



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Selección y Dimensionamiento
de Intercambiadores de Calor
para Centrales de Ciclo
Combinado**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Guillermo Del Castillo Cacho

ASESOR(A) DE INFORME

Dr. Adrián Espinosa Bautista



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

Tabla de contenido

Selección y Dimensionamiento de equipos para Centrales de Ciclo Combinado.....	3
1.- Introducción	3
2.- Descripción de ABENGOA	3
Ingeniería y construcción:	3
Visión	4
Compromiso	4
Calidad.....	4
Organización.....	5
3.- Definición del Perfil del Técnico Especialista	11
4.-Intercambiadores de Calor	13
5.- Actividades Realizadas	17
Conocimiento de Bases de licitación.....	18
Dimensionamiento de Equipos y Memorias de Cálculo	18
Solicitud de Cotizaciones y seguimiento con proveedores.	27
Evaluación Técnica-Económica de las Cotizaciones Recibidas.	27
Selección de Equipo para presentación de Proyecto.	28
6.- Conclusiones	28
7.-Bibliografía.....	30

Selección y Dimensionamiento de equipos para Centrales de Ciclo Combinado

1.- Introducción

El objetivo de este trabajo es reportar las actividades que realicé durante mi estancia laboral en Abeinsa Bussines Development, Filial de la empresa ABENGOA, este periodo comprendió desde el 1 de Diciembre del 2013 al 1 de Diciembre del 2014. Mis labores fueron realizadas en el departamento de Ofertas como técnico especialista en el área de Ingeniería Mecánica.

El departamento de Ofertas se divide en diversas áreas que son, el área de finanzas, contabilidad, administración, legal y desarrollo de negocios, por otra parte se encuentra el departamento de Ingeniería que a su vez se subdivide en las áreas Mecánica, Eléctrica, Civil e Instrumentación y Control. Para fines de este reporte describiré brevemente todas las subdivisiones de ingeniería y su interacción entre ellas.

En este reporte haré énfasis en las actividades que desarrollé en el departamento de Ingeniería Mecánica, que comprendía la selección y dimensionamiento de equipos mecánicos auxiliares para Plantas de Generación de Ciclo Combinado, especialmente enfocado en intercambiadores de calor.

2.- Descripción de ABENGOA

Abengoa es una empresa Sevillana que aplica soluciones tecnológicas innovadoras para el desarrollo sostenible en los sectores de energía y medioambiente, generando electricidad a partir de recursos renovables, transformando biomasa en biocombustibles o produciendo agua potable a partir del agua de mar. Abengoa divide su negocio en torno a tres actividades. [1]

- Ingeniería y construcción
- Infraestructuras de tipo concesional
- Producción industrial

Ingeniería y construcción:

Abengoa México es la empresa de Abengoa cabecera de este grupo empresarial, cuyas actividades son

1. Ingeniería
2. Construcción
3. Infraestructura de mantenimiento: Eléctrico, Mecánico e Instrumentación.

En ingeniería y construcción aglutinan su actividad tradicional de ingeniería en energía, con el respaldo y garantía de 70 años de experiencia en el mercado. Son

especialistas en la realización de proyectos complejos "llave en mano" para plantas termosolares, híbridas solar-gas, de generación convencional y de biocombustibles, construyen líneas de transmisión y llevan a cabo la promoción, construcción y explotación de plantas industriales energéticas del tipo convencional y/o renovable. [1]

Misión

Abengoa México es una empresa tecnológica que aplica soluciones innovadoras para el desarrollo sostenible en los sectores de energía y medioambiente, aportando valor a largo plazo a nuestros accionistas desde una gestión caracterizada por el fomento del espíritu emprendedor, la responsabilidad social, la transparencia y el rigor en la gestión. [2]

Visión

Ser una empresa líder en el mercado mexicano de infraestructuras para los sectores de energía, agua, petróleo y gas, así como de proyectos PPS que aporte soluciones que contribuyan al desarrollo sostenible. [2]

Compromiso

Abengoa enfoca su crecimiento en la creación de nuevas tecnologías que contribuyen al desarrollo sostenible. [2]

Calidad

Abengoa Mexico, desde su creación, se plantea como compromiso que sus productos, servicios, sistemas y procesos han de estar siempre orientados a lograr la plena satisfacción de los clientes.

El actual Sistema Común de Gestión se implanta en Abengoa en 1997, y se articula en torno a un conjunto de normas internas de obligado cumplimiento para unificar la gestión de las sociedades que la integran, se apostó por la implantación de Sistemas de Calidad, en el conjunto de sociedades del grupo, como objetivo estratégico, más allá de las certificaciones.

Este sistema de normas establece como elemento esencial de comportamiento la elaboración e implantación de Sistemas de Gestión de Calidad de acuerdo con la norma ISO 9001:2000. Sistemas que se basan en un sólido liderazgo de la dirección, que aporta formación y los recursos necesarios para que todas las personas que integran la sociedad contribuyan desde su actividad diaria a la mejora continua mediante los siguientes puntos:

- Utilizar racionalmente los recursos así como prevenir y minimizar los errores, mediante la aplicación de programas de mejora continua y el establecimiento de objetivos y metas.
- Promover la implicación activa y responsable de todas las personas de la organización y proporcionar una formación permanente adecuada, que permita la participación en el proceso de mejora continua del Sistema.
- Fomentar el trabajo en equipo y compartir la información necesaria, vital para mejorar el nivel de calidad de nuestras actividades.
- Cumplir con la normativa legal vigente en cada momento y cualquier otro compromiso que la empresa suscriba.
- Potenciar la innovación, las nuevas ideas, los nuevos métodos y la puesta al día de los recursos, elementos indispensables para el proceso de mejora continua cuyos resultados son proyectados en la satisfacción del cliente, satisfacción del empleado y la mejora de resultados económicos. [3]

Organización

Abengoa México concentraba su actividad tradicional de ingeniería en energía con el respaldo y garantía de 70 años de experiencia en el mercado a través de todas las sociedades de Abengoa.

