

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA



**COGENERACIÓN DE VAPOR MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO
DE LOS GASES DE ESCAPE DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN
INTERNA PARA LA INDUSTRIA DE BARCOS PESQUEROS**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL GRADO
DE INGENIERO MECÁNICO**

PRESENTADO POR:

JOSÉ MIGUEL ALEJANDRO CALDERON ESCOBAR
JOSÉ ARTURO RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

CIUDADELA DON BOSCO

SEPTIEMBRE DE 2002

UNIVERSIDAD DON BOSCO

RECTOR

ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA

SECRETARIO GENERAL

LIC. MARIO OLMOS

DECANO FACULTAD DE INGENIERIA

ING. CARLOS BRAN

DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

ING. RIGOBERTO SILVA

ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACION

ING. MARIO MOLINA

JURADO EXAMINADOR

ING. JULIAN RIVERA

ING. JUAN CARLOS GARCIA

AGRADECIMIENTOS

NO SÓLO NO HUBIÉRAMOS SIDO NADA SIN USTEDES Y SIN
TODA LA GENTE QUE ESTUVO A NUESTROS ALREDEDOR DESDE EL
COMIENZO, ALGUNOS SIGUEN HASTA HOY.

GRACIAS....

TOTALES.

ARTURO RODRIGUEZ Y MIGUEL CALDERON

1. INTRODUCCIÓN

El proceso conocido como cogeneración se refiere al aprovechamiento de la energía calorífica de los gases de escape producidos por un motor de combustión interna acoplado a un generador eléctrico. Se define como un sistema de producción simultánea de dos o más fuentes de energía (generalmente térmica y eléctrica), porque el combustible es aprovechado dos veces, por lo tanto esta tecnología mejora la eficiencia obtenida al utilizar el combustible solamente para la producción de electricidad, como se hace en el sistema convencional, tales sistemas de generación, solamente aprovechan una tercera parte de la energía disponible en el combustible, la cual es empleada como energía utilizable para impulsar generadores eléctricos, por otro lado, en una planta de cogeneración, los gases de escape son recuperados y usados, lo cual da como resultado un aprovechamiento de aproximadamente 90% de la energía total utilizable.

El beneficio de este aprovechamiento radica en que estos gases poseen un gran poder energético, el cual se desperdicia y que posteriormente pasará a ser una fuente muy importante de energía.

El funcionamiento de un sistema de cogeneración no interfiere con el proceso productivo, incluso en el caso poco probable que el sistema de cogeneración se encontrara fuera de servicio, no interrumpe el proceso de producción de energía eléctrica de la planta de generación, por la sencilla razón de estar acoplado independientemente y posterior al proceso de generación de energía.

La instalación de un proyecto de esta naturaleza sólo tiene un costo de inversión inicial, pues al ser implementado, no se necesitará de mayor inversión, más que el costo de mantenimiento para el tratamiento del agua de alimentación

El propósito de este estudio es crear o diseñar un sistema de recuperación de energía mediante un sistema de cogeneración basado en el principio de intercambio de calor. Los gases de combustión, que poseen la energía calorífica, se harán pasar por un intercambiador de calor, el cual tiene como objetivo primordial la generación de vapor. Es mediante este sistema, que se realizará la recuperación de energía o reducción de costos energéticos, pues el vapor generado por el intercambiador o caldera puede ser utilizado para diversos fines, que incidirán en una disminución de costos para la industria que lo implemente.

Actualmente en la industria de los barcos camaroneros y pesqueros, en la que se realiza el presente estudio; no se encuentran aprovechando los beneficios de la cogeneración

Los gases de escape generados por el motor de combustión son desechados al ambiente sin sacarles provecho alguno. De esta manera se desperdicia tan valiosa fuente de energía calorífica.

La decisión de analizar este proyecto de cogeneración deviene de la creciente necesidad de vapor para las necesidades de energía para un barco pesquero.

La competitividad mundial plantea la creciente necesidad de reducir costos. Con un proyecto de este tipo se está asegurando una fuente de energía, sin costo alguno adicional, mas que el costo de la inversión inicial.

La fuente de energía, por lo tanto, se origina de la emanación constante de gases calientes que provienen del motor y que surten energía calorífica al intercambiador para la generación de vapor.

Por todas estas razones vale la pena poner en práctica un proyecto de esta naturaleza, pues son obvios los beneficios que se pueden derivar de él.

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL:

Diseñar un intercambiador de calor para el aprovechamiento de la energía calorífica de los gases de escape producidos por el proceso de combustión de un motor diesel, mediante la utilización de la energía de dichos gases, para producir energía en forma de vapor, como resultado del intercambio de calor entre el sistema acoplado y los gases de escape.

2.2 ESPECÍFICOS:

Determinar una fuente de energía secundaria o renovable que traerá beneficios importantes para el medio ambiente, al reducir las emisiones contaminantes de los gases de combustión (CO_2 , SO_2 y NO_x) y así, también poder cumplir con todos los requerimientos y normas ambientales que cada día son más exigentes.

Aprovechar una fuente de energía que se desperdicia para incrementar las utilidades al implementar y utilizar recursos que no están siendo utilizados, como lo es en este caso, la energía suministrada por los gases de escape, que trae como resultado un uso mucho más eficiente de los suministros de energía.

Sustituir los combustibles tradicionales por el aprovechamiento del calor residual de los gases de combustión y por lo tanto crear un ahorro en el transporte de los mismos, a la vez que se aumenta el grado de autoabastecimiento y se reduce la dependencia del petróleo.

Aprovechar el combustible al máximo, por lo que los costos del mismo son inferiores, obteniendo una mayor eficiencia en la recuperación de calor.

3. ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente trabajo trata del diseño de un intercambiador de calor para la cogeneración de vapor y aunque bien puede lograrse la trigeneración (producción de energía eléctrica, calor y frío), la investigación se centra en el uso de los gases de desperdicio de un motor estacionario de combustión interna, con el objeto de utilizar dichos gases para la producción de vapor, el cual será utilizado para los sistemas de generación de energía eléctrica (Pasando antes por un intercambiador de vapor).

Se tiene la limitante de ser un proyecto descriptivo, por ende no es posible la comprobación física de los resultados, debido a esta limitante se sugiere la construcción de un modelo escala piloto antes de la implementación del proyecto. Principalmente por necesitarse de una inversión de capital considerable y de otros factores como falta de espacio físico e inversión en equipo auxiliar para su implementación.

4. APORTE DE LA INVESTIGACIÓN A EL SALVADOR

Para El Salvador, el desarrollo y documentación de un tema que posee muy poca información, como éste, ayudará a futuras investigaciones para el perfeccionamiento de procesos similares.

Incentivaré para que se desarrollen proyectos de este tipo, ya que el tema de recuperación de energía o cogeneración es muy amplio y existen infinidad de fuentes de energía utilizables que se pueden aprovechar en un sin fin de formas.

Debido a la creciente alza en los precios del combustible y a la contaminación que éstos producen, conviene seguir desarrollando y utilizando fuentes de energía alternativa o secundaria, para así beneficiar a la industria salvadoreña y también al medio ambiente que cada día está más deteriorado.

Creando una fuente de energía alternativa, se puede llegar a crear un buen recurso de energía reutilizable y, en muchos casos sin o con muy bajo costo, que con la creciente necesidad de nuestro medio de aprovechar todas las fuentes de energía posibles pasará a ser un factor determinante para las industrias nacionales. Se minimizarán los costos energéticos y por lo tanto de producción, lo cual traerá como consecuencia que las empresas sean más flexibles y competitivas para enfrentar todas las demandas de los consumidores, que cada vez son más exigentes. También se generarán mejores utilidades para que las distintas compañías salvadoreñas estén al nivel o mejor que la competencia extranjera, la cual se irá incrementando con las modificaciones de la ley de Inversión Extranjera.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 COGENERACIÓN

5.1.1 DESARROLLO

Por consecuencia del gran auge industrial que se vive en nuestros días, el hombre dedica grandes esfuerzos de todo tipo para conseguir energías y adecuarlas para su uso.

El problema energético no es sólo la escasez de la energía, sino también la capacidad tecnológica de su conversión en formas energéticas útiles. Las energías deseadas (porque son fáciles de usar) son escasas y la energía eléctrica (tal vez la más usada por su facilidad de uso) es tan escasa que no existe en la naturaleza en forma aprovechable y el hombre ha tenido que ingeniar sistemas para producirla en formas más útiles.

El proceso energético convencional es en el cual la energía primaria (por ejemplo, petróleo o gas natural) se convierte en combustible (en refinerías en el caso del petróleo) cuyo uso lo realiza el usuario final y en parte lo realiza el sector energético para convertirla en electricidad en sus centrales.

Por otro lado, en el caso de la cogeneración, el usuario adquiere el combustible con el que produce simultáneamente electricidad y calor en su propio centro. En este tipo de proceso se emplean tecnologías, también conocidas y experimentadas, pero utilizando otras alternativas que le permiten alcanzar rendimientos mucho más elevados. La tecnología de la cogeneración podría definirse como un sistema que, partiendo de una energía de calidad media, (la del combustible) la convierte en electricidad y en otras formas energéticas, como vapor o agua caliente. Estas formas energéticas,

(electricidad y vapor) son formas energéticas deseadas y útiles.

Los sistemas de cogeneración se han demostrado eficaces y económicos para generar energía eléctrica y son, en la actualidad, sumamente competitivos con las grandes centrales de las compañías del régimen ordinario.

5.1.2 BENEFICIOS

La cogeneración ofrece importantes ventajas sobre cualquier otro sistema de producción de electricidad. Esta tecnología tiene asegurado su desarrollo por los beneficios que origina su implementación, tales como:

- ❑ Es el proceso más eficiente y menos contaminante para producir electricidad a partir de gas natural y derivados del petróleo
- ❑ Reduce emisiones contaminantes del ambiente, como dióxido de carbono y dióxido de azufre, entre otros
- ❑ Permite utilizar residuos para la producción de energía eléctrica
- ❑ Es el proceso más económico y que además permite el aprovechamiento de subproductos que de otra forma son desperdiciados.
- ❑ Reduce los costos energéticos por reducción de consumo de combustible al lograr una mejor utilización de las fuentes energéticas.

5.2 APLICACIONES

5.2.1 EN EL SECADO

Se han desarrollado numerosas aplicaciones, estas plantas son muy simples en su concepto y muy económicas, ya que los gases calientes generados por una turbina o un motor son utilizables directamente en el proceso de secado.

5.2.2 EN LA INDUSTRIA TEXTIL

En la industria textil se encuentran muchos procesos que utilizan aceite térmico o vapor. Cuando se dispone de gas natural, la tendencia es sustituir el aceite térmico o vapor por gases de combustión directa. Como alternativa a esta solución es posible utilizar el gas de motores para cogenerar electricidad y producir el aceite térmico o vapor en una caldera de recuperación.

5.2.3 EN CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

Aunque este sistema no se ha desarrollado en forma masiva en nuestro medio, esta aplicación es probablemente la más utilizada en el centro y norte de Europa, donde la climatología ayuda en forma sustancial a esta típica aplicación que se basa en la trigeneración, que es la producción conjunta de calor, electricidad y frío. Básicamente, una planta de trigeneración es prácticamente igual a una de cogeneración, con la diferencia que a ésta última se le añade un sistema de absorción para producción de frío.

La cogeneración, que en un principio no se implementaba en centros que no consumieran calor, puede utilizarse en centros que precisen frío y en los cuales se produzca electricidad. Un mercado que abre el concepto de trigeneración es el del sector terciario, donde además de necesidades de calefacción y agua caliente (hospitales, hoteles, etc.) se requieren importantes cantidades de frío para climatización, que consume una gran proporción de la demanda eléctrica.

Por otro lado, a pesar de todas las ventajas que representa un sistema de cogeneración, no se puede cogenerar en forma indiscriminada, aunque existan diversas formas de utilizar este sistema en un mismo centro de consumo. En forma simple, se podría decir que puede cogenerar todo consumidor de energía térmica que la utilice a una temperatura inferior a los 500°C. Así todos los consumidores de vapor, fluido térmico, agua caliente o gases para secado son

potenciales usuarios de este sistema. No son potencialmente cogeneradores los grandes consumidores de electricidad que no requieren consumos térmicos, ni los grandes consumidores de calor que requieren elevadas temperaturas en su proceso. Típicamente, las industrias químicas, alimentarias, papeleras, etc., son potenciales cogeneradoras. También los grandes consumidores del sector terciario (centros comerciales, hospitales, complejos hoteleros, etc.) tienen capacidad cogeneradora y en próximo futuro, sin duda se desarrollarán sistemas de distribución de calor y frío en centro urbanos.

Para determinar la capacidad cogeneradora de un centro se deben de considerar también aspectos como las variaciones de la demanda a lo largo del día y el consumo absoluto anual del usuario, ya que por debajo de ciertas cantidades los proyectos no suelen ser económicos.

5.3 TIPOS PRINCIPALES DE PLANTAS DE COGENERACIÓN

A continuación se describen los sistemas de cogeneración más utilizados en los últimos años y sus oportunidades de aplicación en procesos industriales por las características de cada uno de ellos.

