

**ESTADO ENERGETICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL BANCO DE
PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE COTECMAR**

**YESID ENRIQUE VELASQUEZ HERNADEZ
FARID ELIAS JUAN GARCIA**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA Y MECATRONICA
CARTAGENA DE INDIAS
2006**

**ESTADO ENERGETICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL BANCO DE
PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE COTECMAR**

**YESID ENRIQUE VELASQUEZ HERNADEZ
FARID ELIAS JUAN GARCIA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el titulo de
Ingeniero Mecánico**

**Director
JUAN FAJARDO**

Ing. Mecánico

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
CARTAGENA DE INDIAS
2006**

Cartagena de Indias D.T. y C., Septiembre 18 de 2006

Señores

COMITÉ CURRICULAR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Facultad de Ingenierías

Cartagena

Estimados señores

Luego de revisar el trabajo de grado **“ESTADO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE COTECMAR”** de los estudiantes Yessid Enrique Velásquez Hernández y Farid Elías Juan García; considero que cumple con los objetivos propuestos, por lo que estoy de acuerdo en presentarlo formalmente para su calificación y así optar por los títulos de Ingenieros Mecánicos.

Cordialmente

Juan Gabriel Fajardo

Director del Proyecto

Cartagena de Indias D.T. y C., Septiembre 18 de 2006

Señores

COMITÉ CURRICULAR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Facultad de Ingenierías

Cartagena

Estimados señores

La presente tiene como objeto presentar a ustedes, para que sea puesto en consideración, el estudio y aprobación de la monografía titulada "**ESTADO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE COTECMAR**" la cual fue realizada cumpliendo con las pautas establecidas y los derechos de la información suministrada por la empresa, y así poder optar por los títulos de Ingenieros Mecánicos.

Cordialmente

Yessid E. Velásquez H.

C.C: 73.202.386 de Cartagena

Farid E. Juan G.

C.C: 73.189.351 de Cartagena

Cartagena de Indias D.T y C., Diciembre 4 de 2006

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Yessid Enrique Velásquez Hernández identificado con cedula de ciudadanía número 73.202.386 de Cartagena y Farid Elias Juan Garcia identificado con cedula de ciudadanía número 73.189.351 de Cartagena, autorizamos a la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, para hacer uso de nuestro trabajo de grado y publicarlo en el catalogo on-line de su biblioteca.

Cordialmente

Yessid E. Velásquez H.

C.C: 73.202.386 de Cartagena

Farid E. Juan G.

C.C: 73.189.351 de Cartagena

NOTA DE PRESENTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DE JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Cartagena de Indias D. T. Y C. Noviembre 23 de 2006.

A Dios, por enviarme a su espíritu santo y bendecirme con todos sus dones en los momentos más difíciles, a mis padres de crianza SANTIAGO IMBETT y MAYDA VELASQUEZ que con su cariño, esfuerzo y dedicación me enseñaron la importancia de ser una persona de bien para la sociedad, a mi madre ELIZABETH VELASQUEZ por darme la vida, mi hermano YASSER, mis hermanas MARIA ANGELICA y ORIANA, mi sobrina MICHELLE, familiares y amigos por regalarme su apoyo, comprensión y alegría, a mi amigo FARID JUAN por enseñarme el verdadero valor de la amistad en esta etapa tan importante de mi vida. A todos los que creyeron en mí. GRACIAS

YESSID E. VELASQUEZ H.

Dedico esta MONOGRAFIA a esos seres tan importantes para mi vida y que durante muchos años estuvieron guiándome por el sendero de la honestidad y el buen proceder y que han estado cerca en todo momento, Astrid y Pedro y que se sienten orgullosos de mí porque pronto llegaré a esa meta anhelada.

A mis hermanos, MONICA, PEDRO MANUEL Y JUANSE, que también han sido de mucho apoyo para mí durante mi carrera. A mis tíos, Mery Esther, Gustavo Adolfo, Eloy Miguel y Doris del Carmen, que han estado muy de cerca apoyándome en todo.

A ese gran amigo y compañero de clases, YESID, con quien he reído, estudiado y trabajado, para acercarnos a la meta que algún día vimos lejana. A mis amigos de la infancia, esos grandes y queridos compañeros de barrio y quienes son mis amigos de verdad, CRISTIAN, JOSE, JULIO, YURIE, ROBE, CESAR, EL CONRA. A Tatiana que ha sido un gran apoyo en mi vida.

A Doris de Conrado que me ha enseñado durante mis prácticas grandes cosas y que me las llevo como un estandarte. Y ese gran Dios que también ha sido demasiado misericordioso y que me permitió ocupar la posición en la que me encuentro.

No me queda más que decirles gracias porque ustedes fueron esas personas que necesite y allí estuvieron...gracias.

FARID E. JUAN G.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de la monografía expresan sus agradecimientos por su colaboración para la preparación de este trabajo a:

- Capt. Felipe Torres, jefe del DEPARTAMENTO DE MOTORES DIESEL DE COTECMAR; por darnos la oportunidad de desarrollar nuestro trabajo. Agradecemos también a cada uno de los ingenieros, técnicos y capital humano en general que labora en esas instalaciones.
- Carlos cano, José Luís Vega, Tnt. Alfredo Ayala, Bienvenido Sarria, Mónica Ruiz; por darnos las pautas importantes en el desarrollo investigativo y compartir herramientas de su gran conocimiento y experiencia
- Doris Garcia, gerente general de OFICENTRO; por poner a su servicio esa gran empresa, la cual fue vital para desarrollar arduas jornadas de trabajo. A Gustavo e Iván que también nos dieron la mano y mucho apoyo.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION.....	16
1 ANTECEDENTES, EL PROBLEMA, OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.1 ANTECEDENTES.....	18
1.2 PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	19
1.2.1 Descripción del problema..	19
1.2.2 Formulación del problema.	20
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivos Específicos.....	21
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
2 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN PARA BANCOS DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA	23
2.1 SISTEMA DE REFRIGERACION CON AGUA DE LAGO	25
2.2 SISTEMA DE REFRIGERACION CON AGUA SUBTERRANEA	27
2.3 SISTEMA DE REFRIGERACION CON TORRE DE AGUA	29
2.4 SISTEMA DE REFRIGERACION CON TORRE DE ENFRIAMIENTO	31
3 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DE COTECMAR	35
3.1 GENERALIDADES DEL SISTEMA.....	35
3.2 EQUIPOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	35
3.2.1 Torre de enfriamiento..	37
3.2.2 Sistema de bombeo..	43
3.2.3 Columna de enfriamiento..	50

3.3 ACCESORIOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	53
3.3.1 Tubería de agua caliente y agua fría..	53
3.3.2 Válvulas.	55
3.3.3 Tanques de almacenamiento de agua caliente y agua fría.....	56
4 INSPECCION VISUAL REALIZADA EN EL BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DE COTECMAR.....	58
4.1 EQUIPOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	58
4.1.1 Torre de enfriamiento	58
4.2 ACCESORIOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	60
4.2.1 Tubería de agua caliente y agua fría	60
4.2.2 Válvulas	60
4.2.3 Tanques de almacenamiento de agua caliente y agua fría	61
5 CONSUMO DE ENERGIA Y ALTERNATIVAS DE AHORRO ENERGÉTICOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE COTECMAR.....	62
5.1 EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE BOMBEO	62
5.1.1Caracterización del sistema de bombeo- Bombas agua caliente.....	62
5.1.2 Determinación del punto de operación de las bombas – Bombas agua caliente.....	64
5.1.3 Determinación de la potencia demandada por el conjunto motor-bomba - Bombas agua caliente.	65
5.1.4 Determinación de la potencia en la flecha- Bombas agua caliente.....	56
5.1.7 Determinación del consumo de energía - Bombas agua caliente.	65
5.1.8 Caracterización del sistema de bombeo- Bombas agua fría.....	66
5.1.9 Determinación del punto de operación de las bombas - Bombas agua fría.....	67

5.1.10 Determinación de la potencia en la flecha- Bombas agua fría.....	69
5.1.13 Determinación del consumo de energía - Bombas agua fría.....	69
5.1.14 Determinación del consumo de energía del sistema de bombeo.	69
5.2 CONSUMO DE ENERGÍA DEL LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.....	70
5.3 CONSUMO DE ENERGIA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	70
5.4 COSTO ANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	70
5.4.1 Costo anual de operación del sistema de bombeo.....	70
5.4.2 Costo anual de operación de la torre de enfriamiento.	71
5.4.3 Costo anual de energía eléctrica del departamento de motores.	72
5.5 ALTERNATIVAS DE AHORRO DE ENERGIA PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	72
6 RECOMENDACIONES.....	74
7 CONCLUSIONES	75
8 BIBLIOGRAFIA	77

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Comparación entre torre de enfriamiento y enfriador.....	25
Tabla 2. Observaciones, Análisis, Recomendaciones – Torre de enfriamiento.....	58
Tabla 3. Observaciones, Análisis, Recomendaciones – Sistema de bombeo.....	59
Tabla 4. Observaciones, Análisis, Recomendaciones – Columna de enfriamiento.....	59
Tabla 5. Observaciones, Análisis, Recomendaciones – Tubería de agua caliente y agua fría.....	60
Tabla 6. Observaciones, Análisis, Recomendaciones – Válvulas.....	60
Tabla 7. Observaciones, Análisis, Recomendaciones – Tanques de almacenamiento de agua caliente y agua fría.....	61
Tabla 8. Datos de la bomba- Bomba agua caliente.....	63
Tabla 9. Propiedades del fluido- Bomba agua caliente.....	63
Tabla 10. Características de operación- Bomba agua caliente.....	63
Tabla 11. Mediciones para gasto constante- Bomba agua caliente.....	64
Tabla 12. Datos de la bomba- Bomba agua fría.....	66
Tabla 13. Propiedades del fluido- Bomba agua fría.....	67
Tabla 14. Características de operación- Bomba agua fría.....	67
Tabla 15. Mediciones para gasto constante- Bomba agua fría.....	67

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Dinamómetro hidráulico – principio de operación.....	24
Figura 2. Diagrama esquemático de sistema de refrigeración con agua de lago.....	26
Figura 3. Diagrama esquemático de sistema de refrigeración con agua subterránea.....	28
Figura 4. Diagrama esquemático de sistema de refrigeración de la torre de agua.....	30
Figura 5. Diagrama esquemático de sistema de refrigeración con la torre de enfriamiento.....	32
Figura 6. Sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores de combustión interna de Cotecmar.....	36
Figura 7. Tipos de relleno presentes en torres de enfriamiento.....	38
Figura 8. Torre de enfriamiento de tiro inducido.....	40
Figura 9. Torre de enfriamiento de tiro forzado.....	40
Figura 10. Torre de enfriamiento del banco de pruebas de motores de Cotecmar.....	43
Figura 11. Bomba centrífuga, disposición, esquema y perspectiva.....	45
Figura 12. Curvas características de una bomba centrífuga.....	46
Figura 13. Sistema de bombeo del banco de pruebas.....	48
Figura 14. Arreglo - bomba de agua fría y motor eléctrico.....	49
Figura 15. Arreglo - bomba de agua caliente y motor eléctrico.....	50
Figura 16. Columna de enfriamiento.....	51
Figura 17. Bifurcación y tubería de agua fría de cuarto de bombas.....	54

65	Figura 18. Ramificaciones de la tubería de la columna de enfriamiento y dinamómetro.....	55
	Figura 19. Disposición de las Válvulas de Control de Flujo del Dinamómetro.....	56
	Figura 20. Esquema de los tanques de agua caliente y fría del banco de pruebas.....	57
	Figura 21. Curvas características de las bombas de agua caliente.....	65
	Figura 22. Curvas características de las bombas de agua fría.....	68

INTRODUCCION

Los bancos de pruebas de motores de combustión interna son de suma importancia a la hora de diagnosticar el estado en que se encuentra un motor de combustión interna después de haber realizado las reparaciones previas. El correcto funcionamiento del banco de pruebas da seguridad de que el motor cuando sea instalado en su lugar de trabajo entregará su mejor rendimiento y eficiencia, garantizando un buen funcionamiento, lo que a su vez se traduce en que la empresa prestadora del servicio esta brindando altos niveles de calidad en sus procesos.

En este proyecto se plasma el estado energético del sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores diesel de Cotecmar, que sirve como base para mirar aquellos puntos donde hay que centrar esfuerzos para mejorar las condiciones de operación actuales del sistema, esto en aras de contribuir con el proceso de mejoramiento continuo establecido por Cotecmar.

Primeramente, se encuentran los antecedentes, el problema, objetivos y justificación de la investigación. Aquí, se comprende la importancia de realizar este estudio. El capítulo dos expone los sistemas de refrigeración para bancos de pruebas de motores de combustión interna implementados en el mundo, donde se explicará de manera muy general los principios de operación de los mismos, presentando graficas para su mejor comprensión. Una vez entendidos estos sistemas, en el capítulo tres se muestra las características del sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores diesel instalado en Cotecmar. Lo interesante de este capítulo, es que revela generalidades del sistema, teoría y

especificaciones técnicas de los equipos y accesorios que hacen parte del mismo. Seguidamente, el capítulo cuatro presenta el análisis de la inspección visual realizada al sistema de refrigeración, permitiendo conocer el estado de los equipos y accesorios, para identificar las posibles causas por las cuales no se pueden realizar pruebas a motores de más de 1100 HP, a la vez dar las recomendaciones proyectadas a mejoras energéticas. Para finalizar, en el capítulo 5 se realizan los cálculos del consumo de los equipos que consumen energía eléctrica y a partir de estos se plantean alternativas de ahorro para sistema de refrigeración del banco de pruebas.

