 Sistemas de control. Se rotularon los diversos equipos y controles pertenecientes a los sistemas de control según su función en los dos cofres del sistema de control, véase figuras 44 y 45.

Figura 44. Rótulos del sistema de control de potencia y suministro de energía eléctrica.

Figura 45. Rótulos del sistema de monitoreo.



2.5.3 Bancos de experimentación. La señalización en los bancos de experimentación se realizó de la siguiente manera:

- Se numeraron las termocúplas de acuerdo al recorrido de los flujos dentro de los bancos de pruebas.

- Se representó gráficamente cada banco y sus elementos constitutivos principales y se procedió a ubicar estos diagramas cerca de cada banco de experimentación correspondiente.

Estas reformas se pueden observar en las figuras 46 a la 49.

Figura 46. Señalización sobre el banco de intercambiadores de casco y tubos.

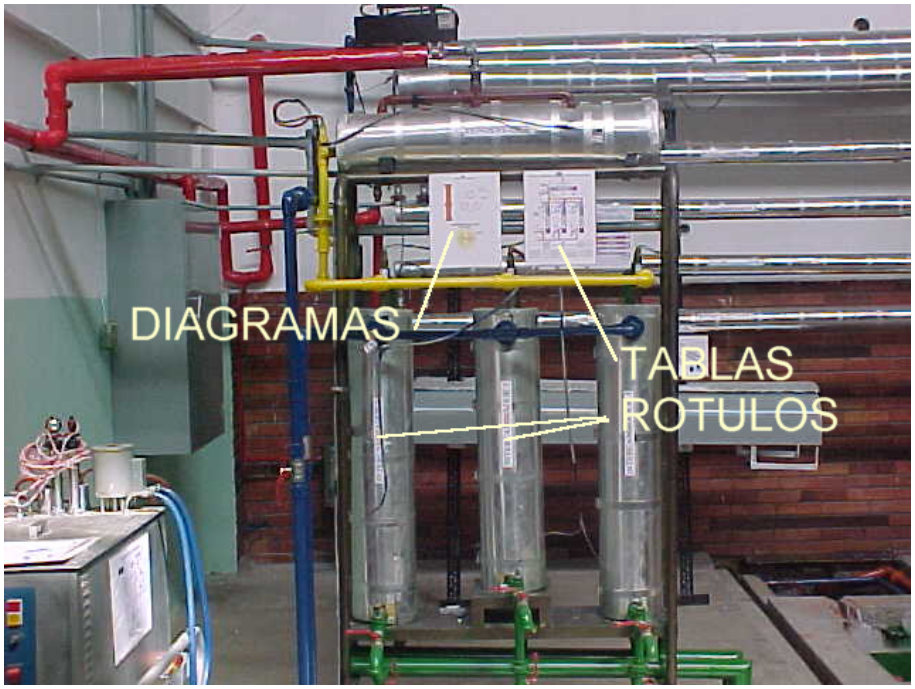


Figura 47. Señalización sobre el banco de intercambiadores tubos concéntricos.

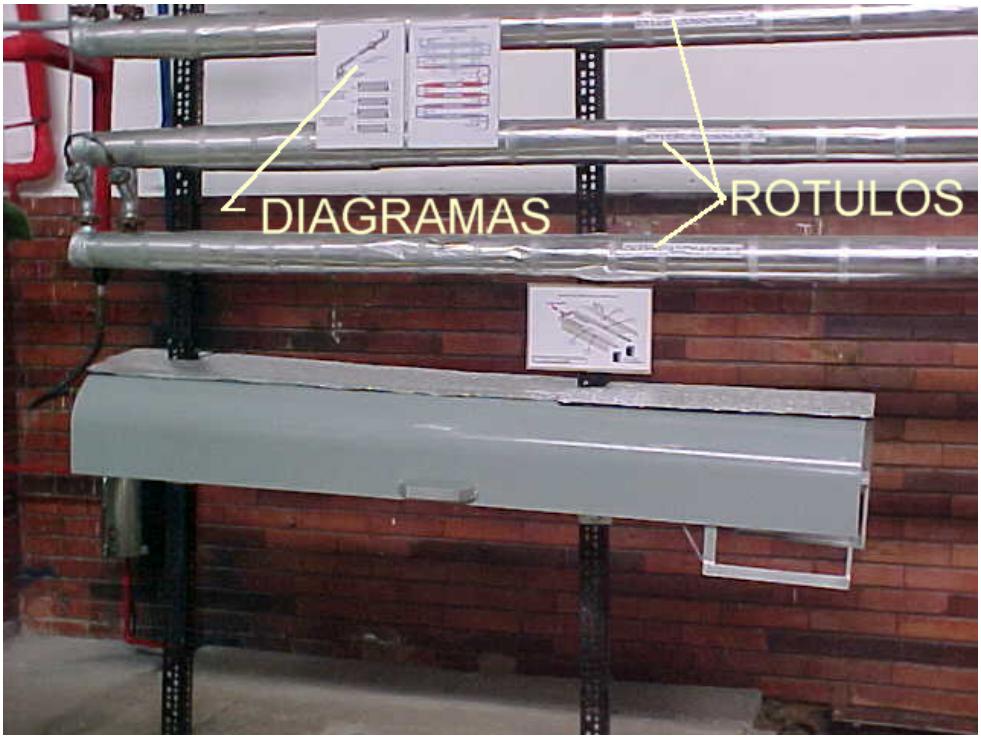
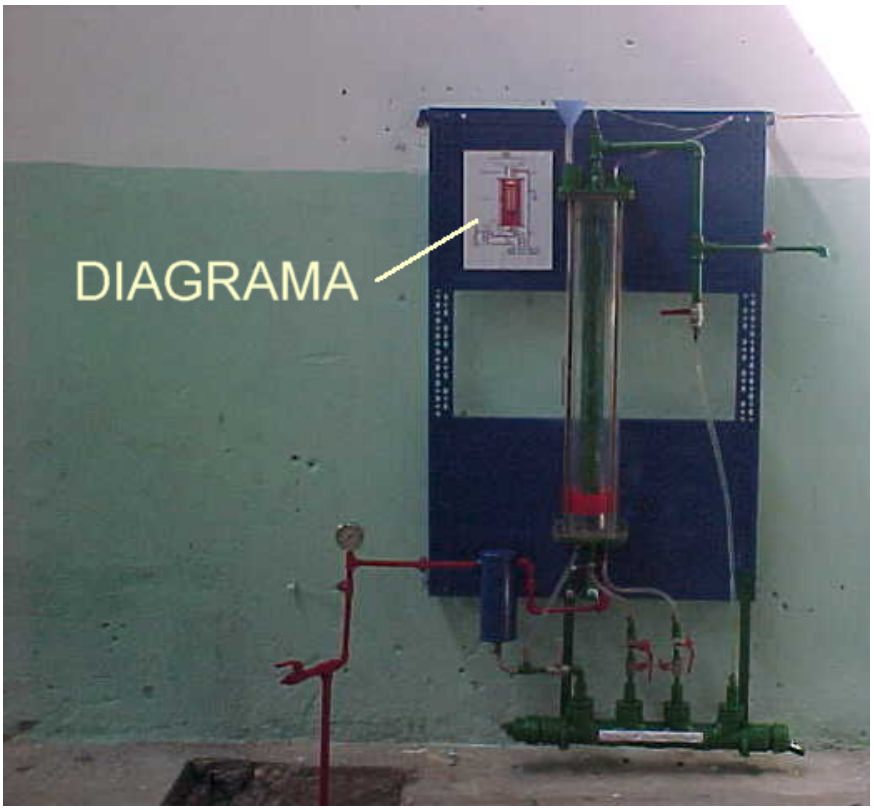


Figura 48. Señalización sobre el banco emisividad superficial.

Figura 49. Señalización sobre el banco convección.



3. DISEÑO DE LA RED HIDRÁULICA Y DE VAPOR

El rediseño del sistema hidráulico para subsanar la mala operación tanto de las bombas como la fiabilidad de las pruebas de laboratorio y de los equipos descritas en el capitulo 1, determinan una diferente distribución de las perdidas por fricción del sistema hidráulico sobre las bombas, que deben evaluarse para hacer una adecuada selección de las mismas.

El rediseño se ha dividido en cuatro etapas para llevar a cabo este proceso, las cuales son:

- Descripción del sistema hidráulico.
- Análisis de pedidas de carga del sistema hidráulico.
- Selección de las bombas centrífugas.
- Caracterización del tanque colector.
- Adecuación de la red de conducción de vapor.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO

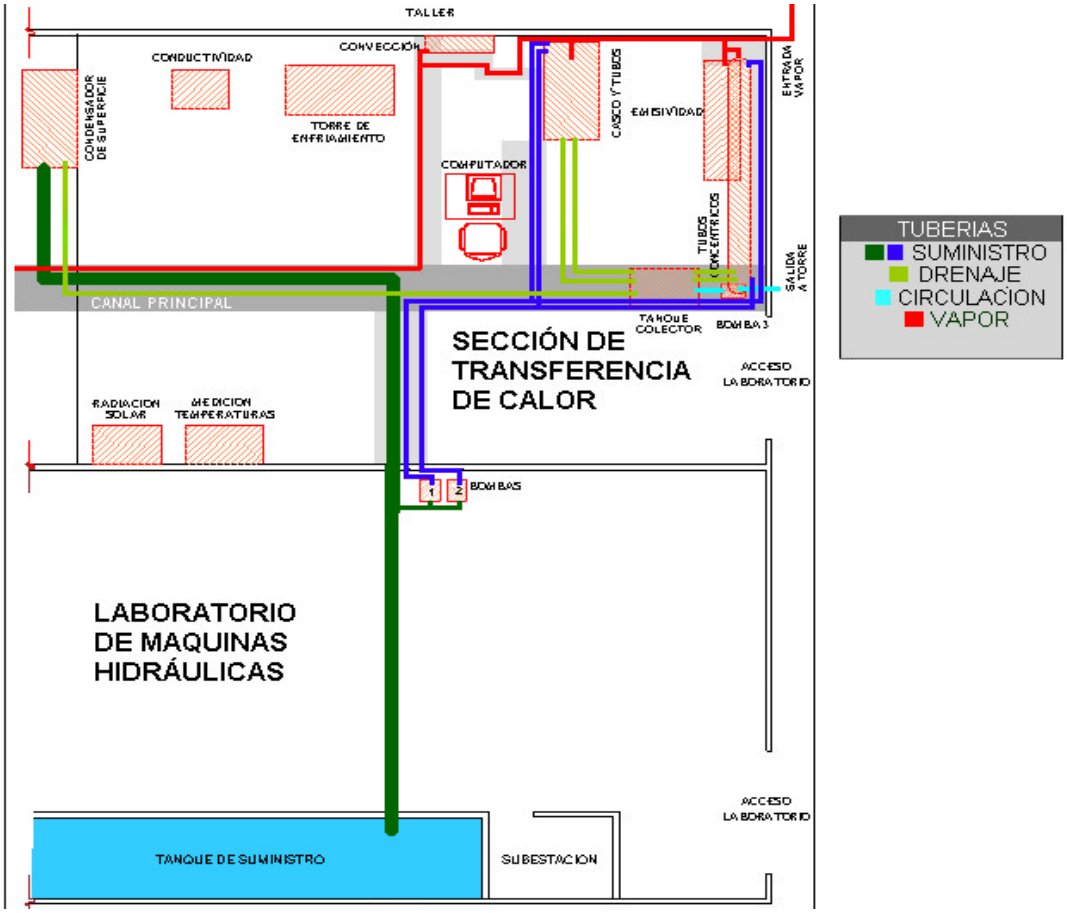
La distribución de este sistema depende de la nueva ubicación de los bancos de pruebas. Este sistema consta de un tanque de suministro localizado dentro del laboratorio de turbo-máquinas hidráulicas; con una altura tal que proporcione la presión mínima requerida en la succión de las bombas, así como habilite el auto-cebado de ellas.

Para facilitar el análisis del sistema se identifican 3 subsistemas de acuerdo a su función, los cuales son:

- Tuberías de suministro.
- Tuberías de drenaje.
- Tuberías de circulación.

El diagrama general de las redes de tuberías y la nueva ubicación de los bancos de pruebas planteados en la reestructuración del laboratorio de transferencia de calor puede verse en la figura 50; sus dimensiones se detallan en los planos 1, 2, 3 y 4.

Figura 50. Vista en planta de la localización de los equipos del laboratorio de transferencia de calor.



Como se observa, el sistema hidráulico es requerido solamente por los bancos de intercambiadores de calor de tubos concéntricos y de intercambiadores de casco y tubos.

Los demás bancos requieren solamente líneas de suministro de vapor.

A continuación se describirá cada una de las redes de tubería necesarias para el funcionamiento de los bancos de intercambiadores de calor, así como se desglosara el proceso de diseño y selección de la maquinaria hidráulica.

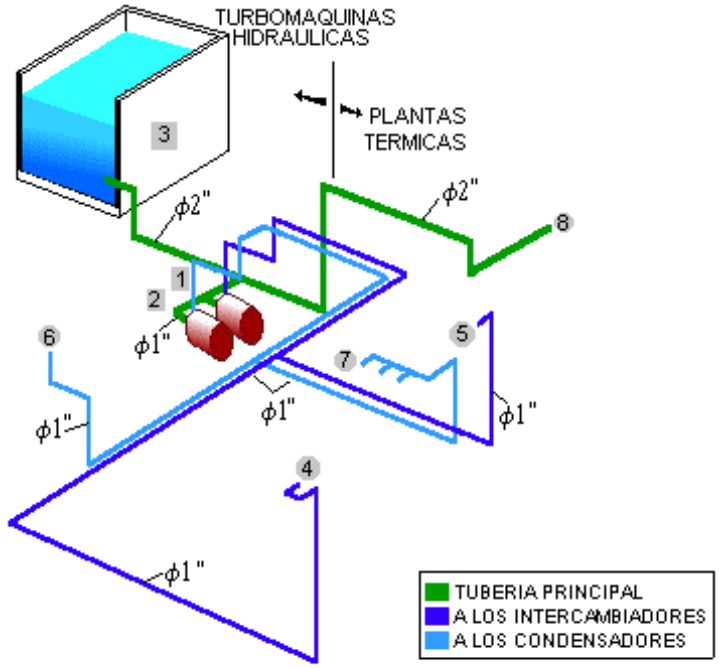
3.1.1 Tubería de suministro. Este subsistema comprende las líneas que van desde el tanque de almacenamiento hasta cada uno de los bancos de intercambiadores. El trazado de esta tubería se observa detalladamente en el plano 2. Está constituido por:

- La línea de succión. Comienza desde el tanque de almacenamiento, con un tramo de tubería galvanizada de diámetro 2", de la cual se ramifica en dos líneas:

una línea de tubería PVC de diámetro 1" que alimenta las bombas centrífugas 1 y 2, y una segunda línea de tubería galvanizada de diámetro 2" que alimenta al banco de condensado. Véase figura 51.

- La línea de descarga. Inicia a la salida de las bombas centrífugas 1 y 2 y conduce el agua a hasta la entrada de cada banco de intercambiadores de calor, esta instalada con tubería PVC de diámetro 1". Véase figura 51.

Figura 51. Diagrama de la red de suministro de agua.



3.1.1.1 Línea de succión. Esta tubería comienza desde del tanque de suministro ubicado en el laboratorio de turbo-maquinas hidráulicas y llega a cada una de las dos bombas del sistema de suministro, como se observa en la figura 51. Esta tubería esta conformada de la siguiente manera:

- Una línea principal de diámetro 2”, esta comienza en el tanque de suministro, posee una válvula de compuerta y en su extremo final tiene una válvula Cheque, donde se ramifica en las siguientes dos líneas.

- Una línea de diámetro 2”, la cual suministra fluido a la bomba centrífuga del banco de condensado o condensador de superficie; esta posee una válvula de compuerta.

- Una línea de diámetro 1” con una válvula de compuerta, donde se conectan dos Bombas centrífugas por universales de diámetro 1” y reducciones de 1 ½ a 1”.

3.1.1.2 Línea de descarga. Como se observa en la figura 51, las líneas de descarga son dos, estas llegan a las entradas de cada banco de pruebas; tanto el de intercambiadores de tubos concéntricos como el de casco y tubos, y están conformadas por tubería de diámetro 1”. Cada una de ellas es independiente entre sí y están unidas a su respectiva bomba por una reducción de1½’ a 1” y una universal de diámetro 1”.

Cada una de las líneas posee una válvula de compuerta después de la universal a la salida de las bombas. Esta válvula; en conjunto con la presente en la línea de succión (de diámetro 1”); fue instalada con el fin de permitir aislar las bombas centrífugas para retirar cualquier de ellas, en una determinada situación. La línea de la bomba 1 alimenta a los bancos de intercambiadores así:

- Para el condensador y los calentadores del banco de intercambiadores de casco y tubos, en el lado de los tubos.

- Para el condensador y el calentador del banco de intercambiadores de tubos concéntricos, en la tubería interna.

La línea de la bomba 2 posee un flujómetro ubicado entre la universal y la válvula de compuerta. Esta línea alimenta los bancos de pruebas de la siguiente manera:

- Para los calentadores del banco de intercambiadores de casco y tubos, en el lado casco.
- Para el calentador del banco de intercambiadores de tubos concéntricos, en el ducto anular.

Todas las líneas de descarga poseen llaves de bola a la entrada de cada banco, lo que permite dirigir el flujo al banco seleccionado para realizar las experiencias. Además, cada línea tiene una universal con el fin de permitir la desconexión del banco por si es requerido.

3.1.2 Tubería de drenaje. Esta red de tubería es independiente para cada salida en cada banco de pruebas, todas descargan su flujo a un tanque colector; ubicado dentro del canal principal localizado en el piso del laboratorio de plantas térmicas, en la sección de transferencia de calor.