5.3.1 PLANTAS DE COGENERACIÓN CON MOTORES ALTERNATIVOS

Utilizan gas natural, gasóleo o fuel – aceite como combustible (búnker). Las potencias unitarias desarrolladas generalmente oscilan entre 1.5 y 10 MW. Por asociación en paralelo de grupos generadores su potencia puede alcanzar tamaños muy superiores, pero a partir de 15 MW probablemente serán más rentables los ciclos con turbinas si se dispone de gas natural. Las plantas con motores alternativos tienen la gran ventaja de ser muy eficientes eléctricamente y al mismo tiempo la desventaja de ser poco eficientes térmicamente. El sistema de recuperación térmica se diseña en función de los requisitos de la industria y en general se basan en la producción de vapor a baja presión (hasta

12 bares), aceite térmico y en el aprovechamiento del circuito de alta temperatura del agua de refrigeración del motor. Son también adecuadas la producción de frío por absorción bien sea a través de vapor generado con los gases de las máquinas de doble efecto, o utilizando directamente el calor de agua de refrigeración en máquinas de simple efecto.

5.3.2 PLANTAS DE COGENERACIÓN CON TURBINAS DE GAS

Las turbinas de gas se han desarrollado en los últimos años gracias a su aplicación en la industria aeronáutica y si bien sus rendimientos de conversión son inferiores a la de los motores alternativos, ofrecen la gran ventaja de la facilidad de recuperación del calor que se encuentra concentrado prácticamente en sus gases de escape. Al estar éstos a una temperatura de aproximadamente 500°C son idóneos para producir vapor en un generador de recuperación. Este vapor se puede producir a la presión de utilización del usuario, o generarse a alta presión y temperatura para su expansión previa en una turbina de vapor.

5.4 INTERCAMBIADORES DE CALOR

El desarrollo de los intercambiadores es variado y de una amplia gama de tamaños y tecnología como plantas de potencia de vapor, plantas de procesamiento químico, calefacción y acondicionamiento de aire de edificios, refrigeradores domésticos, radiadores de automóviles, radiadores de vehículos especiales, etc.

En los tipos comunes, tales como intercambiadores de coraza y tubos y los radiadores de automóvil, la transferencia de calor se realiza fundamentalmente por conducción y convección desde un fluido caliente a otro frío que está separado por una pared metálica.

En las calderas y los condensadores, es de fundamental importancia la transferencia de calor por ebullición y condensación.

En ciertos tipos de intercambiadores de calor, como las torres de enfriamiento, el flujo caliente (es decir, el agua) se enfría mezclándola directamente con el fluido frío (es decir, el aire) o sea que el agua se enfría por convección y vaporización al pulverizarla o dejarla caer en una corriente (o tiro) inducida de aire.

En los radiadores de las aplicaciones especiales, el calor sobrante, transportado por el líquido refrigerante, es transmitido por convección y conducción a la superficie de las aletas y de allí por radiación térmica al vacío.

En consecuencia el diseño térmico de los intercambiadores es un área en donde tienen numerosas aplicaciones los principios de transferencia de calor.

5.4.1 CATEGORIAS

Para la clasificación de los intercambiadores de calor tenemos tres categorías importantes:

- Regeneradores:

Los regeneradores son intercambiadores en donde un fluido caliente fluye a través del mismo espacio seguido de uno frío en forma alternada, con tan poca mezcla física como sea posible entre las dos corrientes. La superficie, que alternativamente recibe y luego libera la energía térmica, es muy importante en este dispositivo.

Las propiedades del material superficial, junto con las propiedades de flujo y del fluido de las corrientes fluidas, y con la geometría del sistema, son cantidades que deben conocer para analizar o diseñar los regeneradores.

- Intercambiadores de tipo abierto:

Como su nombre lo indica, los intercambiadores de calor de tipo abierto son dispositivos en los que las corrientes de fluido de entrada fluyen hacia una cámara abierta, y ocurre una mezcla física completa de las corrientes.

Las corrientes caliente y fría que entran por separado a este intercambiador salen mezcladas en una sola.

El análisis de los intercambiadores de tipo abierto involucra la ley de la conservación de la masa y la primera ley de la termodinámica; no se necesitan ecuaciones de relación para el análisis o diseño de este tipo de intercambiador.

- Intercambiadores de tipo cerrado o recuperador:

Los intercambiadores de tipo cerrado son aquellos en los cuales ocurre transferencia de calor entre dos corrientes fluidas que no se mezclan o que no tienen contacto entre sí.

Las corrientes de fluido que están involucradas en esa forma están separadas entre sí por una pared de tubo, o por cualquier otra superficie que por estar involucrada en el camino de la transferencia de calor.

En consecuencia, la transferencia de calor ocurre por la convección desde el fluido más caliente a la superficie sólida, por conducción a través del sólido y de ahí por convección desde la superficie sólida al fluido más frío.

5.4.2 TIPOS DE INTERCAMBIADORES

Los intercambiadores de calor se pueden clasificar basándose en:

- Clasificación por la distribución de flujo

Tenemos cuatro tipos de configuraciones más comunes en la trayectoria del flujo.

- En la distribución de flujo en paralelo, los fluidos caliente y frío, entran por el mismo extremo del intercambiador, fluyen a través de él en la misma dirección y salen por el otro extremo.
- En la distribución en contracorriente, los fluidos caliente y frío entran por los extremos opuestos del intercambiador y fluyen en direcciones opuestas.
- En la distribución en flujo cruzado de un solo paso, un fluido se desplaza dentro del intercambiador perpendicularmente a la trayectoria del otro fluido.
- En la distribución en flujo cruzado de paso múltiple, un fluido se desplaza transversalmente en forma alternativa con respecto a la otra corriente de fluido.

- Clasificación según su aplicación

Para caracterizar los intercambiadores de calor basándose en su aplicación se utilizan en general términos especiales.

Los términos empleados para los principales tipos son:

- Calderas: Las calderas de vapor son unas de las primeras aplicaciones de los intercambiadores de calor. Con frecuencia se emplea el término generador de vapor para referirse a las calderas en las que la fuente de calor es una corriente de un flujo caliente en vez de los productos de la combustión a temperatura elevada.
- Condensadores: Los condensadores se utilizan en aplicaciones tan variadas como plantas de fuerza de vapor, plantas de proceso químico y plantas eléctricas nucleares para vehículos espaciales. Los tipos principales son los condensadores de superficie, los condensadores de chorro y los condensadores evaporativos.
- Intercambiadores de calor de coraza y tubos: Las unidades conocidas con este nombre están compuestas en esencia por tubos de sección circular

montados dentro de una coraza cilíndrica con sus ejes paralelos al aire de la coraza. Los intercambiadores de calor líquido-líquido pertenecen en general a este grupo y también en algunos casos los intercambiadores gas-gas.

- Torres de enfriamiento: Las torres de enfriamiento se han utilizado ampliamente para desechar en la atmósfera el calor proveniente de procesos industriales en vez de hacerlo en el agua de un río, un lago o en el océano. Los tipos más comunes son las torres de enfriamiento por convección natural y por convección forzada.
- Intercambiadores compactos de calor: La importancia relativa de criterios tales como potencia de bombeo, costo, peso y tamaño de un intercambiador de calor varía mucho de una instalación a otra, por lo tanto no es siempre posible generalizar tales criterios con respecto a la clase de aplicación.
- Regeneradores: En los diversos tipos de intercambiadores que hemos discutido hasta el momento, los fluidos frío y caliente están separados por una pared sólida, en tanto que un regenerador es un intercambiador en el cual se aplica un tipo de flujo periódico. Es decir, el mismo espacio es ocupado alternativamente por los gases calientes y fríos entre los cuales se intercambia el calor.

5.4.3 CALDERAS

El término caldera se aplica en general a un dispositivo para generar vapor para fuerza o procesos industriales; o agua caliente para calefacción o uso general. A una caldera se le considera un productor de vapor en términos generales, pero muchas calderas diseñadas para vapor se pueden convertir en calentadores de agua.

Las calderas son diseñadas para transmitir el calor procedente de una fuente externa (generalmente combustión de algún combustible), a un fluido

contenido dentro de la misma caldera. Si este fluido no es agua ni vapor, a la unidad se le clasifica como un calentador de líquidos térmicos.

El vapor o agua caliente, deben ser alimentados en las condiciones deseadas, es decir, de acuerdo con la presión, temperatura y calidad, y en la cantidad que se requiera. Por razones de economía, el calor debe ser generado y suministrado con un mínimo de pérdidas.

En la definición técnica, se comprende como una caldera únicamente al cuerpo que forma el recipiente y las superficies de calefacción por convección.

La capacidad de producción de una caldera (cantidad de vapor o agua caliente por hora), depende de los siguientes factores:

- Grado de combustión de combustible en el fogón.
- Extensión de la superficie de calefacción.
- Proporción en la que se distribuye la superficie, en áreas de calefacción primarias (calor radiante) y secundarias (calefacción por convección).
- La circulación del vapor o del agua y la de los gases de combustión.

Las calderas poseen dispositivos que regulan la inyección de combustible de acuerdo a los requerimientos de vapor o presión a la que se desea dicho fluido. Cuando las calderas están en operación, tienen que ser purgadas para eliminar todos los sólidos en suspensión y evitar la corrosión de los tubos. Estas purgas se hacen dependiendo de las cualidades del agua de alimentación de la caldera.

El agua de alimentación es un parámetro muy importante en el manejo de las calderas, pues la conservación de los tubos de agua depende directamente de la calidad del agua de alimentación, la cual tiene que tener ciertas características tales como: dureza del agua igual a cero, un pH entre 7.5 - 8.6, sólidos disueltos con un máximo de 1,200 ppm, fosfatos de 30 -60 ppm. Cuando

el agua de alimentación a la caldera es de mala calidad, la caldera se incrusta en el lado del agua y esta formación que es comúnmente de calcio crea una especie de aislante entre el agua y los gases que transfieren la energía. Esto trae consecuencias como, un incremento en el consumo de combustible y por lo tanto, una baja eficiencia en el sistema.

El combustible también juega un papel importante en la operación de las calderas, pues con un combustible de mala calidad crea formaciones o incrustaciones en el lado del fuego. Al igual que las incrustaciones en el lado del agua, éstas reducen la eficiencia en el intercambio de calor, generando de esta forma costos innecesarios. Las incrustaciones en el lado del fuego de la caldera regularmente se deben a carbón, vanadio y azufre.

La función del intercambiador o caldera que se diseñará en este proyecto, será transferir el calor de los gases de combustión al agua alimentada al sistema para llevarla al punto de ebullición a una presión de operación.

La generación de vapor en una caldera es originada por la transferencia de calor de los gases de combustión (en el caso de este trabajo, los gases de escape generados por el motor) al agua que circula por la caldera. La producción de vapor depende de la temperatura y velocidad del flujo de los gases de escape que circulan por la caldera.

El vapor generado por una caldera dependerá del tipo de caldera que se trate, pues dicho vapor puede ser saturado o sobrecalentado y puede ser generado a diferentes presiones y temperaturas dependiendo del diseño y los requerimientos del sistema.

El agua, al vaporizarse, se convierte en vapor de agua, el cual es un fluido gaseoso e incoloro. Dicho cambio de estado puede ocurrir por evaporación o cuando el agua alcanza su punto de ebullición, a aproximadamente 100 °C y presión atmosférica. El vapor de agua sometido a presión suministra energía

para trabajos mecánicos, en máquinas de vapor y especialmente en las de émbolo. También es utilizado en turbinas.

5.4.3.1 CALDERAS ACUOTUBULARES

Las calderas se dividen en dos grandes grupos, en el primero, los tubos internos de la caldera están llenos de agua y los gases de combustión pasan fuera de los tubos que transportan internamente el agua a fin de transferir el calor necesario para elevar la temperatura de dicho líquido a su punto de ebullición

Generalmente en una caldera acuotubular se encuentra un máximo de tubos verticales o inclinados en las secciones de transferencia de calor, la cual se da por convección y radiación. Regularmente la mayor parte de los muros de los hornos están cubiertos por bancos de tubos de agua, conocidos como pantallas de agua, que tienen el doble propósito de transferir el calor al agua para su ebullición y también de enfriar el refractario de la pared del horno y así prolongar su vida.

5.4.3.2 CALDERAS PIROTUBULARES

En el segundo tipo de caldera los tubos están llenos de gas caliente, estos tubos están sumergidos en el agua de la caldera y actúan como medio de transferencia de calor. Estas calderas se clasifican generalmente como calderas de concha, ya que el agua y el vapor están contenidos dentro de una coraza que aloja los elementos que producen el vapor. Las calderas piro tubulares son normalmente de construcción simple y fuerte, y son relativamente baratas (baja inversión inicial de capital). Otra ventaja es su flexibilidad para adaptarse rápidamente a cambios de carga, aunque son un tanto lentas en alcanzar la presión de operación a partir de un arranque en frío debido a su gran contenido de agua.