1 ANTECEDENTES, EL PROBLEMA, OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

COTECMAR es una empresa que tiene por objeto proporcionar soluciones avanzadas a la industria Naval, Marítima y Fluvial y cuya actividad comercial se encuentra en las áreas de diseño, construcción, reparación, y mantenimiento de motonaves y artefactos marítimos y fluviales, para lo cual cuenta con tres unidades de negocios así: dos Astilleros, en Cartagena, a 180 millas del canal de Panamá ubicados en el sector industrial de Mamonal y otra en Bocagrande.

La tercera unidad de negocios tiene sede en Cartagena y se centra en la reparación y mantenimiento de motores diesel hasta 5000 HP, instalaciones eléctricas marinas e industriales, reparación de motores eléctricos, montaje de sistemas eléctricos y de control automático.

En el año 2000 con el proyecto reactivación, COTECMAR adquiriere tres dinamómetros a la firma MOTORES S.A en Colombia, uno de los cuales se decidió instalar en las dependencias del Departamento de Motores Diesel. Estos dinamómetros fueron fabricados por la firma POWER TEST de Estados unidos, en el año de 1975.

Una vez instalado el dinamómetro en el año 2002, se trasladó el Sr. ALAN PETELINSEK, diseñador y propietario de la firma POWER TEST, a las instalaciones del departamento de motores con el fin de garantizar el funcionamiento del banco de pruebas. En esta visita, el fabricante aprovechó y ofreció la modernización del sistema de control del dinamómetro y el sistema de monitoreo para los motores.

A mediados del año 2005 el banco de pruebas comenzó a presentar inconvenientes en el sistema de refrigeración, dado que cuando se probaban motores de 1100 caballos de potencia (1100 HP) o más, la prueba tenía que suspenderse antes de lo estimado, lo cual repercutía en el mal funcionamiento del dinamómetro y de los dispositivos y accesorios que hacen parte del sistema de refrigeración. A partir de marzo del año 2006, se inicia el planteamiento del proyecto de modernización del banco de pruebas de motores, el cual contempla dos fases. La primera, es la actualización del sistema de control y monitoreo, donde se piensa adquirir todos los equipos respectivos para el óptimo funcionamiento del sistema. La segunda, busca el mejoramiento del sistema de refrigeración, gases de escape y conexión a Internet. La fase 1 y 2 se programaron realizar a finales del año 2006 y todo el año 2007, respectivamente. A mediados del año 2006, se propone realizar un estudio que muestre el estado energético del sistema de refrigeración del banco de pruebas.

1.2 PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1.2.1 Descripción del problema. Actualmente el sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores diesel de Cotecmar no permite realizar ensayos a motores de más de 1100 HP, lo que se supone es causado por un aumento anormal en la temperatura del agua que sirve para refrigerar el sistema motor-

dinamómetro. Dado que no se conoce el estado energético del sistema de refrigeración, se hace necesario e indispensable darle solución a esta problemática, visualizando como alternativa un estudio que muestre las posibles causas de falla en las condiciones de operación del sistema de refrigeración, además del consumo y opciones de ahorro de energía, con el fin de brindar recomendaciones que contribuyan a la mejora del mismo y al logro de la excelencia en el mejoramiento continuo de Cotecmar.

1.2.2 Formulación del problema. De acuerdo con el anterior planteamiento se formula el siguiente problema:

¿Cuales son las causas de falla en las condiciones de operación del sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores de combustión interna de cotecmar que impiden realizar pruebas a motores de más de 1100 HP?

¿Que aspectos relevantes se deben tener en cuenta para la mejora de este sistema, de manera que ayuden a plantear opciones de ahorro de energía?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.3.1 Objetivo general. Conocer el estado energético del sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores de combustión interna de Cotecmar, mediante inspección visual y análisis racional de energía, para identificar las posibles causas de falla en las condiciones de operación que no permiten realizar pruebas a motores de más de 1100 caballos de potencia y adicionalmente buscar alternativas de ahorro de energía.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Conocer la teoría existente sobre los diferentes sistemas de refrigeración para bancos de pruebas de motores de combustión interna, haciendo uso de investigaciones bibliograficas y complementando con Internet para caracterizar el sistema implementado en el departamento de motores de cotecmar.
- Describir las características del sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores de Cotecmar, consultando manuales de diseño y operación del fabricante del sistema, visitas de campo y entrevistas a operarios, para conocer el diseño y operación del sistema, comparar con la información recopilada y así identificar las posibles causas de mal funcionamiento.
- Plantear alternativas de ahorro de energía para el sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores de Cotecmar, realizando cálculos de consumo energético a los dispositivos que representan un gasto de energía eléctrica.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El banco de pruebas de motores de combustión interna de Cotecmar es la última etapa de un proceso por el cual pasa el motor para probar que esté cumple con características como por ejemplo: potencia, torque, RPM entre otras. Esto hace que el banco de pruebas sea pieza fundamental para evaluar el procedimiento de mantenimiento ejecutado por el personal del departamento de motores.

Dada la importancia que representa este banco de pruebas, es bueno conocer el estado energético del sistema de refrigeración del mismo, para así identificar las

posibles causas por las cuales se presentan inconvenientes a la hora de probar motores de más de 1100 caballos de potencia. Con las mejoras que se lleven a cabo en el sistema de refrigeración, Cotecmar podrá ampliar su mercado a clientes que posean motores de alta potencia (5000 HP), generando así un aumento significativo tanto en sus ingresos como en la producción.

Además de recordar conceptos de áreas relacionadas con la refrigeración, sin perder de vista nociones de termodinámica, transferencia de calor y maquinas hidráulicas, este material servirá de base para realizar mejoras desde el punto de vista energético. La metodología expuesta es adecuada para empezar a familiarizarse con el campo del uso racional de energía, buscando que los operarios que tienen relación directa e indirecta con el banco de pruebas, conozcan la importancia que representa la buena utilización de los recursos energéticos en la práctica de cualquier proceso productivo.

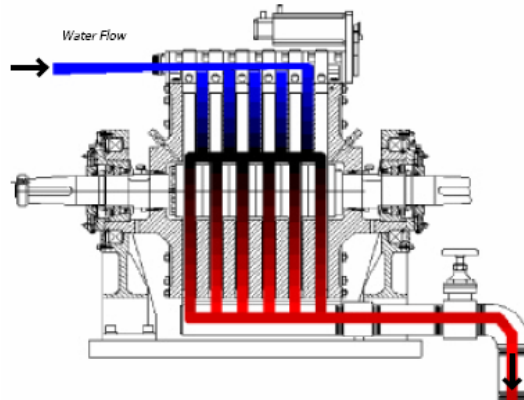
Finalmente, la investigación arroja beneficios tecnológicos, académicos y económicos, lo cual hace factible su desarrollo e implementación por parte de Cotecmar.

2 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN PARA BANCOS DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

El objetivo final cuando se prueba un motor es poder obtener de este al menos un 95% de la potencia para la cual fue diseñado. Existe un equipo para medir la potencia de los motores, el cual es conocido como dinamómetro hidráulico (ver *Figura 1*). Precisamente, este es el equipo utilizado por el departamento de motores diesel de Cotecmar para realizar la prueba a los motores que ahí se reparan.

La manera como trabaja es la siguiente: entra agua fresca, la cual es conducida a un rotor que se encuentra en el centro de cada sección de absorción. El agua es expulsada hacia el exterior del cuerpo del dinamómetro vía fuerza centrífuga y cuando es dirigida hacia fuera se acelera en bolsillos de los platos inmóviles del estator en donde es desacelerada. La continúa aceleración y desaceleración causa la carga (torque) que se aplica al motor en prueba. Por medio de esta transferencia de energía el agua se calienta a una temperatura que esta en relación con la carga requerida, luego es expulsada del equipo. No hay que olvidar que el flujo de agua que entra es proporcional al torque deseado.

Figura 1. Dinamómetro hidráulico – principio de operación



Tomado de "Power Test Dinamómetros para Trabajo Severo (Waterbrake) 45X, 35X y 50X"

Es vital que esta temperatura a la que sale el agua sea reducida, ya que el sistema implementado de suministro de agua para el banco de pruebas instalado en el departamento de motores de Cotecmar, es de circuito cerrado; por lo tanto el agua que sale de la prueba es recirculada. Para disminuir la temperatura del agua se hace uso de diferentes sistemas de refrigeración, los cuales deben tener dos componentes importantes: tanque de almacenamiento de agua e intercambiador de calor. Dispositivos adicionales como bombas, controles, válvulas y conductos son también usados.

Estos sistemas deben regirse bajo el siguiente principio de operación: las pérdidas de agua caliente dadas en la prueba son descargadas en un tanque de almacenamiento de agua caliente. El agua caliente es bombeada a través del intercambiador de calor, se enfría y retorna al tanque de almacenamiento de agua fría. El agua fría es bombeada de nuevo para ser reutilizada en la prueba.

2.1 SISTEMA DE REFRIGERACION CON AGUA DE LAGO

En regiones donde hay bastante precipitación, un lago puede ser considerado para refrigerar el agua utilizada en las pruebas de los motores. El lago debe mantener aproximadamente 375.000 Litros (100.000 galones) de agua durante los períodos bajos de precipitación para poder efectuar la disipación de calor en motores de hasta 1000HP (746 KW). Para lograr esto, las dimensiones del lago deben ser aproximadamente de 0.2 hectáreas y tener una profundidad mínima de 1.5 a 1,8m (5' a 6') excepto la fluctuación debido a la evaporación y a la precipitación. Es necesario tener un depósito de agua grande en caso de que se requiera aumentar la capacidad del dinamómetro u operarlo continuamente. El sistema de agua de lago es relativamente mas barato en instalación, funcionamiento y mantenimiento comparado con otros sistemas¹.

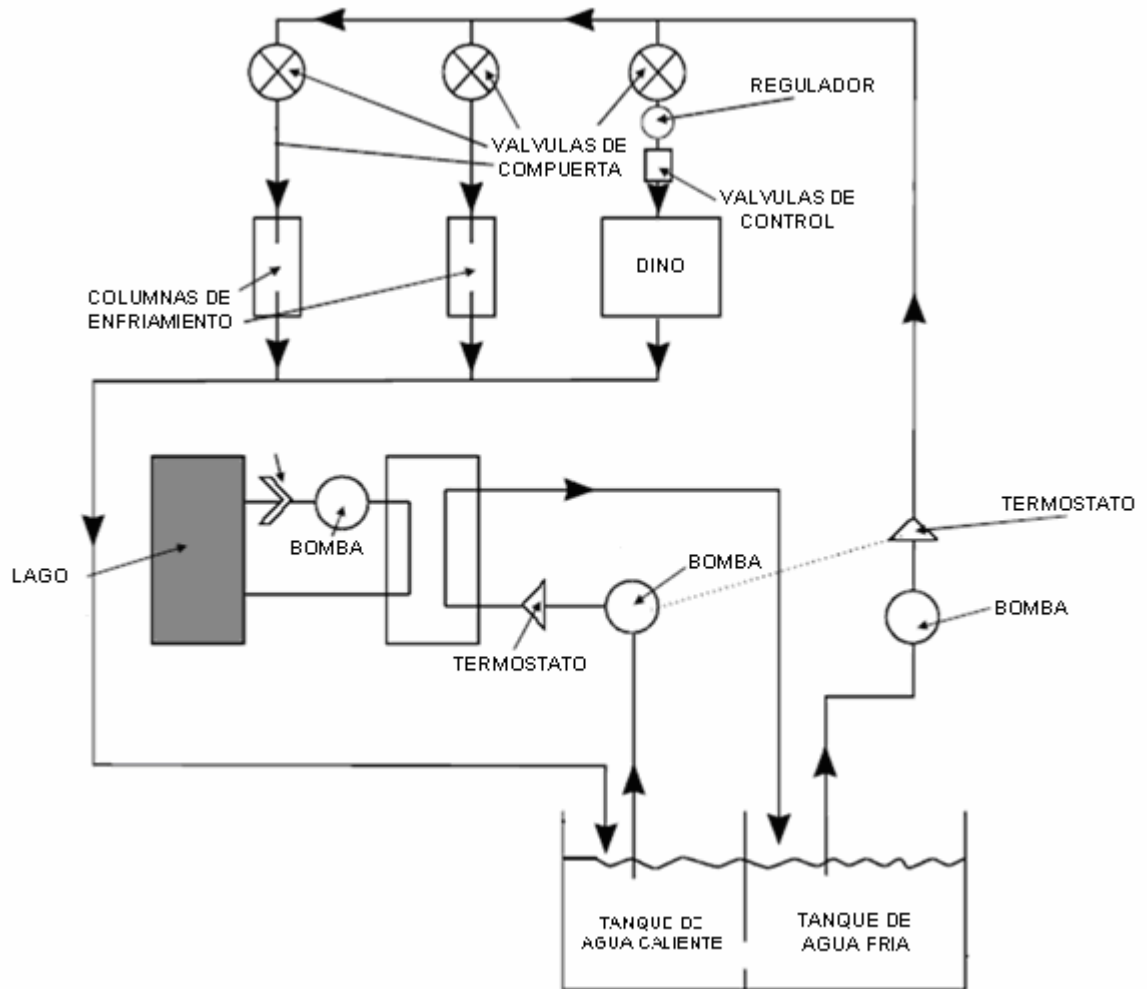
La *Figura 2* es el diagrama esquemático del sistema de refrigeración que utiliza agua de un lago. Esta agua solo se utiliza para refrescar el agua reciclada de la prueba que se le realiza al motor. Esto se logra mediante un intercambiador de calor tipo agua-agua. El agua del lago no debe ser utilizada para refrigerar el dinamómetro directamente, debido a que la contaminación de residuos sólidos presente en el lago pueden deteriorar las piezas internas del dispositivo.