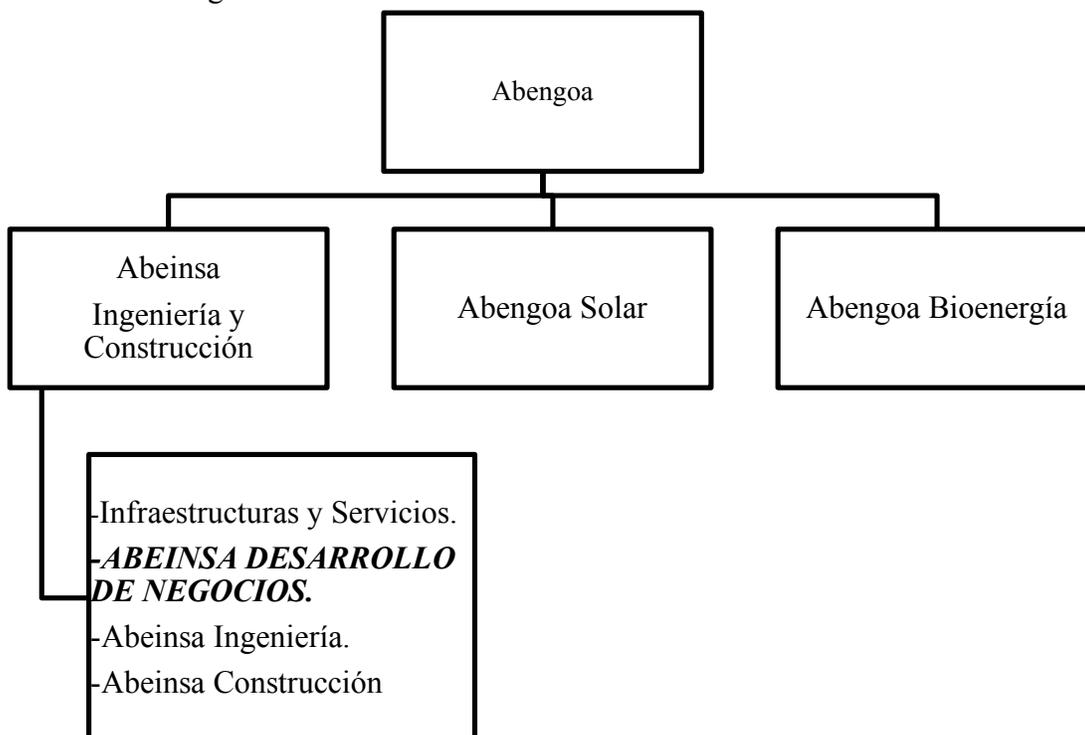


Figura 1. Organización Corporativa Abengoa

ABEINSA

Abeinsa, es la empresa internacional de ingeniería y construcción de Abengoa que realiza infraestructuras de energía, agua y medioambiente para el desarrollo sostenible. Con 75 años de experiencia, cuenta con un *know how* propio y presencia internacional. [4]

Actividades de ABEINSA

- A. Ingeniería y construcción
- B. Energía
- C. Agua y medioambiente
- D. Transmisión
- E. Equipamiento y transporte

A.-Ingeniería en Construcción

Ingeniería, construcción y mantenimiento de plantas de generación de energía, infraestructuras hidráulicas y medioambientales, así como de infraestructuras eléctricas, mecánicas y de instrumentación para los sectores de energía, medioambiente, equipamientos, transporte y servicios.

Abeinsa es especialista en el desarrollo de proyectos complejos "llave en mano" de plantas de generación de energía, plantas de tratamiento de agua e infraestructuras medioambientales, sobre la base de capacidades propias de ingeniería y gestión del conocimiento, así como en el desarrollo de actividades de operación y mantenimiento. Abeinsa cuenta con un modelo de negocio integrado que constituye una ventaja competitiva clave:

- Todas las actividades de ingeniería y gestión son ejecutadas con recursos propios.
- Colaboraciones estables mediante acuerdos estratégicos.
- Estandarización de actividades a través de procedimientos claramente definidos [5]:
 - Ingeniería y construcción.
 - Puesta en marcha, operación y mantenimiento.
 - Integración.
 - Gestión de riesgos.

Área de ingeniería

Abeinsa dispone de una red de ingenierías con capacidad propia para desarrollar proyectos de ingeniería básica y de detalle a nivel internacional, en los sectores de energía, agua, medioambiente, y otros proyectos peculiares en el ámbito de I +D +i. [5]

Operación y mantenimiento

Abeinsa ofrece servicios de O&M en el campo de la energía, el agua, el medioambiente. Con más de 15 años de experiencia, gestiona centrales de producción de energía eléctrica y térmica, infraestructuras hidráulicas y tratamiento de residuos. También realiza trabajos de O&M de grandes sistemas de transmisión eléctrica. [5]

B.- Energía

El posicionamiento estratégico de Abeinsa y sus capacidades le permiten seguir avanzando día a día para conseguir ser un referente mundial en diseño y construcción de plantas energéticas e industriales aplicando soluciones tecnológicas e innovadoras que contribuyan al desarrollo sostenible.

A través del desarrollo de proyectos pioneros en todo el mundo, Abeinsa ostenta un papel de referencia en los mercados termosolar, biocombustibles y generación convencional. [6]

Generación Convencional

Abeinsa cuenta con 10 GW de potencia instalada en plantas de generación convencional, entre ciclos simples y combinados, conversión de ciclos simples a combinados, centrales de motores, cogeneraciones y plantas de biomasa. Su experiencia en este sector y la finalización de proyectos pioneros, ha sido clave para ser reconocida como la segunda empresa constructora internacional en plantas de cogeneración, por la revista ENR. [6]

Proyectos Representativos de ABEINSA en México

- Planta de cogeneración Nuevo Pemex (ACT) – 300 MW- Villahermosa, Tabasco.
- Cogeneración Nuevo Pemex ampliación I (Tercer Tren de Generación) – 265 MW
- Ciclo Combinado Nuevo Pemex ampliación II (Cuarto Tren de Generación)-680 MW
- Ciclo Combinado Norte III – 924 MW
- Ciclo Combinado Centro Morelos – 724 MW
- Central de Combustión Interna Baja California Sur IV - 42 MW

Solar

Plantas solares

La revista ENR sitúa a la compañía entre las principales contratistas internacionales en energía solar gracias a sus capacidades y experiencia. Abeinsa posee gran experiencia en el diseño y construcción de **centrales termosolares** tanto de tecnología de torre como de colectores cilindro-parabólicos, experiencia adquirida tras la construcción de las dos primeras centrales de torre, PS10 (11 MW) y PS20 (20 MW), y Khi Solar One (50 MW), la primera central de torre en Sudáfrica, que operan comercialmente; y otras centrales termo solares de tecnología cilindro-parabólica que superan los 2.300 MW construidos y ya se encuentran operando comercialmente. [6]

Plantas híbridas

Abeinsa es pionera en el desarrollo de plantas híbridas de tecnología *Integrated Solar Combined Cycle*, ISCC, que combina los beneficios de la energía solar con los de un ciclo combinado. Hecho que ha quedado constatado tras la construcción de las primeras centrales híbridas solares existentes en el mundo: la central híbrida de ciclo combinado-solar (ISCC) de 150 MW en Hassi-R'Mel, Argelia, y la central híbrida de ciclo combinado-solar (ISCC) de 470 MW en Ain Beni Mathar, Marruecos. [6]

Biocombustibles

Abeinsa construye plantas de producción de bioetanol y de biodiesel a partir de distintos tipos de biomasa, con los que ya Abeinsa ha acumulado una experiencia de más de 2.500 ML instalados en los últimos años.

Además, para proporcionar una solución sostenible y eficiente a la gestión de los residuos, Abeinsa construye plantas *waste-to-biofuels* (W2B). Ésta es la solución integral para la gestión de residuos sólidos urbanos que permite el máximo aprovechamiento, convirtiendo la celulosa de los residuos orgánicos en azúcares para producir biocombustibles. Desde 2013 se encuentra en funcionamiento la planta W2B de demostración que Abeinsa ha construido en Babilafuente, Salamanca (España).

Además, ha inaugurado recientemente una planta de bioetanol de segunda generación en Hugoton, Estados Unidos. La apertura de la planta Hugoton supone el primer uso comercial de la tecnología de hidrólisis enzimática patentada por Abengoa, que transforma los residuos de cultivos en azúcares fermentables para luego transformarse en etanol. Así también desde 2010 operan satisfactoriamente tres plantas de bioetanol: dos en Estados Unidos, y una en Rotterdam, hasta el momento, la más grande de Europa. [6]

C.- Agua y Medio Ambiente

Abeinsa es una referencia a nivel mundial en el diseño, ingeniería y construcción de infraestructuras hidráulicas y medioambientales, plantas de desalación y tratamiento de aguas o residuos. Con más de 70 años de experiencia y gracias al desarrollo de una tecnología propia, se ha consolidado como una de las principales compañías líderes en la gestión de grandes sistemas de infraestructuras, que ofrece soluciones integrales para el sector del agua y el medioambiente. [7]

- Desalación
- Tratamiento de Agua y reúso
- Transporte y distribución de agua
- Residuos

D.-Transmisión

Esta línea de actividad está dedicada principalmente a diseño, ingeniería, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de transmisión con:

- Líneas de transmisión:
- Subestaciones eléctricas.