5.4.3.3 CALDERAS DE CALOR DE DESPERDICIO (O DE RECUPERACIÓN)

Por las características del intercambiador que se diseñará, se le conoce como "Caldera de Calor de Desperdicio". La recuperación de calor de los productos de desperdicio, gases resultantes de la combustión de algún combustible o de los procesos industriales, es con frecuencia una necesidad, tanto desde el punto de vista económico, como por razones de contaminación del aire o del agua. En algunos casos la producción de vapor requerida por una fábrica, puede ser suministrada por calderas alimentadas a base de calor de desperdicio.

El calor recuperable tiene su origen en los siguientes procesos:

1. El calor que se origina como parte necesaria de un proceso industrial y que de otra manera sería desperdiciado, por ejemplo en un horno de fuego abierto.
2. El calor como subproducto de un proceso químico, por ejemplo la recuperación de licor negro.
3. El calor obtenible de la combustión de desperdicios, tales como brazuelo, bagazo y recortes de madera (astillas).
4. El calor obtenible de los gases de escape en motores de combustión interna de magnitudes considerables (regularmente estacionarios para generación y barcos).

Cualquier clase de producto o gas de desperdicio procedente de algún proceso industrial, que es descargado en forma continua a una temperatura aproximada de 300°C o mayor, puede tomarse en cuenta para la recuperación de calor. Aparte del vapor útil obtenible, reduce el mantenimiento en los ductos, ventiladores y chimeneas. Con frecuencia se recuperan también de una manera más completa, partículas de material útil en los gases ya enfriados. Los combustibles de desperdicio más importantes son, gases procedentes de los altos hornos y motores de combustión interna, gases de los hornos de coque, fluido de coque de petróleo y licor negro.

Las necesidades específicas de los procesos de acero, cobre, cinc, cemento, papel y productos similares, han hecho surgir el diseño de varios tipos de calderas de vapor de desperdicio. Estas calderas se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Calderas de tubos de gas - para gases relativamente limpios .
2. Calderas acuotubulares - para gases limpios o cargados de polvo.
3. Caldera de tubos curvados - para contenidos de polvo muy concentrados
4. Caldera de tres domos, de poca altura - para cargas de polvo ligeras.
5. Caldera de dos domos, de paredes de agua - para gases cargados con partículas pegajosas.
6. Calderas de circulación forzada - para gases limpios de baja temperatura.
7. Caldera de fogón a presión o supercargado - para trabajar con los gases de escape de una turbina de gas.

5.5 INTERCAMBIO DE CALOR

La energía suministrada por un fluido que posee una alta temperatura, a otro fluido que se encuentra a una temperatura más baja, ya sea por radiación, convección, conducción o una combinación de éstas. La transferencia de calor o intercambio será más rápido entre más diferencia entre las temperaturas de ambos fluidos exista y mayor sea el área de transferencia de calor.

Esta investigación se enfocará en la transferencia de calor entre el serpentín de una caldera acuotubular y los gases de combustión de un motor de combustión interna. En este caso el fluido que posee la energía, son los gases de escape y el fluido que recibe la energía calorífica (transferencia de calor) es el agua que fluye en el interior del serpentín de la caldera.

El área de intercambio de calor en este estudio, son todas las partes de los tubos del intercambiador que están en contacto con los gases de escape y por consecuencia de este contacto se transferirá calor al agua que se encuentra

en circulación en el interior de estos tubos. Esto dará como resultado la evaporación del líquido. Por ende la eficiencia del intercambio de calor dependerá del área de contacto, del material de los tubos, de la temperatura de los gases de combustión, del caudal de los gases de escape y de la velocidad de éstos.

El principal problema en el diseño de una caldera, consiste en obtener la relación correcta entre la caída de temperatura de los gases, la superficie de calefacción y la pérdida de tiro que proporcione la transmisión de calor más económica.

El diseño de una caldera se basa en la combustión de una determinada cantidad de combustible, la que a su vez (dependiendo de las características del combustible), determina la temperatura de entrada y la cantidad de gases producidos por la combustión que tendrá que manejarse en los retornos de la caldera. La remoción del calor contenido por estos gases, es función de la extensión de la superficie de transmisión de calor disponible y de la caída de temperatura de los gases. Para que se efectúe esta transmisión de calor, es necesario que la superficie de calefacción tenga una temperatura más baja que la de los gases y que haya corriente de los productos de la combustión. El diseño de la superficie de calefacción está condicionado por la caída deseada de la temperatura y por la pérdida de tiro tolerable, que incluye la combinación de los diámetros de los tubos, el espaciamiento entre los mismos, su longitud, el número de tubos a lo ancho y en el fondo.

Teóricamente un número propiamente reducido de diámetros y espaciamentos de los tubos da mejores resultados. La longitud de los tubos determina generalmente la localización del domo y de los cabezales o planchas portatubos. La corriente tolerable de masas de fluidos (gas, aire o agua), determina el ancho de la caldera. Es muy importante que todas las superficies de calefacción puedan limpiarse, de lo contrario no absorberán calor.

5.5.1 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La ecuación básica de diseño para un intercambiador de calor es:

$$dA = \frac{dQ}{U\Delta t}$$

En donde dA es el elemento de área superficial que se requiere para transferir una cantidad de calor dQ a un punto en el intercambiador, donde el coeficiente global de transferencia de calor es U y donde la diferencia global de temperaturas masivas entre las dos corrientes es Δt . El coeficiente global de transferencia de calor se relaciona con los coeficientes individuales de transferencia de calor de película y con las resistencias de paredes y suciedades.

5.6 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE CALDERAS

Desde hace muchos años, los ingenieros aspiran a la construcción de calderas mejores y más eficientes, capaces de proporcionar calor y fuerza al menor costo posible. Los factores que ejercen mayor influencia sobre el desenvolvimiento de las calderas y de los generadores de vapor, son idénticos a aquellos que afectan a los cambios económicos en general, especialmente los costos de mano de obra y materiales. Durante el período posterior a la Segunda Guerra Mundial, los efectos de estos factores se han hecho sufrir más adecuadamente en el diseño de las calderas.

Las condiciones actuales son muy diferentes a las que prevalecieron en el siglo pasado, en cuya época el equipo era por lo general sobredimensionado y se fabricaba defectuosamente o con marcadas imperfecciones. En la actualidad se cuenta con multiplicidad de diseños y tipos de equipos, fabricados bajo normas exactas y con medidas uniformes. Esta abundancia de equipos ha

permitido la obtención de una caldera adecuada para cada caso, desde la diminuta unidad que pende del techo y es alimentada por gas doméstico, hasta los grandes generadores de vapor para turbinas. La utilización de calderas se ha ido incrementando en los últimos años en nuestro territorio. Por ejemplo: las grandes calderas utilizadas para mover turbinas, las cuales a su vez mueven generadores eléctricos y las calderas utilizadas para el proceso de la cerveza. Se pueden seguir mencionando un sin fin de procesos que utilizan este valioso instrumento, pero se hará énfasis en la industria pesquera, ya que esta es una rama industrial que ha crecido en El Salvador.

La selección de una caldera o intercambiador para calor de desperdicio, se basa en las consideraciones siguientes:

1. Naturaleza química, temperatura y corrosividad de los gases.
2. Cantidad, porcentaje y naturaleza del contenido de polvo.
3. Tiro del que se dispone
4. Localización deseada para el ducto de salida (o descarga).
5. Si los gases se encuentran bajo presión o bajo succión.
6. Espacio disponible
7. Necesidad de combustión suplementaria para el arranque, precalentamiento, uso de emergencia, estabilización de las condiciones del fogón o capacidad adicional.
8. Otras necesidades especiales de proceso individual. En general al diseñar una caldera se trata de conseguir una velocidad relativamente alta a través de un número reducido de tubos, para aumentar la transferencia de calor por convección y contrarrestar así las temperaturas bajas de los gases.

En los gases de desperdicio obtenibles para la generación de vapor, se encuentran grandes cantidades de polvo, pero las calderas se pueden mantener en condiciones correctas de operación, utilizando colectores de polvo, bolsas y tolvas y en algunos casos transportadores. Los gases cargados de polvo tienen que manejarse a baja velocidad para reducir al mínimo la acción abrasiva sobre

los tubos. Si los gases contienen partículas sólidas o ígneas (pegajosas o adhesivas), tienen que ser enfriados por radiación en fogones de paredes de agua, antes de pasar a las zonas de convección.

5.7 MATERIALES PARA LA MANUFACTURA DE CALDERAS

Los materiales que se emplean en la construcción de calderas, se rigen por especificaciones cuidadosamente establecidas. Los requisitos concernientes se indican en el Código ASME.

En la construcción de calderas se encuentran una variedad considerable de aceros al carbón y aleaciones. El acero es una aleación de hierro y carbono (con no más de 1.7% de carbono), con pequeñas proporciones variables de otros materiales. Primeramente es fundido, convirtiéndolo en una masa maleable, para ser después laminado o forjado a su forma comercial. El acero de bajo carbono es más dúctil que el acero de alto carbón, pero este último tiene resistencia mayor a la tensión.

Las especificaciones del código rigen sobre la selección de tubos, placas, piezas forjadas o de fundición y pernos o tornillos. Los aceros de los estándares se aceptan usualmente para placas, barras y otros materiales estructurales que no serán sometidos a tensión.

La resistencia a la tensión, normada, para aceros destinados a la fabricación de calderas, es de 3,866.5 a 5,272.5 kg/cm². La tensión mínima de deformación debe ser la mitad de la resistencia a la tensión.

Los aceros principales, que son generalmente usados en la construcción de

calderas, se agrupan de la manera siguiente:

- 1 Aceros planos al carbón (de desoxidación graduada, semitratados con aluminio-silicio y tratados con aluminio-silicio).
- 2 Aceros de baja aleación.
- 3 Aceros al cromo, planos.
- 4 Aceros austeníticos.
- 5 Aceros de revestimiento integral.

5.7.1 ACERO PLANO AL CARBÓN.

Las especificaciones para estos aceros dependen de la construcción, ya sea remachada o soldada a forja. Estos aceros contienen un promedio de 0.20% a 0.30% de carbono. Prácticamente todas las placas hasta espesores de 38 mm (1 1/2"), que se utilizan para trabajos ordinarios, son de este material.

Las placas de acero al carbón que se utilizan para cualquier parte de la caldera sujeta a presión y expuesta al fuego de la combustión, tienen que ser de calidad para fogón. Si el material sufre la acción de presiones, pero no está expuesto al contacto con el fuego ni con los gases de la combustión, las placas de acero empleadas pueden ser, ya sea, de acero especial para fogón o de acero dulce. Las placas de acero dulce es recomendable que tengan un espesor de 51 mm (2"). Para construcciones de primera se prefiere el acero de calidad especial para fogón, por la mayor uniformidad de su composición química y por su apariencia más limpia.

El acero especial para fogón tiene un contenido máximo de carbono de 0.25% para placas de un espesor no mayor de 19 mm y de 0.30% para espesores mayores; el contenido máximo de fósforo es de 0.04% para el acero ácido y de 0.035% para el acero básico; el contenido máximo de azufre es de 0.04%.

El acero plano al carbón es razonablemente resistente a la incrustación por el vapor y atmósferas de combustión, hasta una temperatura aproximada de 538 grados centígrados; pero a tensiones altas, la oxidación se acelera a las temperaturas un tanto bajas.

Para temperaturas de más de 482 grados centígrados, se usa exclusivamente acero tratado con aluminio-silicio. Con una exposición prolongada a temperaturas superiores a unos 427 grados centígrados, el contenido de carburo en el acero se convierte en grafito. Algunas clases de aceros dulces (ASME SA-285) se emplean con temperaturas límite de 454 grados centígrados. Hay constructores que utilizan tubos de acero al carbón para supercalentadores a temperaturas hasta de 510 grados centígrados dependiendo de las presiones de trabajo. Por lo general, el uso del acero plano al carbón está restringido para temperaturas abajo de los 427 °C.

5.7.2 ACERO DE BAJA ALEACIÓN.

Cierto número de aceros de baja aleación son superiores al acero plano al carbón, en una o varias de las siguientes características: resistencia en la temperatura ambiente, resistencia en altas temperaturas, resistencia al impacto en temperaturas bajas, resistencia a la corrosión y estabilidad en temperaturas altas.

El acero al cromo-magnesio-silicio, tiene una resistencia superior a la temperatura ambiente y presenta también mayor resistencia a la corrosión atmosférica.

El acero al níquel, es superior en resistencia a la temperatura ambiente y en resistencia al impacto.

El acero al carbono-molibdeno, tiene mejores cualidades de resistencia a la alta temperatura.

5.7.3 ACERO AUSTENÍTICO.

Estos aceros al cromo-níquel, se emplean en la construcción de calderas de alta presión y alta temperatura. El acero inoxidable se utiliza invariablemente para presiones arriba de 126.5 kg/cm² y temperaturas superiores a 538 °C. Aunque el acero más comúnmente usado, es el de 18-8 cromo-níquel, los aceros al cromo-níquel de 25-12 y 25-20, son superiores en el rango de las temperaturas extremadamente altas.

Los aceros austeníticos no son magnéticos y no se endurecen al aire, pero se endurecen bien con el trabajo. Su baja conductividad térmica, con la consecuente menor resistencia a los choques térmicos, son un factor que debe tomarse en cuenta para su selección en condiciones de servicio pesado. Se caracterizan por su excelente resistencia a la corrosión y a la oxidación.