Las conexiones de entrada de agua del lago al sistema de refrigeración y la de agua rechazada en la prueba, se deben espaciar de manera que se evite la mezcla de las mismas. La entrada se debe instalar a una suficiente profundidad debajo de la superficie del lago para tener en cuenta la agitación del nivel del

¹ POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers. United States of America, 2001. P 63

agua. En climas fríos, las conexiones de entrada y salida deben estar por debajo de la superficie del lago donde se congela la máxima cantidad de agua.

Figura 2. Diagrama esquemático de sistema de refrigeración con agua de lago



Tomado de "POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers"

2.2 SISTEMA DE REFRIGERACION CON AGUA SUBTERRANEA

En áreas donde existen los abastecimientos amplios de agua subterránea, y las normas locales de alcantarillado permiten el uso de estos sistemas, este se puede utilizar para la refrigeración de las pruebas aplicadas a los motores. Dependiendo de la profundidad requerida para el pozo, este sistema puede ser relativamente barato en los costos de mantenimiento y en la operación de la instalación. El sistema de refrigeración utiliza dos pozos. Uno está para el agua de suministro a la prueba y el otro está para el agua de descarga. Solamente el pozo de agua de suministro a la prueba tiene una bomba. En el pozo de descarga el agua utilizada en la prueba llega por gravedad. Hay dos métodos para utilizar este sistema de refrigeración.

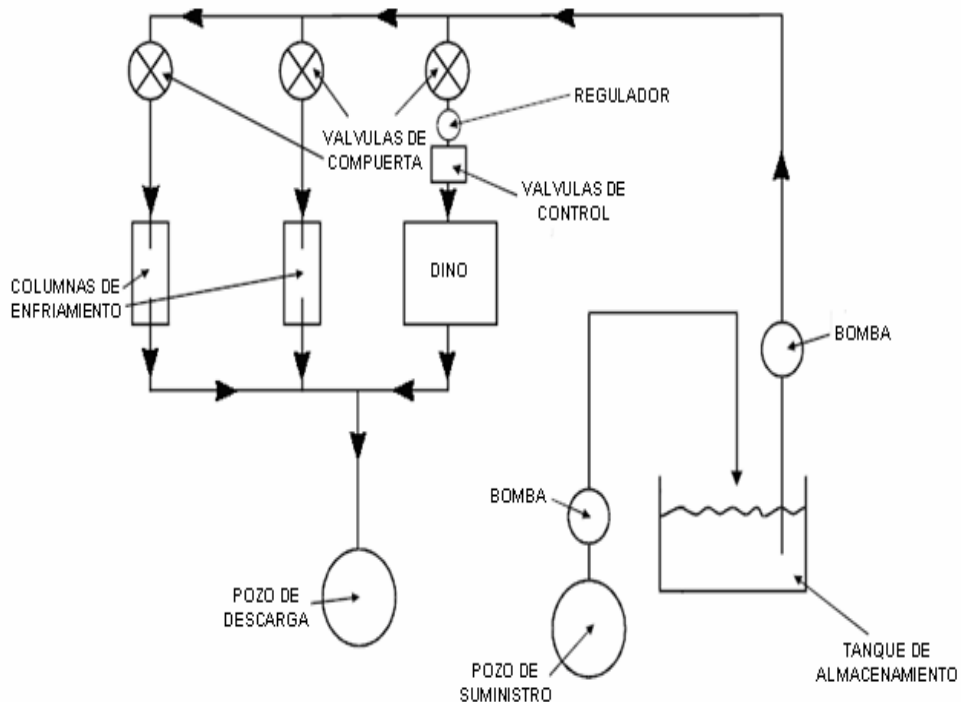
Método 1 - (ver *Figura 2*): este método funciona de forma similar al refrigerado con agua de lago. Lo que sucede en este caso, es que los dos pozos mencionados anteriormente reemplazan al lago, teniendo presente que los demás dispositivos como el intercambiador de calor agua-agua y las bombas realizan las mismas funciones. Las dimensiones de los pozos dependen de la relación de flujo necesario para efectuar la prueba de los motores².

Método 2 - (ver *Figura 3*): este método utiliza el agua fresca de un pozo como fuente de suministro para alimentar directamente la prueba que se este realizando. Esto elimina la necesidad de implementar un intercambiador de calor. Al usar este método, ambos pozos deben poder manejar los requisitos del flujo necesario para la prueba. Para prevenir perdidas considerables de agua por

² POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers. United States of America, 2001. P 65

evaporación en el pozo de descarga, los dos pozos se deben espaciar teniendo en cuenta mantener siempre un flujo constante en fondo y a la vez se pueda dar una buena transferencia de calor con la tierra. También, el pozo de descarga debe estar por encima del pozo de suministro de agua a la prueba. La distancia entre los pozos variará con el tamaño del depósito o del río subterráneo del agua³.

Figura 3. Diagrama esquemático de sistema de refrigeración con agua subterránea



Tomado de "POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers"

³ POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers. United States of America, 2001. P 66

2.3 SISTEMA DE REFRIGERACION CON TORRE DE AGUA

Una torre de agua que se encuentra sobre la tierra es un dispositivo de gran ayuda para el sistema de refrigeración de bancos de pruebas de motores. La mejor aplicación se da en bancos de pruebas pequeños o de usos ocasionales. El funcionamiento y mantenimiento comparado con otros sistemas es económico.

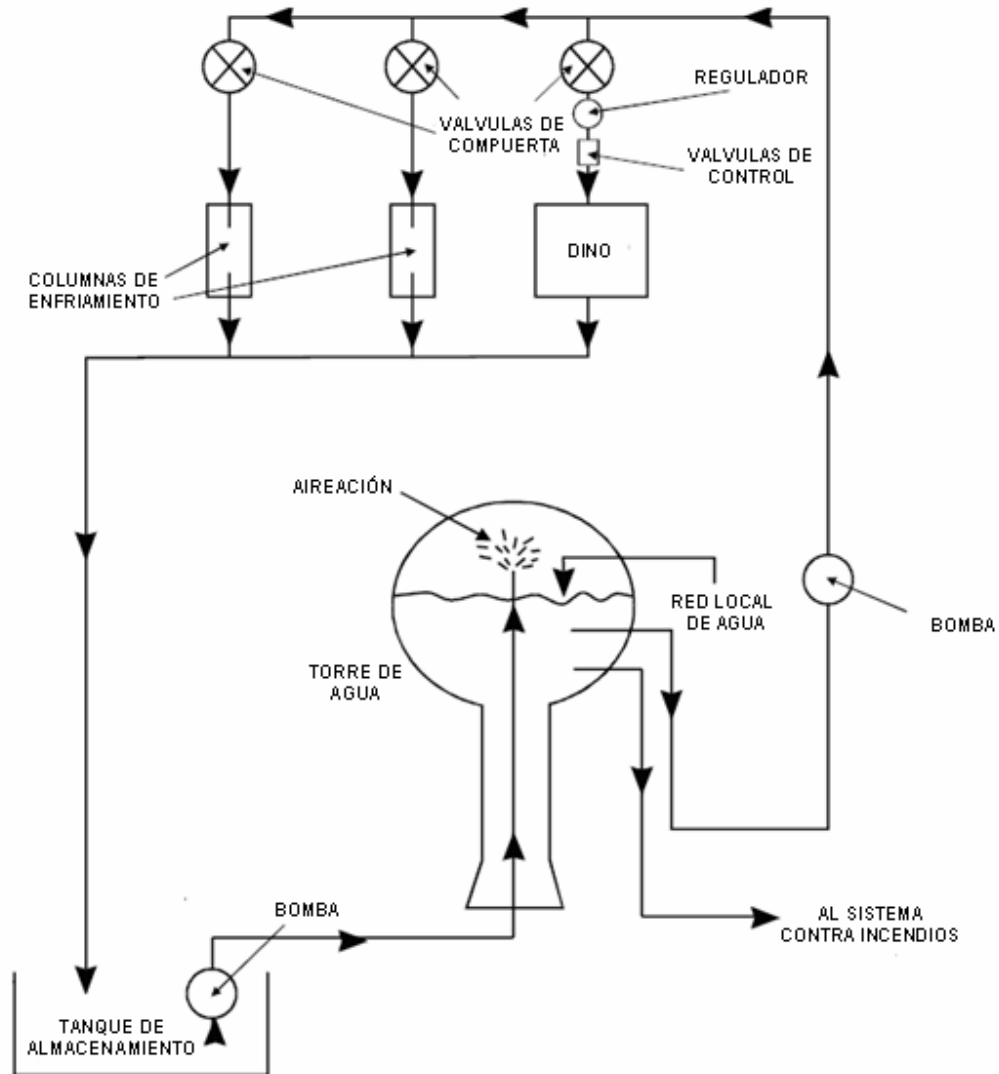
La *Figura 4* es el diagrama esquemático para un sistema de refrigeración de la torre de agua. El funcionamiento se basa en lo siguiente: el agua caliente drenada de la prueba se conduce a un tanque de almacenamiento y esta es bombeada a una torre de agua. La bomba instalada en el tanque de almacenamiento debe poder suministrar hasta 643L/min (170 gpm) para instalaciones de bancos con 1000 HP (746 Kw). Se debe utilizar una válvula de control tipo flotador en el tanque para prevenir la operación seca de las bombas. La línea de suministro de agua del tanque de almacenamiento a la torre de agua debe incorporarse en el centro inferior de la torre y extenderse hasta una altura sobre el nivel del agua que posee la torre, lo que permite que el agua se refresque. La dispersión del agua al final de la boquilla ayuda a la disipación del calor⁴.

Este sistema puede aprovecharse también para suplir la necesidad de un sistema contra incendios. Las líneas de suministro de agua fresca para la prueba de los motores y la de protección contra incendios, se encuentran en la torre de agua a diferentes niveles. Esto proporciona la presión y el volumen apropiados para cada sistema. La línea de protección contra incendios es más baja en la torre de agua que la línea de suministro a la prueba, porque requiere más presión y volumen. Si

⁴ POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers. United States of America, 2001. P 61

la torre de agua no es capaz de mantener 447kPa (65psi) en todo momento, se requiere una bomba adicional⁵.

Figura 4. Diagrama esquemático de sistema de refrigeración de la torre de agua



Tomado de "POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers"

⁵ POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers. United States of America, 2001. P 61

2.4 SISTEMA DE REFRIGERACION CON TORRE DE ENFRIAMIENTO

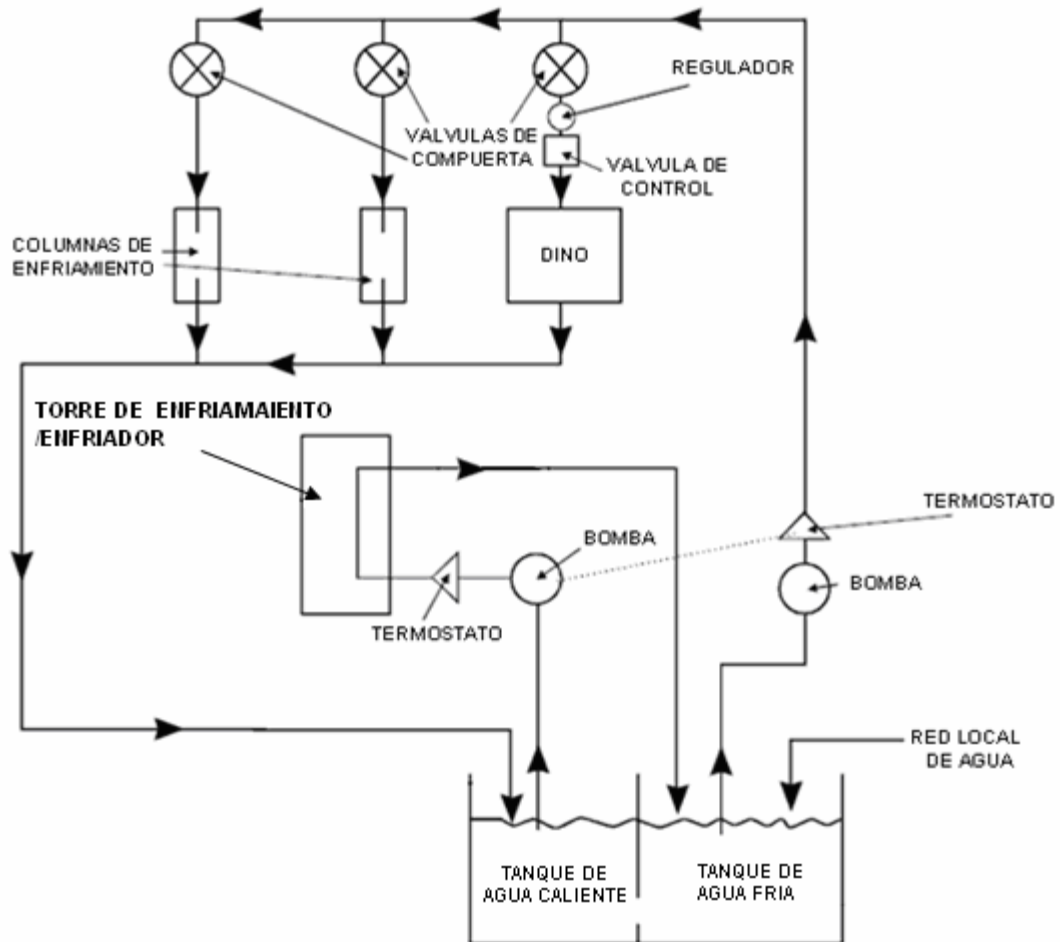
Desde el punto de vista operacional, este es uno de los sistemas más acertados al principio de operación que deben poseer los sistemas de refrigeración para bancos de pruebas de motores. Una vez el agua caliente sale de la prueba, es drenada a un tanque de agua caliente y luego es bombeada a una torre de enfriamiento donde se le baja la temperatura. El agua que sale de la torre llega a un tanque de agua fría por gravedad y luego se bombea nuevamente a la prueba ya con la temperatura requerida. El sistema, brinda la posibilidad de instalar un intercambiador de calor agua – agua.