Capacidades únicas en corriente continua y grandes sistemas de transmisión en alta y muy alta tensión.

Abeinsa es uno de los mayores constructores internacionales de infraestructuras de transmisión y distribución, y uno de los principales concesionarios privados en Latinoamérica. En los últimos cinco años ha construido más de 5.000 km de líneas en distintos países, como Brasil, Perú, Chile, Argentina, Francia, España, Rumanía, Marruecos e India, y sistemas de interconexión internacional, como el realizado en América Central. [8]

E.- Equipamiento

Esta actividad abarca ingeniería, construcción y mantenimiento industrial y de infraestructuras:

Plantas industriales: esta actividad se orienta a la ejecución de grandes proyectos EPC multidisciplinares de plantas industriales en cualquier zona geográfica del mundo.

Se aporta valor a los proyectos estableciendo alianzas con ingenierías y tecnólogos que aseguren las mejores competencias técnicas, así como, gestión financiera o control de riesgos y/o mantenimiento, cuando sea requerido, adaptándonos de este modo a las necesidades del cliente para cada proyecto.

Los sectores principales donde se desarrolla esta actividad son:

- Producción de energía: centrales térmicas carbón/coke, Centrales fuel, FGC, Captura CO2, Hibridación solar, renovación, ampliación de centrales térmicas, sistemas auxiliares centrales nucleares (sistema refrigeración, tratamiento agua, sistemas diesel emergencia, vapor uso industrial, y cogeneración).
- Gas: Plantas de purificación, estaciones de compresión, plantas de regasificación, plantas de almacenamiento.
- Refino: Sistemas de almacenamiento de líquidos, sistemas de almacenamiento de gases, unidades auxiliares, etc.
- Química básica: Obtención de polímeros, sulfúrico, etc.

Instalaciones eléctricas y mecánicas: todo tipo de instalaciones eléctricas y mecánicas en la mayoría de sectores industriales. Construcción y mantenimiento de infraestructuras eléctricas, instalaciones mecánicas y proyectos de protección térmica y acústica.

Edificación singular: construcción, operación y mantenimiento e instrumentación de edificios de sedes administrativas tales como hospitales, centros culturales o juzgados, de bases militares y de plantas químicas, industriales y productoras de gas. [9]

Presencia Mundial de Abengoa

Mediante un proceso de universalización, que ha permitido a la Compañía establecer vínculos estables en mercados internacionales, Abengoa ha pasado de ser una empresa familiar de origen sevillano con presencia exclusiva en España, a ser una multinacional con actividad en 77 países de los cinco continentes [10]:

Iberoamérica

Puerto Rico, Perú, México, Brasil, Argentina, Uruguay, Chile, Cuba, Ecuador, República Dominicana, Costa Rica, Venezuela, Guatemala, Colombia, Nicaragua, Islas Vírgenes Británicas, Panamá.

Estados Unidos y Canadá

Europa

España, Reino Unido, Francia, Alemania, Suecia, Italia, Austria, Bélgica, Turquía, Irlanda, Portugal, Suiza, Rumanía, Islandia, Luxemburgo, Grecia, Finlandia, Croacia, Estonia, Holanda, Dinamarca, Noruega, Polonia, Yugoslavia, Eslovaquia, Hungría.

África

Marruecos, Argelia, Qatar, Ghana, Angola, Sudáfrica, Namibia, Libia, Mozambique, Kenia, Túnez, Camerún.

Asia

Indonesia, Tailandia, India, Bahrein, Iraq, Israel, China, Irán, Vietnam, Emiratos Árabes Unidos, Taiwán, Omán, Líbano, Rusia, Japón, Singapur, Arabia Saudita, Jordania, Pakistán.

Oceanía

Australia

3.- Definición del Perfil del Técnico Especialista

El perfil de un técnico especialista es el de un ingeniero especializado en las diferentes áreas en las cuales se dividen los proyectos a desarrollar, las áreas que comprenden a los proyectos son; el área Mecánica, Eléctrica, Civil e Instrumentación y control.

El rol del técnico especialista consiste en ser el principal soporte técnico para la gerencia de proyectos, mediante la interpretación y solución a los requerimientos y necesidades del proyecto para lograr un buen resultado, cabe mencionar que el técnico especialista es participe de la planeación e integración para el desarrollo del proyecto.

El técnico especialista tiene a su cargo las siguientes tareas:

- Elaboración de cálculos de diseño y memorias técnicas de los sistemas y equipos asignados.
- Elaboración de especificaciones técnicas.
- Solicitud de Cotizaciones a proveedores.
- Comparativa técnico-económica de cotizaciones recibidas.
- Estimación de costes
- Análisis de requerimientos del cliente.

A continuación, se muestra la posición que ocupa el técnico especialista dentro de la organización del corporativo ABD. (Figura 2)