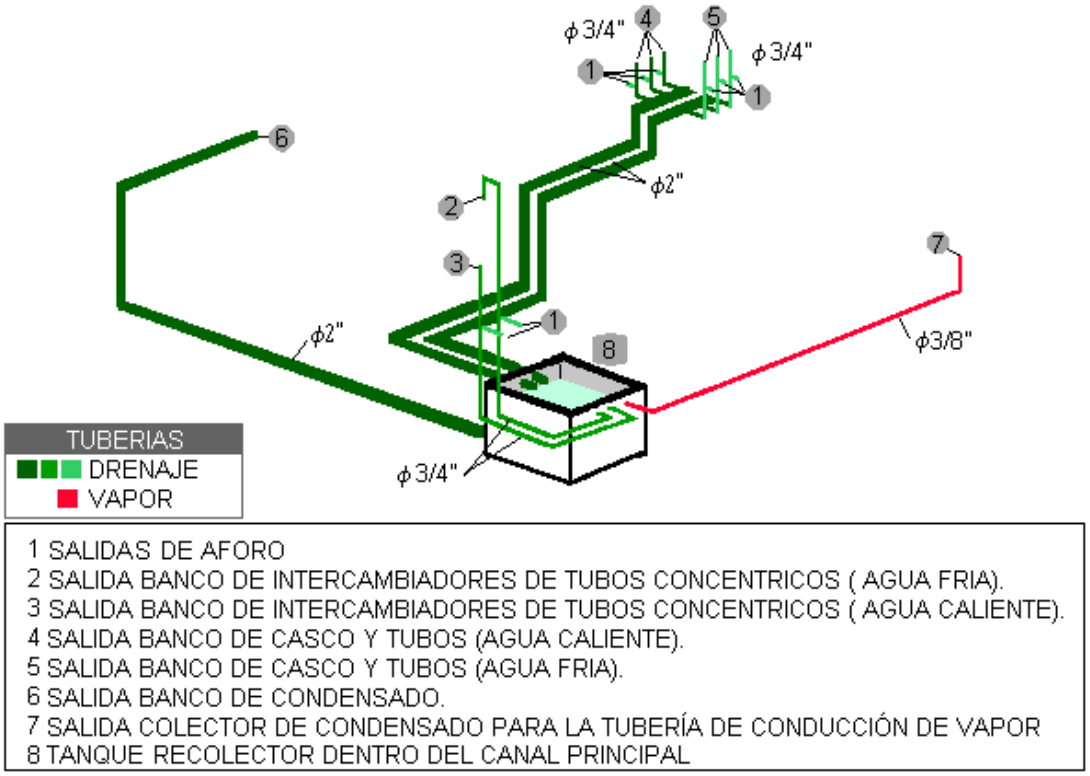
Cada línea tiene una universal a la salida de cada banco con el fin de permitir la desconexión del banco por si es requerido; además, seguidamente de las universales se hallan instaladas llaves de bola, lo que permite dirigir el flujo de tal manera que vaya al tanque recolector o a una salida auxiliar que permite el de aforo para las experiencias realizadas en los bancos.

Al tanque Colector llega el flujo de los siguientes bancos de pruebas:

- Banco de Condensado.
- Banco de intercambiadores de casco y tubos.
- Banco de intercambiadores de tubos concéntricos.
- Trampa de vapor.

Un esquema de esta línea hidráulica se observa en la figura 52, sus dimensiones se detallan en el plano 3.

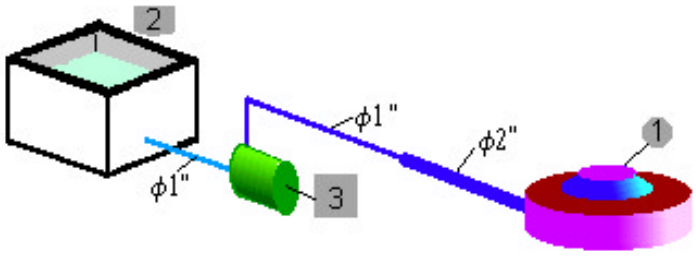
Figura 52. Tubería de drenaje.



1 SALIDAS DE AFORO
2 SALIDA BANCO DE INTERCAMBIADORES DE TUBOS CONCENTRICOS (AGUA FRIA).
3 SALIDA BANCO DE INTERCAMBIADORES DE TUBOS CONCENTRICOS (AGUA CALIENTE).
4 SALIDA BANCO DE CASCO Y TUBOS (AGUA CALIENTE).
5 SALIDA BANCO DE CASCO Y TUBOS (AGUA FRIA).
6 SALIDA BANCO DE CONDENSADO.
7 SALIDA COLECTOR DE CONDENSADO PARA LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN DE VAPOR
8 TANQUE RECOLECTOR DENTRO DEL CANAL PRINCIPAL

3.1.3 Tubería de circulación. Como puede verse en la figura 53, esta tubería permite envía el fluido del tanque recolector a la torre de enfriamiento localizada fuera del laboratorio de plantas térmicas por medio de una bomba centrífuga. Sus dimensiones se detallan en el plano 4.

Figura 53. Tubería de circulación.



1 TORRE DE ENFRIAMIENTO
2 TANQUE RECOLECTOR DENTRO DEL CANAL PRINCIPAL
3 BOMBA No 3 - RED DE CIRCULACIÓN

La bomba centrífuga utilizada en esta línea se ubica dentro del canal principal del laboratorio de plantas térmicas y esta unida a la tubería por universales de diámetro 1” así como por reducciones de 1 ½ a 1”.

Para esta bomba; la línea de succión es de diámetro 1” en PVC y tiene una válvula de bola. La línea de descarga es de diámetro 1” en PVC y en ella se encuentra instalado un manómetro; esta línea se conecta a una llave de compuerta de diámetro 2”; ubicada fuera del laboratorio de plantas térmicas, quien por tubería del mismo diámetro conecta a la torre de enfriamiento.

La torre de enfriamiento se encarga de refrigerar y enviar el agua a la caldera localizada en el salón 107 de la escuela de Ingeniería Mecánica.

3.2 ANÁLISIS DE PERDIDAS DE CARGA DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Para realizar la selección de las bombas requeridas en el sistema hidráulico requerido por la nueva ubicación de los equipos, es necesario determinar los puntos de mayor requerimiento para cada bomba centrífuga, para ello se debe analizar el paso del fluido a través de equipos conectados a este sistema hidráulico. Según la descripción del sistema hidráulico de la sección 3.1, se observa que los equipos involucrados con el sistema hidráulico son los bancos de intercambiadores de calor de tubos concéntricos y de casco y tubos. A partir del análisis de la resistencia al paso del fluido por parte de estos equipos, se determinará cual será el trazado de tubería necesaria para determinar la altura de elevación requerida en la selección de cada bomba centrífuga.

3.2.1 Pérdidas de carga en los equipos. Se calcularon las pérdidas debidas a la resistencia suministrada por cada banco de intercambiadores de calor al paso del flujo de agua.

Para determinar las secciones de mayor requerimiento es necesario hacer un análisis del paso del fluido a través de los bancos en cualquier situación a un caudal asumido.

En el banco de intercambiadores de tubos concéntricos, el calentador posee cuatro haces de tubos mientras que el condensador tiene tres haces. El fluido de la bomba centrífuga 1 entra por los tubos internos tanto del condensador como del calentador, mientras que el flujo de la bomba 2 solo pasa a través del ducto anular del calentador.

En el banco de intercambiadores de casco y tubos, el flujo de la bomba 1 pasa a través de los tubos del condensador y los intercambiadores. Para la bomba 2, el fluido solo pasa a través del casco de los calentadores (intercambiadores 1, 2 y 3.).

Para determinar los puntos críticos del sistema se designa un caudal máximo para cada una de las bombas en cada banco de pruebas y así como se realizaran las configuraciones de posibles conexiones entre el condensador y los intercambiadores 1, 2 y 3 en el banco de intercambiadores de casco y tubos. Para calcular las perdidas de carga del flujo en el lado casco del banco de intercambiadores de casco y tubos, se ha de calcular a partir del balance de energía entre la entrada y la salida; calculando su caída de presión por el procedimiento descrito en las normas HRI, en la sección 3.3.

En las tablas 16 y 17 se presentan las pérdidas para los bancos de pruebas que requieren un sistema de suministro de agua; los cuales son el banco de intercambiadores de casco y tubos y el banco de intercambiadores de tubos concéntricos. Los cálculos se realizaron bajo propiedades de flujo a una temperatura de 25° C.

Tabla 16. Pérdidas en el banco de Tubos Concéntricos.

INTERCAMBIADOR	CAUDAL [GPM]	SECCIÓN	Pérdidas h_f [m]	SUMINISTRO	
				Bomba 1	Bomba 2
CONDENSADOR	20	Tubo Interno	3.434	X	
CALENTADOR	20	Tubo Interno	4.558	X	
	5	Ducto Anular	29.5426		X

Tabla 17. Pérdidas en el Banco de Casco y Tubos a diferentes caudales.

INTERCAMBIADOR	CAUDAL [GPM]	SECCIÓN	PÉRDIDAS h_f [m]	SUMINISTRO	
				Bomba 1	Bomba 2
CONDENSADOR	15	Lado Tubos	7.3154	X	
INTERCAMBIADOR 1	15	Lado Tubos	7.3154	X	
	22	Lado Casco	1.3522		X
INTERCAMBIADOR 2	15	Lado Tubos	6.7322	X	
	22	Lado Casco	1.841		X
INTERCAMBIADOR 3	15	Lado Tubos	7.3154	X	
	22	Lado Casco	1.2675		X
INTERCAMBIADOR 1	7.5	Lado Tubos	2.1552	X	
	11	Lado Casco	1.07492		X
INTERCAMBIADOR 2	7.5	Lado Tubos	1.9834	X	
	11	Lado Casco	1.1975		X
INTERCAMBIADOR 3	7.5	Lado Tubos	2.1552	X	
	11	Lado Casco	1.0526		X
INTERCAMBIADOR 1	5	Lado Tubos	1.0626	X	
	7.33	Lado Casco	1.023		X
INTERCAMBIADOR 2	5	Lado Tubos	0.9778	X	
	7.33	Lado Casco	1.0777		X
INTERCAMBIADOR 3	5	Lado Tubos	1.0626	X	
	7.33	Lado Casco	1.0126		X

Según los anteriores datos, las configuraciones de mayor requerimiento en los equipos serían:

- Bomba 1: Banco de intercambiadores de casco y tubos; lado tubos (condensador en serie con el intercambiador 1 o 3.). Caudal 15 GPM.

- Bomba 2: Banco de intercambiadores de tubos concéntricos; ducto anular. Caudal 5 GPM.

A partir de los equipos de mayor requerimiento para cada bomba, se obtiene el trazado de las líneas de suministro y drenaje de mayor requerimiento con base en la nueva ubicación de los equipos.

Estas líneas de tubería se observan en las figuras 54 y 55, sus dimensiones se detallan en los planos 2 y 3.

Figura 54. Máximo requerimiento: Tubería de suministro.

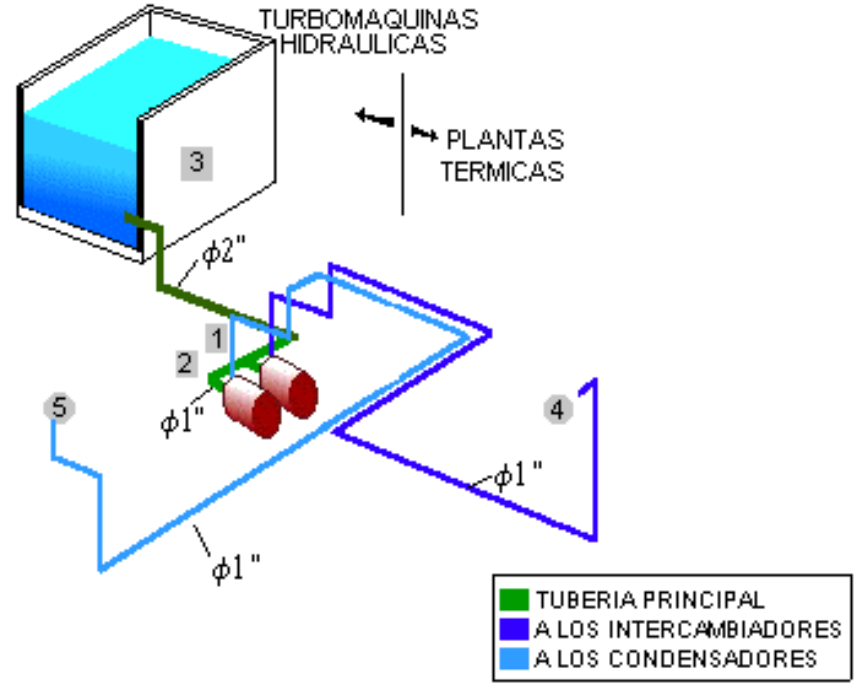
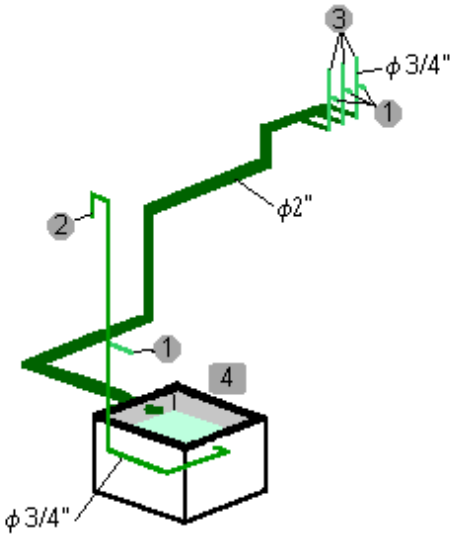


Figura 55. Máximo requerimiento: Tuberías de drenaje.



1 SALIDAS DE AFORO
2 SALIDA BANCO DE INTERCAMBIADORES DE TUBOS CONCENTRICOS (AGUA FRIA).
3 SALIDA BANCO DE INTERCAMBIADORES DE CASCO Y TUBOS (AGUA CALIENTE).
4 TANQUE RECOLECTOR DENTRO DEL CANAL PRINCIPAL

Se define ahora los circuitos para cada bomba centrífuga, así:

- Circuito de la bomba 1: Comprende el trazado de tubería de suministro y drenaje para el banco de intercambiadores de casco y tubos, donde el flujo pase a través de los tubos del condensador y del intercambiador . Véase figuras 54 y 55.

- Circuito de la bomba 2: Está conformado por las tuberías de suministro y drenaje para el banco de intercambiadores de tubos concéntricos, en donde el fluido pasa a través del área anular del calentador (conjunto de cuatro haces de tubos.). Véase figuras 54 y 55.

Por tanto se procede hallar las perdidas por carga de equipos, tuberías y accesorios realizando diversas iteraciones para determinar el máximo flujo en cada uno de los circuitos 1 y 2.

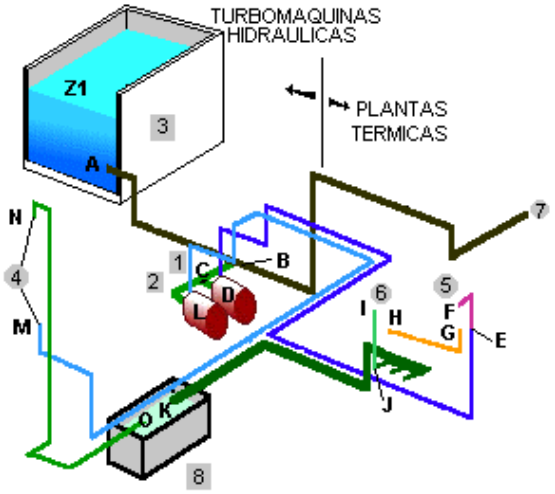
3.2.2 Perdidas de carga del sistema hidráulico. A partir del análisis realizado en las secciones 3.1 y 3.2, se conformaron los circuitos para cada bomba centrífuga. A continuación se analiza las perdidas por fricción de cada circuito hidráulico para las bombas centrífugas, los cuales son:

- Circuitos para las bombas de la tubería de suministro.

- Circuito para la bomba de la tubería de circulación.

3.2.2.1 Circuitos para las bombas de la tubería de suministro. El diagrama de los circuitos de cada bomba centrífuga se observa en la figura 56. estos circuitos corresponden al trazado de tuberías de suministro y drenaje necesarios para la operación de los equipos con mayor requerimiento, descritos en la sección 3.2.1.

Figura 56. Circuitos hidráulicos de mayor requerimiento para cada bomba centrífuga.



1 y 2 Bombas
3 Tanque de suministro
4 Banco de intercambiador de tubos concentricos - Ducto anular
5 Condensador banco de intercambiadores de casco y tubos
6 Banco de intercambiadores de casco y tubos - Salida Intercambiador 3
7 Hacia el banco de condensado
8 Tanque Colector

Como se observa en la anterior gráfica, las bombas comparten dos tramos en la línea de succión (tramos AB y BC), pero los equipos para cada bomba son diferentes así como el trazado en la tubería de descarga y en el drenaje de los equipos.

El circuito de la bomba 2 comienza en el punto Z1 pasando desde A hasta F, en donde se encuentra el banco de casco y tubos; allí pasa a través de los tubos del condensador, quien descarga su fluido por la tubería GH a los tubos del intercambiador 3, luego sale del banco y continua por el tramo IK, donde es descargado al tanque colector.

El circuito de la bomba 2 comienza en el punto Z1 pasando desde A hasta M, en donde se encuentra el banco de tubos concéntricos; allí pasa a través del ducto anular del calentador conformado por cuatro haces de tubos, luego sale del banco y continua desde N hasta O, donde es descargado al tanque colector.

El caudal máximo requerido; para la selección de estas bombas centrífugas, se obtuvo a partir de las tablas 16 y 17, teniendo en cuenta la demanda de flujo para los equipos que poseen mayor perdidas de carga, por tanto se utilizó:

- Caudal de 15 GPM para el circuito de la bomba 1.

- Caudal de 5 GPM para el circuito de la bomba 2.