Dependiendo del diseño del sistema de refrigeración y de las cargas aplicadas, el agua no siempre debe ser bombeada a través de la torre de enfriamiento. Si la temperatura del tanque de agua caliente es menor que la temperatura requerida para el tanque de agua fría, la bomba de agua caliente no necesita ser operada. La correcta operación de este sistema radica en mantener un correcto mantenimiento de cada uno de los dispositivos que hacen parte del sistema.

La mayoría de sistemas de refrigeración existentes son sistemas que implementan la torre de enfriamiento o el intercambiador de calor, dada la versatilidad, fácil mantenimiento y operación. Los otros sistemas de refrigeración son normalmente aplicables en ciertas regiones del mundo, debido a las condiciones atmosféricas, recursos disponibles y normativas locales. Generalmente, el sistema de la torre de enfriamiento es la primera opción, debido a que los costos de inversión son

considerablemente mucho menores, aun cuando los costos de operación y mantenimiento son un poco más altos⁶.

Figura 5. Diagrama esquemático de sistema de refrigeración con la torre de enfriamiento



Tomado de "POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers"

⁶ POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers. United States of America, 2001. P 67

En áreas donde no es fácil tener acceso a la red de suministro de agua, el sistema de refrigeración con torre de enfriamiento no es la mejor opción debido a la cantidad de agua que hay que compensar de los tanques de almacenamiento de agua caliente y fría. Cuando esta disponible el uso de un intercambiador de calor agua – agua para el sistema de refrigeración, la inversión puede ser menor en costo que la instalación del sistema con torre de enfriamiento. La posibilidad que brinda este sistema de refrigeración de instalar un intercambiador de calor agua – agua es muy buena⁷. La *tabla 1* muestra una comparación entre una torre de enfriamiento y un intercambiador de calor, la cual sería de mucha ayuda a la hora de tomar una decisión de cual dispositivo seleccionar.

Cabe anotar que el departamento de motores diesel de Cotecmar en su banco de pruebas de motores de combustión interna tiene instalado el sistema de refrigeración con torre de enfriamiento. En el capítulo 3, se darán las características de este sistema de refrigeración.

⁷ POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers. United States of America, 2001. P 67

Tabla 1. Comparación entre torre de enfriamiento y enfriador

Comparación	Torre de Enfriamiento	Intercambiador de Calor
Costo de equipos (capital de inversión)	Económico	Costoso
Costos de operación y mantenimiento	Moderadamente alto	Bajo
Agua de compensación	Cantidades grandes debido a la evaporación 3,8L (1galón) por 150kW (200HP) por minuto de agua de compensación	Muy bajo
Condiciones Ambientales (alta temperatura y humedad)	Humedad sensible; en ambientes con alto grado de humedad, la torre de enfriamiento debe ser por consiguiente clasificada más grande	Temperatura sensible; en ambientes que se encuentren con grados de temperatura altos, los enfriadores deben ser por consiguiente seleccionados más grandes
Climas Frío	No son necesarios los ajustes	Necesita una bomba adicional y agregar un intercambiador de calor (agua - agua) y suministrar anticongelante
Niveles de Ruido Emitidos	Bajos niveles de ruido	Alto nivel de ruidos; el nivel se puede reducir usando los enfriadores de descarga vertical que dirigen ruido hacia arriba. Los sistemas verticales de descarga son más costosos
Tratamiento de Aguas para prevenir la acumulación de calcio y otros depósitos	Se debe realizar: 1. Tratamiento químico al agua. 2. Una combinación del tratamiento químico y un desbordamiento a la alcantarilla, perdiendo así una porción de agua 3. Descargar toda el agua inútil a la alcantarilla eliminando así los químicos.	Ninguno
Tamaño y Peso	Grande y pesado	Pequeño y ligero

Tomado de " POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers". P.67

3 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DE COTECMAR

3.1 GENERALIDADES DEL SISTEMA

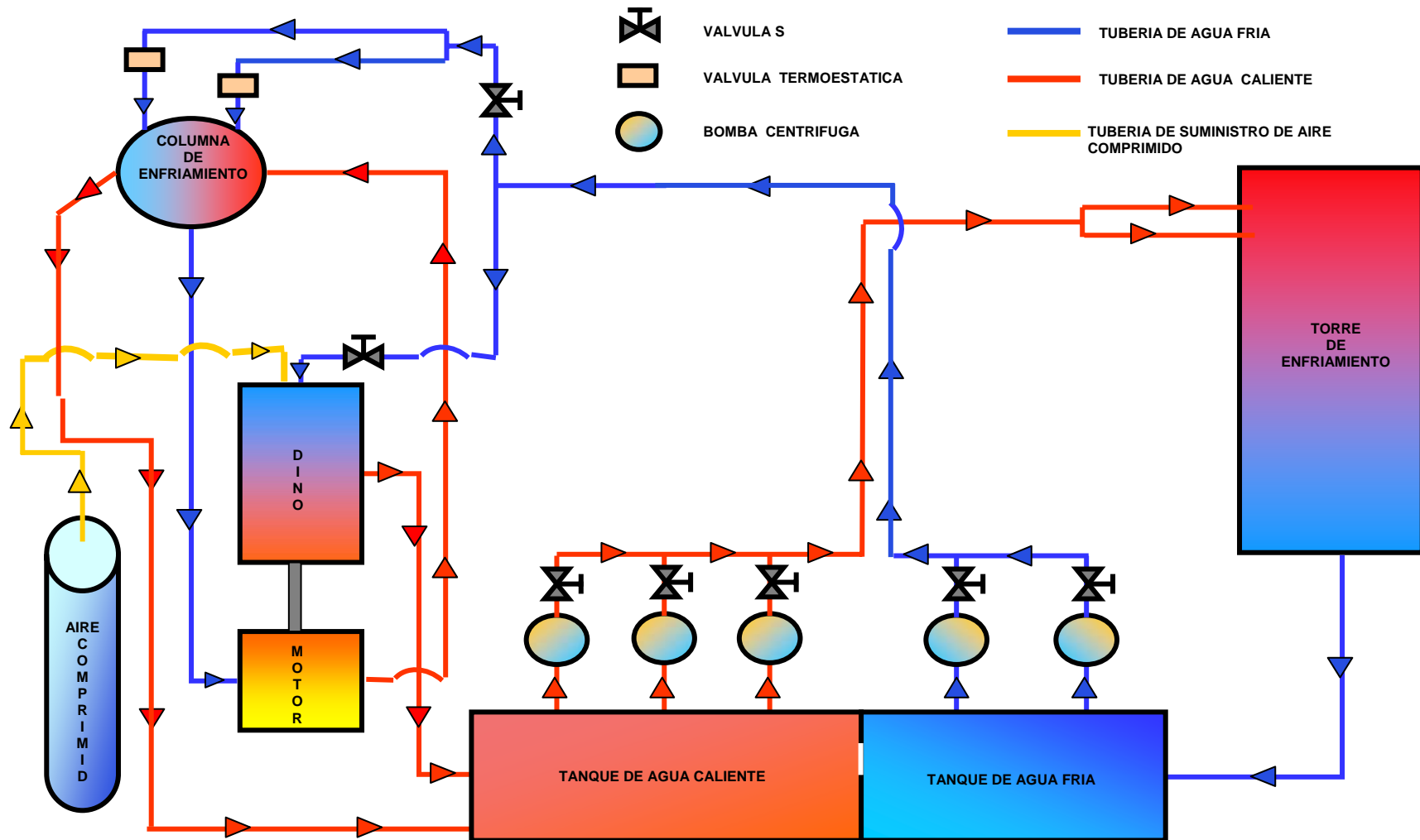
El sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores de combustión interna de Cotecmar se encuentra instalado en un área de aproximadamente 25 m². Este sistema es de tipo cerrado, lo que significa que el agua utilizada para la prueba que se le hace a los motores es recirculada. Básicamente, el sistema consta de bombas centrífugas, torre de enfriamiento, tuberías, válvulas y columna de enfriamiento. De cada uno de ellos se hará mención y se mirará como se relacionan, para así poder comprender de manera más clara la forma de operar de este sistema de refrigeración. La *Figura 6* es un esquema de sistema de refrigeración del banco de pruebas instalado en Cotecmar.

3.2 EQUIPOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Los equipos del banco de pruebas de motores diesel de Cotecmar son:

1. Torre de enfriamiento
2. Sistema de bombeo
3. Columna de enfriamiento

Figura 6. Sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores de combustión interna de Cotecmar



3.2.1 Torre de enfriamiento. Las máquinas y los procesos industriales, así como aquellos dedicados al confort humano, generan enormes cantidades de calor que deben ser continuamente disipadas si se quiere que esas máquinas y procesos operen eficientemente. Aunque los intercambiadores finales son los ríos, arroyos, lagos e inclusive los océanos, el proceso natural de evaporación los hace muy efectivos aunque sin control, debido a la superficie a veces fija, a veces variable, que los contiene y a su total dependencia de los vientos dominantes⁸.

El agua caliente proveniente del condensador es descargada sobre la parte superior de la torre de enfriamiento desde donde cae o bien es atomizada o rociada hacia el depósito inferior de la torre. Se reduce la temperatura del agua cediendo ésta su calor al aire que está circulando a través de la torre, dicha circulación de aire puede ser forzada con un ventilador o por tiro natural⁹. Aunque se tiene algo de transferencia de calor sensible en el agua hacia el aire, el efecto de enfriamiento en la torre de enfriamiento casi es el resultado de la evaporación de una parte del agua cuando ésta cae a través de la torre. El calor para vaporizar la parte de agua que se evapora es obtenido del resto de la masa del agua, de tal manera que se reduce la temperatura de dicha masa de agua¹⁰.

El objeto que se persigue en la torre es que la gota este el mayor tiempo posible en contacto con el aire, lo cuál se logra con la altura de la misma y además interponiendo obstáculos (el relleno), que la van deteniendo y al mismo tiempo la van fragmentando facilitando más el proceso evaporativo. En los nuevos sistemas los obstáculos en lugar de romper la gota, hacen que se forme una película muy

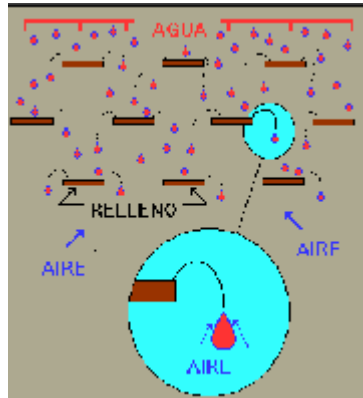
⁸ <http://www.conae.gov.mx/torresdeenfriamiento/intoducccion.htm>. Consulta: 02/08/2006

⁹ DOSSAT, Roy J. Principios de Refrigeración. México: Compañía Editorial Continental, 1994. P. 332-333

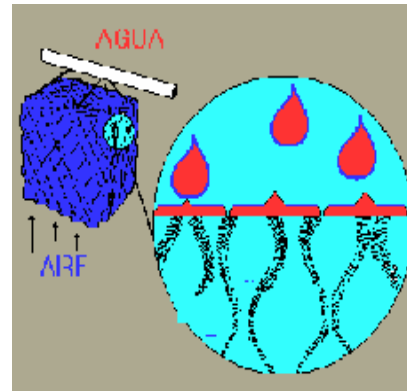
¹⁰ Ibid., p. 333.

delgada en donde se lleva a cabo el mismo proceso como se ilustra a continuación.

Figura 7. Tipos de relleno presentes en torres de enfriamiento



Relleno tipo salpiqueo



Relleno tipo película

Tomado de <http://www.conae.gov.mx/torresdeenfriamiento/intoducccion.htm>. 02/08/2006

El vapor resultante del proceso de evaporación es sacado por aire que circula a través de la torre, bien sea por tiro forzado o tiro natural. Debido a que tanto la temperatura como el contenido de humedad de aire se aumentan a medida que el aire pasa a través de la torre, es evidente que la efectividad de la torre de enfriamiento depende en gran parte de la temperatura de bulbo del aire que llega a la torre. Mientras menor sea la temperatura del bulbo húmedo del aire que llega a la torre será más efectiva la torre de enfriamiento.

Otros factores que influyen en las características de las torres de enfriamiento son:

1. La cantidad de superficie de agua expuesta y el periodo (tiempo) de exposición.
2. La velocidad del aire que esta pasando a través de la torre.

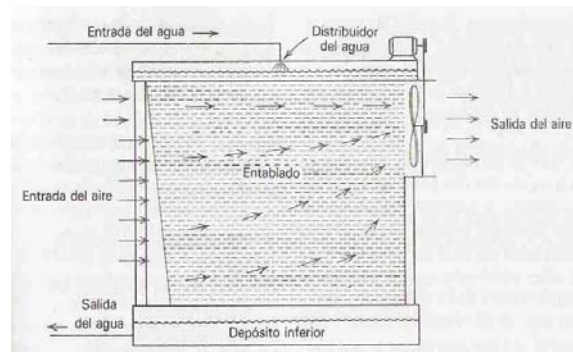
3. La dirección del flujo del aire con relación a la superficie de agua expuesta (paralela, transversal o en sentido opuesto).

La superficie de agua expuesta incluye (1) la superficie del agua en el depósito de la torre, (2) todas las superficies humedecidas de la torre y (3) la superficie combinada de agua cayendo a gotitas a través de la torre¹¹. Teóricamente, la temperatura mas baja a la cual el agua puede ser enfriada en una torre de enfriamiento, es la temperatura del bulbo húmedo del aire que llega a la torre, en cuyo caso quedaría saturado el vapor del agua del aire a la salida. En la práctica no es posible enfriar el agua hasta la temperatura del bulbo húmedo del aire. En la mayoría de los casos, la temperatura del agua fría que sale de la torre ésta aproximadamente 7°F a 10°F por encima de la temperatura del bulbo húmedo del aire que llega a la torre. Además, el aire que sale de la torre siempre estará un poco debajo de las condiciones de saturación.