La tendencia hacia el aumento continuo de las temperaturas del vapor, se ha detenido actualmente por la falta de materiales adecuados para satisfacer esta condición. El servicio que han dado los metales que se emplean en la actualidad, en los límites de temperatura de 565 °C, se considera satisfactorio.

5.7.4 ACERO DE REVESTIMIENTO INTEGRAL

Las placas de acero al carbón o de aleaciones bajas revestidas con una capa integral de acero aleado, de níquel, monel, inconel o cobre, son muy poco usadas para la construcción de calderas. Sin embargo, encuentran aplicación en la fabricación de calentadores de agua y en la de elementos para reactores nucleares. Estos materiales proporcionan una protección anticorrosiva, a menor costo que los materiales sólidos resistentes a la corrosión.

5.7.5 ACEROS RESISTENTES AL CALOR (ACEROS REFRACTARIOS)

Los aceros refractarios son aleaciones que deben soportar medios corrosivos a altas temperaturas. El contenido de cromo y níquel por lo general

es superior al de los aceros inoxidable y frecuentemente van acompañados de otros elementos (molibdeno, cobre, aluminio, etc.) para favorecer dicha resistencia.

La resistencia a la oxidación de los refractarios se debe precisamente a la formación de una película de óxido, que deberá ser impermeable si se desea una buena resistencia a la corrosión.

Al igual que en los inoxidable, el elemento que dota a los refractarios de buena resistencia a la corrosión es el cromo. Adiciones de aluminio y silicio hacen que mantenga dicha resistencia a más altas temperaturas.

Cuanto menor es el tamaño del grano, mejor es la resistencia a la oxidación. Adiciones de calcio, bario o estroncio, mejoran la resistencia (45% de cerio, 30% de lantano, 20% de didimio y 5% de iterbio) aumentan también la resistencia de los aceros refractarios.

Por el contrario, el carbono, nitrógeno y oxígeno disminuyen la resistencia a la oxidación.

Cantidades de boro de 0.0004% disminuyen sensiblemente la resistencia al escorificar la película de óxido.

Por el tipo de aplicación del presente proyecto, el acero a utilizar por sus características y propiedades para el diseño del serpentín del intercambiador es el siguiente:

12 Cr Mo 5

ACERO REFRACTARIO MARTENSÍTICO (Correspondencia con AISI-502)

Composición química (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.15	1.00	1.00	0.04	0.03	5.00	0.55

Este acero es resistente frente a la corrosión de compuestos sulfurosos y a la oxidación de los gases de combustión. Tiene buenas propiedades mecánicas a temperaturas moderadamente altas y es ferromagnético (le atrae el imán). Este acero también es utilizado para la fabricación de tubos doblados en U, tubos extruídos en caliente, tubos extruídos en frío.

Tiene gran aplicación en la industria petroquímica, en calderas, plantas de generación, intercambiadores de calor, etc. La soldadura de este acero no presenta dificultades pero se recomienda un precalentamiento a unos 450 grados centígrados.

Tratamientos térmicos:

La mínima dureza se consigue recociendo entre 850 y 925 °C y enfriando lentamente en el horno hasta 600 °C. Después de este recocido puede darse otro tratamiento entre 700 y 740 °C, con enfriamiento en aire, para conseguir una dureza más adecuada para la mecanización.

Temple: de 900 a 950 °C con enfriamiento en aire o aceite.

Revenido: inferior a 750 °C, dependiendo de las características mecánicas que se pretendan obtener.

Propiedades mecánicas:

Resistencia a la tracción: 595 MPa

Límite elástico: 315 MPa

Alargamiento: hasta 28%

5.8 CARACTERÍSTICAS DE LA SOLDADURA DEL SERPENTÍN

El electrodo a utilizar para soldar el serpentín tiene que adecuarse a las características del material del intercambiador, tales como, resistencia a la tracción y el límite de elasticidad.

El electrodo que se emplea es el UTP 62 de Boehler Thyssen, el cual se recomienda para uniones y revestimientos en la construcción de máquinas, calderas, aparatos y aceros fundidos de calidades comunes, así como aceros estructurales de grano fino con resistencia a la tracción de 450 hasta 700 Mpa y aceros resistentes al calor hasta 500 °C.

Propiedades mecánicas del electrodo:

Resistencia a la tracción: hasta 650 MPa

Límite de elasticidad: hasta 490 MPa

Alargamiento: hasta 33%

Composición del depósito:

C, Si, Mn, Mo

Tratamiento térmico:

En paredes con más de 10 mm de espesor se recomienda precalentar a 200 - 250 °C. El recocido para atenuar tensiones internas, se efectúa a 600 – 650 °C.

Se deben de utilizar solamente electrodos secos. Electrodo húmedos se deberán secar durante 2 – 3 horas a 250 - 300 °C.

5.9 PRINCIPALES TIPOS DE MOTORES

A continuación se describen los diferentes motores y sus características, los cuales son los más utilizados en la industria nacional:

5.9.1 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Los motores de combustión interna se dividen en dos grandes grupos, (i) encendidos por chispa (ciclo Otto) y (ii) encendidos por compresión (ciclo Diesel). Las diferencias fundamentales se encuentran en los métodos que se siguen para mezclar el aire y el combustible (antes de la compresión en el ciclo de Otto, y usualmente cerca del final de la compresión en el ciclo Diesel) y en los métodos para iniciar el encendido.

El estudio se centra en el segundo grupo, en éste se comprime la mezcla aire-combustible en una cámara, mediante un pistón. Al ser comprimida la mezcla, ésta alcanza cierta temperatura y presión, que provoca que la mezcla se combusione paulatinamente, dicha combustión empuja el pistón hacia abajo, el cual al mismo tiempo impulsa el cigüeñal. El cigüeñal del motor de combustión interna que se menciona en esta investigación está acoplado el eje de un generador eléctrico.

La eficiencia de los motores de combustión interna depende, entre otras cosas, de la relación de compresión, la cantidad de aire admitido a la cámara de combustión y la calidad del combustible. Cuando se utiliza un turbocompresor para comprimir el aire de admisión se aumenta la eficiencia del motor, pues se aumenta considerablemente la cantidad de moléculas de aire admitidas a la cámara; por lo tanto se optimiza la mezcla aire-combustible y se mejora la combustión.

En los motores de combustión interna del tipo de pistón, el proceso se puede efectuar a volumen constante, a presión constante o bien, en alguna combinación de éstos. El proceso a volumen constante es característico del encendido por chispa o ciclo de Otto, y el proceso a presión constante solamente se encuentra en el encendido por compresión de baja velocidad o ciclo Diesel. Cuando se combinan ambos procesos, el ciclo se conoce como mixto, de combinación o de presión limitada.

La relación de compresión nominal se obtiene dividiendo la suma del desplazamiento más el espacio muerto entre el volumen del espacio muerto. La relación de compresión real es bastante menor que su valor nominal, debido al retraso en el cierre de la válvula o lumbrera de admisión.

La relación de compresión puede calcularse con la siguiente ecuación, $p = r_a^{1.33} p_m$, en donde p_m , es la presión en el manifold de admisión y r_a , es la relación de compresión real. La presión de compresión real se determina con un manómetro para la presión, que funciona al atrapar los gases en una válvula de retención, la cual indica la presión máxima en condiciones de trabajo.

En los motores de encendido por compresión, se emplean combustibles líquidos de baja volatilidad que varían desde los aceites combustibles y destilados, hasta petróleo crudo, las relaciones de compresión se encuentran entre 11.5:1 y 22:1 y las presiones de compresión entre 2,760 y 4,830 kPa, y trabajan en el ciclo Diesel o el combinado. En general no requieren dispositivos de encendido, aún cuando en algunos motores de cámaras múltiples y relaciones de compresión muy baja, pueden requerirse. La velocidad y la carga se controlan variando la cantidad de inyección de combustible.

El motor de cuatro tiempos requiere cuatro carreras del pistón o dos revoluciones del cigüeñal por cada ciclo. Este tipo de ciclo se emplea en forma casi exclusiva en motores de automóviles, tractores, aviones y también en el

caso a investigar, que se trata de un motor estacionario. El motor en el cual se enfocará el estudio es un motor de cuatro tiempos de simple efecto. Esto significa que la combustión se produce sólo en un lado del pistón.

5.9.2 MOTORES ESTACIONARIOS

Las ventajas de estos motores son:

- Mayor diversidad en la velocidad y la carga
- Pistones más fríos
- Cáster común en los motores de varios cilindros, es más fácil asegurar una buena lubricación
- No hay pérdida de combustible en el escape
- Más bajo consumo específico de combustible
- Menos pérdidas por bombeo
- Menor dilución en el escape
- Más bajas emisiones de hidrocarburos
- Desplazamiento positivo en los procesos de admisión y escape
- Mejor regulación de la potencia

Los motores estacionarios se fabrican tanto con el ciclo Diesel como con el de Otto, funcionan con combustibles líquidos o gaseosos y se usan de dos o cuatro tiempos. El alcance más alto de la potencia de salida se encuentra alrededor de los 48,000 bhp por motor. El vástago del émbolo permite que el cáster pueda aislarse de los gases provenientes del soplado y también que la cara inferior del émbolo trabaje como una bomba de aire. En la actualidad todos los motores son de simple acción (la combustión se produce sólo en un lado del pistón). Los cilindros de grandes dimensiones se construyen con varias partes, se emplean cilindros con forros interiores y los émbolos muy largos de los motores diesel para simple acción se fabrican regularmente con cinco anillos.

Es frecuente que las válvulas sean muy pesadas y en las más grandes es necesario el enfriamiento; y también en algunos casos se enfrían con agua los tubos del escape y los émbolos para motores, que tienen alojamientos muy grandes, se enfrían siempre con líquidos, que pueden ser aceite o agua. En general, en los motores estacionarios existe mucho menos construcción integral que la que tienen los motores para automóviles.

5.9.3 MOTORES MARINOS

Los motores marinos pueden ser del ciclo de Otto o Diesel y pueden ser de aspiración normal o sobrecargada como lo es en el caso del motor en que se basa esta investigación. Los motores marinos en la actualidad también están siendo usados como motores estacionarios para la generación de energía. El intervalo de potencia para los motores fuera de borda varía desde menos de uno a más de 150 bhp y, por lo general, son del tipo de gasolina de dos tiempos. En los grandes botes, también se emplean los motores de gasolina para automóviles modificados. El intervalo de potencia en los motores diesel varía desde de menos de 50 hasta 20,000 bhp que pueden ser de dos o cuatro tiempos y regularmente trabajan con aceite pesado o diesel. En el trabajo requerido para los motores marinos pueden emplearse indistintamente los de tipo automotriz y los de tipo estacionario, con lo cual se obtiene amplias variaciones en los pesos específicos. Al establecer una comparación de un número de curvas de consumo de combustible para motores de diversos tipos, se encuentra que los grandes motores marinos de ciclo diesel tienen el más bajo consumo específico de combustible.

Los motores de cuatro tiempos encendidos por compresión se construyen con válvulas en la culata; se combinan con dos tipos de arreglo de cámara de combustión: cámara simple, en esta clasificación se considera si es del tipo abierto o de inyección directa, y cámara doble, para lo que se toma en cuenta si se refiere al tipo de precámara o al de dos cámaras divididas.

La investigación se enfocará en el tipo de cámaras de combustión abiertas (inyección directa), pues este es el tipo de cámara que posee el motor en el cual se centra el estudio. Por lo general se emplea una tobera de múltiples orificios para inyectar el combustible a presiones elevadas en forma directa dentro del espacio muerto de la cámara, entre el émbolo y la cabeza del cilindro. En general la cabeza del émbolo está conformada para ajustarse al chorro de combustible pulverizado y un remolino introduce el aire no mezclado en su interior. La existencia del remolino se asegura en el diseño de la lumbrera de admisión, cubriendo la válvula de admisión. La alta turbulencia se logra aproximando el émbolo hasta casi cerrarse con la parte de la cabeza del cilindro. Con esto se obliga a los gases a salir de los pequeños espacios muertos y agitar la mezcla.

5.9.4 MOTORES Krupp MaK

Vale la pena mencionar este tipo de motores, por lo tanto se hará una explicación general de los principales aspectos y sistemas que componen dicho motor. Estos motores de combustión interna están disponibles para aplicaciones marinas y estacionarios, tales como: ferries, barcos de pasajeros y pesqueros, rompe hielos, yates, barcos patrullas, barcos de rescate, barcos de la marina y como estacionarios para la generación de energía eléctrica.

Los motores están equipados con gobernadores mecánico-hidráulicos y eléctricos. El gobernador mecánico trabaja por medio de un sistema hidráulico de aceite que ajusta la velocidad del motor a un valor constante, esto lo hace mediante unos sensores de velocidad, independientemente de la carga. El gobernador eléctrico manda constantemente una señal al gobernador mecánico para que éste regule la cremallera que controla la inyección de combustible, dependiendo de la carga que se esté aplicando en ese preciso momento.