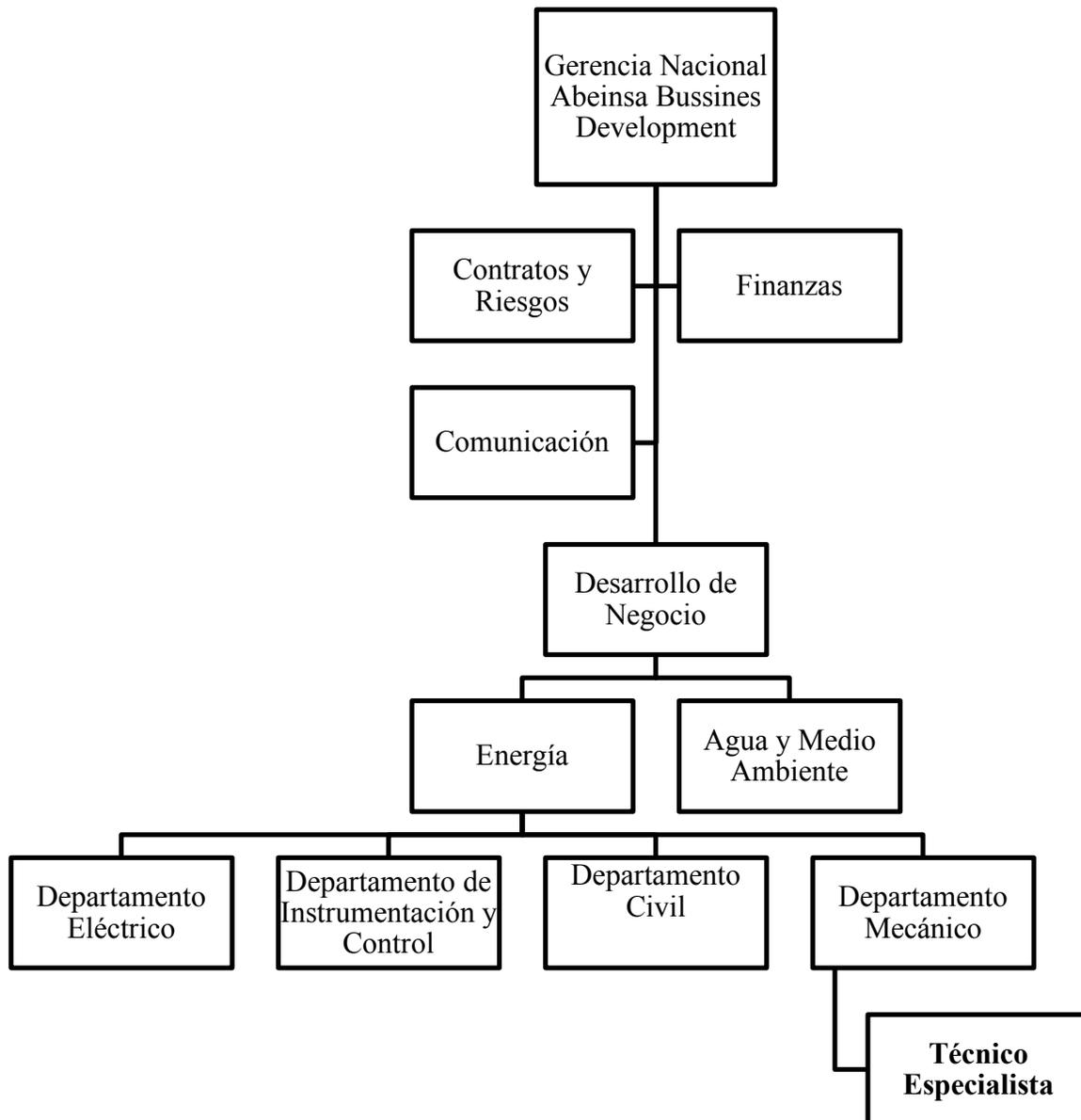


Figura 2. Organigrama Abeinsa Bussines Development México

4.-Intercambiadores de Calor

Las distintas aplicaciones de la transferencia de calor requieren diferentes tipos de componentes y configuraciones del equipo para dicha transferencia. El intento de acoplar los accesorios para la transferencia de calor a cada tipo de necesidades, dentro de las restricciones específicas, ha conducido a numerosos tipos de diseños innovadores de intercambiadores de calor. El tipo más simple de intercambiador de calor consta de dos tubos concéntricos de diámetros diferentes, como se muestra en la figura 3 , llamado intercambiador de calor de doble tubo o tubos concéntricos. En un intercambiador de este tipo uno de los fluidos pasa por el tubo más pequeño, en tanto que el otro lo hace por el espacio anular entre los dos tubos. En un intercambiador de calor de doble tubo son posibles dos tipos de disposición del flujo: en el flujo paralelo los dos fluidos, el frío y el caliente, entran en el intercambiador por el mismo extremo y se mueven en la misma dirección. Por otra parte, en el contraflujo los fluidos entran en el intercambiador por los extremos opuestos y fluyen en direcciones opuestas. [11]

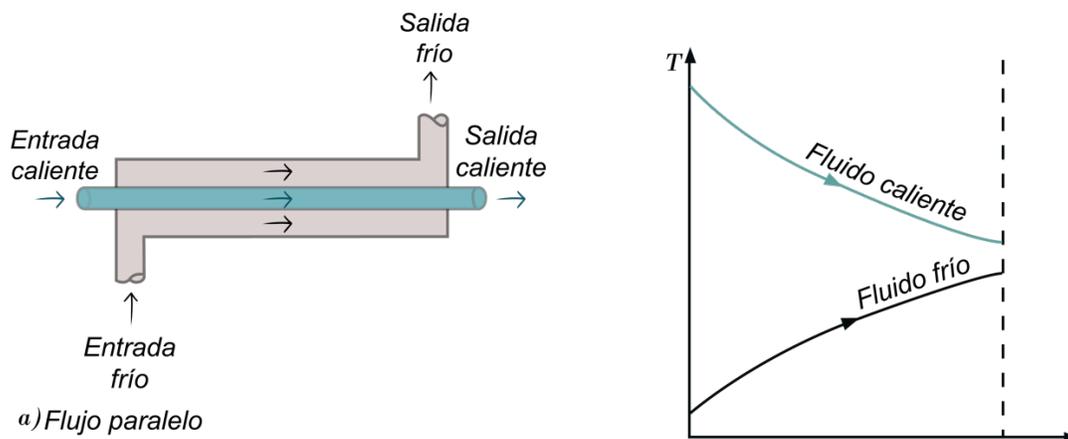


Figura 3.- Flujo paralelo y sus perfiles asociados de temperaturas en un intercambiador de calor de doble tubo.

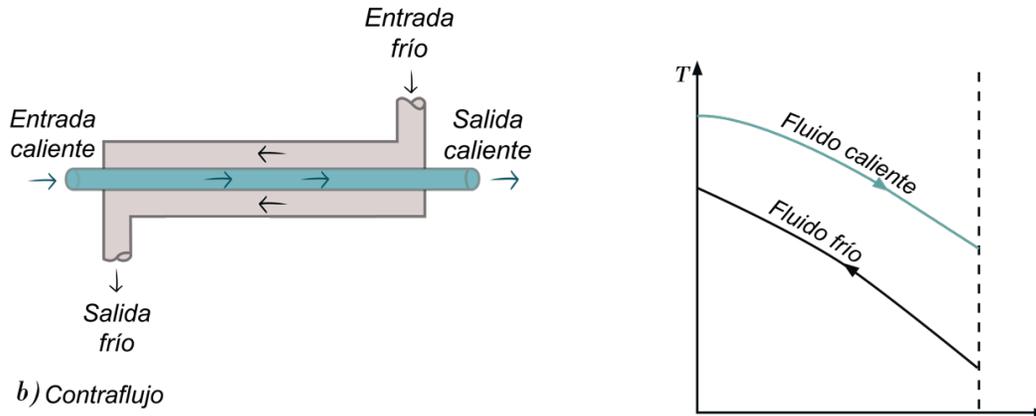


Figura 4.- Flujo cruzado y sus perfiles asociados de temperaturas en un intercambiador de calor de doble tubo.

Otro tipo de intercambiador de calor, diseñado específicamente para lograr una gran área superficial de transferencia de calor por unidad de volumen, es el compacto. La razón entre el área superficial de transferencia de calor de un intercambiador y volumen se llama densidad de área β . [11] La gran área superficial en los intercambiadores compactos se obtiene sujetando placas delgadas o aletas corrugadas con poco espacio entre sí a las paredes que separan los dos fluidos. Los intercambiadores compactos son de uso común en la transferencia de calor de gas hacia gas y de gas hacia líquido (o líquido hacia gas), para contrarrestar el bajo coeficiente de transferencia de calor asociado con el flujo de gases mediante una mayor área superficial. La presencia de la mezcla en el fluido puede tener un efecto significativo sobre las características de transferencia de calor del intercambiador. [11]

Quizás el tipo más común de intercambiador de calor en las aplicaciones industriales sea el de tubos y coraza, mostrado en la figura 5. Estos intercambiadores de calor contienen un gran número de tubos (a veces varios cientos) empacados en una carcasa con sus ejes paralelos al de éste. La transferencia de calor tiene lugar a medida que uno de los fluidos se mueve por dentro de los tubos, en tanto que el otro se mueve por fuera de éstos, pasando por la coraza. Es común la colocación de desviadores en la coraza para forzar al fluido a

moverse en dirección transversal a dicha coraza con el fin de mejorar la transferencia de calor, y también para mantener un espaciamiento uniforme entre los tubos. A pesar de su extendido uso no son adecuados para utilizarse en automóviles y aviones debido a su peso y tamaño relativamente grandes. Nótese que en un intercambiador de este tipo los tubos se abren hacia ciertas zonas grandes de flujo, llamadas cabezales, que se encuentran en ambos extremos de la carcasa o envoltente, en donde el fluido del lado de los tubos se acumula antes de entrar y salir de ellos. [11]