De acuerdo a los métodos de circulación del aire, las torres de enfriamiento se clasifican en torres de tiro natural y en torres de tiro mecánico. Cuando la circulación del aire a través de la torre es por convección natural, la torre se llama de tiro natural o torre atmosférica. Cuando la circulación del aire a través de la torre es por acción de un ventilador o soplador a la torre se le llama torre de tiro mecánico .A su vez las torres de tiro mecánico pueden clasificarse ya sea como de tiro inducido (*Figura 8*) o de tiro forzado (*Figura 9*), dependiendo de si el ventilador o soplador manden aire a través de la torre o lo fuerce a salir de la misma.

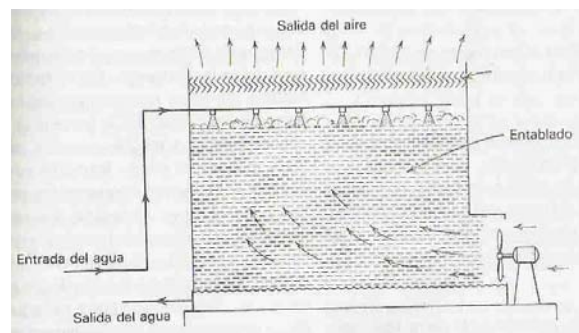
¹¹ DOSSAT, Roy J. Principios de Refrigeración. México: Compañía Editorial Continental, 1994. P. 333

Figura 8. Torre de enfriamiento de tiro inducido



Tomado de *Principios de Refrigeración*. DOSSAT, Roy J. P. 335

Figura 9. Torre de enfriamiento de tiro forzado



Tomado de *Principios de Refrigeración*. DOSSAT, Roy J. P. 335

Es importante conocer las variables que se usan para describir una torre de enfriamiento correctamente¹². Estas variables son:

- **Flujo de Agua (F):** es la cantidad de agua que va a circular por la torre. Las unidades comunes en que se da son m³/h (galones por minuto GPM en el

¹² <http://www.conae.gov.mx/torresdeenfriamiento/Glosariodeterminos.htm>. Consulta:02/08/2006

sistema inglés). Esta variable es fijada por el cliente o asesor y depende del proceso de que se trate.

- **Temperatura del Agua Caliente (TAC):** es la temperatura del agua en circulación al entrar a la torre y está determinada por el proceso, se da en °C o ° F.

- **Temperatura de Agua Fría (TAF):** es la temperatura del agua en circulación al salir de la torre y al igual que la anterior, está fijada por el proceso en cuestión, también se da en °C o ° F.

- **Temperatura de Bulbo Húmedo (TBH):** Es la temperatura de equilibrio dinámico que se alcanza en la superficie del agua cuando el flujo del calor transferido a la superficie por convección se iguala con el flujo de masa transferida fuera de la superficie, es decir, es la temperatura que se alcanza en un termómetro cubierto con una mecha humedecida en forma constante y es la temperatura teórica del agua fría que se puede alcanzar con una torre infinita, se mide en °C o °F.

- **Carga de calor:** calor removido del agua de circulación en la torre de enfriamiento. Esta puede ser calculada de la siguiente manera: $GPM \times 500 \times \text{Rango } (^\circ F)$. La unidad de medida es (Btu /h).

- **Rango (TAC - TAF):** Diferencia entre las temperaturas de agua caliente y agua fría, dada en °C ó °F.

- **Aproximación (TAF -TBH):** Es la diferencia entre la temperatura del agua fría y la temperatura del bulbo húmedo, dada en °C ó °F.

- **Condiciones Climatológicas del Lugar:** Hace referencia a la altitud, la humedad relativa, vientos dominantes y norte geográfico.

- **Características del Agua:** Hace referencia a las condiciones del agua, composición, sólidos disueltos y otros.

En términos generales podemos decir que la capacidad de enfriamiento de una torre es una combinación de todas las variables involucradas en el diseño y selección de la misma y nos indica la cantidad de agua que enfría en condiciones de operación comparada con las condiciones de diseño, esto es entonces, el equivalente de la eficiencia térmica.

Estas torres generalmente están constituidas con diversos materiales como la madera, plásticos, etc. formando estructuras de puentes múltiples, también se emplean estructuras de aluminio, ladrillo, concreto o asbesto. La mayor parte de la información disponible para las torres de enfriamiento es de selección, no de diseño y el cliente no puede nunca determinar "a priori" si una torre está bien o mal diseñada y si a esto se le agrega que en mayor o menor grado las torres siempre enfrían, entendemos el porque la dificultad para evaluar éstos equipos

La torre de enfriamiento del sistema de refrigeración del banco de pruebas de Cotecmar (*Figura 10*) es marca EDOSPINA del tipo tiro inducido, esta fue construida en el año 1995.

Las especificaciones técnicas de esta torre de enfriamiento son:

- Dos celdas de 2,11 mts (6,92 ft) de largo e igual de ancho
- Motor de 4,8 HP, 220/440 voltios, 16,4/8,2 amperios
- Dos ventiladores de 1,1 mts (3,64 ft) de diámetro
- Peso operación: 4300 Kgs
- Peso vacío: 930Kgs
- Flujo de Agua: 600 gpm

- Temperatura del Agua Caliente: 54°C (130 °F)
- Temperatura del Agua Fría: 32°C (90 °F)
- Temperatura de Bulbo Húmedo: 30°C (86 °F)
- Carga de calor: 12'000.000 Btu/hr

Figura 10. Torre de enfriamiento del banco de pruebas de motores de Cotecmar



3.2.2 Sistema de bombeo. Las bombas usadas en la industria de refrigeración para circular agua fría o caliente, generalmente son del tipo centrífugo. Una bomba centrífuga consiste principalmente de un impulsor rotativo tipo vena, el cual queda dentro de la cubierta fija.

Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son pues, máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico. Los elementos de que consta una instalación son¹³:

a) Una tubería de aspiración, que concluye prácticamente en la brida de aspiración.

b) El impulsor o rodete, formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas, según la misión a que vaya a ser destinada la bomba, los cuales giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo la parte móvil de la bomba. El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, (en las centrífugas), o permaneciendo axial, (en las axiales), acelerándose y absorbiendo un trabajo. Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando una altura dinámica de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación.

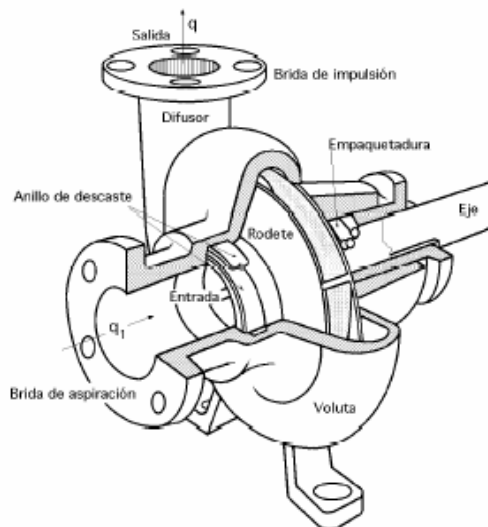
c) La voluta, es un órgano fijo que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete, a su salida, de tal manera que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior, y va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión. Su misión es la de recoger el líquido

¹³ <http://www.termica.webhop.info/bombascentrifugasyvolumetricas.pdf>. Consulta: 12/08/2006

que abandona el rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba. La voluta es también un transformador de energía, ya que frena la velocidad del líquido, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión, que crece a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta, presión que se suma a la alcanzada por el líquido en el rodete. En algunas bombas existe, a la salida del rodete, una **corona directriz de álabes** que guía el líquido antes de introducirlo en la voluta.

d) Una tubería de impulsión, instalada a la salida de la voluta, por la que el líquido es evacuado a la presión y velocidad creadas en la bomba.

Figura 11. Bomba centrífuga, disposición, esquema y perspectiva

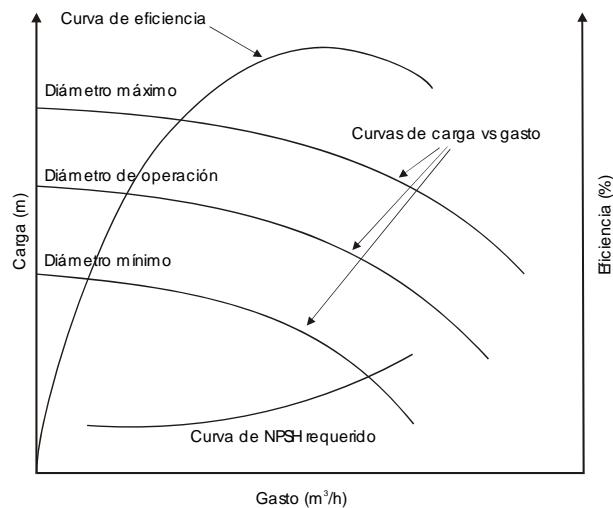


Tomado de <http://www.termica.webhop.info/bombascentrifugasyvolumetricas.pdf>. 12/08/2006

Estos son, en general, los componentes de una bomba centrífuga aunque existen distintos tipos y variantes. La estructura de las bombas centrífugas es análoga a la de las turbinas hidráulicas, salvo que el proceso energético es inverso; en las turbinas se aprovecha la altura de un salto hidráulico para generar una velocidad de rotación en la rueda, mientras que en las bombas centrífugas la velocidad comunicada por el rodete al líquido se transforma, parte, en presión, lográndose así su desplazamiento y posterior elevación.

La Curva Característica de una bomba es la representación grafica de una característica específica del rendimiento de una bomba. Interpretar estas graficas puede ser útil, tanto para especificar las bombas para una aplicación, como para determinar si una bomba que ya ha sido instalada esta rindiendo al nivel de su capacidad¹⁴. Para aplicaciones de bombeo de agua, las varias curvas que se ilustran son muy similares, simplemente ofreciendo información adicional.

Figura 12. Curvas características de una bomba centrífuga



Tomado de memorias Diplomado en Uso Racional de Energía "Modulo Maquinas de Flujo".
Cartagena 2006

¹⁴ <http://www.termica.webhop.info/bombascentrifugasyvolumetricas.pdf>. Consulta: 12/08/2006

En algunos casos, las instalaciones de bombeo pueden tener una amplia variedad de requerimientos de carga y descarga, de modo que una sola bomba pueda no satisfacer el intervalo requerido de demandas. En estas situaciones, las bombas se instalan en serie o en paralelo para que funcionen de una manera más eficiente. En este análisis, se supone que las bombas se instalan en un solo lugar con líneas cortas que conectan las unidades separadas.

En los casos en que se requiere una gran variedad de flujo, dos o más bombas se instalan en una configuración en paralelo. Las bombas se ponen a funcionar individualmente para satisfacer la demanda de flujo requerido; de esta manera se obtiene una operación con mayor eficiencia. Es necesario tener bombas idénticas, pero cuando hay bombas individuales funcionando en paralelo la curva característica combinada se genera reconociendo que la carga a través de cada bomba es idéntica, y que la descarga total por medio del sistema de bombeo es $\sum Q$, la suma de descargas individuales a través de cada bomba¹⁵. Para demandas de carga altas, las bombas instaladas en serie producen un incremento de carga mayor que el de las bombas individuales. Como la descarga por medio de cada bomba es idéntica, la curva característica se determina sumando la carga a través de cada bomba.

La selección de la bomba adecuada para cualquier aplicación entre la multitud de estilos, tipos y tamaños puede ser muy fácil para el usuario o cualquier ingeniero. El mejor método es hacer investigaciones preliminares para llegar a una decisión básica para luego analizar y seleccionar la aplicación con el proveedor de la bomba. Se pueden lograr considerables ahorros de energía en los sistemas de bombas. Por su puesto, en lo primero que se debe buscar esos ahorros es en el

¹⁵ POTTER, Merle C y WIGGERT, David C. Mecánica de Fluidos. México: internacional thomson editores 2002 P. 530

diseño del sistema. Sin embargo incluso después de haber reducido al mínimo los requisitos hidráulicos del sistema y determinado las condiciones hidráulicas, se debe tratar de hacer la selección de la bomba mas eficiente para el sistema.

El sistema de bombeo del banco de pruebas de motores de Cotecmar consta de cinco bombas centrifugas, dos para bombear el agua fría que se suministra a la prueba y tres de agua caliente para la torre de enfriamiento. Las dos bombas de agua fría son iguales y están configuradas en paralelo, además cada una tiene un motor eléctrico marca SIEMENS de 18 HP y 3525 rpm. De igual manera, las bombas de agua caliente se encuentran en paralelo y constan de sus respectivos motores eléctricos marca SIEMENS de 5 HP y 1720 rpm. Todos estos motores eléctricos son trifásicos.

La *Figura 13* muestra el sistema de bombeo del banco de pruebas. Las tres bombas que se encuentran a la izquierda de las foto son las bombas de agua caliente y la dos que están a la derecha son las de agua fría. Los cajones de color gris que se aprecian pegados a la pared, son las cajas de control de cada una de las bombas, las cuales son accionadas desde el cuarto de control del banco de pruebas. Uno de los cajones es de los extractores.