La disminución de velocidad ocurre con incrementos de carga, pero esta disminución es corregida de inmediato por los gobernadores.

5.9.4.1 SISTEMA DE COMBUSTIBLE

El combustible que se emplea para la operación del motor tiene que ser purificado antes de ser inyectado en la cámara de combustión. El separador o centrífuga se encarga de esta tarea, el cual elimina el agua y sólidos contenidos en el combustible. El combustible separado (limpio) es acumulado en el tanque de servicio diario y de éste es llevado al motor, pasando antes por una serie de filtros.

Antes de que el combustible entre al motor pasa por un controlador de viscosidad para asegurar que la viscosidad y temperatura de éste sean las apropiadas para la posterior inyección (entre 140 - 150°C).

5.9.4.2 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

El aceite lubricante para este tipo de motores es altamente alcalino, pues el combustible que se utiliza tiene un alto contenido de azufre, arriba de 2%, lo cual hace que en la combustión se formen reacciones químicas muy ácidas, entonces un número básico alto neutraliza estas reacciones y evita la corrosión. Al igual que en el sistema de combustible se utilizan centrífugas para eliminar el agua, las impurezas y los sólidos contenidos en el aceite.

El sistema cuenta con un tanque de circulación de aceite que funciona como un cárter de un motor convencional, sólo que éste se encuentra externo.

Este sistema posee un radiador que se encarga de mantener la temperatura del aceite entre 50 - 60 grados centígrados (temperatura de operación).

5.9.4.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Generalmente se utilizan radiadores para el enfriamiento del agua del motor.

El sistema de agua de enfriamiento incluye un circuito de baja y otro de alta temperatura. El circuito de alta temperatura es el que pasa y enfría entre otros: el block del motor, las camisas, el turbocargador y el segundo paso del intercooler. El sistema de enfriamiento de baja temperatura sirve para enfriar el radiador de aceite y el aire de admisión al motor (primer paso del intercooler). Toda el agua que es utilizada en los sistemas de enfriamiento es suavizada previamente y tratada con un químico para prevenir la corrosión.

5.9.4.4 SISTEMA DE AIRE

El sistema de aire es utilizado para arrancar el motor. El aire de arranque es almacenado en botellas a un máx. de 30 bar. Cuando se arranca el motor, un distribuidor de aire es el que se encarga de suministrar en tiempo el aire de arranque a los diferentes cilindros.

5.9.4.5 GENERACIÓN

El generador está acoplado al motor por medio de una junta de caucho que contrarresta las fluctuaciones de torque que son ocasionadas con los cambios de carga de la máquina. El voltaje suministrado por los generadores es transformado. Todo el sistema de generación posee dispositivos que protegen a las máquinas sobre cualquier falla o fluctuaciones que haya en las líneas de transmisión. Dependiendo del tipo de falla, estas protecciones pueden disparar los motores para su protección y en caso de no ser grave, disparan el interruptor principal y los motores se quedan suministrando la carga necesaria para la operación del barco.

5.10 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las calderas son dispositivos para generar vapor, los cuales se utiliza en todo tipo de procesos, que van desde el calentamiento del agua hasta procesos tales como el movimiento de turbinas para la generación de energía.

La eficiencia de los intercambiadores de calor depende sobre todo de los materiales utilizados para su construcción y del diseño.

En la caldera de calor de desperdicio o intercambiador que se diseñará, los gases de escape pasarán por fuera de los tubos que contienen el agua que circula dentro del intercambiador, que después de la transferencia de calor pasará a ser vapor saturado. Por sus características antes mencionadas esta caldera de recuperación es del tipo acuotubular. Se utiliza este tipo, pues por las características del sistema de escape del motor, es el que mejor se adapta para el aprovechamiento de los gases de escape.

Por el tipo y concepto de caldera que se diseña, se le conoce como "Caldera de Calor de Desperdicio", porque su fin es utilizar y aprovechar una fuente de energía que se desecha o desperdicia para la producción de una fuente energética (en este caso vapor), la cual puede ser usada par diversos fines.

Debido a que unos de los principales factores que determinan la eficiencia de un intercambiador de calor, son su diseño en general y el propósito de este proyecto es la utilización de una fuente de energía alternativa, el problema a investigar será, ¿Qué características debe tener el intercambiador de calor para optimizar el aprovechamiento de la energía proveniente de los gases de escape de un motor diesel de combustión interna, para generar energía en forma de vapor y así ser aprovechada en energía eléctrica.

6. INSTRUMENTOS

Entrevistas a técnicos, consulta a bibliografía y páginas de Internet concerniente a los temas de (Ver Bibliografía):

- Diseño de calderas
- Intercambio de calor
- Especificaciones de materiales (metales y aleaciones para la fabricación de intercambiadores de calor y calderas)
- Bombas centrífugas de alta temperatura para circulación del agua de caldera
- Manuales del motor de combustión interna para determinar características de los gases de escape, turbinas de vapor, unidad CE-94.
- Diseño de intercambiadores de calor.

7. PROCEDIMIENTO DE CALCULOS PARA EL EQUIPO DE COGENERACION

Consultando los manuales del fabricante del motor, se obtiene el caudal y temperatura de los gases de escape a 100 % de carga del motor. Se toma como base que estos motores trabajan 92 % del tiempo a 100 % de carga, y es cuando el motor genera la mayor cantidad de gases de combustión según las especificaciones del fabricante. Al 100 % de carga se generará la mayor cantidad de vapor ya que es cuando se tiene el mayor diferencial de temperatura entre el agua del intercambiador y los gases de escape. Con los datos anteriores, se calcula el área de transferencia de calor del serpentín del intercambiador. Se diseña el área de transferencia de tal forma que se aproveche eficientemente la energía de los gases, tomando en cuenta que la recuperación de calor se torna costosa después de que los gases han descendido a 210° C. En este punto hay un grado de conductibilidad de recuperación tan bajo que es más ventajoso desperdiciar este calor que tratar de recuperarlo. Considerando la temperatura a la cual la transferencia de calor sea eficiente, se toma este punto como límite para el dimensionamiento del intercambiador, ya que cualquier parámetro que exceda este límite resultará en un costo adicional que no generará ningún beneficio.

Teniendo el área de transferencia de calor se dimensiona el diámetro del serpentín y se determina el tipo de tubería para su construcción.

El siguiente paso consiste en el dimensionamiento del tanque de alimentación de agua y tanque de vapor. Para este dimensionamiento se considera una capacidad que garantice la operación del sistema durante media hora. Este lapso de tiempo es un tiempo prudente para evitar que el sistema opere sin fluido. Por último, se determinan las bombas de circulación de agua de la caldera y las bombas de alimentación de acuerdo a la capacidad

necesaria del sistema propuesto por la unidad CE-94.

Se toma como base y parámetro de referencia para los cálculos, un motor diesel, el cual cuenta con ocho cilindros en línea y tiene una potencia mecánica de 3634 BHP y es operado con diesel.

Los gases de escape salen de la cámara de combustión a una temperatura de aproximadamente 430 °C. Estos gases impulsan la turbina del turbocargador, la cual a su vez, impulsa el compresor que comprime los gases de admisión para obtener una mayor eficiencia en la combustión. Después de que los gases de escape han pasado por el turbocargador, los silenciadores y la tubería de escape, salen al ambiente a una temperatura de 340 °C.

7.1 CÁLCULO DEL ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL INTERCAMBIADOR

Para realizar los cálculos del serpentín se estimaron los gases de escape como CO_2 , ya que el fluido de trabajo en los motores térmicos es de manera usual una mezcla de aire y combustible, pero puesto que la cantidad de aire en la mezcla para la mayoría de los motores térmicos es relativamente alta, la presencia de una pequeña cantidad de combustible en el aire no altera de manera significativa las propiedades de la mezcla de las propiedades de la composición de los gases que especifica el fabricante del motor.

7.1.1. HOJA DE CÁLCULO

Simbología empleada para el cálculo de los diferentes componentes del equipo de cogeneración:

Q: Calor

W: Trabajo

H: Entalpía

Cp: Calor específico

T: Temperatura

Rh: Resistencia a Incrustaciones

Fc: Factor de corrección

Wn: Gasto masivo de gases de escape

Ad: Área de diseño o de contacto

M: Luminosidad del agua

Re: Numero de Reynolds

Ud: Coeficiente global de transferencia de calor de diseño

Uc: Coeficiente global de transferencia de calor en función del área extrema

Ew: espesor

Gs: Velocidad en la cáscara

Pt: Paso del tubo

m - Gasto másico del agua y gases, kg/hra

Ti-gases - Temperatura de gases en la entrada del intercambiador

Te-gases - Temperatura de gases en la salida del intercambiador

h1- Entalpía del fluido a la entrada del serpentín, kJ/kg

h2 - Entalpía del fluido a la salida del serpentín, kJ/kg

Qgases - Energía transmitida por los gases de escape

Qagua- Energía absorbida por el agua

he-gases - Entalpía de los gases a la salida del intercambiador

hi-gases - Entalpía de los gases a la entrada del intercambiador

he-agua - Entalpía del agua vapor a la salida del intercambiador

hi-agua - Entalpía del agua a la entrada del intercambiador

U – coeficiente global de transferencia de calor, BTU/h-pie² -(F

Q – velocidad de transferencia de calor (energía calorífica transmitida al

En un sistema cogenerador se aplican temperaturas de 340 °C a 210 °C

El proceso tecnológico sugerido por Van Wylen recomienda que las resistencias

a las incrustaciones sean mayores que el siguiente valor $0,0006 \left[\frac{h.m^2 \text{ } ^\circ C}{kcal} \right]$ y la

pérdida de presión por rozamiento máxima es la siguiente valor $0,68 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$.

Se esta perdiendo CALOR SENSIBLE, por lo que se utilizan las ecuaciones siguientes:

$$q_{\dot{h}} = \dot{W}_{\dot{h}}(h_{\dot{h}_1} - h_{\dot{h}_2})$$

$$dh = C_p dT$$

$$\int_{h_{\dot{h}_2}}^{h_{\dot{h}_1}} dh = \int_{T_{\dot{h}_2}}^{T_{\dot{h}_1}} C_p dT$$

$$(h_{\dot{h}_1} - h_{\dot{h}_2}) = C_{p\dot{h}}(T_{\dot{h}_1} - T_{\dot{h}_2})$$

$$q_{\dot{h}} = \dot{W}_{\dot{h}} C_{p\dot{h}}(T_{\dot{h}_1} - T_{\dot{h}_2})$$

- Calculo Del Calor Especifico de los Gases de Escape es ($C_{p\dot{h}}$) a la

$$\text{temperatura } \frac{340 + 210}{2} = 275^{\circ}C$$

$$T_m = \frac{T_{h_1} + T_{h_2}}{2} = \frac{80 + 25}{2} = 52,5[^{\circ}C]$$

$$C_{p\dot{h}} = 0,7 \left[\frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \right] \text{ Dato tomado de la termodinámica de Van Wylen}$$

10000 kg/h es el gasto de aires de escape.

Por lo que sustituyendo en la ecuación estos datos tenemos

$$q_{\dot{h}} = (10000)(0,7)(340-210)=910000$$

$$qh = 910000 \left[\frac{kcal}{h} \right] \text{ Este calor pierden los gases de escape y gana el AGUA}$$

- Ecuación De Balance De Calor

$$qh = qc$$

$$910000 = \dot{W}(hc_2 - hc_1) = \dot{W}c \cdot \bar{C}_{p_c}(Tc_2 - Tc_1)$$

- Calculo del calor especifico del agua (\bar{C}_{p_c}) a la temperatura media tm.

$$Tm = \frac{Tc_1 + Tc_2}{2} = \frac{160 + 180}{2} = 170[^\circ C]$$

$$\bar{C}_{p_c} = 1,0 \left[\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \right] \text{ Dato tomado de la termodinámica de Van Wylen}$$

$$Wc = \frac{910000}{Cpc(Tc2 - Tc1)} = \frac{910000}{1(180 - 160)} = 45500 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

- Calculo de las resistencias a las incrustaciones (RD)

$$Rd_{CALCULADO} \geq Rd_{PERMITIDO}$$

$$Rd_{CALCULADO} \geq 0,0006 \left[\frac{h.m^2 \cdot ^\circ C}{kcal} \right]$$

$$Rd = \frac{1}{U_D} - \frac{1}{U_L}$$

$$U_D = \text{Coeficiente global de transferencia de calor de diseño} \left[\frac{kcal}{h.m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

U_L = Coeficiente global libre de transferencia de calor en función del área

$$\text{externa} \left[\frac{kcal}{h.m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

U_D : Varía entre 300 a 500 (Se escoge el intermedio de 400) Sugerido por Van Wylen

Ahora el balance de calor es igual a un calor transferido:

$$q_h = q_c = q_{\text{TRANSFERIDO}}$$

- Cálculo De U_D :

$$q_{\text{TRANSFERIDO}} = U_D \cdot A_D \cdot \Delta T_{ml} \cdot F_c$$

$$A_D = \frac{q_{\text{TRANSFERIDO}}}{U_D \cdot \Delta T_{ml} \cdot F_c}$$

donde:

A_D es el área de diseño o contacto.