Todos los datos obtenidos fueron calculados a temperatura del fluido de 25°C y según los planos 2 y 3, los resultados se muestran en las tablas 18 y 19.

Tabla 18. Perdidas de carga para el circuito de la bomba 1.

SECCIÓN	CAUDAL [GPM]	DIÁMETRO [In]	MATERIAL	LONGITUD [m]	ACCESORIOS: LONGITUD EQUIVALENTE Le/D							LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL [m]	LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL [m]	PERDIDAS POR METRO DE TUBERÍA [m/m]	PERDIDAS TOTALES [m]
									VÁLVULAS						
					CODO 90°	CURVA A FALSA ESCUADRA 90°	TÉ FLUJO DIRECTO	TÉ FLUJO DERIVADO	COMPUERTA	DE BOLAS	RETENCIÓN DE DISCO				
AB	20	2	H. GALVANIZADO	7.6	2X30	0	0	1X60	1X8	0	1X55	9.2964	16.8964	0.00970	0.164
BC	20	1	PVC	0.53	2X30	0	0	0	1X8	0	0	1.7272	2.2572	0.20668	0.467
CD	15	1	PVC	0.41	1X30	0	0	1X60	0	0	0	2.286	2.696	0.12222	0.329
DE	15	1	PVC	13.85	7X30	0	1X20	1X60	1X8	1X3	0	7.6454	21.4954	0.12222	2.627
EF	15	¾	COBRE	0.75	1X30	0	0	1X60	0	0	0	1.7145	2.4645	0.37081	0.914
GH	15	¾	H. GALVANIZADO	1.64	4X30	0	3X20	1X60	0	0	0	4.572	6.212	0.65003	4.038
IJ	15	¾	H. GALVANIZADO	1.38	2X30	0	1X20	1X60	0	1X3	0	2.72415	4.10415	0.65003	2.668
JK	15	2	ACERO	2.62	0	3X60	0	1X60	0	0	0	12.192	14.812	0.00491	0.073
PERDIDAS TOTALES POR TUBERÍA Y ACCESORIOS [m]															11.28
CARGA POR LA PRESIÓN DINÁMICA LOCAL EN EL FLUIDO A LA SALIDA DE LA TUBERÍA (Punto K) [m]															0.00974
PERDIDAS EN EL CONDENSADOR DEL BANCO DE INTERCAMBIADORES DE CASCO Y TUBOS (Lado tubos) [m]															7.316
PERDIDAS EN EL INTERCAMBIADOR 3 EN EL BANCO DE INTERCAMBIADORES DE CASCO Y TUBOS (Lado tubos) [m]															7.316
DIFERENCIA DE ALTURAS ENTRE EL NIVEL DEL TANQUE (Punto Z1) Y LA SALIDA DE LA TUBERÍA (Punto K) [m]															-0.12
ALTURA DE ELEVACIÓN REQUERIDA [m] =															25.83174

Densidad del agua a 25°C: 996.74 kg/m^3
Caudal impulsado por la bomba 1: 15 GPM
Velocidad del flujo en la succión: 1.69725 m/s.
Presión absoluta en la succión de la bomba 1: 102138.311 Pa ≅ 14.8139 Psi

Tabla 19. Perdidas de carga para el circuito de la bomba 2.

SECCIÓN	CAUDAL [GPM]	DIÁMETRO [In]	MATERIAL	LONGITUD [m]	ACCESORIOS: LONGITUD EQUIVALENTE Le/D							LONGITUD EQUIVALENTE POR ACCESORIOS [m]	LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL [m]	PERDIDAS POR METRO DE TUBERÍA [m/m]	PERDIDAS TOTALES [m]
					CODO 90°	CURVA A FALSA ESCUADRA 90°	TÉ FLUJO DIRECTO	TÉ FLUJO DERIVADO	VÁLVULAS						
									COMPUERTA	DE BOLAS	RETENCIÓN DE DISCO				
AB	20	2	H. GALVANIZADO	7.6	2X30	0	0	1X60	1X8	0	1X55	9.2964	16.8964	0.00970	0.164
BC	20	1	PVC	0.53	2X30	0	0	0	1X8	0	0	1.7272	2.2572	0.20668	0.467
CL	5	1	PVC	0.71	2X30	0	1X20	0	0	0	0	2.032	2.742	0.017036	0.047
LM	5	1	PVC	14.32	9X30	0	2X20	0	1X8	1X3	0	8.1534	22.4734	0.017036	0.383
NO	5	¾	H. GALVANIZADO	4.16	5X30	0	1X20	0	0	1X3	0	3.29565	7.45565	0.076368	0.569
PERDIDAS TOTALES POR TUBERÍA Y ACCESORIOS [m]															1.63
CARGA POR LA PRESIÓN DINÁMICA LOCAL EN EL FLUIDO A LA SALIDA DE LA TUBERÍA (Punto O) [m]															0.04285
PERDIDAS EN EL CALENTADOR DEL BANCO DE INTERCAMBIADORES DE TUBOS CONCÉNTRICOS (Ducto Anular) [m]															29.543
DIFERENCIA DE ALTURAS ENTRE EL NIVEL DEL TANQUE (Punto Z1) Y LA SALIDA DE LA TUBERÍA (Punto O) [m]															-0.12
ALTURA DE ELEVACIÓN REQUERIDA [m] =															31.0959

Densidad del agua a 25°C: 996.74 kg/m^3
Caudal impulsado por la bomba 2: 5 GPM
Velocidad del flujo en la succión: 0.56575 m/s.
Presión absoluta en la succión de la bomba 2: 105976.27 Pa ≅ 15.3706 Psi

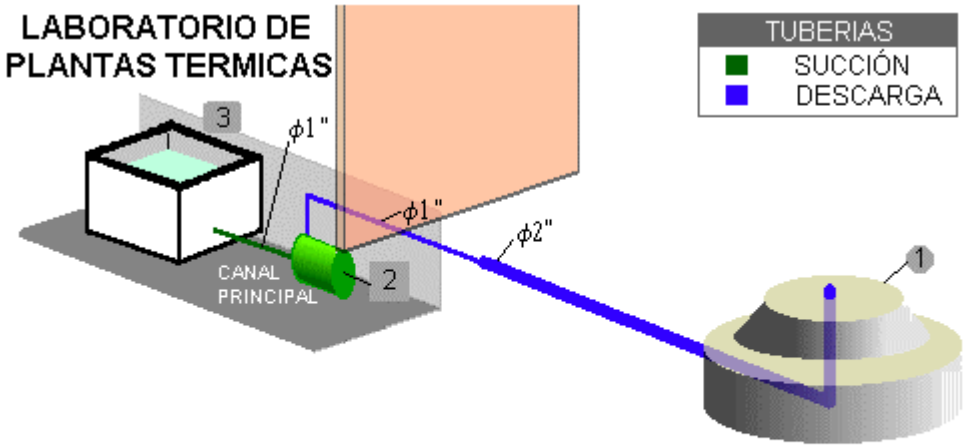
A partir de los datos de la tabla anterior se obtiene:

- Circuito de la bomba 1. Carga neta o altura de elevación requerida por la bomba de 25.83 m, a un caudal de 15 GPM.

- Circuito de la bomba 2. Carga neta o altura de elevación requerida por la bomba de 31.09 m, a un caudal de 5 GPM.

3.2.2.2 Circuito para la bomba de la tubería de circulación. Para el diseño de esta red hidráulica se debe tener en cuenta todos los flujos que arriban al tanque recolector de la red de agua de circulación. Esta red de tuberías se puede observar en la figura 57.

Figura 57. Tubería de circulación



Como se puede observar en la figura anterior, la línea de succión esta conformada por un pequeño tramo de tubería PVC de diámetro 1”; el cual alberga una llave de bola, mientras que la línea de descarga consta de dos

tramos de tubería, la primera es de diámetro 1” en PVC; posee una llave de bola y un manómetro, mientras que el segundo tramo es de tubería galvanizada de diámetro 2” y pertenece a la línea de alimentación de la torre de enfriamiento localizada fuera del laboratorio.

El caudal que la bomba deberá impulsar corresponderá al máximo caudal que entra al tanque recolector y trabajara aproximadamente por 25 minutos diarios. Se realizaron los aforos correspondientes para determinar los máximos caudales que llegarán a este tanque colector, los resultados se muestran a continuación.

- Banco de intercambiadores de casco y tubos. Caudal de la Bomba 1 de 15.37 GPM y caudal de la Bomba 2 de 24.73 GPM. Caudal total de 40.1 GPM.

- Banco de intercambiadores de tubos concéntricos. Caudal de la Bomba 1 de 22.19 GPM y caudal de la Bomba 2 de 6.03 GPM. Caudal total de 28.22 GPM.

- Banco de condensado o condensador de superficie. Caudal total de 22.87 GPM.

Debido a que los bancos de intercambiadores de casco y tubos y el de tubos concéntricos no se trabajaran simultáneamente, el máximo caudal que puede arribar al tanque recolector corresponderá a la suma de los caudales de los circuitos de las bombas 1 y 2 en el banco de intercambiadores de casco y tubos, como se observo en las pruebas anteriores. Además se ha de sumar el flujo del banco de condensado o condensador de superficie. Por tanto la bomba deberá trabajar con un caudal mínimo de 63 GPM. Un esquema de las líneas de succión y descarga para la bomba de circulación se observan

en la figura 58, sus pérdidas se describen en tabla 20, según el trazado de tuberías descrito en el plano 4.

Figura 58. Red de tuberías de circulación

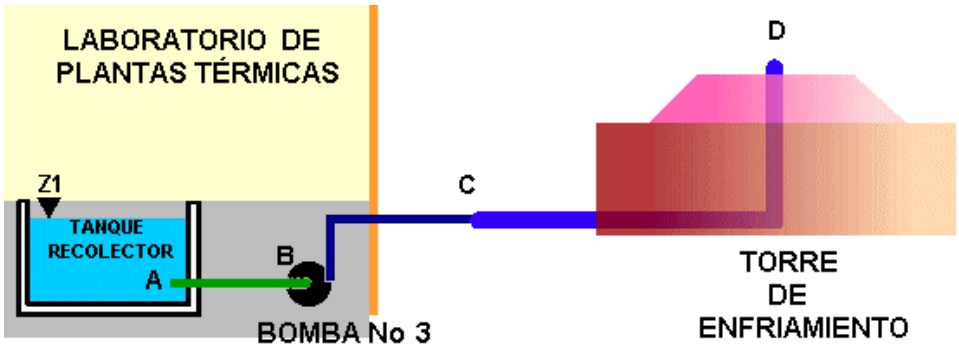


Tabla 20. Perdidas de carga en la red de circulación.

SECCIÓN	CAUDAL [GPM]	DIÁMETRO [In]	MATERIAL	LONGITUD [m]	ACCESORIOS LONGITUD EQUIVALENTE Le/D				LONGITUD EQUIVALENTE POR ACCESORIOS [m]	LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL [m]	PERDIDAS POR METRO DE TUBERÍA [m/m]	PERDIDAS TOTALES [m]
					CODO 90°	TÉ FLUJO DIRECTO	VÁLVULAS					
							COMPUERTA	DE BOLAS				
AB	63	1	PVC	0.35	1X30	0	0	1X3	0.8382	1.1882	1.7557	2.086
BC	63	1	PVC	4.73	1X30	1X20	0	0	1.27	6	1.7557	10.5342
CD	63	2	H. GALVANIZADO	7.6	2X30	0	1X8	0	3.4544	11.0544	0.08894	0.9832
PERDIDAS TOTALES POR TUBERÍA Y ACCESORIOS [m]												13.6034
CARGA POR LA PRESIÓN DINÁMICA LOCAL EN EL FLUIDO A LA SALIDA DE LA TUBERÍA (Punto D) [m]												0.1718
DIFERENCIA DE ALTURAS ENTRE EL NIVEL DEL TANQUE (Punto Z1) Y LA SALIDA DE LA TUBERÍA (Punto D) [m]												2.7
ALTURA DE ELEVACIÓN REQUERIDA [m] =												16.4752

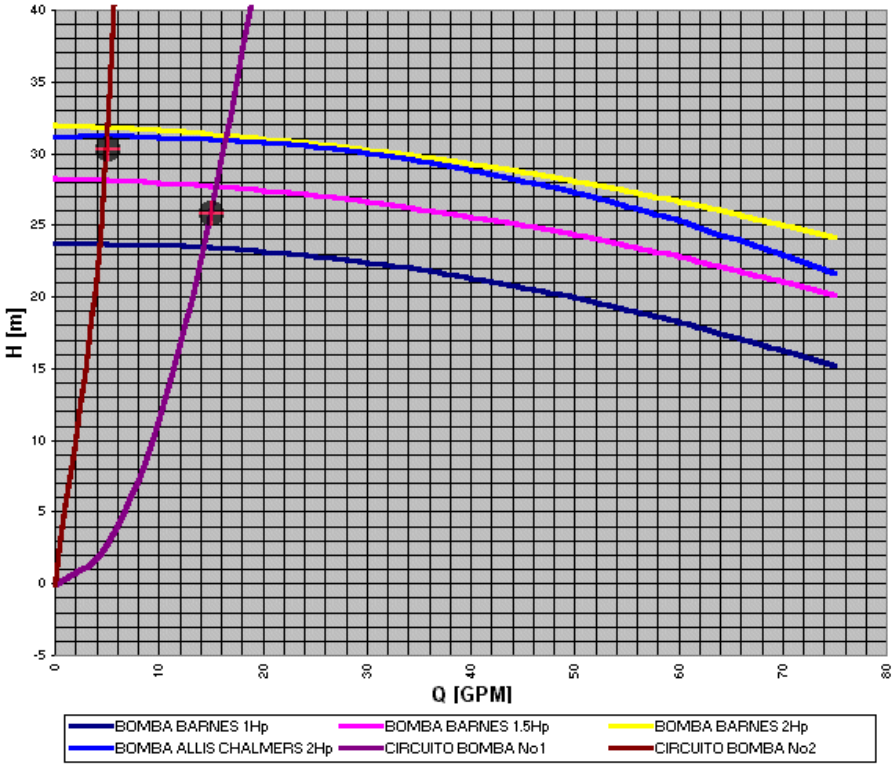
Densidad del agua a 25°C: 996.74 kg/m^3
Caudal impulsado por la bomba 3: 63 GPM
Velocidad del flujo en la succión: 7.1284 m/s.
Presión absoluta en la succión de la bomba 3: 57559.439 Pa ≅ 8.3483 Psi

3.3 SELECCIÓN DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

A continuación se seleccionarán las bombas centrífugas requeridas por el sistema hidráulico en las tuberías de suministro y circulación, a partir de los análisis de perdidas por fricción descrito en la sección 3.2.

3.3.1 Bombas centrífugas para la tubería de suministro. Se observan las curvas de las bombas disponibles, así como la demanda de cada uno de los circuitos, según las tablas 18 y 19 en la figura 59. Las especificaciones del fabricante para las bombas se observan en las figuras 61 y 62.

Figura 59. Curvas de los circuitos hidráulicos1 y 2 y de las bombas centrífugas disponibles.



Las especificaciones de las bombas seleccionadas según la figura 59 se aprecian en la tabla 21.

En el caso del circuito 2, la bomba marca ALLIS-CHALMERS fue seleccionada debido a que el laboratorio ya la poseía y por tanto se procedió a realizarle el respectivo mantenimiento para luego reinstalarla. Pero es recomendable reemplazarla por una nueva bomba centrífuga que cumpla con el 20% adicional de la demanda para la cual fue diseñado este circuito.

Tabla 21. Especificaciones de las bombas 1 y 2.

BOMBA	VELOCIDAD RPM	CAUDAL [GPM]	ALTURA [m]	POTENCIA Hp	TIPO	FABRICANTE
BOMBA 1	3450	15.534	27.711	1.5	BIFÁSICA	BARNES
BOMBA 2	3 450	5.01	31.214	2	TRIFÁSICA	ALLIS-CHALMERS

Las Bombas centrífugas y su montaje en el sistema hidráulico se observan en la figura 60.

Figura 60. Bombas centrífugas en la red de suministro.