Figura 13. Sistema de bombeo del banco de pruebas



Las especificaciones técnicas de las bombas de agua fría (*Figura 14*) son:

- Marca: Hidromac
- Modelo: 2A
- Serie: 940811
- Diámetro del impulsor: 6 $\frac{3}{4}$ pulg

Las especificaciones técnicas de las bombas de agua caliente (*Figura 15*) son:

- Marca: Hidromac
- Modelo: 3B
- Serie: 94188
- Diámetro del impulsor: 8 $\frac{1}{4}$ pulg

Figura 14. Arreglo - bomba de agua fría y motor eléctrico



Figura 15. Arreglo - bomba de agua caliente y motor eléctrico

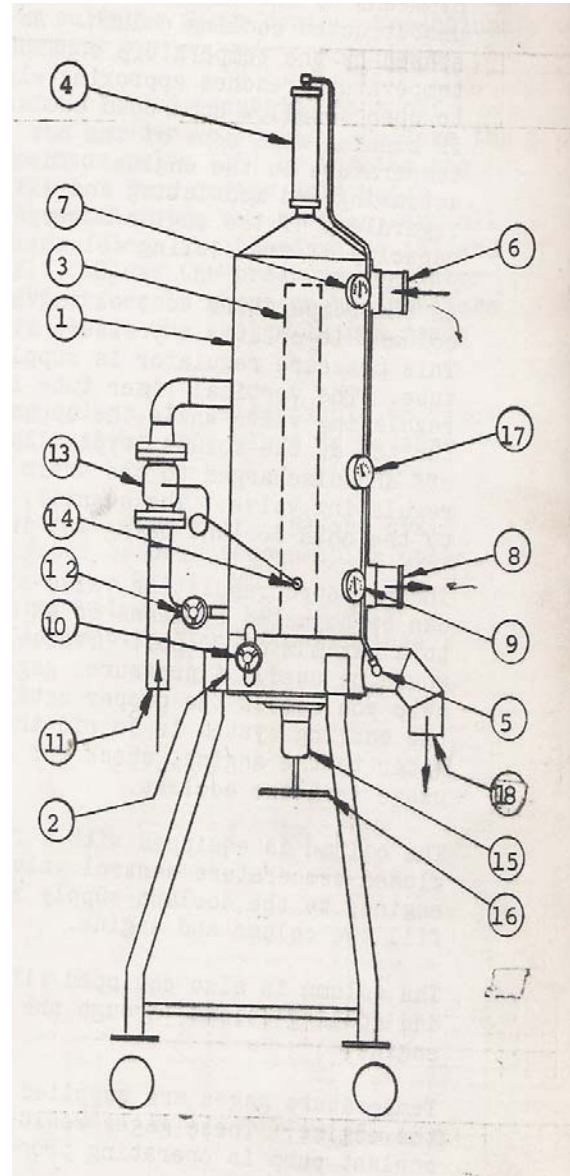


3.2.3 Columna de enfriamiento. La columna de enfriamiento del banco de pruebas de motores de Cotecmar es un dispositivo que tiene las características similares a las de un intercambiador de calor. Para tener una idea mas clara de este dispositivo, imaginemos el sistema de refrigeración de un automóvil común, del cual, la columna de enfriamiento vendría siendo el radiador del sistema. El propósito de esta columna es la de regular el flujo de agua para poder mantener la temperatura deseada en el motor que se esta probando. Este dispositivo se comporta básicamente como un intercambiador de calor agua – agua del tipo coraza y tubo, además es portable.

A continuación veremos las partes fundamentales de la columna de enfriamiento (Figura 16):

Figura 16. Columna de enfriamiento

1. Cuerpo principal
2. Comportamiento de descarga
3. Tubo de canalización
4. Cristal de vista y colector de gases de escape
5. Válvula de purga de gases de escape
6. Entrada del refrigerante caliente del motor
7. Termómetro para el refrigerante caliente del motor
8. Salida del refrigerante frío al motor
9. Termómetro para el refrigerante frío del motor
10. Válvula de drenaje del líquido enfriador del motor
11. Entrada del líquido enfriador del tanque de agua fría
12. Válvula de llenado
13. Válvula de control de temperatura ajustable, normalmente cerrada
14. Sensor de temperatura, para ajusta la válvula de control de temperatura
15. Válvula reguladora de presión
16. Regulador de presión ajustable
17. sensor de presión
18. descarga de la columna al tanque de agua caliente



Tomado de "POWER TEST. Engine Dynamometers Manual".

Por medio de las bombas de agua fría, se suministra agua fresca que circula a través de la torre sin ningún obstáculo. Mientras que el agua que circula comienza a calentarse, el sensor de temperatura ajusta la válvula de control y esta permite el paso de más flujo cuando la temperatura alcanza los 150°F.

El agua fresca se mezcla con algo de la caliente para mantener la temperatura requerida del motor. Mientras la válvula de control permite la entrada adicional de agua fría, se crea un aumento en la presión la cual se normaliza con la válvula reguladora de presión ubicada en la parte inferior del tubo de canalización¹⁶. El agua caliente esta en el rango de los 170°F a los 190°F; la cantidad de agua caliente descargada es proporcional a la cantidad de agua fresca que entra, controlando este proceso la válvula de control de temperatura.

La válvula reguladora de presión simula el termostato de un motor; esta puede ser ajustada por medio de una manija hasta un máximo de 30 psi. Típicamente los ajustes se dan a 5, 7, 14 o 20 psi, los cuales son los más utilizados. Un sensor de presión esta incorporado para ayudar a seleccionar el ajuste de presión apropiado¹⁷. Las ventajas de presurizar el sistema son librar al motor de puntos calientes, comprobar si hay escapes en las juntas y conseguir así un máximo de líquido enfriador (agua).

Los termómetros de la columna se ubican en las conexiones del motor, estos son provechosos ya que determinan si la bomba de agua del motor esta funcionando correctamente. Debido a la forma de la columna, la dirección del flujo de agua caliente hace que cualquier gas del sistema de refrigeración del motor sea recogido en el tubo de cristal y su índice de acumulación podría ser medido en el tiempo¹⁸.

¹⁶ POWER TEST. Facility Planning Guide for Engine Dynamometers. United States of America, 2001. P 51

¹⁷ Ibid., p 51

¹⁸ Ibid., p 52

Cualquier gas acumulado se puede expulsar a través del grifo de purga para aumentar la descarga de líquido caliente en el tubo de canalización.

3.3 ACCESORIOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Los accesorios con los cuales cuenta el sistema de refrigeración del banco de pruebas son los siguientes:

1. Tubería de agua caliente y agua fría
2. Válvulas
3. Tanques de almacenamiento de agua caliente y agua fría

3.3.1 Tubería de agua caliente y agua fría. La tubería de agua caliente y agua fría cumplen la función de conducir el agua a los sitios donde va a ser usada. La *Figura 13*, esta grafica muestra de manera clara las dos tuberías, la de agua caliente y la de agua fría. Ambas tuberías se pueden apreciar mejor en todas sus dimensiones en el cuarto de bombas del banco de pruebas; precisamente esta foto es del cuarto de bombas.

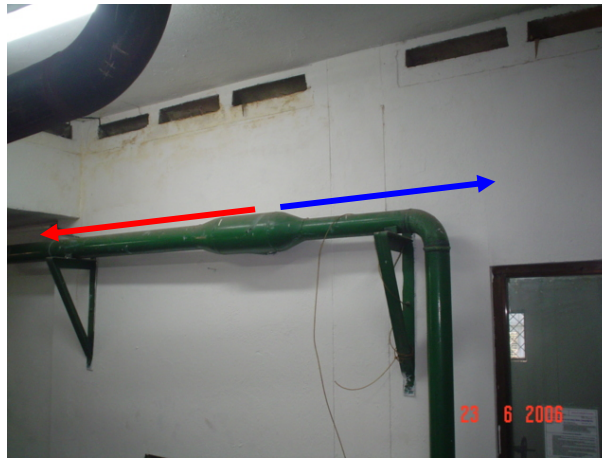
La trayectoria de la tubería de agua caliente va desde la ubicación de las bombas de agua caliente hasta la entrada a la torre de enfriamiento. Esta tubería esta hecha de acero. La longitud total es de 4.7 metros, tiene tres codos de 90° cuyas uniones son soldadas a tope, diámetro de 8 ½ pulgadas y schedule 40. La altura con respecto al piso en el cuarto de bombas es de 1 metro. La tubería de agua fría

va desde la ubicación de las bombas de agua fría y luego se presenta una bifurcación (*Figura 17*), una de las ramificaciones (*Figura 18*) va al dinamómetro y otra va a la columna de enfriamiento. Esta tubería esta hecha de acero. La sección de tubería presente antes de la división tiene una longitud total de 4.95 metros, dos codos de 90° cuya uniones son soldadas a tope, diámetro de 6 ½ pulgadas y schedule 40. El tubo de salida de la torre de enfriamiento también hace parte de la tubería de agua fría de forma independiente.

Figura 17. Bifurcación y tubería de agua fría de cuarto de bombas



Figura 18. Ramificaciones de la tubería de la columna de enfriamiento y dinamómetro



— A la Columna de Enfriamiento

— Al Dinamómetro

3.3.2 Válvulas. Las válvulas que se encuentran en el banco de pruebas de motores de Cotecmar y que hacen parte del sistema de refrigeración del mismo son manuales del tipo compuerta. En total hay siete válvulas manuales. Cada bomba posee una de estas y las dos restantes se encuentran al final de la ramificación que va a la columna de enfriamiento y al dinamómetro.

Después de la válvula de compuerta que se encuentra en la tubería que va al dinamómetro, existe una válvula de control automático (*Figura 19*), la cual se encarga de regular la presión del flujo de agua que va a entrar al dino. La razón por la cual está la válvula de compuerta antes que la válvula de control automático, es porque si llegase a fallar esta última, el flujo se regulará con la ayuda de la válvula de compuerta; ya que las caídas de presión que requiere el dinamómetro no son muy significativas.

Figura 19. Disposición de las Válvulas de Control de Flujo del Dinamómetro



— Válvula de Compuerta — Válvula de Control Automático

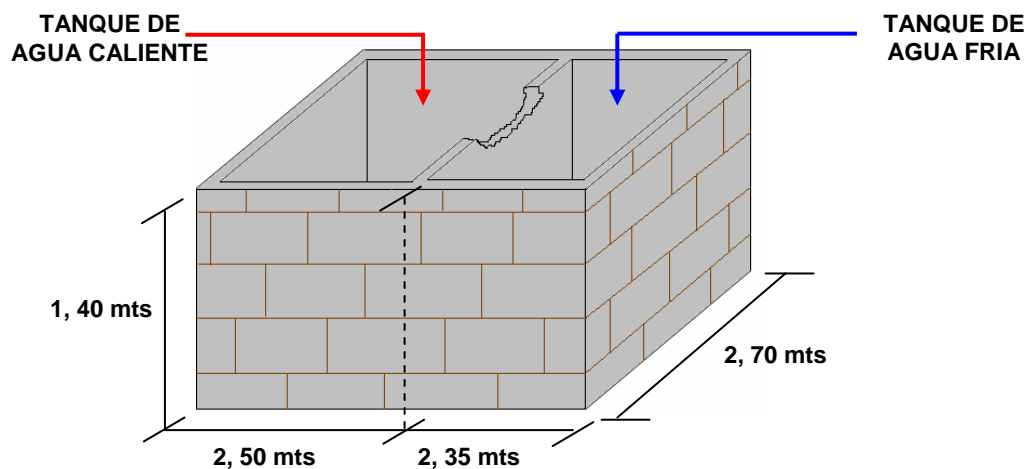
3.3.3 Tanques de almacenamiento de agua caliente y agua fría. Los tanques de almacenamiento cumplen la función de proveer la suficiente cantidad de agua necesaria para que se cumpla el principio de operación del sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores.

El tanque de agua caliente almacena la cantidad de agua que es evacuada tanto del dinamómetro como de la columna de enfriamiento, para luego ser bombeada a la torre de enfriamiento. Las dimensiones de este tanque son 2,70 mts de largo, 2,50 mts de ancho y 1,40 mts de profundidad. El tanque de agua fría solo almacena agua proveniente de la torre de enfriamiento para luego suministrarla al dinamómetro y a la columna de enfriamiento. Este tanque tiene las siguientes medidas 2,70 mts de largo, 2,35 de ancho y 1,40 mts de profundidad.

La máxima temperatura a la cual debe estar el tanque de agua caliente y el tanque de agua fría es 51°C (124°F) y 40°C (100°F), respectivamente.

Estos tanques los separa una pared de concreto de 10 cms de espesor, la cual se encuentra perforada en la parte superior; esta perforación tiene una forma indefinida en su geometría de construcción (*Figura 20*). La finalidad de realizar este orificio fue la de mantener los tanque a igual nivel de agua.

Figura 20. Esquema de los tanques de agua caliente y fría del banco de pruebas



4 .INSPECCION VISUAL REALIZADA EN EL BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DE COTECMAR

En el capítulo anterior se presentaron las características generales del sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores, con el fin de poder tener conocimiento detallado de los principios de operación de cada uno de los equipos y accesorios, lo que permite establecer criterios para realizar un análisis a cada uno de ellos enfocados al uso eficiente de la energía.

4.1 EQUIPOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

4.1.1 Torre de enfriamiento

Tabla 2. Observaciones, Análisis, Recomendaciones – Torre de enfriamiento

OBSERVACIONES	ANALISIS	RECOMENDACIONES
Las ventanas inferiores se encuentran partidas y a algunas les faltan las rejillas	Esto provoca la entrada de flujo másico de aire atmosférico a la torre en cantidades no proporcionales, produciendo la ineficiencia en la operación de la misma.	Comprar todas las rejillas nuevas que se encuentran en mal estado y realizar inspección física previa cada vez que se realice una prueba.
Torre a nivel del suelo y paredes de concreto cercanas a esta	La cercanía de las paredes obstruye la velocidad de flujo de aire, ocasionando un desbalance de masa y energía.	Ubicar la torre a una altura adecuada, de manera que no posea a su alrededor ningún tipo de obstrucción para la circulación del aire. Asesorase con el fabricante.
Árboles ubicados al lado de la torre y de altura superiores a esta	Muchas de las ramas de estos árboles se encuentran en la parte superior de la torre dejando caer sus hojas dentro de la misma, causando una obstrucción en los conductos de salida del aire caliente de la torre, lo que a su vez genera que los principios de operación no se cumplan, restándole eficiencia a los ventiladores y creando mayor consumo eléctrico.	Realizar mantenimiento antes de cada prueba para evitar que se presenten inconvenientes causados por exceso de las hojas dentro de la torre que obliguen a la suspensión de la ensayo.