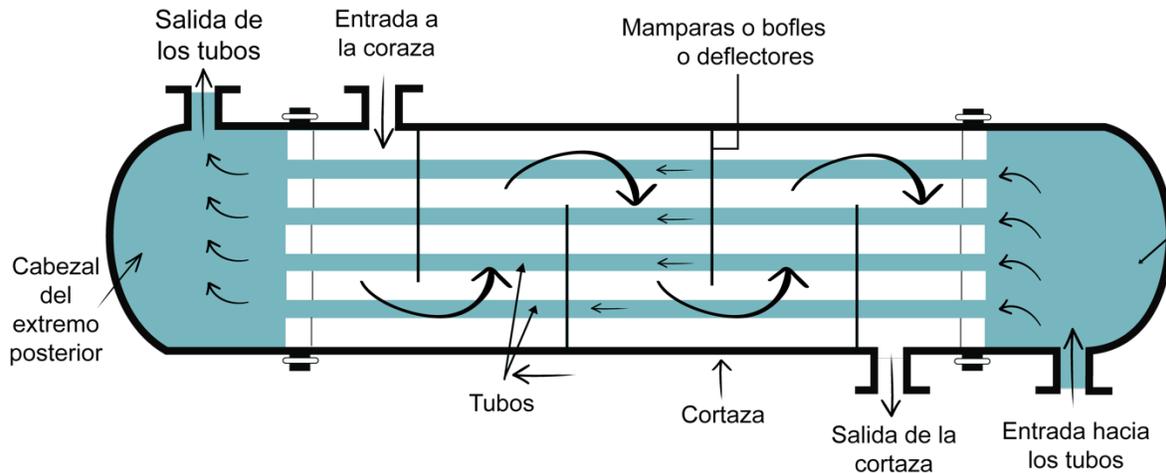


Figura 5. Esquema de un intercambiador de calor de coraza y tubos (un paso por la coraza y un paso por los tubos).

Los intercambiadores de tubos y coraza se clasifican todavía más según el número de pasos que se realizan por la coraza y por los tubos. Por ejemplo, los intercambiadores en los que todos los tubos forman una U en la coraza se dice que son de un paso por la coraza y dos pasos por los tubos. De modo semejante, a un intercambiador que comprende dos pasos en la coraza y cuatro pasos en los tubos se le llama de dos pasos por la coraza y cuatro pasos por los tubos (Figuras 6 y 7). [11]

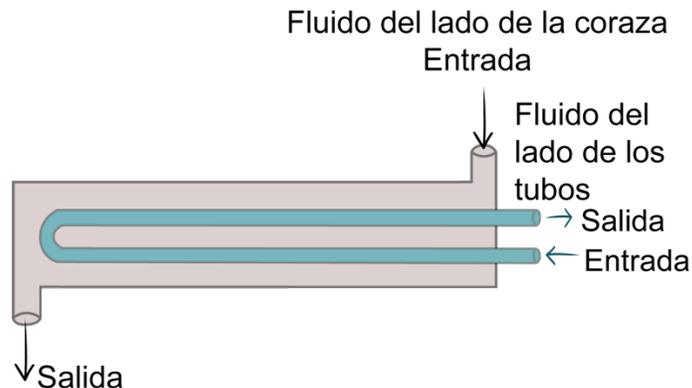


Figura 6. Un paso por la coraza y dos por los tubos.

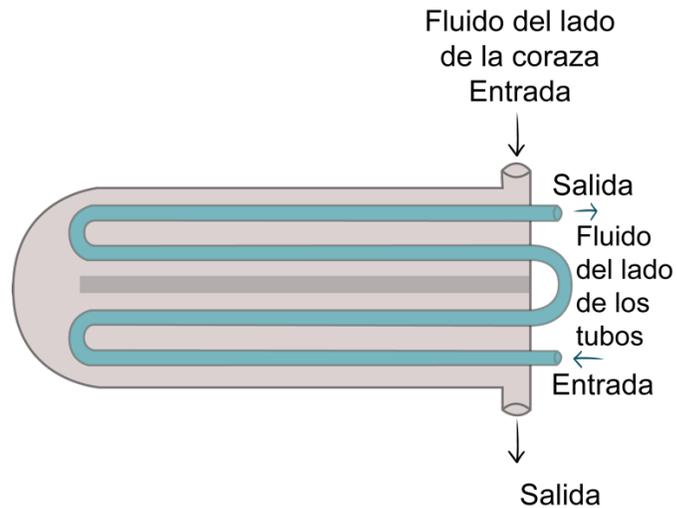


Figura 7. Dos pasos por la coraza y cuatro pasos por los tubos.

Un tipo innovador de intercambiador de calor que ha encontrado un amplio uso es el de placas y armazón (o sólo de placas), el cual consta de una serie de placas con pasos corrugados y aplastados para el flujo (Figura 8). Los fluidos caliente y frío fluyen en pasos alternados, de este modo cada corriente de fluido frío queda rodeada por dos corrientes de fluido caliente, lo que da por resultado una transferencia muy eficaz de calor. Asimismo, este tipo de intercambiadores pueden crecer al aumentar la demanda de transferencia de calor sencillamente montando más placas. Resultan muy apropiados para aplicaciones de intercambio de calor de líquido hacia líquido, siempre que las corrientes de los fluidos caliente y frío se encuentren más o menos a la misma presión. [11]

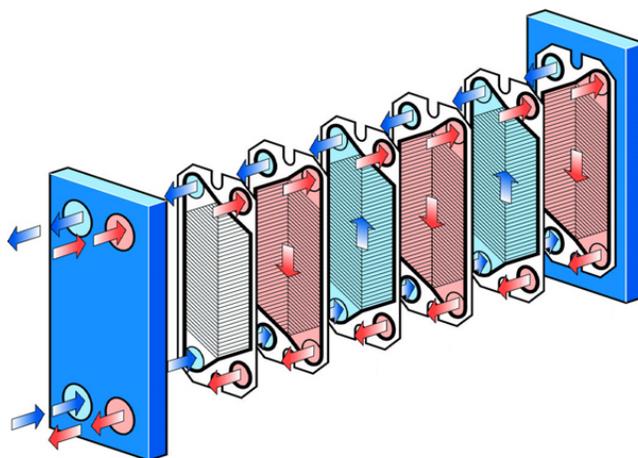


Figura 8. Intercambiador de Calor de Placas (T Soluciona, <http://t-solucion.com/noticias/articulos-tecnicos/factor-de-ensuciamiento-en-intercambiadores/>)

5.- Actividades Realizadas

El objetivo de este capítulo es dar una descripción de las actividades que estuve realizando durante mi estadía en el departamento de Ingeniería Mecánica en *Abeinsa Bussines Development* (ABD) y dar a conocer los proyectos en los que participé.

Abeinsa Bussines Development México es el departamento encargado de realizar los proyectos para participar en las licitaciones de energía convencional dentro del sector público y privado. ABD se asegura de cumplir con los lineamientos del proyecto en sus diversas áreas, como son: El área financiera, legal, ambiental y técnica para ofrecer su mejor oferta y de esta manera ganar los contratos. Una vez adjudicados los proyectos, pasan a ser responsabilidad de *Abeinsa EPC* (*Abeinsa Engineering, Procurement and Construction*) que es la filial encargada de la construcción y puesta en marcha de los proyectos adjudicados.