ΔT_{ml} es la temperatura media logarítmica

F_c es el factor de corrección

- Cálculo del área de diseño o contacto

$$A_D = A_{c/t} \cdot N_t$$

$A_{c/t}$ es el área de cada tubo.

Número de pasos (Np) = 6 asumido

Diámetro de tubos exteriores (De) = 2" (pulg.) = 0,0508 (M.)

Diámetro de tubo interior (Di) = 25,47" (pulg.) = 0,6469 (M.) asumido por geometría

Longitud (L) = 45,84" (pulg.) = 14,00 (M.)

Número de Tubos = 20 *

$$A_c/t = \pi \cdot De \cdot L = \pi \cdot 0,0508 \cdot 14 = 0,1135 [m^2]$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} = \frac{(340 - 210) - (180 - 160)}{\ln \left[\frac{(340 - 210)}{(180 - 160)} \right]} = 58,76 [^{\circ}C]$$

Fc, se asume al principio = 1

$$A_D = \frac{q_{TRANSFERIDO}}{U_D \Delta T_{ml} F_c} = \frac{910000}{(400)(58,76)(1)} = 38,72 [m^2]$$

Nota: Cuando se diseña un intercambiador de calor el módulo de REYNOLDS en el interior del tubo mientras no se especifique lo contrario debe ser mayor a 7000

- Cálculo Del Número De Reynolds

$$Re = \frac{4 \cdot W_c \cdot c/t}{\pi \cdot Di \cdot \mu}$$

$$Wc \frac{c}{t} = \frac{Wc \cdot Np}{Nt} = \frac{(30800)6}{285,02} = 648,375 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

$$\mu \text{ (viscosidad para el agua a la temperatura media) } = \frac{(45500)6}{20} = 13650 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

tomado de Van Wylen

$$\mu = 2.81 \left[\frac{kg}{m.h} \right]$$

$$Re = \frac{4 \cdot Wc \frac{c}{t}}{\pi \cdot Di \cdot \mu} = \frac{[4(13650)]}{[\pi(0,6469)(2.81)]} = 9560.89 \quad \text{(Si cumple que es mayor a 7000)}$$

- Cálculo de (Fc) real:

$$Fc = \dots = \frac{Th_1 - Th_2}{Tc_2 - Tc_1} = \frac{(340 - 210)}{(180 - 160)} = 6.5$$

$$f = \frac{Tc_2 - Tc_1}{Th_1 - Tc_1} = \frac{(180 - 160)}{(340 - 210)} = 0,154$$

Fc = 0,82 (Sugerido por el libro de Transferencia de Calor de Antonio Valiente Barderas)*

- Corrección del área de diseño

$$A_D = A \frac{c}{t} \cdot Nt$$

*Barderas, Antonio, Problemas de tranferencia de Calor Editorial Limusa S.A. de C.V. Mexico D.F. 1988

Nt = 20.4 de las Tablas de Van Wylen

$$A_D = (0,438)20,4 = 8,94 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$U_D = \frac{q_{\text{TRANSFERIDO}}}{A_D \Delta T_{ml} Fc} = \frac{910000}{(8,94)(58,76)(0,82)} = 2112,56$$

$$Ud = 2112,56$$

- Cálculo De U_L :

$$U_L = \frac{1}{\frac{1}{h\bar{h}} + \frac{A_k e_w}{K_w A_{ml}} + \frac{A_k}{A_c hc}}$$

$$A_k = A_{ext} = \pi D_e L = \pi(0,0508)(14) = 2,23 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_c = A_{int} = \pi D_i L = \pi(0,6469)(14) = 28,45 \text{ [m}^2\text{]}$$

Los siguientes dos datos se asumen de tablas de Van Wylen

$$e_w = 0,00211 \text{ [m]}$$

$$k_w = 332$$

$$A_{ml} = \frac{A_k - A_c}{\ln\left(\frac{A_k}{A_c}\right)} = \frac{28,45 - 2,23}{\ln\left[\frac{28,45}{2,23}\right]} = 10,28 \text{ [m}^2\text{]}$$

- Cálculo de hc:

$$\frac{hc \cdot Di}{K_b} = 0,023 \left[\left(\frac{G \cdot D}{\mu} \right)_{T_m}^{0,8} \left(\frac{C_p \cdot \mu}{k_b} \right)_{T_m}^{0,4} \right] \text{ Para el agua}$$

$$\frac{G.D}{\mu} = Re_{AGUA} = 9560.89$$

A la Temperatura media se tiene entonces:

$$hc = 2337,204$$

- Cálculo de $h\dot{h}$:

$$\frac{h\dot{h}.Dec}{K_b} = 0,36 \left[\left(\frac{G_s.Dec}{\mu} \right)_{T_m}^{0,55} \left(\frac{Cp.\mu}{k_b} \right)_{T_m}^{1/3} \right] \text{ Para los gases}$$

$$Dec = \frac{4 \left(Pt^2 - \frac{\pi De^2}{4} \right)}{\pi De}$$

$$Pt = 1,25" = 0,03175 \text{ [m]}$$

$$Dec = 0,02513$$

- Cálculo del número de Reynolds para los gases:

$$Re = \frac{G_s.Dec}{\mu}$$

- Cálculo de (G_s) velocidad másica en la carcasa:

$$G_s = \frac{\dot{W}}{ap}$$

ap = área de paso

$$ap = \frac{Ds.c.\mu}{Pt}$$

de tablas de Van Wylen se obtiene

$$Ds = 31" = 0,7874 \text{ [m]}$$

$$C = \frac{1}{4}" = 0,00635 \text{ [m]}$$

$$Pt = 1 \frac{1}{4}" = 0,03175 \text{ [m]}$$

$$G_s = \frac{\dot{W}}{ap} = \frac{20000}{0,0108} = 1844031,791 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h.m}^2} \right]$$

A la Temperatura media de los gases:

$$Cp = 0,7 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg.}^\circ\text{C}} \right]$$

$$\mu = 2,52 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m.h}} \right]$$

$$k_b = 0,129 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{m.h.}^\circ\text{C}} \right]$$

$$Re = \frac{G_s \cdot Dec}{\mu} = \frac{(1884031)0,02513}{2,52} = 18389,09$$

$$h\dot{h} = 0,36 \left[\left(\frac{G_s \cdot Dec}{\mu} \right)_{Tm}^{0,55} \left(\frac{Cp \cdot \mu}{k_b} \right)_{Tm}^{1/3} \right] \frac{k_b}{Dec}$$

$$h\dot{h} = 979,13$$

$$U_L = \frac{1}{\frac{1}{h\dot{h}} + \frac{A_k e_w}{K_w A_{ml}} + \frac{A_k}{A_c h_c}} = \frac{1}{\frac{1}{979,13} + \frac{(0,438)(0,00211)}{332(0,400)} + \frac{0,438}{(0,365)(2337,204)}} = 648,63$$

$$U_L = 648,63$$

$$Rd = \frac{1}{U_D} - \frac{1}{U_L} = \frac{1}{377,8} - \frac{1}{648,63} = 0,0011$$

$$Rd = 0,0011 \left[\frac{h.m^2.^\circ C}{kcal} \right]$$

$$Rd_{\text{CALCULADO}} \geq Rd_{\text{PERMITIDO}}$$

$$0,0011 \left[\frac{h.m^2.^\circ C}{kcal} \right] \geq 0,0006 \left[\frac{h.m^2.^\circ C}{kcal} \right] \text{ si cumple}$$

7.1.2. Cálculo de la variación de presión en los tubos

$$\Delta P = h_f \cdot \gamma + h_{\text{RF}} \cdot \gamma$$

Cálculo de h_f

$$h_f = f \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{L}{Di}$$

- Cálculo de la velocidad (v) del vapor en el tubo.

$$\lambda = 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = \text{Densidad}$$

$$v = \frac{W \dot{c} l t}{\lambda A_i} = \frac{648,375}{(1000) \left(\frac{\pi Di^2}{4} \right)} = \frac{648,375}{(1000) \left(\frac{\pi 0,02118^2}{4} \right)} = 1840,28 \left[\frac{m}{h} \right]$$

$$v = 0,5111 \left[\frac{m}{s} \right]$$

- Cálculo de f :

$$f = f(Re_{AGUA})$$

$$f = 0,0373 \text{ De tablas contenidas en el anexo 2.}$$

$$h_f = f \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{L}{Di} = 0,0373 \cdot \frac{0,5111^2}{2(9,81)} \cdot \frac{32,94}{0,02118}$$

$$h_f = 0,7728[m]$$

- Calculo De $h_{\Delta F}$

$$h_{\Delta F} k \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$(h_{\Delta F})_{TOTAL} = k \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot NP = 2 \cdot \frac{0,5111^2}{2(9,81)} \cdot 6$$

$$(h_{\Delta F})_{TOTAL} = 0,1592[m]$$

$$\Delta P = h_f \cdot \gamma + h_{\Delta F} \cdot \gamma = \gamma (h_f + h_{\Delta F}) = (0,7728 + 0,1592) \frac{1000}{10000}$$

$$\Delta P = 0,0932 \left[\frac{kg}{m^2} \right] \text{ Este valor si es menor que } 0,68 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \text{ y por lo tanto si cumple con las condiciones establecidas.}$$

7.1.3. Calculo de la variación de presión en la carcasa

$$\Delta P_s = h_{fs} \cdot \gamma$$

- Cálculo de h_{fs}

$$h_{fs} = f_s \cdot \frac{v_s^2}{2g} \cdot \frac{L_s}{Dec}$$

- Cálculo de f_s

$$f = f(Re_{\text{Gases}}):$$

$$f = 0,2657 \text{ De tablas contenidas en el anexo 2.}$$

- Cálculo de la velocidad de la carcasa (v_s)

$$v_s = \frac{G_s}{A} = \frac{1844031,791}{780(3600)}$$

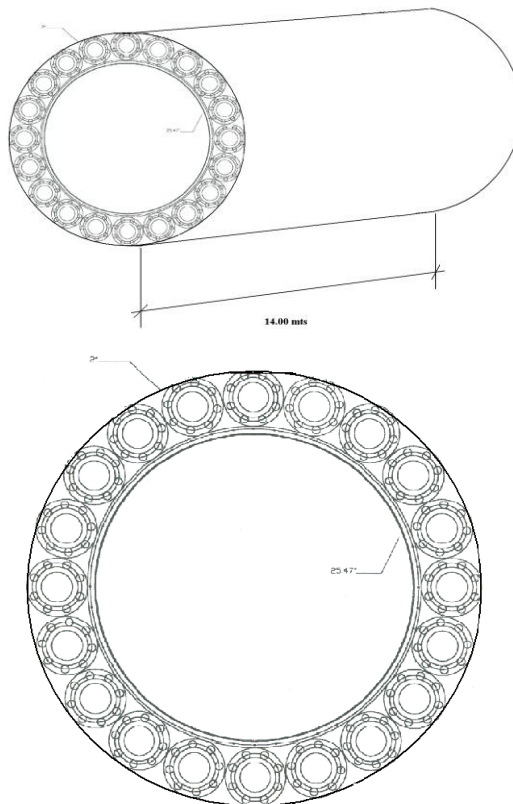
$$v_s = 0,6567 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\Delta P_s = h_{fs} \cdot \gamma = 8,417(780) \cdot \frac{1}{10000}$$

$$\Delta P_s = 0,656 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \text{ Este valor si es menor que } 0,68 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \text{ y por lo tanto si cumple con las condiciones establecidas.}$$

Cuadro de parámetros calculados			
PARAMETRO	PERMITIDO	CALCULADO	CUMPLE
Rd	0,0006	0,0011	SI
ΔP	0,64	0,932	SI
ΔP_s	0,64	0,656	Se acepta

Esquema 1. Intercambiador de calor según especificaciones.



7.2 CÁLCULO DEL GASTO MÁSIICO DE AGUA DEL INTERCAMBIADOR

El gasto másico de los gases de escape es = 10,000 kg/h según datos de placa del motor. La temperatura a la cual entran los gases al intercambiador = 340 °C.

Se toma una diferencia de 130 °C entre la temperatura de entrada y salida de los gases en el intercambiador, para un eficiente aprovechamiento del área de transferencia de calor.

Cuando el sistema está en operación normal, el agua entra saturada al serpentín a 160°C y a una presión de 10 bar, ya que tanto este fluido como el vapor están en contacto directo en el tanque de vapor. El vapor sale saturado del sistema a una temperatura de 180 °C y a una presión de 10 bar.

Se calcula el gasto másico del agua, para poder dimensionar las bombas de alimentación y circulación del intercambiador.