4.1.2 Sistema de bombeo

Tabla 3. Observaciones, Análisis, Recomendaciones – Sistema de bombeo

OBSERVACIONES	ANALISIS	RECOMENDACIONES
Manómetros ubicados en los tubos de descarga de las bombas de AC y AF, no están calibrados	Esto causa alteraciones en las presiones requeridas para el sistema recomendadas por el fabricante, aumentando el porcentaje de error en las medidas que se toman en la prueba.	Calibrar o actualizar todos los manómetros.
No disponibilidad de las curvas características de diseño de las bombas	Sin las curvas características se carece de la información necesaria para determinar si la bomba esta trabajando en su punto de operación; lo que desde el punto de vista energético reduce la eficiencia de esta.	Tomar las especificaciones técnicas de las bombas y en base a estas solicitarlas al fabricante. Caso contrario, construirlas.
No existen medidores de flujo	No se tiene control real del gasto adecuado que deben suministrar las bombas a los equipos que necesitan de estas. Esto genera que las sistema opere con un mayor o menor consumo de energía,	Adquirir los medidores de flujo específicos para el sistema de bombeo y analizar los sitios donde deben ser ubicados.

4.1.3 Columna de enfriamiento

Tabla 4. Observaciones, Análisis, Recomendaciones – Columna de enfriamiento

OBSERVACIONES	ANALISIS	RECOMENDACIONES
Parte exterior física se encuentra en buen estado	Esto da seguridad de que el equipo puede brindar un mayor tiempo de uso.	Ninguna
Parte interior se encuentra sucia de lodo	Al estar presente partículas en suspensión en el interior del equipo, causa que en cualquier momento se filtren estas al sistema de refrigeración del motor, llevando consigo el taponamiento del sistema lo que causaría recalentamiento del motor.	Realizar mantenimiento cada seis meses.
Falta de calibración del termómetro y los manómetros instalados	Esto ocasiona que no se tenga un control exacto de las temperaturas y presiones que necesita manejar tanto el equipo como el motor en prueba	Calibrar los instrumentos de medición o en su defecto reemplazarlos.

4.2 ACCESORIOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

4.2.1 Tubería de agua caliente y agua fría

Tabla 5. Observaciones, Análisis, Recomendaciones – Tubería de agua caliente y agua fría

OBSERVACIONES	ANALISIS	RECOMENDACIONES
Parte exterior física se encuentra en buen estado	Esto da seguridad de que puede brindar un mayor tiempo de uso.	Ninguna
Parte interior, posibles focos de corrosión y suciedad acumulada	Ya que no se están controlando presiones en el sistema, puede darse el caso de que si existe un aumento inesperado en la presión de la tubería, esta pueda reventarse en puntos de corrosión no localizados a simple vista. Si esto se presenta en una prueba puede causar el daño irreparable en los equipos que necesitan del fluido que transporta la tubería o en el peor de los casos poner en riesgo vidas humanas. Además, la suciedad provoca aumento de la corrosión en las tuberías	Inspeccionar tramo a tramo las tuberías y realizar las pruebas respectivas bajo normas estandarizadas.

4.2.2 Válvulas

Tabla 6. Observaciones, Análisis, Recomendaciones – Válvulas

OBSERVACIONES	ANALISIS	RECOMENDACIONES
Parte exterior física válvulas manuales se encuentra en buen estado	Esto da seguridad de que puede brindar un mayor tiempo de uso.	Ninguna
Válvula de control automático no funciona	El no funcionamiento de esta válvula de control genera que no se posea una regulación del flujo de agua que debe ser suministrado al dinamómetro, ocasionando que las lecturas de torque registradas por el software posean un porcentaje de error fuera del especificado por el fabricante.	<ol style="list-style-type: none"> Habilitar la válvula de control automático, ajustándola al sistema de control y monitoreo. Buscar las especificaciones recomendadas por el fabricante y en base a estas realizar los cambios respectivos cambios.

4.2.3 Tanques de almacenamiento de agua caliente y agua fría

Tabla 7. Observaciones, Análisis, Recomendaciones – Tanques de almacenamiento de agua caliente y agua fría

OBSERVACIONES	ANALISIS	RECOMENDACIONES
Pared que separa los tanques posee orificio en la parte superior de geometría y dimensiones no definidas	Esta comunicación de los tanques en la parte superior tiene como función mantener los tanques a igual nivel, pero este detalle causa que la temperatura del agua caliente pase al tanque de agua fría ocasionando que el agua fría tienda con el tiempo a igualar la temperatura del agua caliente. Al ser bombeada el agua fría a la temperatura no indicada por el fabricante pueden generarse daños en el dinamómetro y en la columna de enfriamiento, debido a que estos operan a una temperatura establecida, la cual es muy inferior a la temperatura de agua caliente.	Según el fabricante este orificio si debe estar presente en el diseño, pero su ubicación debe estar en la parte inferior de la pared que comunica los tanques, a una altura de 15cm medidos desde la profundidad de los tanques y la geometría es un círculo de 15cm a 30cm de diámetro. Teniendo esto claro recomendamos realizar los cambios respectivos para obtener las características de diseño mencionadas anteriormente.
Dimensiones no adecuadas Tanque de agua fría: altura 1.40mts ; ancho 2.35mts; largo 2.70mts Tanque de agua caliente: altura 1.40mts ; ancho 2.50mts; largo 2.70mts	Esto causa que los tanques no almacenen la cantidad de volumen de agua especificado por el fabricante para realizar las pruebas.	Las dimensiones establecidas por el fabricante son las siguientes: altura 2.4 a 3mts; ancho 1 a 2mts; largo 2.4 a 5.5mts; divididos en dos compartimientos iguales. Esto da la capacidad para entregar continuamente sin problemas con los tanques llenos hasta $\frac{3}{4}$ de su altura, este volumen de agua cubre todos los equipos Conocido estos datos se recomienda hacer los respectivos cambios, analizando que dimensiones se pueden variar dependiendo de las condiciones físicas disponibles en el departamento de motores.
No cuenta con un sistema de reposición de agua	Los tanques de agua deben mantener un nivel para que el sistema opere correctamente, este nivel comienza a disminuir a medida que se presenta la evaporación del agua. Al no reponer el volumen de agua perdida por evaporación, causa que el tanque no posea los galones requeridos para suministrar el volumen de agua necesario para cubrir todos los equipos, provocando deterioro en la operación de los mismos.	Analizar si las pérdidas por evaporación en el sistema instalado son significativas, de ser así, realizar los cambios pertinentes.

5 .CONSUMO DE ENERGIA Y ALTERNATIVAS DE AHORRO ENERGÉTICOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE COTECMAR

El éxito económico de cualquier empresa requiere el uso eficiente de la energía consumida en los procesos de que se trate. La conservación de energía, consecuentemente, enfrenta un fuerte y oportuno incentivo para escudriñar el criterio de diseño y características de construcción y operación comúnmente usadas en estos procesos.

Este capítulo se refiere a la cuantificación de los consumos de energía y alternativas de ahorro energético, es decir, representa los potenciales posibles de ahorro que se tienen no solo por la mejor operación del banco de pruebas, si no también en los ahorros económicos obtenidos por un menor consumo de energía eléctrica principalmente. Del sistema de refrigeración se evaluará específicamente el sistema de bombeo y la torre de enfriamiento, dado que estos dispositivos son los que consumen energía eléctrica.

5.1 EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE BOMBEO

5.1.1 Caracterización del sistema de bombeo- Bombas agua caliente.

Para evaluar el consumo de energía se utilizará la información obtenida al realizar las mediciones en el sistema de bombeo.

Tabla 8. Datos de la bomba- Bomba agua caliente

Cantidad de bombas de agua caliente	3
Marca	HIDROMACK
Modelo	KSB
Velocidad (RPM)	1720
Diámetro del Impulsor (mm)	228.6
Tipo de Impulsor	Cerrado
Gasto Nominal (m³/h)	65
Carga Nominal (m)	7.03

Tabla 9. Propiedades del fluido- Bomba agua caliente

Nombre del Fluido	Densidad (kg/m³)	Viscosidad (cp)	Presión de Vapor (Pa)	Temperatura (°C)
Agua	988.1	1	12300	50

Tabla 10. Características de operación- Bomba agua caliente

Horas de Operación al Año Para 1 bomba	72
Horas totales de operación al año de las bombas de agua caliente	216

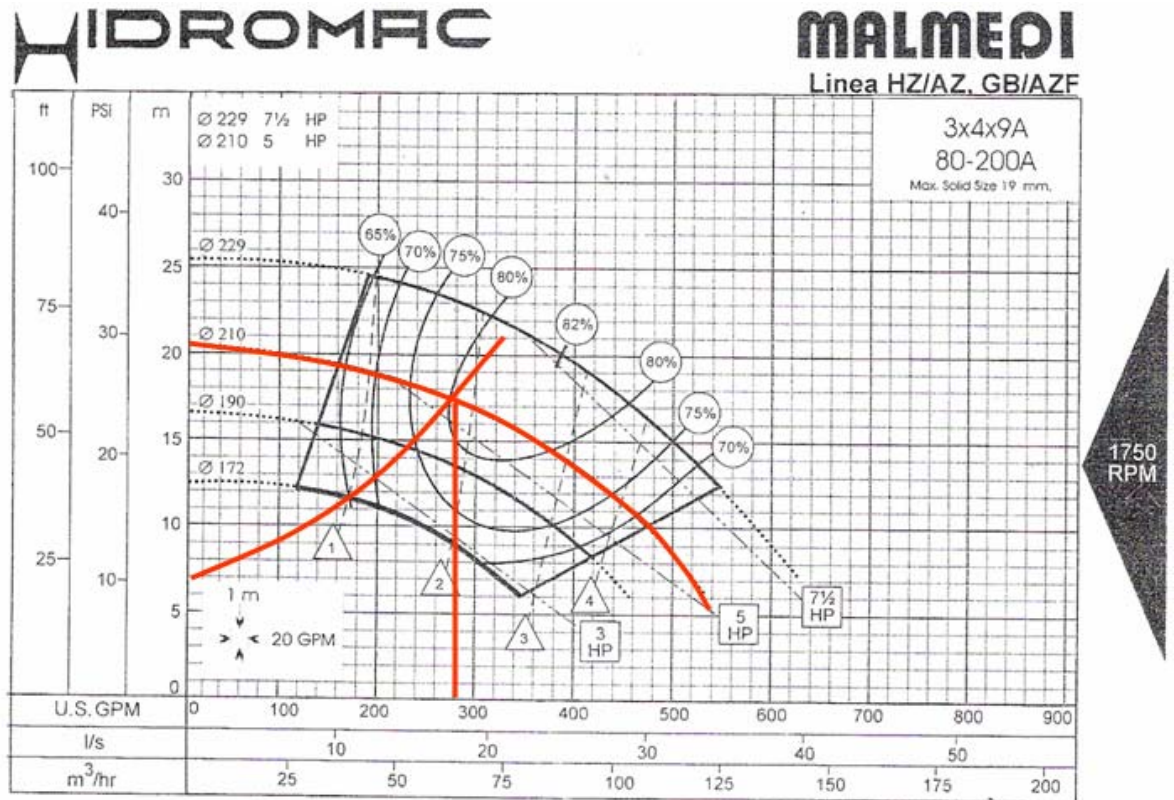
Tabla 11. Mediciones para gasto constante- Bomba agua caliente

Gasto de Operación (m³/h)	63.5
Carga Estática (m)	2.6
Carga Dinámica (m)	4.43
Carga Total (m)	7.03
Tipo de Control 1. Estrangulación, 2. Recirculación, 3. Ninguno	2. Recirculación
Potencia del Motor (kW)	3.73

5.1.2 Determinación del punto de operación de las bombas - Bombas agua caliente. El punto de operación de la bomba se establece una vez que se obtienen las curvas características de la bomba y con los datos siguientes:

- Gasto de Operación (m³/h): 63.5
- Carga Estática (m): 2.6
- Carga Dinámica (m): 4.43
- Carga Total (m): 7.03
- Diámetro del impulsor (mm): 228.6

Figura 21. Curvas características de las bombas de agua caliente



Cortesía de Antonio Spath & Cía. Ltda. Sede Cartagena, 2006

5.1.3 Determinación de la potencia demandada por el conjunto motor-bomba - Bombas agua caliente. El conjunto motor-bomba demanda una potencia de 3.73 kW.

5.1.4 Determinación de la eficiencia de la bombas- Bombas agua caliente.

De acuerdo a la curva característica eficiencia vs gasto de la bomba, para un gasto de operación de 63.50 m³/h se obtiene una eficiencia de 80.5% aproximadamente.

5.1.5 Determinación del consumo de energía - Bombas agua caliente.

Para determinar el consumo de energía se requiere la siguiente información:

- Potencia medida motor: 3.73 kW
- Horas operación: 216 horas/año

$$\text{Consumo}_{\text{BOMBAS AGUA CALIENTE}} = 3.73 \text{ kW} \times 216 \text{ h/año} = 805.68 \text{ kWh/año}$$

5.1.6 Caracterización del sistema de bombeo- Bombas agua fría. Para evaluar el consumo de energía se utilizará la información obtenida al realizar las mediciones en el sistema de bombeo.