Haciendo énfasis en el departamento técnico de ABD, este se divide en las ramas de ingeniería Mecánica, Eléctrica, Civil e Instrumentación y Control. Todas estas áreas se encuentran en constante comunicación por que los proyectos de este negocio son interdisciplinarios, además que todos los sistemas están relacionados directamente.

En un principio comencé dando soporte a los Técnicos ya con experiencia, en donde mis primeras actividades eran brindar herramientas como normas, revisión de especificaciones técnicas, búsqueda de proveedores y revisión de requisiciones de equipos. Al paso de un mes o dos, aprendí el proceso de cómo trabajábamos en los proyectos y me brindaron la confianza para hacerme responsable de Intercambiadores de Calor Auxiliares, que forman parte de los equipos auxiliares de una planta de ciclo combinado.

Actualmente ya no trabajo en esta compañía por lo que no cuento con toda la información completa de un solo proyecto, así que tomé información de varios proyectos para relatar el proceso de las actividades que desarrollé durante mi estadía.

En su mayoría casi todos los proyectos en los que nuestro equipo participaba eran Plantas de Ciclo Combinado, al volverme responsable de los intercambiadores de Calor, tuve que hacer todo el proceso de principio a fin para cada proyecto.

El proceso en el cual desarrollaban mis actividades era el siguiente:

- Conocimiento de Bases de Licitación.
- Dimensionamiento de Equipos y Memorias de Cálculo.

- Solicitud de Cotizaciones y Seguimiento con proveedores.
- Evaluación Técnica-Económica de las Cotizaciones Recibidas.
- Selección de Equipo para presentación de Proyecto.

Conocimiento de Bases de licitación.

Al ser CFE nuestro principal cliente, para cada proyecto se lanzaban las bases de licitación, en donde se especificaban los requerimientos mínimos de todas las áreas de impacto. La directora de proyectos era la encargada de brindar las bases, en un principio leía todas las especificaciones técnicas de todas las áreas, para tener un panorama más amplio de todo el proyecto. Una vez teniendo un panorama completo del alcance del proyecto, me enfocaba en buscar los requerimientos solicitados por el cliente que aplicaban para los Intercambiadores de Calor. En estas bases se incluían todas las normas aplicables para cada sistema o algunos requerimientos o necesidades solicitadas por el cliente.

Es muy importante conocer las bases, ya que para poder dimensionar y mandar a cotizar los equipos primero había que conocer bien las necesidades de los clientes. Además, que cualquier falla en la propuesta técnica del proyecto podía restar puntos para ganar la licitación, o peor aún, si se ganaba y al momento de construir no era lo requerido, se podían presentar mayores problemas por haber comprado un equipo que no cumplía con las necesidades. En mi experiencia, ya que he tenido la oportunidad de trabajar en obra, he podido ver este tipo de problemas y en ocasiones estos errores se pudieron evitar con solo conocer las bases del proyecto.

Dimensionamiento de Equipos y Memorias de Cálculo

A continuación, mencionaré dos ejemplos de los equipos en los cuales era responsable, uno de un precalentador de gas para la turbina de gas y otro de un intercambiador de pugas de la caldera de recuperación.

Precalentador de Gas

El precalentador de gas es el equipo mediante el cual se eleva la temperatura del gas a la requerida para la entrada de la Turbina, es muy importante cumplir con la temperatura del gas requerida para que así la Turbina de Gas cumpla con las eficiencias garantizadas por el fabricante.

Es necesario calcular la carga térmica para que el proveedor pueda dimensionar el equipo, a continuación se muestra la memoria de cálculo y el procedimiento que hice para obtener

dicha carga. Lo primero que hice fue buscar las condiciones de entrega del gas según las bases de la licitación. Las condiciones dependen mucho de la composición y las condiciones ambientales en el lugar en donde se suministra el gas, las eficiencias y el comportamiento del ciclo puede llegar a variar según sean las condiciones del combustible.

Ejemplo de condiciones de entrega según bases de licitación.

Las condiciones del combustible en el punto de entrega son las siguientes:

Máxima Presión de Operación en el ducto de 36":	81,00 kg/cm ² man. (1152 psi)
Presión mínima de operación:	36,56 kg/cm ² man. (520 psi)
Referencia de regulación:	35.51 kg/cm ² man. (505 psi)
Temperatura de descarga:	No menor a 10 °C
Temperatura mínima de recepción:	15 °C
Temperatura máxima de recepción:	45 °C

Ejemplo de composición típica promedio del combustible según ejemplo de bases de licitación

Para propósitos de preparación de la Propuesta y de evaluación, el Licitante deberá considerar la composición típica y propiedades, estas se muestran en la Tabla 1.

ELEMENTO	%Mol
Metano C1	94,02
Etano C2	3,179
Propano C3	0,312
I-Butano iC4	0,031
N-Butano nC4	0,056
I-Pentano iC5	0,015
N-Pentano nC5	0,012
Hexano + C6	0,018
Nitrógeno N2	1,959
CO2	0,398
Poder calorífico inferior en Base Seca kJ/kg	47714
Poder calorífico superior en Base Seca kJ/kg	52926
Gravedad específica (Densidad del aire 1,2045 kg/m ³)	0,5865

Tabla 1. Composición Química del Gas Natural

Una vez teniendo la composición y condiciones del gas en el punto de entrega, es necesario saber las condiciones a las que el fabricante de la Turbina requiere el gas. Para esto es necesario buscar dentro de las especificaciones Técnicas de la turbina. En ocasiones la información que se requiere no está contenida en la especificación o no está bien definida, es por eso que siempre se tiene que estar en contacto con el proveedor para poder solicitar cualquier información técnica necesaria.

Solicitando la información con el fabricante, nos muestra el desempeño de la Turbina con una carga base (100%) en condiciones de verano (Tabla 2). Esta información nos será útil para calcular otros datos necesarios, gracias a mis conocimientos de Termodinámica adquiridos durante mis estudios pude realizar estos análisis.

Desempeño Estimado		
Condiciones de Carga	Unidades	Carga BASE
Pérdida en la entrada	mm H ₂ O	93.98
Pérdida de presión en el escape	mm H ₂ O	355.59
Temperatura Ambiente	°C	35
Humedad Relativa Ambiente	%	25
Estatus del enfriador evaporativo.		Encendido
Efectividad del enfriador evaporativo.		0.9
Tipo de Combustible		Cust Gas
Poder Calorífico Inferior (PCI)	kJ/kg	47,714
Temperatura de entrada del Combustible	°C	185
Producción	kW	151,154
Tasa de Calor (PCI)	kJ/kWh	9,567
Consumo de Calor. (PCI)	GJ/hr	1,446.10
Energía Auxiliar	kW	593
Producción Neta	kW	150,561.00
Tasa de Calor (PCI) - Neto	kJ/kWh	9,605
Flujo de Escape	x10 ³ kg/hr	1,348.70
Temperatura de Escape	°C	615.5
Escape <i>MolWt</i>	kg/kmol	28.23
Energía de escape	GJ/hr	877.4

Tabla 2. Performance de la Turbina a 100% de carga en condiciones de verano.