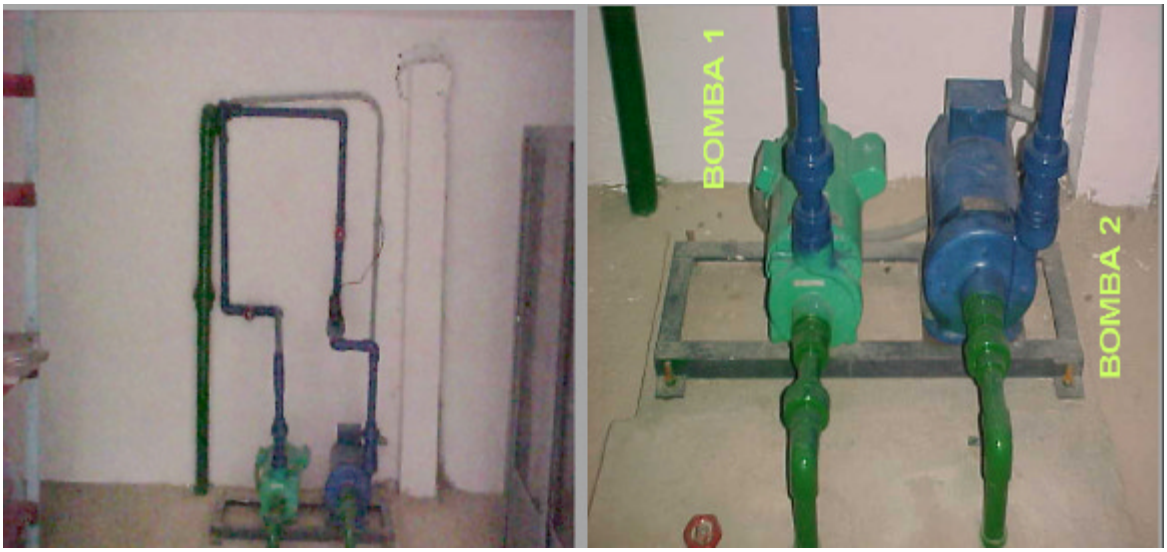


Figura 61. Especificaciones de bombas centrífugas

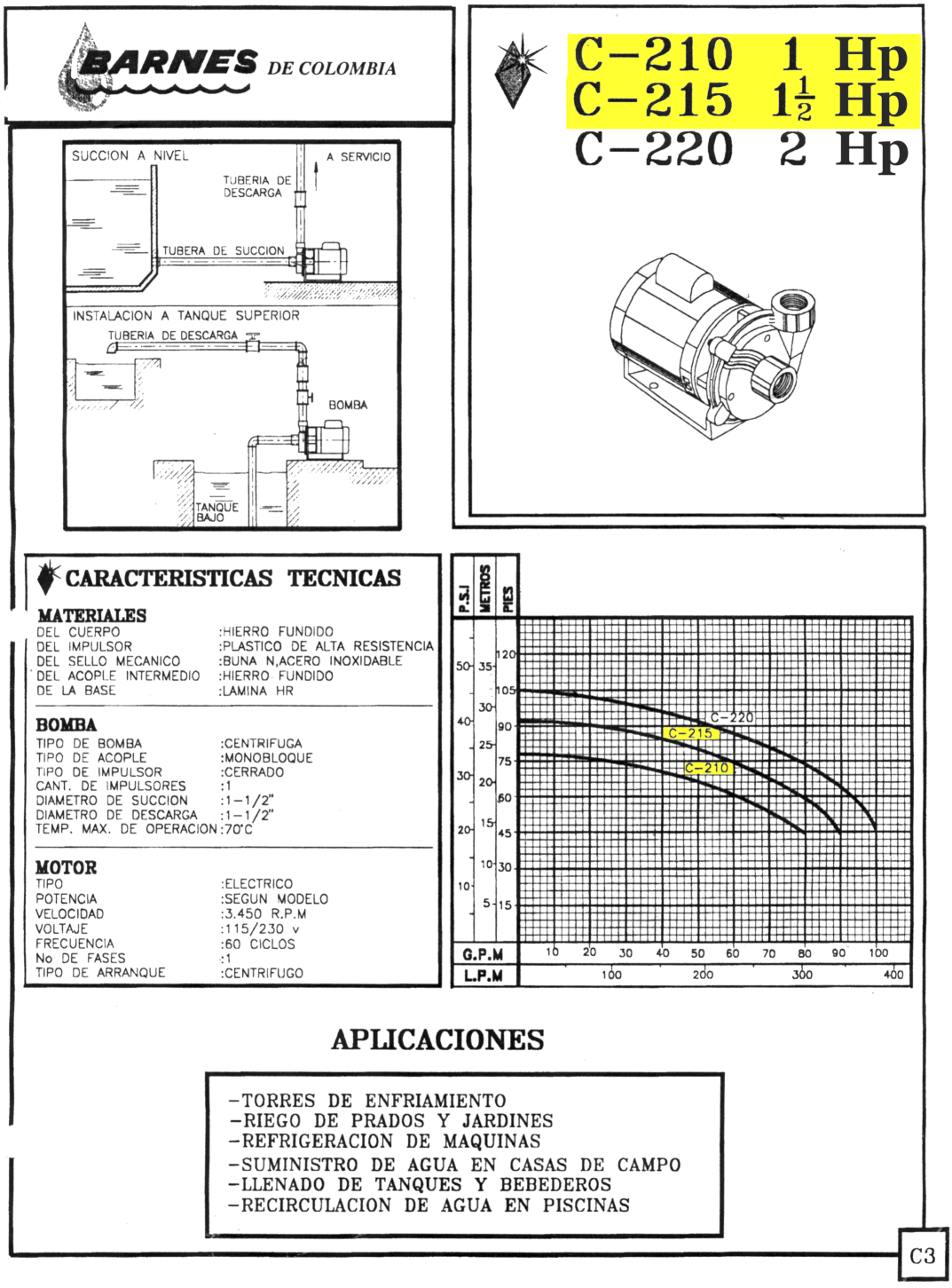
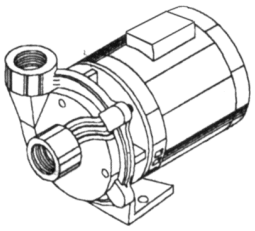


Figura 62. Especificaciones de bombas centrífugas

ALLIS-CHALMERS



JW-230

CARACTERISTICAS TECNICAS

MATERIALES

DEL CUERPO	:HIERRO FUNDIDO
DEL IMPULSOR	:PLASTICO DE ALTA RESISTENCIA
DEL SELLO MECANICO	:BUNA N,ACERO INOXIDABLE
DEL ACOPLE INTERMEDIO	:HIERRO FUNDIDO
DE LA BASE	:LAMINA HR

BOMBA

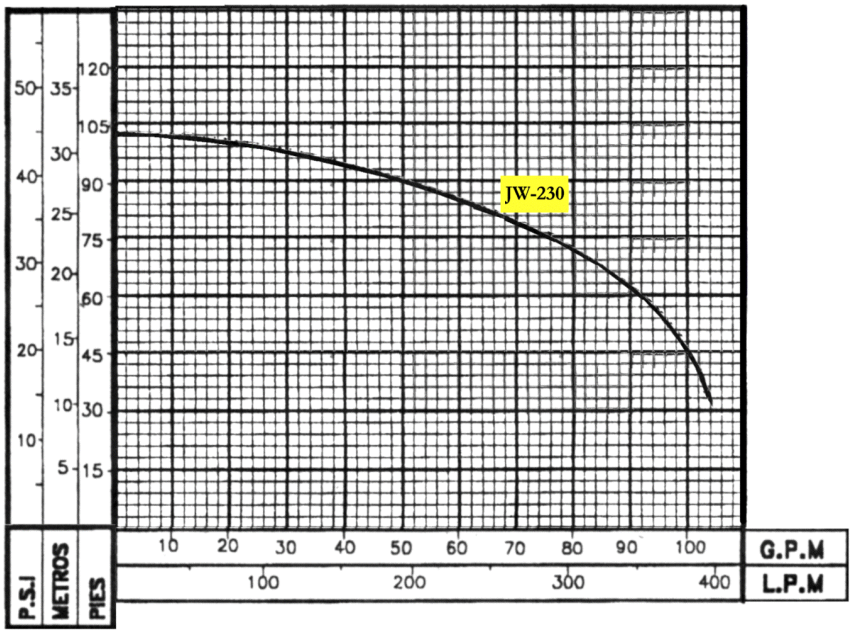
TIPO DE BOMBA	:CENTRIFUGA
TIPO DE ACOPLE	:MONOBLOQUE
TIPO DE IMPULSOR	:CERRADO
CANT. DE IMPULSORES	:1
DIAMETRO DE SUCCION	:1-1/2"
DIAMETRO DE DESCARGA	:1-1/2"
TEMP. MAX. DE OPERACION	:70°C

MOTOR

TIPO	:ELECTRICO
POTENCIA	: 2 HP
VELOCIDAD	:3.450 R.P.M
VOLTAJE	: 220/440 v
FRECUENCIA	:60 CICLOS
No DE FASES	:3
TIPO DE ARRANQUE	:CENTRIFUGO

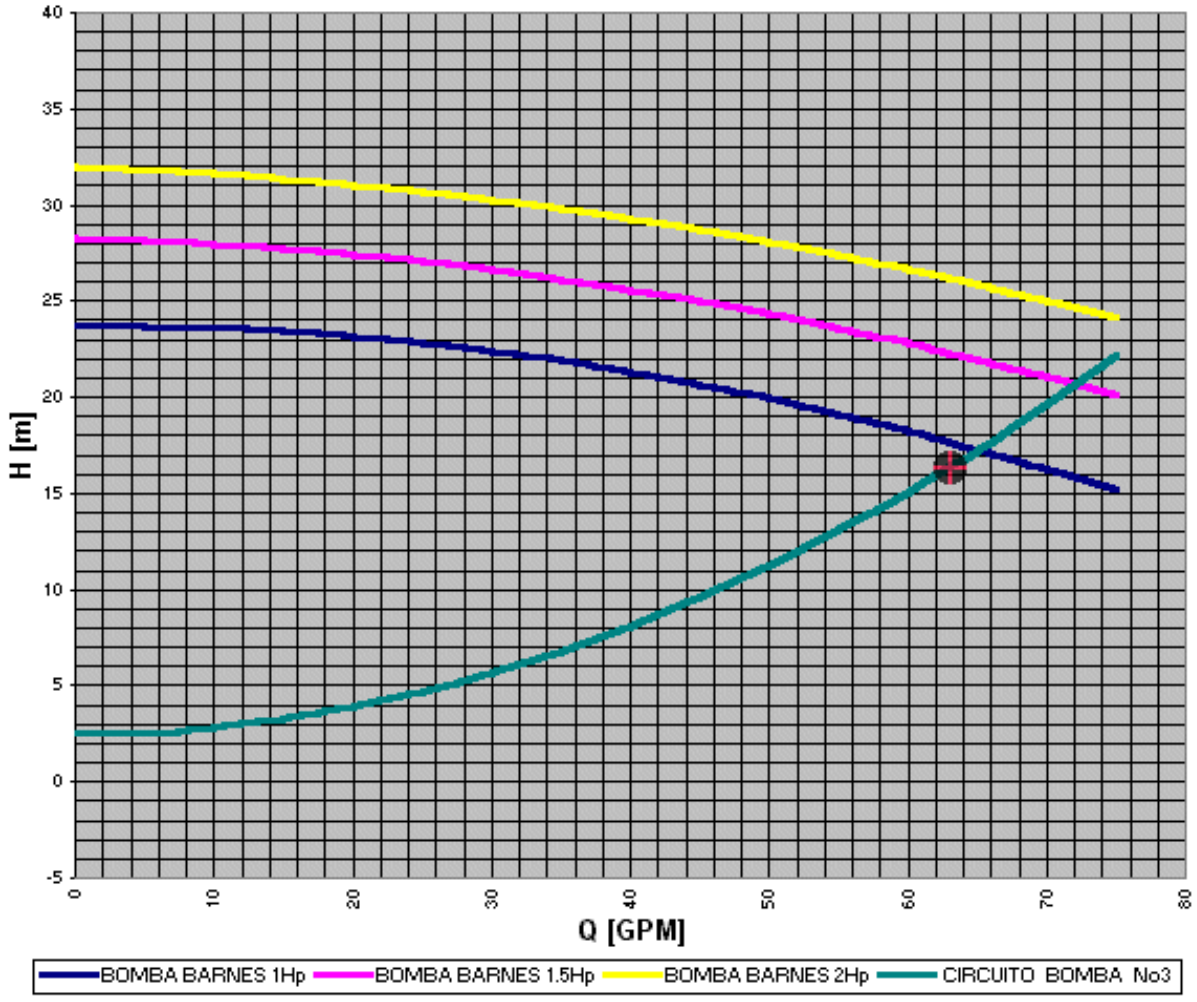
APLICACIONES

- -TORRES DE ENFRIAMIENTO
- -LLENADO DE TANQUES
- -REFRIGERACION DE MAQUINAS
- -RECIRCULACION DE AGUA EN PISCINAS
- -SUMINISTRO DE AGUA EN CASAS DE CAMPO



3.3.2 Bomba centrífuga para la tubería de circulación. En la figura 63 se observa las curvas de las bombas centrífugas disponibles y el requerimiento de la tubería de circulación a partir de la altura de elevación requerida por la tubería de circulación según la tabla 20 y las especificaciones del fabricante en las figuras 61 y 62.

Figura 63. Curvas del circuito hidráulico 3 y de las bombas centrífugas posibles.



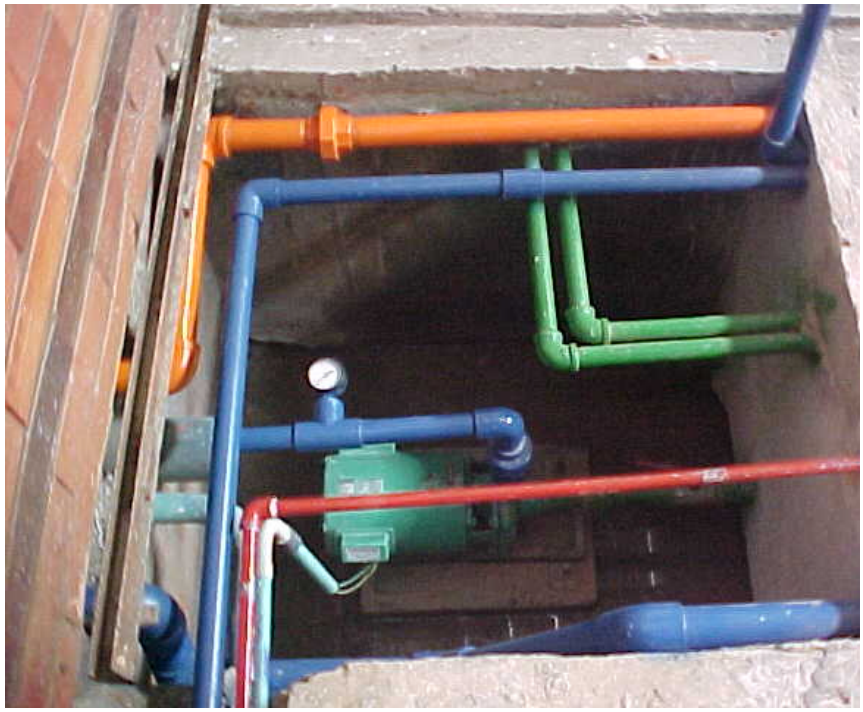
Las especificaciones de la bomba seleccionada se detallan en la tabla 22.

Tabla 22. Especificaciones de la bomba 3.

BOMBA	VELOCIDAD RPM	CAUDAL [GPM]	ALTURA [m]	POTENCIA Hp	TIPO	FABRICANTE
BOMBA 3	3450	65.023	17.317	1	MONOFÁSICA	BARNES

La ubicación e instalación de la bomba 3, se observa en la figura 64.

Figura 64. Bomba centrífuga de la red de circulación.



3.4 CARACTERIZACIÓN DEL TANQUE COLECTOR

Este tanque no almacenará agua por tiempos prolongados ya que solo será utilizado mientras se realizan las experiencias en los bancos de prueba; por lo tanto, su diseño no afectará los requerimientos del sistema. Es necesario

tener un nivel mínimo de agua en el tanque para que la bomba centrífuga sea auto-cebada y trabaje bajo condiciones optimas. Para ello se fijara la profundidad del tanque, con el fin de ubicar la línea de succión de la bomba bajo este nivel a determinar.

Debido a que es obligatorio mantener habilitado el canal principal para permitir el drenaje de los fluidos que circulan a través de él y a partir de la profundidad del canal principal de 0.77 m; así como, del espesor de 0.07 m para la placa que conformará el suelo del tanque colector; se dejará una elevación de 0.1 m entre la placa y el piso del canal principal.

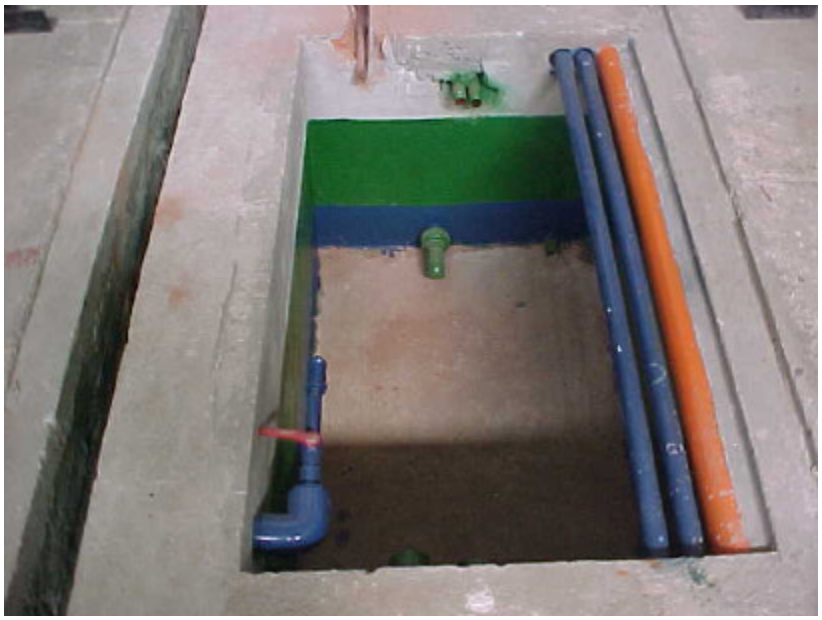
Se asumirá el nivel mínimo de agua en el tanque de 0.20 m; así como, una geometría básica del tanque; acomodada a las dimensiones del canal principal, así:

Profundidad:	0.6 m
Ancho:	0.67 m
Longitud:	1.1 m
Volumen total:	0.4422 m^3
Volumen mínimo:	0.1474 m^3

Se dispuso una línea de agua de la red del acueducto para permitir tanto el llenado del tanque hasta el nivel mínimo; requerido para el trabajo de la bomba, como la limpieza del mismo. También se instaló una salida con válvula de bola para el drenado del fluido dentro del tanque, cuando el sistema se encuentra en receso.

Su aspecto actual se observa en la figura 65.

Figura 65. Tanque colector.



3.5 ADECUACIÓN DE LA RED DE CONDUCCIÓN DE VAPOR

A esta red de tuberías se le practicaron las siguientes reformas:

- Redistribución del trazado de la tubería de acuerdo a la nueva ubicación de los bancos.
- Cambio del aislante y el recubrimiento de todo el trazado de la tubería.
- Cambio del tramo de tubería de longitud 6 m, ubicada sobre la placa del techo del pasillo que comunica el taller y los laboratorios de maquinas hidráulicas y maquinas térmicas.
- Recubrimiento del tramo de tubería de vapor descubierto, ubicado en el salón 107, donde se encuentra la caldera.
- Supresión de la válvula reductora de presión e instalación de un tanque recolector de condensado. Véase figura 67.
- Cambio de válvulas y accesorios en mal estado.