Tabla 12. Datos de la bomba- Bomba agua fría

Cantidad de bombas de agua fría	2
Marca	HIDROMACK
Modelo	KSB
Velocidad (RPM)	3525
Diámetro del Impulsor (mm)	171.45
Tipo de Impulsor	Cerrado
Gasto Nominal (m³/h)	50
Carga Nominal (m)	7.36

Tabla 13. Propiedades del fluido- Bomba agua fría

Nombre del Fluido	Densidad (kg/m ³)	Viscosidad (cp)	Presión de Vapor (Pa)	Temperatura (°C)
Agua	992.2	1	7380	40

Tabla 14. Características de operación- Bomba agua fría

Horas de Operación al Año Para 1 bomba	72
Horas totales de operación al año de las bombas de agua fría	144

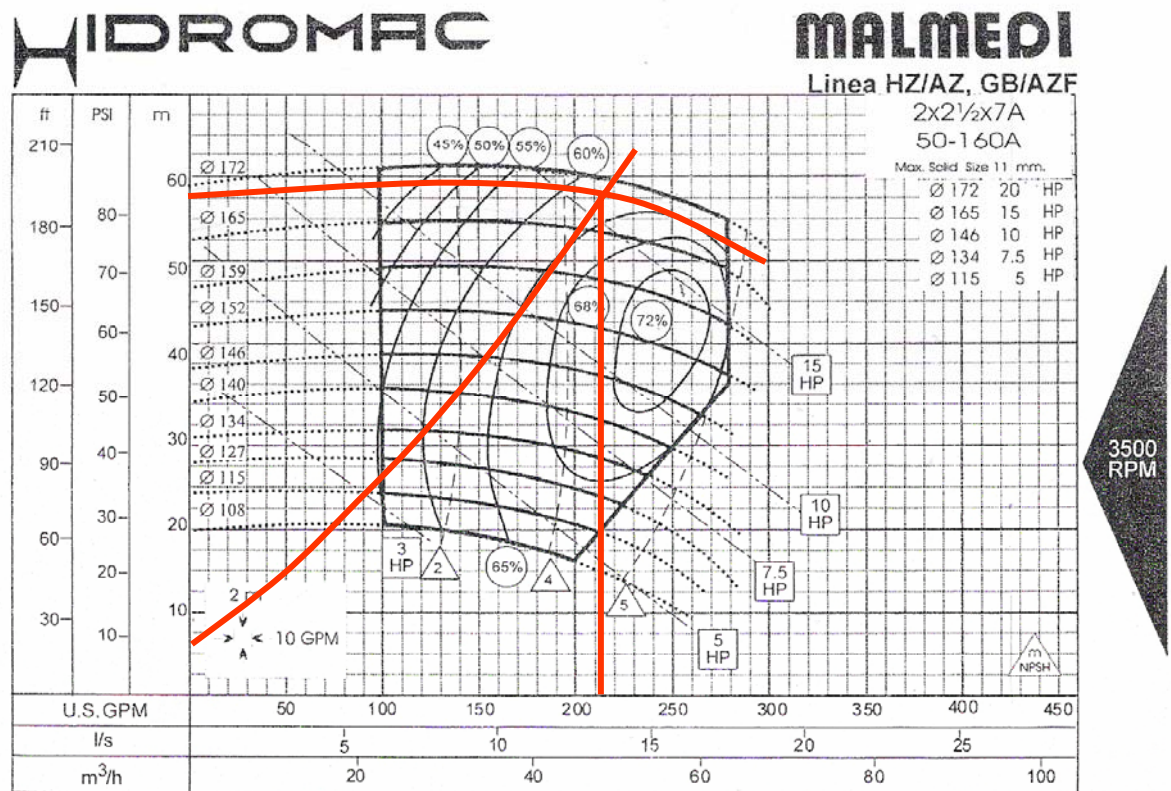
Tabla 15. Mediciones para gasto constante- Bomba agua fría

Gasto de Operación (m ³ /h)	48.15
Carga Estática (m)	2.42
Carga Dinámica (m)	4.94
Carga Total (m)	7.36
Tipo de Control 1. Estrangulación, 2. Recirculación, 3. Ninguno	1. Estrangulación
Potencia del Motor (kW)	13.42

5.1.7 Determinación del punto de operación de las bombas - Bombas agua fría. El punto de operación de la bomba se establece una vez que se obtienen las curvas características de la bomba y con los datos siguientes:

- Gasto de Operación (m³/h): 48.15
- Carga Estática (m): 2.42
- Carga Dinámica (m): 4.94
- Carga Total (m): 7.36
- Diámetro del impulsor (mm): 171.45

Figura 22. Curvas características de las bombas de agua fría



Cortesía de Antonio Spath & Cía. Ltda. Sede Cartagena, 2006

5.1.8 Determinación de la potencia demandada por el conjunto motor-bomba - Bombas agua fría. El conjunto motor-bomba demanda una potencia de 13.42 kW.

5.1.9 Determinación de la eficiencia de la bomba - Bombas agua fría.

De acuerdo a la curva característica eficiencia vs gasto de la bomba, para un gasto de operación de 48.15 m³/h se obtiene una eficiencia de 63% aproximadamente.

5.1.10 Determinación del consumo de energía - Bombas agua fría. Para determinar el consumo de energía se requiere la siguiente información:

- Potencia medida motor: 13.42 kW
- Horas operación: 144 horas/año

$$\text{Consumo}_{\text{BOMBAS AGUA FRIA}} = 13.42 \text{ kW} \times 144 \text{ h/año} = 1932.48 \text{ kWh/año}$$

5.1.11 Determinación del consumo de energía del sistema de bombeo. Para determinar el consumo de energía se requiere de la siguiente información:

- **Consumo** BOMBAS AGUA CALIENTE: 805.68 Kwh/año
- **Consumo** BOMBAS AGUA FRIA: 1932.48 Kwh/año

$$\begin{aligned} \text{Consumo de energía del sistema de bombeo} &= 805.68 \text{ Kwh/año} + 1932.48 \text{ Kwh / año} \\ \text{Consumo de energía del sistema de bombeo} &= 2738.16 \text{ Kwh / año} \end{aligned}$$

5.2 CONSUMO DE ENERGÍA DEL LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Para determinar el consumo de energía se requiere la siguiente información:

- Potencia del motor de los ventiladores: 3.58 kW
- Horas operación: 72 horas/año

$$\text{Consumo de energía torre de enfriamiento} = 3.58 \text{ kW} \times 72 \text{ h/año} = 257.76 \text{ kWh/año}$$

5.3 CONSUMO DE ENERGIA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Para determinar el consumo de energía se requiere la siguiente información:

- Consumo de energía del sistema de bombeo: 2738.16 Kwh/año
- Consumo de energía de la torre de enfriamiento: 257.76 Kwh/año

$$\begin{aligned} \text{Consumo de energía del sistema de refrigeración} &= 2738.16 \text{ Kwh} / \text{año} + 257.76 \text{ Kwh} / \text{año} \\ \text{Consumo de energía del sistema de refrigeración} &= 2995.92 \text{ Kwh/año} \end{aligned}$$

5.4 COSTO ANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

5.4.1 Costo anual de operación del sistema de bombeo. Para determinar el consumo de energía se requiere la siguiente información:

- Consumo de energía del sistema de bombeo: 2738.16 Kwh/año
- Valor del Kwh promedio de Cotecmar planta Bocagrande¹⁹: \$172.16

Costo de operacion del sistema de bombeo = $2738.16 \text{ (Kwh/año)} \times 172.16 \text{ (\$/ Kwh)}$

Costo anual de operacion del sistema de bombeo = \$ 471.401,62

5.4.2 Costo anual de operación de la torre de enfriamiento. Para determinar el consumo de energía se requiere la siguiente información:

- Consumo de energía de la torre de enfriamiento: 257.76 Kwh/año
- Valor del Kwh promedio de Cotecmar planta Bocagrande: \$172.16

Costo de operacion del sistema de bombeo = $257.76 \text{ (Kwh/año)} \times 172.16 \text{ (\$/ Kwh)}$

Costo anual de operacion de la torre de enfriamiento = \$ 44.375,96

Costo anual de operación del sistema de refrigeración = Costo anual de operación del sistema de bombeo + Costo anual de operación de la torre de enfriamiento

Costo anual de operacion del sistema de refrigeracion = \$ 471.401,62 + \$ 44.375,96

Costo anual de operacion del sistema de refrigeracion = \$ 515.777,58

¹⁹ Suministrado por el Coordinador de Programación y Control de la Producción. Cotecmar, Planta Bocagrande. Cartagena 2006

5.4.3 Costo anual de energía eléctrica del departamento de motores. Para determinar el consumo de energía se requiere la siguiente información:

- Consumo promedio anual de energía eléctrica del Departamento de Motores: 923.664kw/h
- Valor del Kwh promedio de Cotecmar planta Bocagrande: \$172.16

Costo de anual de energia electrica del Dpto. de Motores = $923664(\text{Kwh/año}) \times 172.16(\$/\text{Kwh})$

Costo anual de energia electrica del Dpto. de Motores = \$159'017.994,20

NOTA: El costo de la energía eléctrica que consume anualmente el sistema de refrigeración del banco de pruebas representa un 0.32% del costo total de la energía eléctrica consumida por el departamento de motores.

5.5 ALTERNATIVAS DE AHORRO DE ENERGIA PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Las siguientes son alternativas que ayudarían a obtener ahorros de energía en el sistema de refrigeración.

* Agua caliente ó agua fría

1. Sustitución de una bomba* actual por una bomba que trabaje con mayor eficiencia suministrando el mismo gasto,
2. Sustitución del motor eléctrico actual que impulsa a la bomba* por uno de mayor eficiencia
3. Recorte del impulsor de una bomba*
4. Variación de velocidad de una bomba*

5. El paro de ventiladores de la torre de enfriamiento y el ajuste del ángulo de ataque en las aspas del ventilador representan otro potencial directo.
6. Ajustar el horario adecuado para la operación

6 .RECOMENDACIONES

- Hacer una lista de los instrumentos que se encuentran en mal estado, que no están calibrados y que hagan falta en el sistema de refrigeración, para que las pruebas realizadas a los motores entreguen la información en tiempo real y así sea mas fácil comprender cualquier anomalía que se presente durante la prueba.
- Establecer un programa de mantenimiento exclusivamente para el banco de pruebas, que tenga las especificaciones mínimas requeridas para que el sistema mantenga su eficiencia energética en óptimas condiciones.
- Ubicar la torre de enfriamiento a una altura adecuada. Al realizar este cambio se beneficiara energéticamente la torre y las bombas que suministran agua a esta, ayudando a mejorar su eficiencia de operación.
- Adquirir la norma para probar motores teniendo como referencia el dinamómetro del banco de pruebas de cotecmar, con el fin de que todas las pruebas realizadas se estandaricen. Esto permitirá mejorar la calidad del proceso de prueba.
- Al agua almacenada en los tanques, realizar cambios periódicos para evitar que esta se descomponga y cambie sus propiedades como por ejemplo densidad. Esto ayudara a que los dispositivos no sufran daños y se reduzcan las actividades de mantenimiento.

7 .CONCLUSIONES

El estudio del sistema de refrigeración del banco de pruebas de motores de combustión interna de Cotecmar permitió evidenciar las condiciones en las que se encuentra desde el punto de vista energético. Dentro de este estudio se establecieron las siguientes conclusiones:

-Al conocer la teoría existente sobre los diferentes sistemas de refrigeración para bancos de pruebas de motores de combustión interna, fue posible caracterizar el sistema implementado en el departamento de motores de cotecmar.

- Se verificó la importancia de realizar una inspección visual antes de proceder a realizar cualquier tipo de valoración. Este evento ofrece la ventaja de observar si el sistema esta cumpliendo con las condiciones de diseño y operación estipuladas por el fabricante, además, de apreciar la estrecha relación entre la teoría y la práctica.

- Dado que el sistema en general, no cumple en ciertos aspectos con las condiciones de diseño y operación establecidas por el fabricante y la disposición de los equipos no es la adecuada, la empresa debe orientar sus esfuerzos para mejorar el funcionamiento del banco de pruebas y de esta forma evitar que el estado energético se vea afectado hasta el punto de no poder operar en cualquier momento.

- Al comparar el costo de operación del sistema de refrigeración del banco de pruebas con respecto al costo anual en energía eléctrica del departamento de motores, se puede apreciar que el primero no es significativo. Esto hecho puede deberse a que el sistema no es operado con frecuencia, por tal motivo, en estos

momentos no es de suma importancia realizar ahorros en él desde el punto de vista energético.

- El análisis de inspección visual brinda la oportunidad de identificar las causas de falla por las cuales no se pueden probar motores de más de 1100 caballos de potencia. Si se aplican las recomendaciones propuestas se podrán probar motores de más de 1100 HP de potencia y a la hora de realizar una prueba se tenga la constancia de que el sistema operara correctamente.

8 .BIBLIOGRAFIA

- **DOSSAT**, Roy J. Principios de refrigeración. 2 ed. México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V, 1980. 592 pág.
- **WARK**, Kennet. Termodinámica. 5 ed. Mexico: Mc Graw – Hill Interamericana de México, S.A. de C.V, 1991. 923 pág.
- **POWER TEST**, Facility Planning Guide for Engine Dynamometers. USA: Power Test, 2004.117 pág.
- [http:// www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx). Consulta 02/08/2006.
- [http:// www.pwrtst.com](http://www.pwrtst.com) . Consulta 25/07/2006.
- [http:// www.refrigeracionpolair.com.ar](http://www.refrigeracionpolair.com.ar). Consulta 15/07/2006.
- <http://www.termica.webhop.info> Consulta: 12/08/2006