La Carga Térmica que será añadida al gas para la entrada en la Turbina la calculé de la siguiente manera:

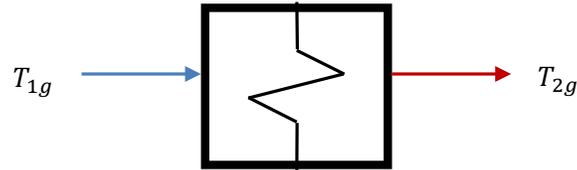


Figura 9. Diagrama Térmico del precalentador de gas.

$$Q_g = Cp_g(T_{2g} - T_{1g})\dot{m}_g \quad (1)$$

En dónde:

Q_g = Calor a suministrar al gas.

Cp_g = Calor específico del gas.

T_{1g} = Temperatura del gas a la entrada del intercambiador.

T_{2g} = Temperatura del gas a la salida del intercambiador.

\dot{m}_g = Flujo másico del gas.

De los datos anteriores tenemos 2 incógnitas, que son el calor específico y el flujo másico. Por lo cual me di a la tarea de obtener estos datos de la siguiente manera.

Tomando como referencia de las tablas de propiedades de mi libro de Termodinámica de Cengel –Boles, encontré una fórmula para obtener el calor específico de los gases en función de la temperatura, que se expresa de la siguiente manera.

$$Cp_g = a + bT_g + cT_g^2 + dT_g^3 \quad [12] \quad (2)$$

En donde:

Cp_g = Calor Específico en $\left[\frac{kJ}{kmol \cdot K} \right]$

a,b,c y d = constantes asociadas en la tabla según la sustancia.

T_g = Temperatura de la sustancia en Kelvin

En estas tablas se muestran diferentes sustancias, pero no viene el gas natural, por lo que tomé los valores del metano debido a que forma el 94% del gas natural que será suministrado a la turbina y así pude obtener un valor aproximado del calor específico.

Por otra parte, tenemos la temperatura del gas a la entrada y salida al intercambiador calor, por lo que para esto utilicé un promedio de la temperatura para obtener el calor específico.

$$T_g = \frac{T_{1g} + T_{2g}}{2} = \frac{(288.15 + 458.15)}{2} = 373.15 \text{ K} \quad (3)$$

Una vez que obtuve la temperatura promedio del gas, apliqué la fórmula del calor específico en función de la temperatura antes mencionada. En donde:

$$a = 19.89$$

$$b = 5.024 \times 10^{-2}$$

$$c = 1.269 \times 10^{-5}$$

$$d = -11.01 \times 10^{-9}$$

Sustituyendo la temperatura promedio (ecuación 3) y las constantes asociadas a la sustancia en la ecuación 2 obtenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned} C_{p_g} &= 19.89 + (5.024 \times 10^{-2})(373.15) + (1.269 \times 10^{-5})(373.15)^2 \\ &\quad + (-11.01 \times 10^{-9})(373.15)^3 \\ C_{p_g} &= 39.83 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \right] \end{aligned}$$

Una vez obtenido el valor del calor específico, necesitamos convertir las unidades a $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$ para poder seguir con proceso para encontrar la carga térmica. Para esto buscamos la masa molar del Metano y así poder cancelar términos en las unidades del CP obtenido. En donde:

$$M = \text{masa molar} = 16 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]$$

Dividiendo el C_{p_g} entre la masa molar obtenemos que:

$$C_{p_g} = \frac{39.83 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \right]}{16 \left[\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right]} = 2.49 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

Y de esta manera obtuve el C_{p_g} que utilicé para calcular la carga térmica.

Por otra parte, también hace falta obtener el flujo másico del combustible para poder determinar la carga térmica.

Tomando en cuenta que necesitamos el Consumo de Calor o *Heat Consumption* en inglés, tenemos que la fórmula siguiente:

$$CC = PCI \cdot \dot{m}_g \quad (4)$$

CC= Consumo de Calor

PCI= Poder Calorífico Inferior

\dot{m}_g = Flujo másico.

De la tabla de los performances solicitada al fabricante, podemos obtener la Tasa de Calor y el PCI del combustible por lo que despejando al flujo másico se puede expresar de la siguiente manera:

$$\dot{m}_g = \frac{TC}{PCI}$$

Sustituyendo valores:

$$\dot{m}_g = \frac{\left(1446.10 \left[\frac{GJ}{hr}\right]\right) \left(\frac{1,000,000 KJ}{1 GJ}\right) \left(\frac{1 hr}{3600 s}\right)}{\left(47,714.00 \left[\frac{kJ}{kg}\right]\right)}$$

$$\dot{m}_g = 8.42 \left[\frac{kg}{s}\right]$$

Ya obtenido el calor específico y el flujo másico, se calculó la carga térmica a suministrar al gas por medio del intercambiador de calor, utilizando la ecuación 1.

$$Q_g = Cp_g(T_{2g} - T_{1g})\dot{m}_g$$

$$Q_g = \left(2.49 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]\right) (458.15K - 288.15K) \left(8.42 \left[\frac{kg}{s}\right]\right)$$

$$Q_g = 3549.37 \left[\frac{kJ}{s}\right] = 3549.37 [KW]$$

Esta es la carga térmica a transferir al gas, por lo cual se incluyó dentro de las solicitudes técnicas que envié a los proveedores, con estos parámetros solicitados los proveedores ellos pudieron enviarnos su mejor propuesta para que nosotros seleccionáramos la mejor propuesta.

Intercambiador de Calor para purgas

Este intercambiador es el equipo mediante el cual se reduce la temperatura a las purgas de la caldera de recuperación, estas purgas se extraen a altas temperaturas del domo de media presión a un tanque flash para después pasarlas por el intercambiador de calor y enviarlas a su lugar de disposición final de acuerdo a las normativas ambientales. Para este caso, se pide en las especificaciones técnicas que enfríen hasta una temperatura de 50° C.

A continuación, se muestra como calculé la carga térmica a disipar mediante el intercambiador de calor.

Para cuando tuve que calcular la carga del el recuperador de calor de purgas, ya se contaba con el análisis de proceso, en el cual se muestran las corrientes de proceso con sus propiedades termodinámicas. Tomando en cuenta que las purgas provienen del domo de media presión, lo primero que realicé, fue buscar en el diagrama y tabla de proceso las corrientes provenientes del domo de media presión para saber a qué presión se encontraba. La presión que tenemos en del domo de media presión es de 32 bar.