La redistribución de la tubería de vapor se observa en la figura 66 y sus dimensiones se detallan en el plano 5.

Figura 66. Red de conducción de vapor.

Figura 67. Tanque colector de condensado.

4. CONCLUSIONES

- El nuevo diseño del sistema hidráulico para la alimentación de los bancos de intercambiadores de calor evita la cavitación en las tuberías así como reduce la posibilidad de daños en las bombas ya que su ubicación dentro del sistema hidráulico permite el auto-cebado de las mismas y por consiguiente reduce la manipulación de estas por parte de operario.

- Se consiguió disminuir el gasto energético del sistema hidráulico ya que se reemplazó la bomba centrífuga de potencia 5 Hp por una de 2 Hp; sin afectar el funcionamiento de los bancos de experimentación debido al suministro de agua.

- Las tomas de agua y vapor instaladas dentro de las redes de tuberías permiten conectar otros equipos o bancos de experimentación sin tener que desconectar los existentes.

- La nueva conexión elaborada por universales para cada intercambiador en los bancos de experimentación, presenta grandes ventajas con respecto a la unión por bridas existente en el estado anterior de los bancos de pruebas ya que facilita la remoción de cada uno de los intercambiadores por separado con el fin de realizar el mantenimiento correspondiente a cada uno de ellos.

- El nuevo trazado en las líneas de drenaje para cada intercambiador en los bancos de pruebas permite aforar cada sección por separado, sin afectar el comportamiento del fluido en el resto del sistema.

- La agrupación de cajas selectoras de termocúplas, fuentes, módulos de comunicación, etc. dentro de los cofres de control permite reducir la congestión visual dentro del laboratorio y, así mismo, facilitar la localización y manipulación de estas herramientas.

- La adición de termocúplas así como el mantenimiento de las existentes en los bancos de experimentación permiten mejorar el monitoreo del comportamiento térmico de los flujos en contacto en cada banco.

- Se señalizo las tuberías de la siguiente manera: Color verde para la tubería de succión para las bombas y líneas de drenaje para los bancos de pruebas. Color azul para la tubería de impulsión en las bombas y la tubería de agua proveniente de la red del acueducto. Color amarillo para la tubería que transporta agua caliente. Color rojo para las líneas de conducción de vapor.

- Se numeraron las termocúplas de acuerdo al recorrido de los flujos dentro de los bancos de pruebas, con el fin de detectar la posición de cada una de ellas en las cajas selectoras.

- Se rotulo cada modulo existente según su función en los dos cofres del sistema de control y el de monitoreo, para facilitar futuras reestructuraciones en la organización cada elemento de los cofres.

- Se debe realizar el mantenimiento correspondiente al canal principal del laboratorio de maquinas térmicas así como cambiar la tubería; la cual permite drenar este canal, por una de mayor diámetro con el fin de evitar el estancamiento de agua dentro del mismo.

- Es indispensable adquirir un nuevo módulo FieldPoint, así como la modificación del software de monitoreo y la actualización del computador con el fin de permitir la lectura de datos para todas las termocúplas del banco de

intercambiadores de calor de tubos concéntricos sin que sea necesario desconectar las otras; ya que actualmente, la capacidad de lectura del módulo de comunicaciones es de 16 termocúplas (8 por módulo), mientras que el máximo número de termocúplas por banco es de 23.

- Es necesario realizar el mantenimiento pertinente a la torre de enfriamiento localizada fuera del laboratorio de maquinas térmicas ya que ésta hace parte de la red de tuberías de circulación que retorna el flujo de agua utilizado al tanque de suministro, ubicado dentro del laboratorio de maquinas hidráulicas.

- También es requerido el rediseño de las líneas de suministro de energía eléctrica e iluminación de la sección de transferencia de calor, con el fin de conectar herramientas eléctricas auxiliares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIAS, Wiston y SUAREZ, Harold. Manual de procedimientos técnicos. Escuela de ingeniera mecánica. UIS. 2001.

CONTRERAS, Orlando y SALDARRIAGA, Humberto. Reconversión del laboratorio de transferencia de calor. Escuela de ingeniera mecánica. UIS. 1996.

CHACON, Cesar Fernando y FLOREZ, Luis Eduardo. Propuesta para la reorganización y adecuación del laboratorio de maquinas térmicas de la escuela de ingeniería mecánica. Escuela de ingeniera mecánica. UIS. 2001.

CRANE. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. McGraw-Hill. 1999.

HRI. Hemisphere. Publishisg Corporation. 1983**.**

KRISTAL, Frank y ANNETT, F. A. Pumps. 2 edición. McGraw-Hill Book Company, Inc. 1953.

LOPEZ Rueda, Jairo Humberto y VALDERRAMA Centeno, Alcibíades. Adecuación didáctica del laboratorio de transferencia de calor. Escuela de ingeniera mecánica. UIS. 1983.

MALDONADO, William Alberto Rey y TORRES, Wilson Daniel. Análisis de vibraciones en bombas centrifugas y ventiladores. Escuela de ingeniera mecánica. UIS. 1998.

MOLLOY, E. Modern pumps. London. 1 ed. George Newnes limited. 1953.

Anexo A. Sistemas hidráulicos

Un sistema hidráulico consiste de un conjunto de ductos por los cuales se transporta un flujo impulsado ya sea por su propia energía así como por maquinaria hidráulica. Para el análisis de tales sistemas es necesario conocer las cargas que están involucradas.

GENERALIDADES:

Para poder entrar en él calculo de cargas de una red de distribución, primero veremos algunas teorías y ecuaciones fundamentales de la hidráulica.

Ecuación de continuidad. La ecuación de continuidad es una consecuencia del PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA MASA. Para un flujo permanente e incompresible, la masa de fluido que atraviesa cualquier sección de un conducto por unidad de tiempo es constante y su peso específico es uniforme en cada sección, por lo tanto para flujo en ductos tenemos:

$$Q = A * V = \frac{\delta * D^2 * V}{4} \qquad \left[\frac{m^3}{seg} \right]$$

donde

Q Caudal (m^3/seg.)

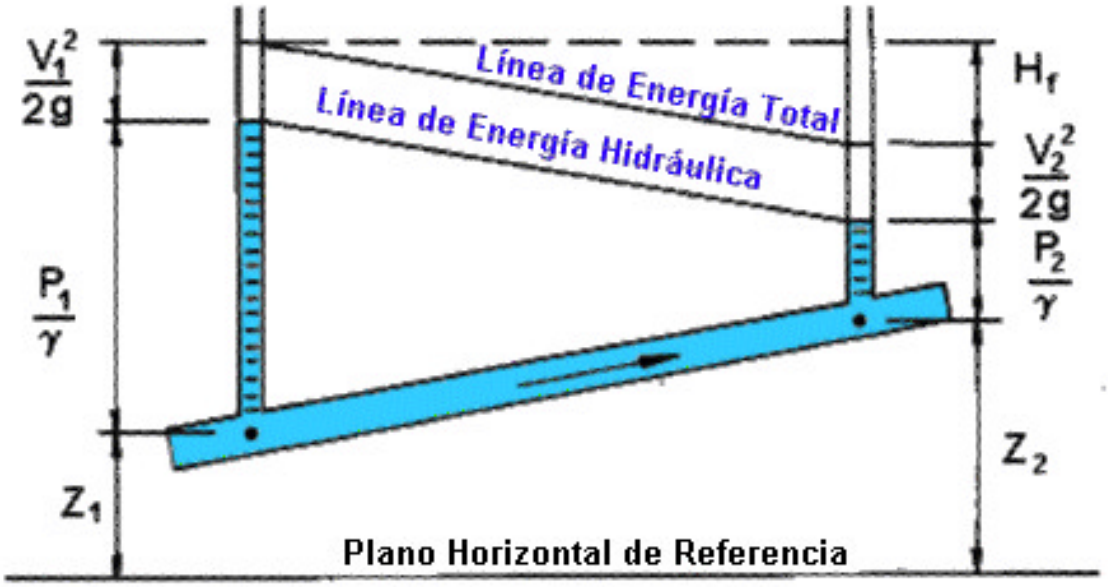
A Área de la sección transversal del tubo (m^2)

D Diámetro hidráulico (Para Tubería D es el diámetro interno del tubo, para otros ductos D = $4A_c/P$, donde A_c es el área transversal del ducto y P el perímetro mojado por el fluido)

V Velocidad media de la corriente (m/seg)

Ecuación general de la energía. "*TEOREMA DE BERNOULLI".* El teorema de Bernoullí es una forma de expresión de la aplicación de la energía al flujo de fluidos en tubería. La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario, fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica (Energía Potencial), la altura debida a la presión (Energía de Presión) y la altura debida a la velocidad (Energía Cinética). Debido a que existen pérdidas y/o incrementos de energía, estos se deben incluir en la ecuación de Bernoullí, véase figura 68.

Figura 68. Líneas de Energía.



Por lo tanto, el balance de energía para dos puntos de fluido puede escribirse, considerando las pérdidas por rozamiento (hf) de la siguiente manera:

$$Z_1 + \frac{P_1}{g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Donde :

h_f = Perdidas de Enegía entre los puntos 1 y 2

Z = Energía Potencial

$\frac{P}{ã}$ = Energía de presión

$\frac{V^2}{2g}$ = Energía cinética

Con :

g Acelera ción de la gravedad [9.81 m/seg ^{2} aprox]

ã Peso Especifico del agua

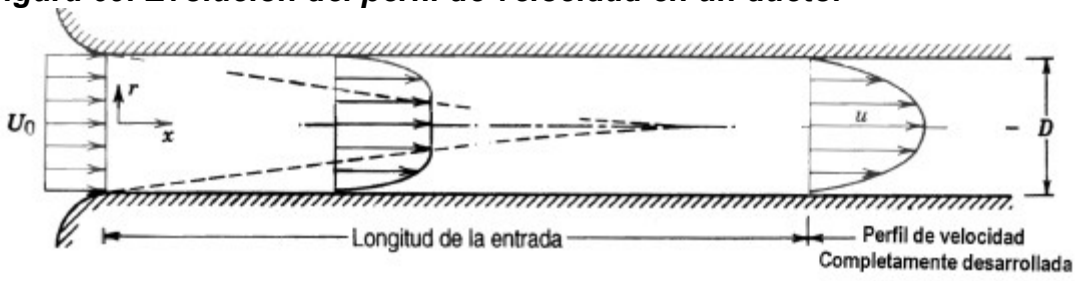
ñ Densidad del agua a la temperatur a del lugar [1000 kg/m ^{3} aprox.]

Tipos de flujos: Existen dos tipos de flujos dentro de una tubería:

- Flujo Laminar: Es aquel en que sus partículas se deslizan unas sobre otras en forma de laminas formando un perfil de velocidades simétrico y en forma de parábola.
- Flujo Turbulento: Es aquel cuyas partículas se deslizan en forma desordenada.

En ambos casos la velocidad en el perfil de velocidades, varía de una máxima (en la zona central) a una mínima (en la zona de contacto con las paredes del tubo) como se observa en la figura 69.

Figura 69. Evolución del perfil de velocidad en un ducto.



Osborne Reynolds dedujo que el régimen de flujo en tuberías depende de los cuatro factores siguientes:

- Diámetro hidráulico D [m] (Para Tubería D es el diámetro interno del tubo, para otros ductos $D = 4A_c/P$, donde A_c es el área transversal del ducto y P el perímetro mojado por el fluido).
- Densidad del fluido Kg/m^3]
- Viscosidad absoluta [Kg*seg/m^2] o la viscosidad cinemática [m^2/seg]
- Velocidad del flujo V [m/seg]

Combinando estos cuatro valores Reynolds obtuvo la ecuación siguiente:

$$\mathbf{Re} = \frac{V * D}{n} = \frac{r * V * D}{m}$$

DETERMINACIÓN DE LAS PERDIDAS DE CARGA:

La pérdida de carga total, h_{lT} se considera como la suma de las pérdidas mayores, h_l, debidas a la fricción en flujo completamente desarrollado en tubos de área constante, y las pérdidas menores, h_{lm}, debidas a entradas, conectores, cambios de área, etc.

Pérdidas mayores:

La pérdida de carga representa la conversión de la fricción mecánica en energía térmica, la pérdida de carga para flujo completamente desarrollado en un ducto de área constante depende sólo de los detalles del flujo a través del ducto. La pérdida de carga es independiente de la orientación de la tubería. De tal manera, la pérdida de carga mayor puede expresarse como la pérdida de presión para flujo completamente desarrollado a través de una tubería

horizontal de área constante. Para determinar la pérdida de carga en un flujo completamente desarrollado con condiciones conocidas, se evalúa primero el número de Reynolds. La rugosidad relativa, e/D, se obtiene de la figura 70. Después, el factor de fricción (*f*) se obtiene según el tipo de flujo presente y el valor de Re a partir de las relaciones de COLEBROOK o de la figura 71. Por último, la pérdida de carga mayores se encuentra empleando la siguiente ecuación.

$$h_l = f\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

Flujo laminar. En flujo laminar, el factor de fricción es únicamente función del número de Reynolds; es independiente de la rugosidad. Los resultados experimentales comprueban que el factor de fricción es una función sólo del número de Reynolds en flujo laminar.

$$f = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

Flujo turbulento. El factor de fricción se calcula según el valor del número de Reynolds Re, según la correlación de *COLEBROOK,* así:

$$\frac{1}{f^{0.5}} = -2.0 * LOG\left[\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{\mathrm{Re} * f_o^{0.5}}\right]$$

Él recomienda un valor inicial de f según la siguiente ecuación para la iteración en la ecuación anterior (Sugerida una sola iteración con 1% de error):

$$f_o = 0.25 * LOG\left[\frac{e/D}{3.7} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.5}}\right]^{-2}$$

En las figuras 70 y 71 se observan curvas de e/D en función de la rugosidad y el diámetro de la tubería, así como valores del factor de fricción con base en e/D y Re.

Figura 70. Rugosidad relativa para tuberías de materiales comunes en ingeniería.

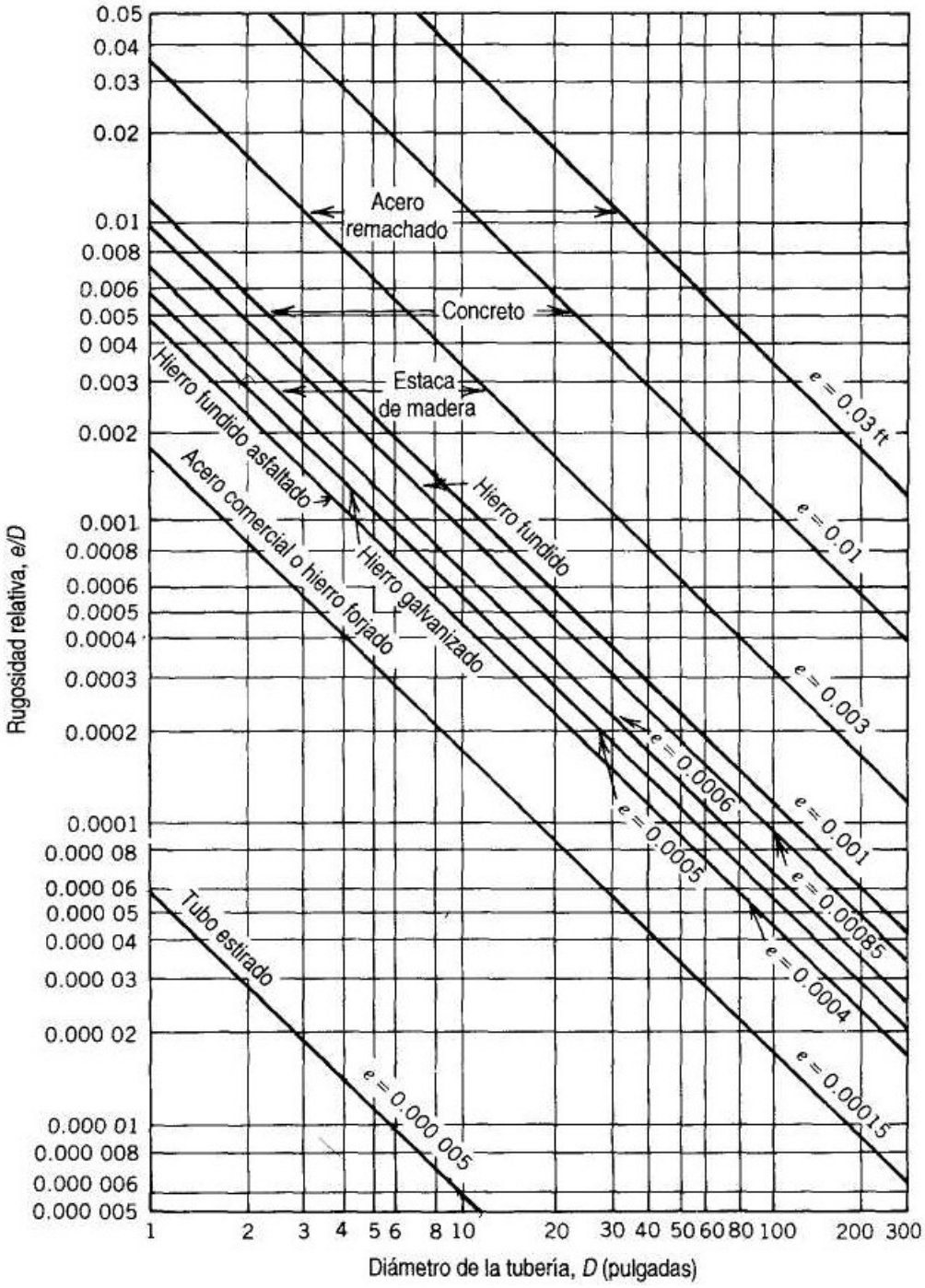
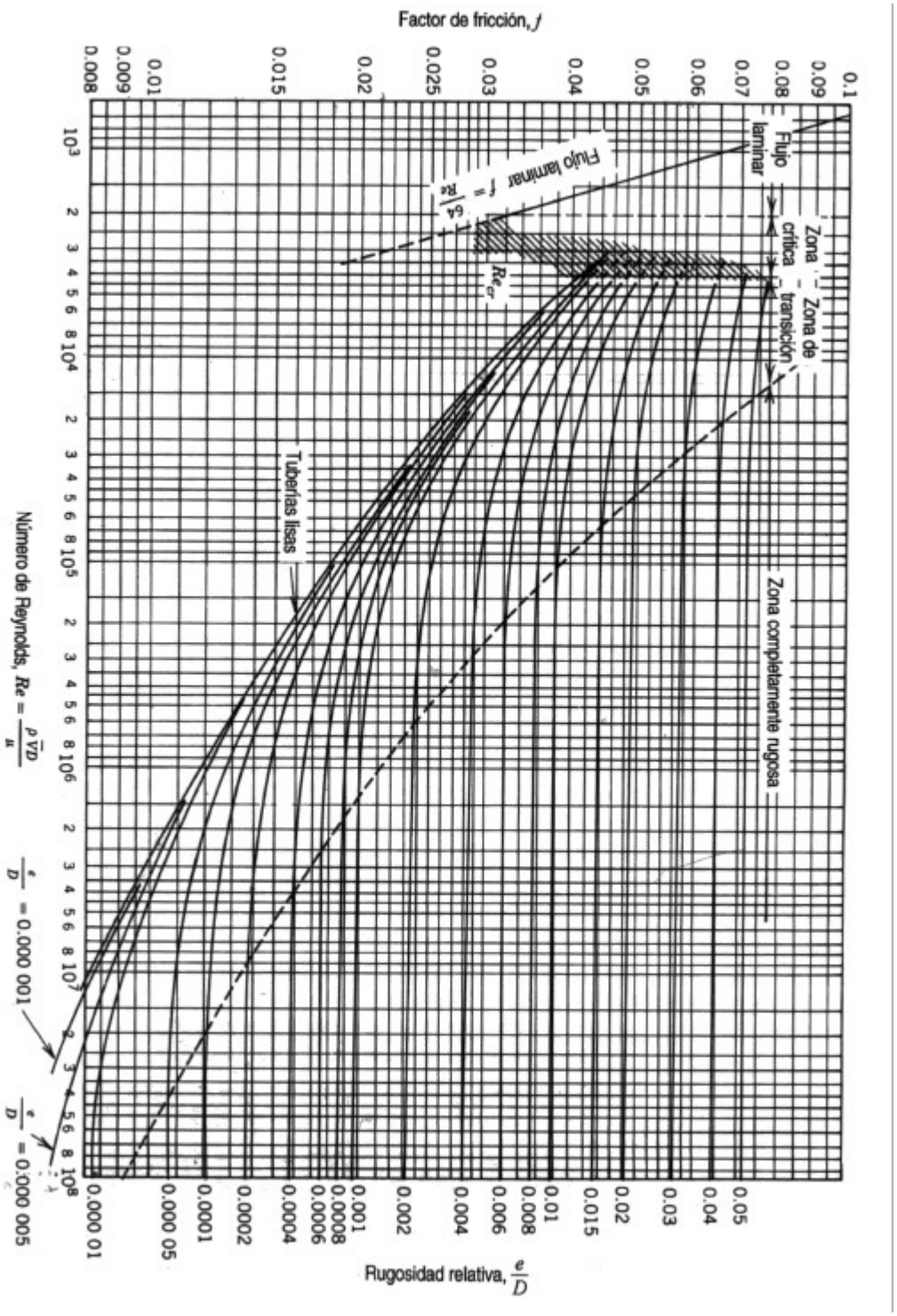