Cálculo:

de las siguientes ecuaciones obtendremos

$$(m_i)_{\text{agua}} = (m_e)_{\text{vapor}}$$

$$Q_{\text{agua}} = [(m_{e\text{he}} - m_{i\text{hi}})]_{\text{agua}}$$

$$(m_i)_{\text{gases}} = (m_e)_{\text{gases}}$$

$$Q_{\text{gases}} = [(m_{e\text{he}} - m_{i\text{hi}})]_{\text{gases}}$$

$$Q_{\text{gases}} = - Q_{\text{agua}}$$

$$[(m_{e\text{he}} - m_{i\text{hi}})]_{\text{gases}} = [(m_{e\text{he}} - m_{i\text{hi}})]_{\text{agua}}$$

$$[m (h_e - h_i)]_{\text{gases}} = [m (h_e - h_i)]_{\text{agua}}$$

Los valores de las entalpías se sacan de las tablas de vapor y CO₂ respectivamente:

he-gases = 485.71 kJ/kg; T = 340 C
hi-gases = 620.85 kJ/kg; T = 210 C
he-agua = 2,778.2 kJ/kg; T = 180 C y P = 10 bar
hi-agua (719.21 kJ/kg; T = 160 C y P = 10 bar

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\begin{aligned} &= [m (h_e - h_i)]_{\text{gases}} \\ &= [m (h_e - h_i)]_{\text{agua}} = [(166.66 \text{ kg/s})(485.71 - 620.85) \text{ kJ/kg}]_{\text{gases}} \\ &= [m (2,778.20 - 719.21) \text{ kJ/kg}]_{\text{agua}} \\ 22523.37 \text{ kJ/s} &= (m)2,058.99 \text{ kJ/kg} \\ m &= 10.93 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el gasto másico del agua es de 173.38 gal/h, para obtener una diferencia de temperatura de los gases de escape de 130 °C. Con los resultados anteriores se pueden dimensionar las bombas y tanques necesarios en el sistema.

La bomba que se utiliza para circulación de agua en la caldera tiene que ser como mínimo capaz de bombear 652 gal/h (galones de agua por hora) a una temperatura de por lo menos 170 grados Celsius y 10 bares de presión.

La bomba que se utiliza para la alimentación del tanque de vapor, tiene que ser capaz de mantener éste a aproximadamente la mitad de su capacidad, para garantizar que la bomba de circulación tenga suficiente agua para succionar y recircular a través del serpentín del intercambiador. Para garantizar que el tanque de vapor no se rebalse de agua y que la bomba de circulación no trabaje en seco, este tanque cuenta con sensores de nivel, tanto para bajo como para alto nivel. Este tanque también cuenta con válvulas de seguridad para protegerlo de cualquier sobre presión.

El tanque de vapor, al igual que el tanque de alimentación, tiene una capacidad de 2,500 litros, con esta capacidad en los tanques, se garantiza que el sistema tenga fluido para operar por espacio de media hora. El tanque de vapor en operación normal se encuentra lleno de agua y vapor, ya que el vapor producido por el intercambiador es descargado al tanque de vapor.

La bomba de alimentación es la que se encarga de mantener un nivel adecuado (aprox. la mitad) de agua en el tanque de vapor, para evitar que la bomba de circulación succione en vacío.

El agua de alimentación, que se encuentra aproximadamente a 90 grados centígrados es introducida en el tanque de vapor a una presión de aproximadamente 10 bares. El tanque de alimentación también posee sensores de nivel y temperatura, los primeros para garantizar que el tanque siempre posea agua y también para que no se rebalse y los segundos para mantener el agua de alimentación alrededor de los 90 grados centígrados, con esta temperatura del agua de alimentación se previene un choque térmico dentro del tanque de vapor.

En este tanque, el vapor y el agua se mezclan, ya que existe un contacto directo entre los fluidos. La presión de las corrientes líquida y vapor son iguales.

La energía transferida desde el vapor extraído desde el intercambiador y el agua de alimentación es igual a la cantidad de energía agregada al agua líquida. Esto se hace con el fin de que, al abandonar el tanque de vapor, el agua sea un líquido saturado, a una temperatura de aproximadamente 180 grados centígrados, que está un poco debajo de la temperatura de saturación de agua líquida a 10 bares. Con esta medida, se logra una mayor eficiencia en el sistema, ya que con un mínimo aumento en la temperatura del agua, se comienza a obtener la evaporización del fluido.

Los suavizadores o planta de tratamiento de agua tiene una capacidad de 3 metros cúbicos por hora (aprox. 800gal/h). De esta forma se garantiza que el sistema tenga suficiente abastecimiento de agua para operar, incluso en el caso de que no se recuperen los condensados.

7.3 CÁLCULO DEL AISLANTE DEL INTERCAMBIADOR

Se utiliza un aislante de fibra de vidrio, cuya conductividad térmica es $k = 0.24 \text{ BTU/h-ft}^2\text{-F}$ por pulgada de espesor. Se toman 4 pulgadas asumidas de espesor de fibra de vidrio para el aislamiento del intercambiador.

C – conductancia, $\text{BTU/hr-ft}^2\text{-(F)}$

k – conductividad, $\text{BTU/h-ft}^2\text{-(F)}$ por pulgada de espesor

L - espesor del material

R = resistencia térmica del material, $\text{h-ft}^2\text{-(F/BTU)}$

$$C = k/L$$

Al sustituir la conductividad y el espesor (4 pulgadas) del aislamiento en la ecuación anterior, se obtiene la conductancia:

$$C = 0.24 / 4$$

$$C = 0.06 \text{ BTU/h-ft}^2\text{-(F)}$$

$$R = 1/C$$

Al sustituir la conductancia en la ecuación anterior se obtiene la resistencia térmica de la fibra de vidrio:

$$R = 1 / 0.06$$

$$R = 16.7 \text{ h-ft}^2\text{-(F/BTU)}$$

Para calcular la pérdida de calor a través del aislante se utiliza la siguiente ecuación:

$Q = 1/R \times A \times DT$ donde Q – velocidad de transferencia de calor BTU/h

A – área de la superficie a través de la cual fluye el calor, ft²

DT – diferencia de temperatura por la que fluye el calor, desde la temperatura más alta hasta la temperatura más baja, en este caso, el ambiente y los gases de combustión, ambas en (F.

El área a través de la cual fluye el calor es toda la parte exterior de las secciones del intercambiador:

$A = 2\pi r \times l$ donde Donde r –el radio del intercambiador, ft

$A = 2 \pi \times 0.166 \times 916$ l – el largo total, ft

$A = 952.22 \text{ ft}^2$

La diferencia de temperatura entre los gases de combustión y el medio ambiente es de:

Temperatura de los gases = 644 F

Temperatura del ambiente = 86 F

$DT = 644 - 86 = 558 \text{ F}$

Sustituyendo estos datos en la siguiente ecuación de pérdida de calor:

$Q = 1/R \times A \times DT$

$Q = 1/16.7 \times 959.22 \times 558$

$Q = 32050.58 \text{ BTU/hr}$

Esta velocidad de transferencia de calor es menos del 3.51% de la velocidad a la que se le entrega la energía calorífica al agua de alimentación del serpentín, por lo tanto son aceptables las 4 pulgadas de fibra de vidrio para el aislamiento del intercambiador.

7.4 CÁLCULO DE LA SOLDADURA DEL SERPENTÍN

Las soldaduras deben tener un tamaño mínimo, basado en el espesor del metal base. Esto se hace para asegurar un calentamiento y enfriamiento adecuado del área de soldadura, de manera que la soldadura y el metal base no se cristalicen y tiendan a agrietarse o reventarse debido a la insuficiente fusión de la soldadura con el metal base.

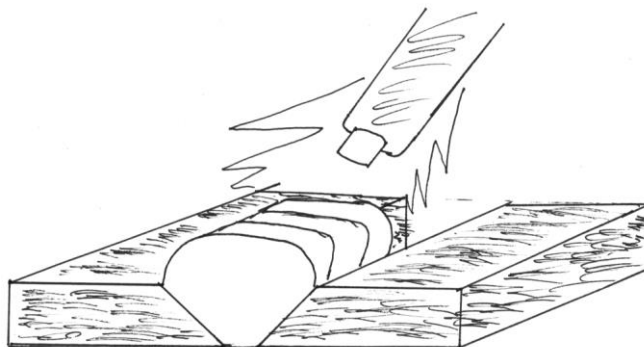
Para un metal base de espesor de 3/8 de pulgada, que es el espesor del tubo del serpentín, se emplea una dimensión mínima del filete de la soldadura de 3/16 de pulgada y una dimensión máxima de 5/16, según el código AISC.

La resistencia de la soldadura por las características del electrodo y el metal base son las siguientes:

$P = S_y t L / N$ donde P – resistencia de la junta, lb/plg
 S_y – resistencia mínima de cedencia, lb/plg²
 t – espesor del metal base, plg
 L – longitud de la soldadura
 N – factor de seguridad

$$P = S_y t L / N = (95,000 \times 3/8 \times 8.64) / 2$$

$$P = 153,900.00 \text{ lb}$$



Esquema 3. Soldadura a implementar

El material base tiene una resistencia de 86,300 lb/plg². Tomando la dimensión mínima de la soldadura que es de 3/16 de pulgada, ésto da como resultado una fuerza en esta área del material base de 139,000 lbs. Dicho resultado se aproxima a las 153,900 lbs de la resistencia de la soldadura, por lo tanto se concluye que la soldadura cumple con los requerimientos del metal base.

7.5 CALCULO DEL TRABAJO GENERADO POR EL VAPOR EN EL TURBOGENERADOR.

A la entrada del turbogenerador tenemos las siguientes condiciones

$$P1 = 10 \text{ bares}$$

$$T1 = 180 \text{ c}$$

a estas condiciones de tablas de vapor tenemos:

$$h1 = 2778.32 \text{ KJ/Kg}$$

$$S1 = 6.587 \text{ KJ/Kg}^*K$$

A la salida tendremos la presión atmosférica y así mismo un proceso isentrópico.

$$P2 = 1.013 \text{ bares}$$

$$S2 = 6.587 \text{ KJ/Kg}^*K$$

nuevamente de tablas de vapor obtenemos

$$T2s = 99.99 \text{ c}$$

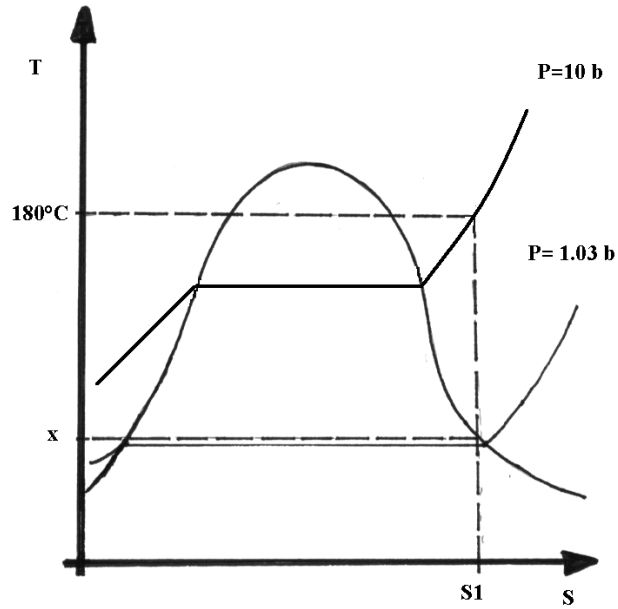
$$h2s = 2389.45 \text{ KJ/Kg}$$

Calculando trabajo isentrópico.

$$W_s = h_1 - h_{2s}$$

$$= 27.78.32 - 2389.45$$

$$W_s = 388.87 \text{ KJ/Kg}$$



Esquema 2. Proceso isentrópico que se realiza en la turbina de vapor.

Ejerciendo turbogenerador $N_{ts} = 55\%$ de datos del fabricante

Trabajo real

$$W_r = W_s * N_{ts}$$

$$= 388.87 (0.55)$$

$$W_r = 213.88 \text{ KJ/Kg}$$

Trabajo por unidad de masa

$$W_r = W_r * M_v$$

Pero según las especificaciones de la unidad CE-94 a la turbina llega 6/7 del flujo másico y el otro 1/7 pasa a continuar el ciclo.

Por lo que si teníamos un flujo de vapor de 10.93 Kg/seg, las 6/7 partes del mismo son:

$$10.93 * 6/7 = 9.37 \text{ Kg/seg}$$

y así sustituimos en la formula anterior

$$= 213.88 \text{ KJ/Kg} * 9.37 \text{ Kg/Seg}$$

$$= 2004.06 \text{ KJ/Seg}$$

aproximando

$$W_r = 2000 \text{ KW}$$

7.5.1 POSIBLES SOLUCIONES PARA REUTILIZAR LA ENERGÍA PRODUCIDA

Para un cuarto frío de 30 toneladas de refrigeración se necesitan 353 Kw.

Por lo que se pudiesen implementar 3 cuartos fríos en el barco, y de esta manera tendría 90 toneladas de refrigeración ocupando solamente casi la mitad de lo generado, la otra mitad se utilizaría para una instalación eléctrica, para equipos electrónicos o también eléctricos que en su totalidad pudieran sumar aproximadamente en la demanda de consumo los mil kilowatts restantes.

Si por algún motivo, la producción de energía es menor que la calculada, se podría recurrir a una alternativa b, que sería de mantener un freezer en el barco y obtener ya en alta mar el hielo para el cuarto frío.