Figura 71. Factor de fricción para flujos completamente desarrollados en ductos circulares.



Pérdidas menores:

Son debido a la fricción generada por el paso del flujo en un sistema de tubería a través de una variedad de accesorios, conectores o cambios abruptos en el área así como pérdidas de carga adicionales, fundamentalmente por la separación de flujo. (La energía a la larga es disipada por la mezcla violenta en las zonas separadas.)

Estas pérdidas serán menores (de ahí el término pérdidas menores) si el sistema de tubería incluye tramos largos de tubería de área constante. La pérdida de carga menor puede expresarse como función del coeficiente de pérdidas K o en base a L_e o longitud equivalente de tubería recta en accesorios, como se observa en la siguiente ecuación:

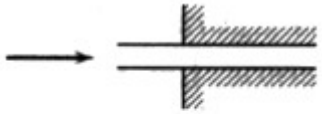
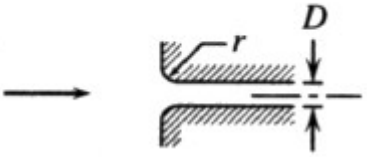
$$h_{lm} = K\left(\frac{V^2}{2g}\right) = f\left(\frac{L_e}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

La longitud equivalente [L_e/D] tiende a una constante para tamaños diferentes de un tipo de conector determinado, mientras que el coeficiente de perdidas K varía según el tamaño del ducto.

Entradas y salidas. Una entrada a una tubería diseñada inadecuadamente puede provocar una pérdida de carga considerable ya que si la entrada tiene esquinas pronunciadas, se producirá separación de flujo formándose una vena contracta.

El fluido debe acelerarse localmente para pasar a través del área de flujo reducida en la vena contracta. En la tabla 23 se observa los coeficientes K para tres geometrías de entrada básicas así como para las salidas.

Tabla 23. Coeficientes de perdidas menores k para entradas de tuberías.

Tipo de entrada		Coeficiente de perdidas menores, k
Reentrada		0.78
Borde cuadrado		0.5
Redondeada		r/D 0.02 0.06 0.15 K

Todo Tipo de Salida	Coeficiente de perdidas menores, k =1

Aumentos y contracciones. Los coeficientes de pérdidas menores para expansiones y contracciones repentinas en ductos circulares, se dan en la figura 72.

Para las contracciones graduales los coeficientes de perdidas se muestran en la tabla 24.

Figura 72. Coeficientes de perdidas K para flujos a través de cambios súbitos de área.

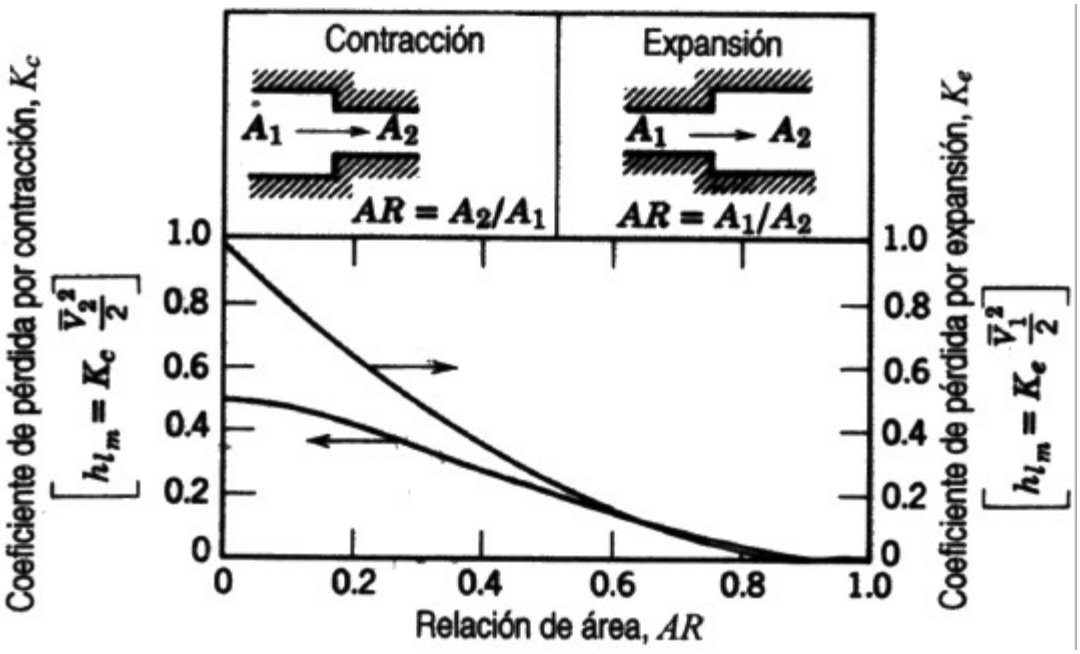
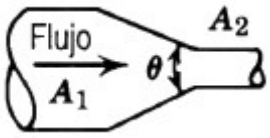


Tabla 24. Coeficientes de perdidas K para contracciones graduales: ductos redondos y rectangulares.

		Ángulo de contracción [Grados]						
	A_2/A_1	10	15-40	50-60	90	120	150	180
	0.5	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
	0.25	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
	0.1	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43

Válvulas y conectores. Las pérdidas correspondientes al flujo a través de válvulas y conectores también pueden expresarse en términos de una longitud equivalente de tubería recta L_e. En la tabla 25 se proporcionan algunos datos representativos.

Tabla 25. Longitudes equivalentes adimensionales para válvulas y accesorios.

TIPO DE ACCESORIO		**LONGITUD EQUIVALENTE L_e/D**
VÁLVULAS COMPLETAMENTE ABIERTAS	Válvula de Compuerta	8
	Válvula de Globo	340
	Válvula de Ángulo	150
	Válvula de Bola	3
	Válvula de Retención de Bola	600
	Válvula de Retención de Disco	55
	Válvula de Pie con Filtro (Disco con resortes)	420
	Válvula de Pie con Filtro (Disco Articulado)	75
CODOS	De Retorno 180°	50
	A 90°	30
	A 45°	16
CURVAS EN ESCUADRA O FALSA ESCUADRA	Unión a 0°	2
	Unión a 15°	4
	Unión a 30°	8
	Unión a 45°	15
	Unión a 60°	25
	Unión a 75°	40
	Unión a 90°	60
T estándar	Flujo directo	20
	Flujo derivado	60

Todas las resistencias se dan para válvulas completamente abiertas; las pérdidas se incrementan de manera marcada cuando las válvulas están parcialmente abiertas. El diseño de éstas varía en forma significativa entre los fabricantes. Siempre que es posible, deben utilizarse las resistencias que surten los proveedores si se requieren resultados precisos. Los conectores en un sistema de tuberías pueden tener conexiones de cuerda, brida o de soldadura. Para diámetros pequeños, las uniones de cuerda son las más comunes; los

sistemas de tuberías grandes con frecuencia cuentan con uniones de brida o soldadas. En la práctica, la inserción de pérdidas por conectores y válvulas varía considerablemente, dependiendo del cuidado que se tuvo en la fabricación del sistema de tuberías. Si se dejan rebabas de secciones de tubería cortada, éstas provocarán obstrucciones locales de flujo, lo cual incrementa las pérdidas de manera apreciable.

Aunque las pérdidas analizadas en esta sección se denominaron "pérdidas menores", pueden llegar a ser una gran fracción de las pérdidas totales del sistema. Es por ello que un sistema para el cual se van a efectuar cálculos debe verificarse con todo cuidado para asegurar que todas las pérdidas se han identificado y que sus magnitudes se han estimado. Si los cálculos se realizan cuidadosamente, los resultados serán satisfactorios en cuanto a la exactitud del trabajo de ingeniería. Usted puede esperar predecir pérdidas reales dentro de un ±10 por ciento.

Anexo B. Selección de Bombas y Motores

Se deben tener en cuenta algunas consideraciones al seleccionar una bomba y su motor, las cuales son:

- Deben ser capaces por si solas de abastecer la demanda máxima dentro de los rangos de presiones y caudales, para cubrir por lo menos el 140 % de la demanda máxima probable.

- La presión mínima de operación P_{min} del sistema deber ser tal que garantice en todo momento, la presión requerida (presión residual) en la toma más desfavorable.

- La potencia del motor debe ser el resultado del cálculo efectuado en el rendimiento real indicado en la curva seleccionada y siempre debe garantizar que no exista sobrecarga en el mismo cuando la unidad trabaja contra el 85 % de la carga de diseño.

- Los motores eléctricos que accionan las bombas deberán tener, según las normas oficiales vigentes, una potencia normal según la fórmula siguiente:

$$\textbf{Motores} \begin{cases} \textbf{Trifásicos} & HP_{(motor)} = 1{,}3\ HP_{(bomba)} \\ \textbf{Monofásicos} & HP_{(motor)} = 1{,}5\ HP_{(bomba)} \end{cases}$$

Eficiencia y Potencia. Cuando se incluyen la fricción y las pérdidas de flujo para bombas, la eficiencia es la razón entre las eficiencias mecánica e hidráulica, en consecuencia:

$$h_p = \frac{\dot{W}_h}{\dot{W}_m}$$

la potencia mecánica

$$W_m = w\, T_{EJE}$$

Para la carga añadida al flujo.

$$H = \frac{W_m}{\dot{m}\, g}$$

Por tanto la potencia hidráulica será:

$$W_h = m * g * H = ñ * Q * g * Ç$$

En consecuencia la eficiencia se define como,

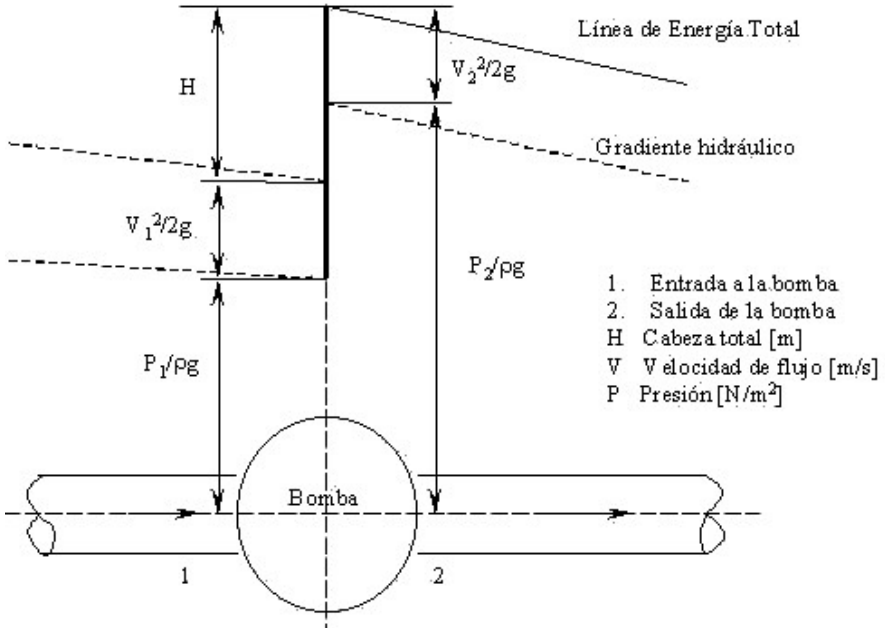
$$h_P = \frac{W_h}{W_m} = \frac{r\, QgH}{w\, T_{EJE}}$$

Características de funcionamiento:

Para especificar las máquinas hidráulicas requerida para sistemas de flujo, el diseñador debe conocer el aumento de presión o carga, el requerimiento de potencia y la eficiencia de una máquina.

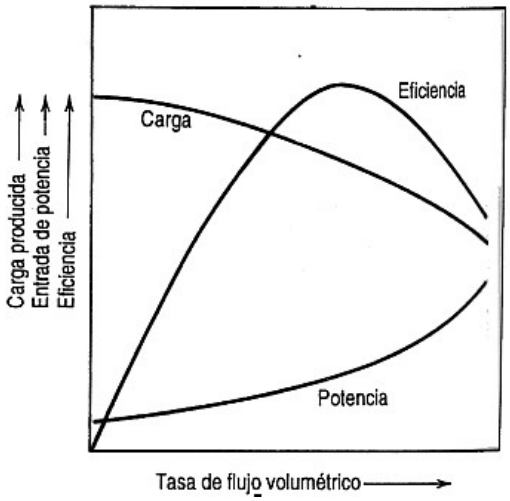
Para una máquina dada, cada una de estas características es una función de la relación de flujo. El funcionamiento de una bomba depende de la energía del sistema en los puntos donde se desea instalar la bomba, como se puede observar en la figura 73.

Figura 73. Energía del sistema en los puntos de instalación de la bomba centrífuga.



Parámetros de funcionamiento. Las curvas características típicas para una bomba centrífuga probada a velocidad constante se muestran en la figura 74; éstas son distribuidas generalmente por los fabricantes.

Figura 74. Curvas características típicas para bombas centrífugas a velocidad constante.



También el fabricante presenta los perfiles de requerimiento de eficiencia y los requerimientos de carga de succión positiva (NPSH, por sus siglas en inglés.).

Cavitación y carga neta de succión positiva:

La cavitación se presenta en cualquier maquinaría que trabaje con líquidos cuando la presión estática local está por debajo de la presión de vapor del líquido. En este caso, el líquido se evapora localmente, formando una cavidad de vapor y cambiando el patrón de flujo a partir de la condición de no-cavitación. La cavidad del vapor cambia la forma efectiva del área de paso para el flujo, alterando de ese modo el campo de presión local y el flujo puede volverse inestable provocando que todo el flujo oscile y que la máquina vibre.

La cavitación debe evitarse para mantener la operación óptima. Además, las presiones superficiales locales pueden volverse elevadas cuando se colapsa la cavidad de vapor, provocando daño por erosión o picaduras superficiales que podrían concluir en el daño de las tuberías o de la maquina. En una bomba, la cavitación tiende a empezar en la sección donde el flujo se acelera hacia el impulsor. La tendencia a cavitar aumenta cuando las velocidades de flujo locales se incrementan; esto ocurre siempre que aumentan la relación de flujo o la velocidad de operación de la máquina.