8. IMPACTO ECONÓMICO DEL PROYECTO

El costo de inversión del proyecto es de aprox. \$120,343 (¢1,053,000).
Se desglosa de la siguiente manera:

Unidad MC-94 \$ 30343 (Precio proporcionado por el fabricante: HIDROCLEAR[®], 3101 Sweitzer St. NW Uniontown, Ohio 44685 USA)

Turbina de Vapor W501G \$ 65000 (Precio proporcionado por el fabricante: MEW & Cosmojet, Via Bertuol 32, 31020 Frescada di Preganziol, Treviso, Italy.)

Intercambiador de calor a diseñar \$ 25000 (Calculo estimado por la empresa: R&M asocciattes S.A. Americas Hobby Center, Dept T22000, 8300 Tonnelle Ave, North Bergen, NJ 07047, USA. Según las especificaciones expuestas).

Se ahorran ¢79,488 mensuales por cada barco. Según datos estimados por la empresa Pescamar S.A de C.V, los viajes actuales a alta mar se realizan mensualmente por un periodo de 20 días al mes. Y con lo presentado se reformaría a viajes trimestrales de 75 días y tomando en cuenta por lo tanto ahorro en combustible, preparativos de viaje, Compra de hielo para cuartos fríos y el producto que se estaría pescando adicionalmente, sin tomar en cuenta los gastos de gasolina y mantenimiento para el cálculo de esta fórmula.

Para determinar en cuanto tiempo se recupera la inversión se hace el siguiente análisis:

$$F = P (1 + i)^n \qquad F = A [((1 + i)^n - 1) / i]$$

Donde F – el valor de la inversión (el dinero) en el futuro

P – el valor de la inversión (el dinero) en el presente
 i – la tasa de interés, se toma 12% anual. 1 % mensual.
 n – el número de años que se hace la inversión
 A – el ahorro presentado

Sustituyendo los datos en las ecuaciones anteriores:

$$F = P (1 + 0.01)^n \qquad F_{(\text{mensual})} = P [((1 + 0.01)^n - 1) / 0.01]$$

Al igualar estas dos ecuaciones y despejando para n, se obtiene el número de años en los que se recupera la inversión:

$$1,053,000 (1.01)^n = 79,488 [((1.01)^n - 1) / 0.01]$$

n = 14.285 – por lo tanto la inversión se recupera en aproximadamente 14 meses.

Para tomar la decisión si el proyecto se acepta, se analiza éste por medio del Valor Actual Neto, tomando una vida útil de 5 años.

El ahorro mensual es de ¢79,488 (equivale a ¢1,008,106.80 anuales tomando el valor del dinero en el tiempo) y suponiendo gastos de imprevistos mensuales o mantenimiento de ¢3,000 (equivale a ¢38,047.51 anuales):

$$\begin{aligned} \text{VAN} = & -1,053,000 + 1,008,106.80 / (1+0.12)^1 + 1,008,106.80 / (1+0.12)^2 + \\ & 1,008,106.80 / (1+0.12)^3 + 1,008,106.80 / (1+0.12)^4 + 1,008,106.80 / (1+0.12)^5 \\ & - [38,047.51 / (1+0.12)^1 + 38,047.51 / (1+0.12)^2 + 38,047.51 / (1+0.12)^2 + \\ & 38,047.51 / (1+0.12)^3 + 38,047.51 / (1+0.12)^4 + 38,047.51 / (1+0.12)^5] = \\ & 2,443,846.64 \end{aligned}$$

Al analizara estos flujos de efectivo (ahorro en combustibles y gastos de

operación), se tiene un VAN positivo, por lo tanto se acepta el proyecto. En otras palabras, si conviene la inversión en este proyecto de cogeneración de vapor.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Tras el aprovechamiento de los gases de escape por medio de un intercambiador de recuperación como el diseñado en el presente trabajo, se obtiene el vapor equivalente a 2000 kwatts.
- Al sustituir una fuente de energía calorífica, como una caldera, por una fuente de energía renovable, se reducen las emisiones contaminantes provenientes de la combustión del petróleo necesario para operar dicha caldera (CO₂, SO₂ y NO_x), lo cual es un aspecto favorable para el medio ambiente.
- Con este diseño se logra aprovechar una fuente de energía (suministrada por los gases de escape) que de otra forma se desperdiciaría, logrando así evitar incurrir en gastos adicionales originados por la compra de combustibles y el transporte de éstos al lugar de utilización.
- Se logra aumentar el grado de autoabastecimiento de fuentes de energía y se reduce la dependencia del petróleo, permitiendo a la industria operar en condiciones normales en épocas de escasez energética.
- Se aprovecha el combustible al máximo, ya que éste se utiliza tanto para la generación de energía eléctrica como para la generación de energía calorífica, lo que significa que el retorno sobre la inversión realizada en combustible es mayor.
- Cualquier industria que utilice energía calorífica (vapor) arriba de 5 Kilogramos de vapor por segundo, podrá implementar un proyecto de esta naturaleza.
- Se logra generar energía para mantener, funcionando 3 cuartos fríos de 90

toneladas de refrigeración y otras instalaciones eléctricas que no demanden más de 1000 kwatts.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que antes de implementarse éste proyecto, se construya un prototipo a escala para que de esta manera, se compruebe y verifique el buen y funcionamiento del dispositivo y la veracidad de los cálculos.
- Se recomienda, que ésta propuesta se realice en barcos de longitudes mayores a las presentadas en los esquemas del mismo de los anexos, ya que en uno de menor tamaño no podrá implementarse.

10. BIBLIOGRAFÍA

CHEREMISINOFF, Nicholas, Heat Transfer Pocket Handbook,
Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1984.

GORDON, J. Van Wylen, SONNTAG, Richard, Fundamentos
de Termodinámica, Editorial Limusa S.A. de C.V., México D.F. , 1988.

BARDERAS, Antonio, Problemas de Transferencia de Calor,
Editorial Limusa S.A. de C.V., México DF. , 1988.

HIMMELBLAU, David M., Balances de Materia
y Energía, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., 1988.

SHIELD, Carl D. Calderas: Tipos, Características y sus Funciones
Compañía Editorial Continental, S.A. México D.F., 1965

BLACK, William Z, HARTLEY, James G. Termodinámica
Compañía Editorial Continental, S.A. México D.F., 1965

BOWLES, Joseph E. Diseño de Acero Estructural
Editorial Limusa, S.A. México D.F., 1984

ZABALA, Adrián I. Aceros Inoxidables y Aceros Resistentes al Calor
Editorial Limusa, S.A. México D.F., 1981

PITA, Edward G. Acondicionamiento de Aire: Principios y Sistemas
Compañía Editorial Continental, S.A. México D.F., 1994

DEUTSCHMAN, Aaron D., et.al Diseño de Máquinas: Teoría y Práctica

Compañía Editorial Continental, S.A. México D.F., 1985

BLANK, Leland T., et.al Ingeniería Económica
Editorial McGRAW-HILL, Colombia, 1992

HEYWOOD, John B. Internal Combustion Engines Fundamentals
Editorial McGraw-Hill, Singapore, 1988

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Manual of Steel
Construction,
Printed in the United States of America, 1980

COGENERATION, What is Cogeneration?

_ HIPERVÍNCULO "<http://www.bcogen.com>" __<http://www.bcogen.com>_

COGENERATION, Small-Scale Cogeneration

_ HIPERVÍNCULO "<http://www.trigen.com/papers/chp2.htm>"
__<http://www.trigen.com/papers/chp2.htm>_

COGENERATION, What is Cogeneration?

_ HIPERVÍNCULO "<http://www.puc/cg1.html>" __<http://www.puc/cg1.html>_

COGENERATION OR COMBINED HEAT AND POWER, The Benefits of
Cogeneration.

_HIPERVÍNCULO "<http://www.energy.rochester.edu>"
__<http://www.energy.rochester.edu>_

COGENERATION, Overview and Facts

_HIPERVÍNCULO "<http://www.hhangus.com/cogen2.htm>"
__<http://www.hhangus.com/cogen2.htm>_

COGENERACIÓN, Que es la Cogeneración?

_HIPERVÍNCULO

"http://www.aesa.net/aesa/cogeneraqcion/cogenera.htm"

__http://www.aesa.net/aesa/cogeneraqcion/cogenera.htm_

COGENERACIÓN, Generación Distribuida

_HIPERVÍNCULO

"http://www.trigen.cpom/mexico/generacion_distribuida.htm"

__http://www.trigen.cpom/mexico/generacion_distribuida.htm_

11. GLOSARIO

Combustión: Combinación de un cuerpo combustible (normalmente bunker o diesel) con otro comburente que es el que activa o inicia la combustión, por Ej.: el O₂.

Watt: Unidad de la potencia eléctrica, es igual a la potencia desarrollada por una corriente eléctrica que produce el trabajo de un joule en un segundo.

Caballo de vapor: Unidad de medida que expresa la potencia de una máquina, y representa el esfuerzo necesario para levantar, a un metro de altura, en un segundo, 75 Kg. de peso.

Calor: Forma de energía, la cual se propaga de 3 formas distintas,
Por conducción o transmisión a través de las moléculas del medio.
Por convección o circulación del fluido en contacto con la fuente de calor.
Por radiación electromagnética (emisión en forma de onda).

Cámara de combustión: En los motores de explosión, es un espacio libre situado entre la culata y la cabeza del pistón, en el cual se produce la ignición de los gases.

Culata: Cámara situada en la parte superior del cilindro de un motor de explosión, en la que se hallan las válvulas.

Gases de desperdicio: Son los gases que quedan como resultado de la combustión, por medio de los cuales se obtiene un mayor rendimiento económico en la industria de que se trate, pues pueden ser aprovechados para un sin fin de objetivos.

Motor diesel: Es un motor de combustión interna, en el cual se comprime el aire de admisión a una alta presión. Luego de esta compresión el combustible es inyectado dentro de la cámara y debido a que el aire se encuentra a una temperatura superior a la de inflamación del combustible, se produce la ignición de éste a una presión casi constante. La expansión de los productos originados en la combustión va seguida por el proceso de escape de los gases, el cual a su vez va seguido por la aspiración de aire fresco.

Horno: Es una cámara donde se efectúa la combustión. Esta cámara regula, confina la combustión de los productos y es capaz de resistir las altas temperaturas y presiones que se generan. Sus dimensiones y geometría están adaptadas a la velocidad de transformación en energía térmica, al tipo de combustible utilizado y al método de combustión, de tal manera que promuevan una combustión completa y proporcionen un medio para eliminar la ceniza. En hornos enfriados por agua, el calor absorbido por radiación afecta directamente la temperatura de los gases de combustión en el interior del horno, así como los gases que salen del mismo, lo cual constituye la generación de vapor.

Dureza del agua: Es la forma frecuente de expresar la concentración de impurezas que relaciona las partes en peso del elemento impuro por millón de partes de agua (ppm). Todas las aguas naturales contienen impurezas, muchas de las cuales pueden dañar la operación de la caldera. Estas impurezas pueden originarse en la tierra y en la atmósfera y se clasifican en una forma muy amplia como materias orgánicas e inorgánicas disueltas, en suspensión y gases disueltos.

Agua de alimentación: Se llama así al agua que ingresa a la caldera después de un tratamiento, o bien, con mayor frecuencia obtenida como una mezcla de condensado y agua tratada. Para evitar la corrosión tanto en la caldera como en el sistema de precalentamiento, se debe eliminar cualquier tipo de gas disuelto. El factor primordial en la corrosión de superficies de acero en contacto con el

agua es, quizá, el oxígeno disuelto, el cual puede estar disuelto en el agua de alimentación debido a su contacto previo con el aire de la atmósfera.

Tratamiento de agua de la caldera: Tiene por objeto evitar la corrosión, las impurezas en las superficies conductoras de calor y la contaminación del vapor, también es un auxiliar que ayuda a mantener dentro de los límites satisfactorios las condiciones generales del agua. El tratamiento requiere cantidades apropiadas de productos químicos que reaccionan con las impurezas residuales presentes en el agua de alimentación. La prevención de la corrosión en las calderas se realiza manteniendo un estado alcalino en el agua, situación que se expresa en términos de pH, o bien, en alcalinidad total.

pH: La acidez o alcalinidad de una solución se designa en términos de su pH, que es un valor referido a una escala logarítmica, la cual fue propuesta en 1909 por Sorenson. La letra p es la inicial de la palabra alemana Potenz, que significa potencia o exponente; y la letra H representa la concentración del ion hidrógeno en la solución. De lo anterior y por definición, se tiene que el valor de pH es igual al logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno medido en moles (gramo-mol) por litro.

Relación de compresión: Se obtiene dividiendo la suma del desplazamiento más el espacio muerto entre el volumen del espacio muerto de la cámara de combustión. La relación de compresión real es bastante menor que su valor nominal, debido al retraso en el cierre de la válvula de admisión.

Transferencia de calor: Cantidad de energía calorífica que se intercambia del lugar de mayor temperatura al de menor temperatura, así cumpliendo la segunda ley de la termodinámica.

Segunda Ley de la Termodinámica: Indica que el calor se transfiere del elemento de mayor temperatura al de menor temperatura, desarrollando un

trabajo. La ley también establece que se necesita hacer un trabajo para pasar calor de un elemento de baja temperatura a uno de mayor temperatura.