En las bombas, el punto crítico se encuentra en la entrada de la bomba (la succión); debido a las pérdidas de presión de carga en la línea de succión, la presión en la entrada puede estar abajo de la atmosférica. Por ello, es importante limitar cuidadosamente la caída de presión en el sistema de tuberías de entrada.

La carga neta de succión positiva (NPSH, por sus siglas en inglés) se define como la diferencia entre la presión de estancamiento absoluta en el flujo en la succión de la bomba y la presión de vapor del líquido, expresada como la carga del líquido circulante. La NPSH puede expresarse en cualesquiera unidades de medida convenientes, tales como la altura del líquido que fluye, es decir, pies de agua (de ahí el término carga de succión), psia o kPa (absoluta.). Cuando se expresa como carga, la NPSH se mide relativa a la línea central del impulsor de la bomba.

La carga neta de succión positiva requerida (NPSHR) por una bomba específica para suprimir la cavitación varía con el líquido bombeado y con la temperatura del líquido, así como con la condición de la bomba (cuando las características geométricas críticas de la bomba son afectadas por el desgaste.). La NPSHR puede medirse en una instalación de pruebas de bombas controlando la presión de entrada. Los resultados se grafican sobre una curva de funcionamiento de bombas.

La carga neta de succión positiva disponible (NPSHD) en la entrada de la bomba *debe ser mayor* que la NPSHR, para eliminar la cavitación. Las caídas de presión en las tuberías de entrada y en la entrada de la bomba aumentan cuando se incrementa la relación de flujo volumétrico. Por ello, para cualquier sistema, la NPSHD disminuye cuando se eleva la relación de flujo. La NPSHR de la bomba aumenta cuando se incrementa la relación de flujo. Por tanto, cuando la relación de flujo del sistema se incrementa, las curvas para la NPSHD y NPSHR contra la relación de flujo al final se cruzan. Para cualquier sistema de entrada, hay una relación de flujo que no puede superarse si el flujo que circula por la bomba va a mantenerse libre de cavitación. La pérdida de presión de entrada puede reducirse aumentando el diámetro de la tubería de entrada; por esta razón, muchas bombas centrífugas tienen bridas o acoplamientos más grandes en la entrada que en la salida.

CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO:

Es necesario seguir las siguientes consideraciones en el momento de diseñar el sistema hidráulico:

- Deberá instalarse una válvula de compuerta a antes y después de la bomba (en las tuberías de impulsión y succión); con el fin de permitir la extracción de las bombas a la hora de realizar el mantenimiento respectivo.

- En la tubería de succión deberá instalarse una válvula de pie o cheque, para evitar el retorno del flujo.

- Cuando fuere necesario emplear un tanque de descarga, el volumen utilizable del tanque no debe ser menor de la tercera (1/3) parte del volumen requerido por el sistema, en el tiempo de trabajo máximo.

- La capacidad del sistema de bombeo deber ser diseñado de manera tal, que permita el la variación de flujo para los requerimientos de las experiencias previstas en cada banco.

Anexo C. Intercambiadores de Calor

Un intercambiador de calor es un dispositivo que facilita la transferencia de calor de una corriente de fluido a otra.

En el análisis de intercambiadores de calor, es muy útil trazar el diagrama de las variaciones de temperatura de ambos fluidos, a lo largo de todo el intercambiador.

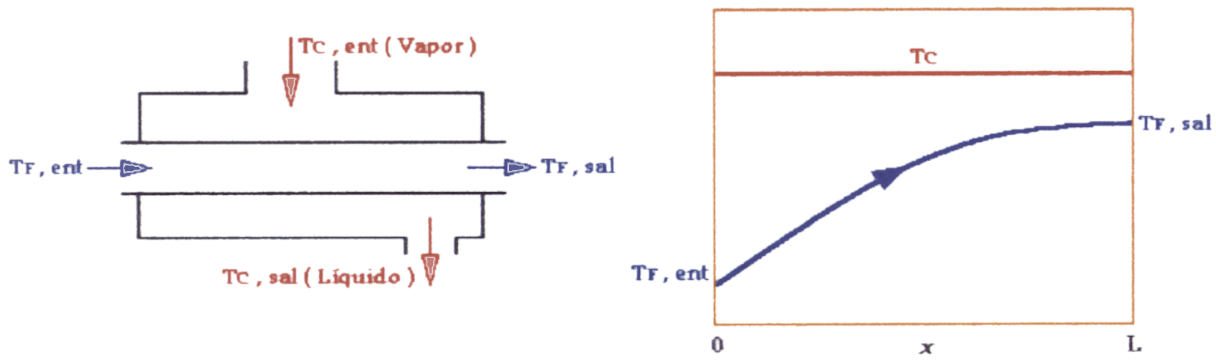
CONFIGURACIONES GEOMÉTRICAS DE FLUJO:

Flujo de una sola corriente con cambio de fase:

Intercambiador en el cual sólo cambia la temperatura de un fluido; en este caso, la dirección de flujo carece de importancia.

Ejemplos: Condensadores, Evaporadores y Calderas. Un diagrama de este tipo se observa en la figura 75.

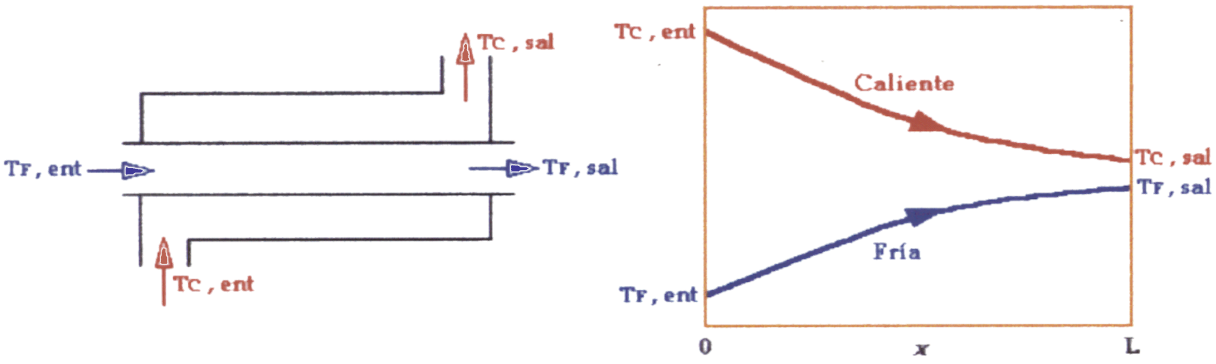
Figura 75. intercambiador de una sola corriente, con cambio de fase



Dos corrientes en flujo unidireccional, sin cambio de fase:

Intercambiador en el cual los dos fluidos corren en direcciones paralelas y en el mismo sentido (véase figura 76.).

Figura 76. intercambiador de dos corrientes en flujo unidireccional, sin cambio fase



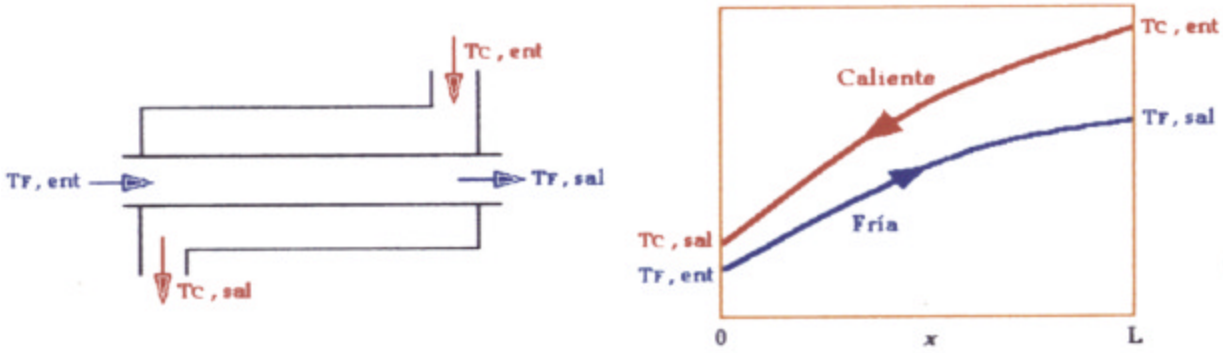
Dos corrientes en flujo contra-corriente, sin cambio de fase:

Intercambiador en el cual los dos fluidos se desplazan en direcciones paralelas pero en sentidos opuestos.

Este tipo de intercambiador se puede observar en la figura 77.

La efectividad de un intercambiador en contracorriente es mayor que la de un intercambiador de corrientes paralelas.

Figura 77. Intercambiador de dos corrientes en contra-flujo, sin cambio de fase

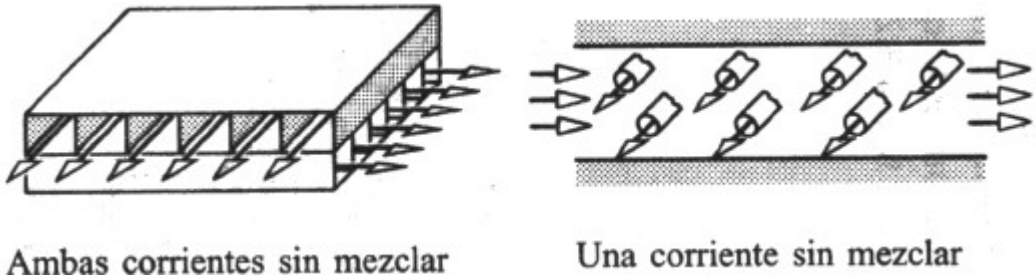


Dos corrientes en flujo cruzado*:*

Las corrientes fluyen en direcciones perpendiculares, como se muestra en la figura 78. La corriente caliente puede fluir por el interior de los tubos de un *haz* y la corriente fría puede hacerlo a través del haz en una dirección generalmente perpendicular a los tubos. Una o ambas corrientes pueden estar *sin mezclar,* como se muestra.

Esta configuración tiene una efectividad intermedia entre la de un intercambiador de corrientes paralelas y la de uno de contracorriente, pero a menudo su construcción es más sencilla debido a la relativa simplicidad de los conductos de entrada y de salida.

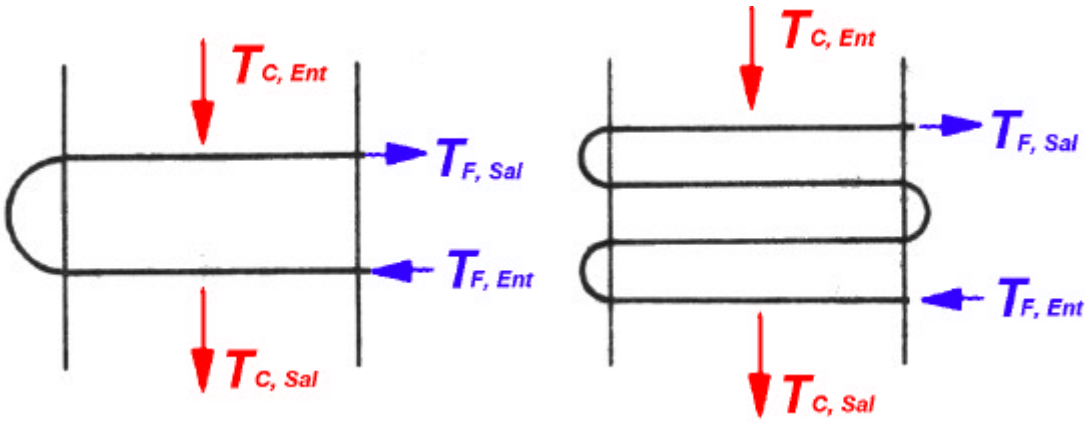
Figura 78. Intercambiador de dos corrientes en flujo cruzado.



Dos corrientes en contra-flujo cruzado*:*

En la práctica, las configuraciones de flujo de los intercambiadores se aproximan a menudo a las idealizaciones de la figura 79; se muestran los casos de *dos pasos* y de *cuatro pasos,* aunque puede usarse un número mayor de pasos. (En un intercambiador de dos pasos los tubos pasan dos veces por la coraza.) Conforme aumenta el número de pasos, la efectividad se aproxima a la de un intercambiador de contracorriente ideal.

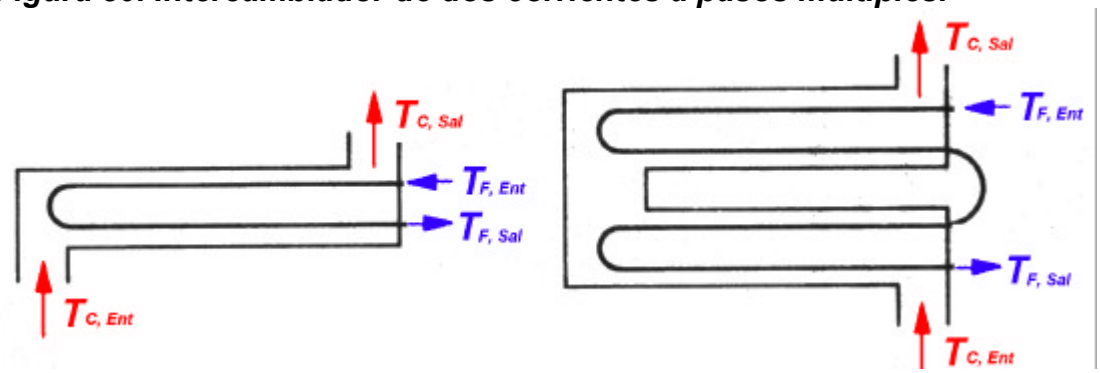
Figura 79. Intercambiador de dos corrientes en contra-flujo cruzado.



Dos corrientes a pasos múltiples*:*

Cuando los tubos de un intercambiador de coraza y tubos están dispuestos en uno o más pasos en el interior de la coraza, como muestra la figura 80, algunos de los pasos producen un flujo paralelo mientras que otros producen un flujo a contracorriente. El intercambiador de dos pasos de este tipo es común porque sólo es necesario perforar uno de los extremos para permitir la entrada y salida de los tubos, como se muestra de manera esquemática en la figura 80.

Figura 80. Intercambiador de dos corrientes a pasos múltiples.



CLASIFICACIÓN DE INTERCAMBIADORES SEGÚN LA FASE DE LOS FLUIDOS DE TRABAJO:

Otra clasificación que tienen los intercambiadores es de acuerdo a la fase en que se encuentren los fluidos de trabajo. Existen tres variantes y son las siguientes:

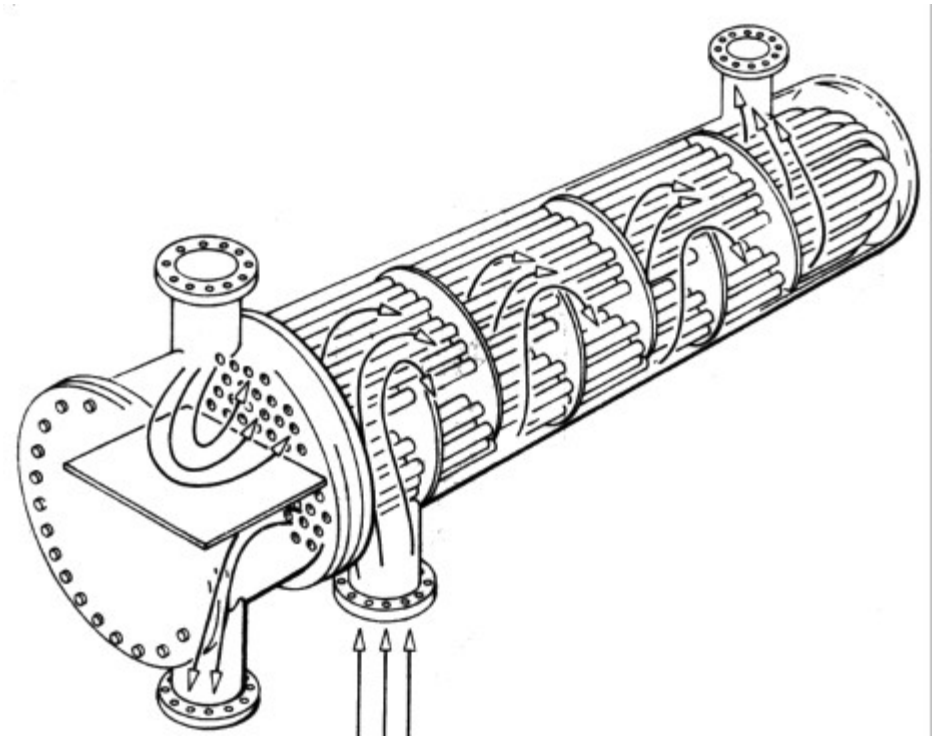
- Intercambiadores líquido-líquido.

- Intercambiadores gas-gas.

- Intercambiadores líquido-gas.

La mayoría de los Intercambiadores líquido-líquido son de tipo casco y tubo. Este tipo de intercambiadores es especialmente utilizado en aplicaciones en la cual el área de transferencia de calor resulta bastante grande y donde los coeficientes de transferencia de calor de los dos fluidos son de 2 a 3 veces los que se obtendrían con una superficie extendida. Un ejemplo de este tipo de intercambiador se observa en la figura 81.

Figura 81. Intercambiador de casco y tubos: un paso por casco y dos pasos por tubos.

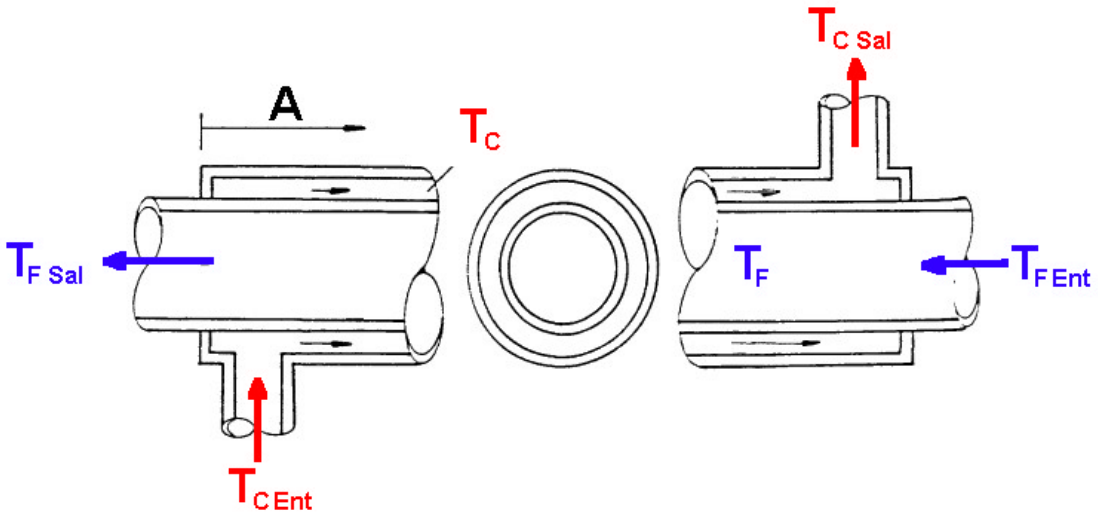


El tipo más simple de intercambiador de casco y tubo, consisten de un tubo o tubería localizado concéntricamente dentro de otro tubo, el cual forma el casco, este tipo de intercambiador se conoce como *intercambiador de doble tubo o de tubo concéntrico* (Véase figura 82.).

Para este arreglo uno de los fluidos fluye a través del tubo interno y el otro a través del área anular formada entre los dos tubos.

Su utilización más importante en el calentamiento o enfriamiento del fluido en atmósferas impuras, lo mismo que para líquidos de tensión de vapor elevada. El intercambiador de doble tubo está constituido por elementos normalizados que pueden fabricarse fácilmente en serie.

Figura 82. Intercambiador de doble tubo o tubo concéntrico.



La construcción es particularmente económica cuando la transmisión de calor entre dos líquidos se realiza por ambos lados con elevados coeficientes de transferencia de calor.

Los elementos individuales de tubos dobles pueden montarse según las necesidades, ya sea en serie, en paralelo o mixta.

Intercambiadores de casco y tubo. Uno de los intercambiadores más conocidos y usados son los intercambiadores de casco y tubo. Son construidos de tubos de sección redonda montados en un casco cilindrico con sus ejes paralelos a los del casco. Se emplean en una variedad de aplicaciones que incluyen enfriamiento de aceites en plantas de energía y procesos de intercambio de calor en las industrias químicas y refinerías de petróleo.

Un intercambiador de casco y tubo esta compuesto básicamente por tres parles principales.

- Haz de tubos.

- Casco o carcaza contenedora del haz.

- Cabezales (pueden ser uno o dos).

El haz de tubos esta compuesto por una serie de tubos montados en forma circular por medio de placas porta-tubos, estos tubos son sujetos a la placa en diferentes formas, generalmente se hace expandiendo dichos tubos por sus extremos logrando una unión aceptable.

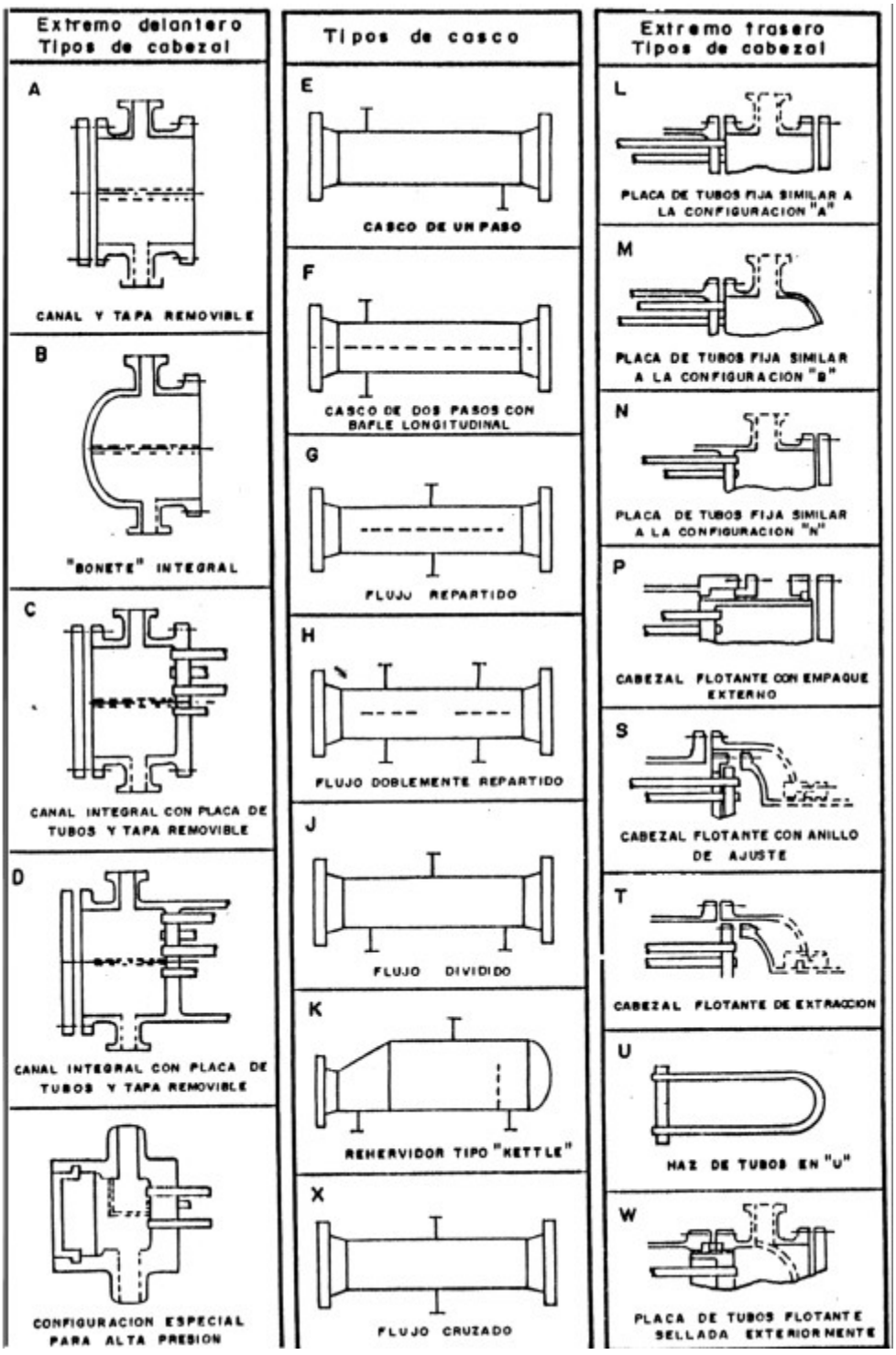
En este tipo de intercambiador se persigue que el flujo exterior a los tubos se haga en forma transversal. Para lograr esto se utilizan los bafles o reflectores que son espaciados a lo largo del haz.

Una manera de clasificar este tipo de aparatos puede ser de acuerdo a los parámetros construcciónales de tres de sus componentes básicos como son: el casco, el cabezal estacionario y el cabezal de retorno.

La clasificación más conocida hecha de esta manera es la dada por el código TEMA (tubular exchanger manufacturers asociation).

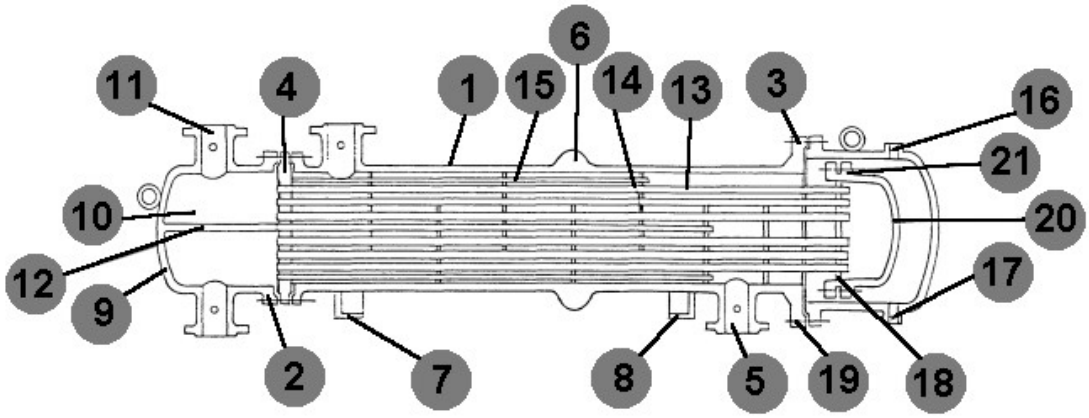
Con base en la cual se diseña ésta clase de equipos. En la clasificación dada por TEMA, los intercambiadores se designan por tres letras, según el tipo de cabezal estacionario, y casco y cabezal de retorno respectivamente. (Véase figura 83.).

Figura 83. Clasificación y Designación de Intercambiadores según TEMA.



Partes de un intercambiador de casco y tubo. A continuación; en la Figura 84, presentamos las partes que conforman un intercambiador de calor de casco y tubos típico.

Figura 84. Partes de un intercambiador de casco y tubos.



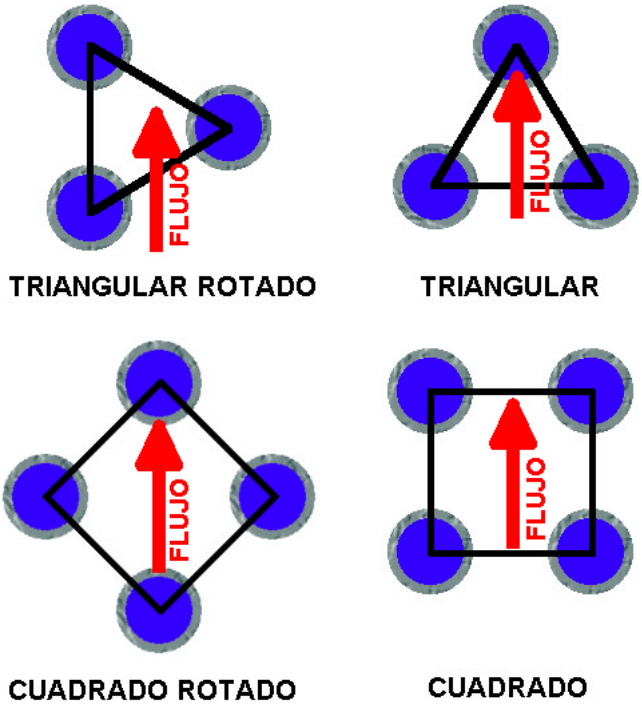
1. Casco 2.Brida del casco - conexión con el cabezal frontal 3.Brida del casco - conexión con el cabezal posterior 4.Soporte del haz de tubos 5.Tobera del casco 6.Junta de expansión 7.Pieza de apoyo 8.Pieza de apoyo 9.Capó	10.Canal 11.Tobera del canal 12.Separador de pasos 13.Tubos 14.Bailes 15.Separador de baile 16.Conexión de venteo 17.Conexión de drenaje. 18.Haz de tubos flotante 19.Brida de la tapa del casco	20.Tapa del cabezal de tubo flotante 21.Brida del cabezal de tubo flotante

Se sabe que el paso de flujo lado tubo en un intercambiador, puede ser un arreglo de un paso de dos pasos o de paso múltiple. La caída de presión en la corriente de fluido lado tubo es un factor importante en la determinación del número de pasos a escoger.

Configuraciones de tubos. En los intercambiadores de calor, la configuración o arreglo de los tubos tienen formas específicas. La figura 85. muestra los tres tipos más importantes, los cuales se conocen con el nombre de: arreglo triangular, arreglo cuadrado, triangular rotado y cuadrado rotado. El arreglo triangular ofrece una mayor fortaleza en el cabezal para un área de paso

dada, mientras que el arreglo cuadrado simplifica la fabricación y las operaciones de mantenimiento.

Figura 85. Arreglos de tubos mas utilizados.

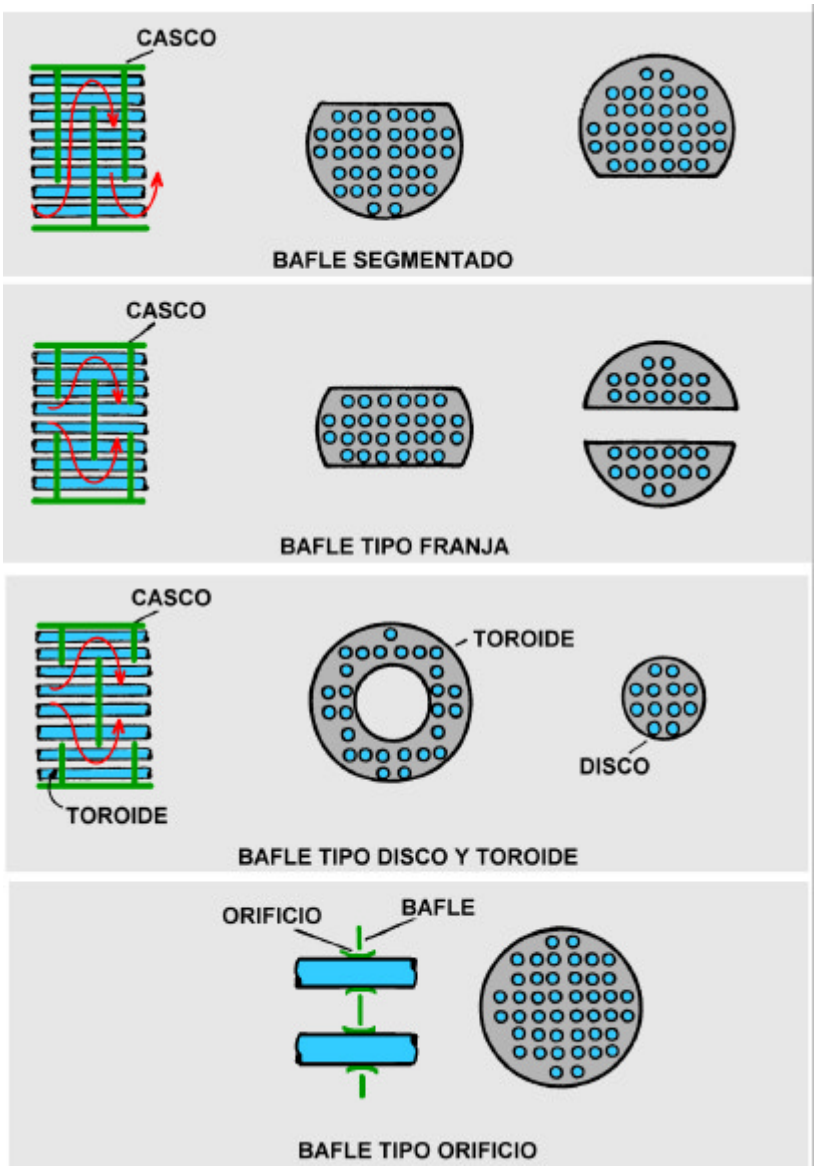


Deflectores o bafles. Otra parte importante en los calentadores de casco y tubo son los deflectores o bafles. Con ellos se busca aumentar el coeficiente de transferencia de calor debido a que provocan un estado de turbulencia en el fluido.

Para inducir esta turbulencia se emplean bafles que hacen que el líquido fluya a través de la coraza en ángulo recto con el eje de los tubos. La distancia entre bafles se conoce como "Espaciado de Bafles" y usualmente no es mayor que una distancia igual al diámetro interior de la coraza, o menor a un quinto del diámetro interior de la coraza.

Cuatro tipos de bafles son usados en los intercambiadores de calor: segmentados, de disco y toroidal, de orificio y en franja. Son ilustrados en la figura 86.

Figura 86. Tipos de bafle.



Los bafles segmentados están formados por el corte de un segmento de disco. La profundidad de corte es un porcentaje de la profundidad del

diámetro del bafle y es conocido como porcentaje de corte del baile. Los bafles son arreglados en el casco, alternando bafles que tengan el corte rotado en 180°. El flujo en casco pasa a través de los tubos más o menos perpendicular a ellos. Una desventaja de este tipo de bafle, es el by-pass que ocurre debido a que el haz de tubos no puede ocupar completamente el casco. Este tipo de bafles son los más comunes y pueden ser considerados como estándar.

Tienen buena eficiencia y proporcionan una buena rata de transferencia de calor para las caídas de presión y el consumo de energía. También sirven de platos de soporte para los tubos.

El bafle en franja es muy parecido al segmento pero puede manejar grandes cantidades de flujo. Dos segmentos pequeños son localizados en lados opuestos en el caso y corriente abajo uno de gran tamaño se sitúo en el centro.

El bafle de disco y el toroidal consiste en alternar bafles disco y en forma de toroide. Usualmente el disco es mayor al agujero del toroide. Estos bafles son ocasionalmente usados debido a que los datos de prueba para su diseño son que todos las varillas de soporte y espaciamiento se apoyan en el haz de tubos, y los tubos centrales se soportan a través de los tubos situados entre el disco y el toroide. El by-pass del haz de tubos no ocurre con este tipo de bafle.

El bafle de orificio consiste de un disco con orificio mayores al diámetro de los tubos por los cuales pasan los tubos.

FLUJO DE FLUIDOS:

Los problemas de flujo de fluidos juegan un papel importante de intercambiadores de calor. La caída de presión, el patrón de flujo, el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección, y mezclas son frecuentemente factores determinantes en la selección de una geometría básica.

Las perdidas de carga en los intercambiadores de tubos concéntricos se hallan como perdidas en tuberías, a partir del diámetro hidráulico de la sección a analizar y la temperatura media de trabajo del fluido en el intercambiador.

Al intentar hallar las perdidas en un intercambiador de calor del flujo a través del casco es necesario realizar un balance de energías entre su entrada y salida. Para determinar la caída de presión en el intercambiador de casco y tubos, se deben seguir los pasos recomendados por las normas HRI, en la sección 3.3.