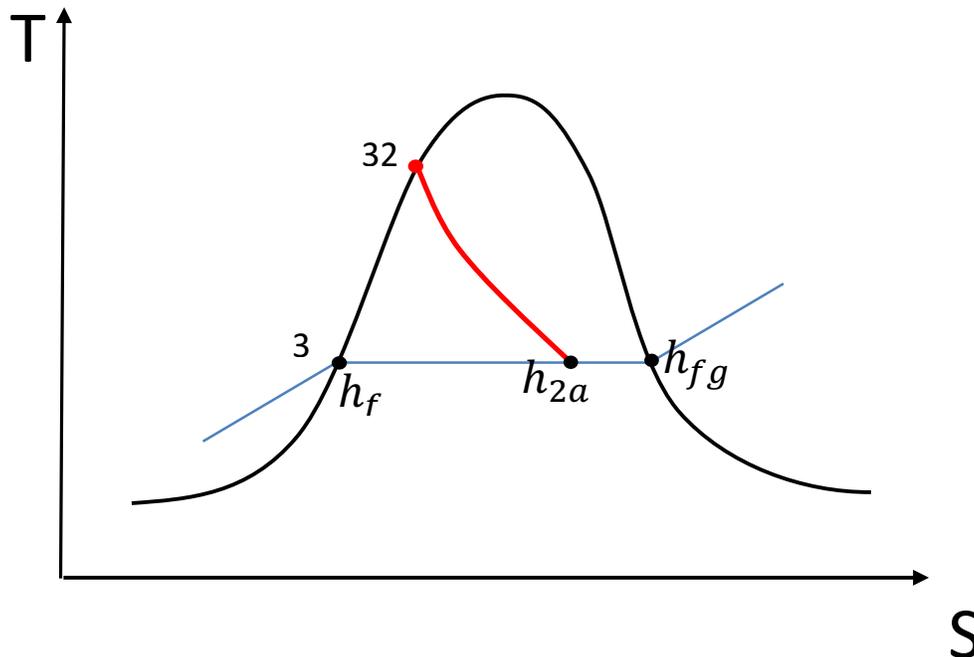


Figura 10. Diagrama Temperatura-Entropía

Tomando en cuenta que tenemos un proceso Isoentálpico, busqué en Tablas de Agua Saturada y tenemos que:

Propiedades a presión de 3 bar

$$h_{f3bar} = 561.47 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$h_{fg3bar} = 2725.3 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$h_{2a} = h_{f3bar} + (X) h_{fg3bar} \quad (5)$$

Propiedades a presión de 32 bar:

$$h_{2a} = h_{f32bar}$$

$$h_{2a} = 1024.96 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Sustituyendo las propiedades en la ecuación 5 obtenemos que:

$$1024.96 = 561.47 + (X)2725.3$$

Despejando X para obtener los porcentajes de la mezcla agua-vapor:

$$X = \frac{1024.96 - 561.47}{2725.3}$$

$$X = .17$$

$$X = (.17)(100) = 17$$

$$X = 17\% \text{ Vapor}$$

$$Y = 83\% \text{ agua}$$

El Flujo másico lo tomé del diagrama de proceso, el flujo másico que pasa por el domo de Media Presión es de:

$$\dot{m}_{mez} = \text{flujo másico de la mezcla} = 3.89 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Tomando en cuenta solo el porcentaje de agua de la mezcla, tenemos que.

$$\dot{m}_a = (Y)(\dot{m}_{mez}) \quad (6)$$

$$\dot{m}_a = (.83)(3.89) = 3.22 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

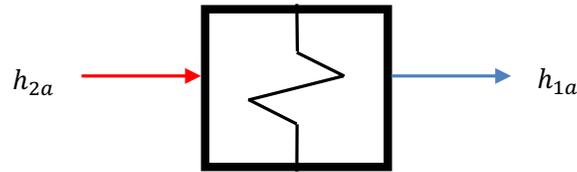


Figura 11. Diagrama Térmico del precalentador de gas.

$$Q_a = (h_{2a} - h_{1a})\dot{m}_a \quad (7)$$

En dónde:

Q_a = Calor a disipar en el Intercambiador.

h_{2a} = Entalpía del agua a la entrada del intercambiador.

h_{1a} = Entalpía del agua a la salida del intercambiador.

\dot{m}_1 = Flujo másico del agua.

Tomando en cuenta que la temperatura a la que se debe enfriar el agua es de 50°C, vamos a calcular la entalpía a esta temperatura (h_{1a}).

$$h_{1a} = C p_a T_{50} \quad (8)$$

En dónde $C p_a$ es el poder calorífico del agua y T_{50} es la temperatura de 50°C a la que se tiene que enfriar el agua.

Sustituyendo Para obtener la entalpía del agua a 50°:

$$h_{1a} = (4.22) \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] (50 K)$$

$$h_{1a} = 211 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Sustituyendo las entalpías de entrada y salida del agua en la ecuación 7:

$$Q_a = (h_{2a} - h_{1a})\dot{m}_1$$

$$Q_a = (3.22) \left[\frac{kg}{s} \right] (1024.96 - 211) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$Q_a = 2620.95 \left[\frac{kJ}{s} \right] = 2620.95 [kW]$$

Este es el calor que se tiene que disipar del agua que viene de las purgas de la caldera para que de esta manera puedan ser enviadas a su centro de disposición final sin afectar el medio ambiente, y sobre todo con esta carga el proveedor puede cotizar el equipo más adecuado para esta solicitud del cliente.

Solicitud de Cotizaciones y seguimiento con proveedores.

Una vez conocidas las cargas térmicas, me encargaba de realizar la solicitud de cotizaciones de los intercambiadores de calor. Estas solicitudes se hacen mediante un documento en donde se solicita al proveedor la mejor oferta técnica-comercial para las necesidades de cada proyecto. En estas requisiciones primero se incluía una carta de presentación de la empresa, descripción del proyecto para el cual se estaba solicitando la cotización y las condiciones de pago, ya que muchas veces influye demasiado por cual proveedor se va inclinar. Dentro de esta misma requisición integraba un apartado técnico en dónde se daban a conocer las solicitudes y requerimientos tales como:

- Fluidos de Trabajo.
- Temperaturas de Operación (Entrada y Salida).
- Cargas térmicas.
- Condiciones Ambientales.
- Normas de referencia.

Para cada cotización solicitada

Es muy importante incluir todas las solicitudes técnicas para poder cotizar el equipo adecuado, ya que si se tiene un error podría afectar en la oferta al momento de presentar ante el cliente, o peor aún, una vez que se esté construyendo el proyecto, se tenga un equipo que no cumpla con las solicitudes y disminuya la eficiencia del proyecto, además de que agregaría costos no previstos al proyecto.

Es muy importante tener contacto continuo y darles seguimiento a las cotizaciones con los proveedores, ya que las ofertas tienen una fecha límite para su presentación, además que siempre surgen dudas técnicas e incluso se pueden llegar a negociar los precios.

Evaluación Técnica-Económica de las Cotizaciones Recibidas.

Normalmente se tenía más de 3 proveedores para cada equipo, cabe mencionar que algunas veces los proveedores declinaban a ofertar por las condiciones de pago a las que operaba Abeinsa. Una vez obtenidas las ofertas se tenía que hacer una corporativa entre todas las ofertas. Para poder comparar, utilizábamos una tabla comparativa en donde colocábamos todas las especificaciones técnicas de cada equipo, los alcances y los precios de venta. Para esta comparación se tenía que ser muy cuidadoso y tomar en cuenta cada aspecto técnico y revisar si realmente dentro de las ofertas se incluían todos los costos para tener una comparativa sin ventajas ante algún proveedor.

Selección de Equipo para presentación de Proyecto.

Una vez realizada la comparación de las cotizaciones, se debía seleccionar el equipo con el cual se iba presentar la oferta. Lo más importante para la selección del equipo es que cumpla con todos los requerimientos técnicos mínimos. Una vez seleccionadas las mejores ofertas, se continúa comparando los precios, en algunas ocasiones hay equipos que son más baratos, pero por las condiciones de pago de Abeinsa los proveedores no podían continuar con la oferta. Al tener la oferta y equipo seleccionado, se juntaba junto con todos los demás equipos del departamento técnico de todas las demás áreas de Ingeniería involucradas y se presentaba la licitación.

6.- Conclusiones

Durante mi estadía en Abeinsa, me di cuenta que todos los conocimientos que adquirí a lo largo de mi carrera, pudieron aportar algo durante mis tareas laborales, sobre todo en la rama de la Termodinámica. A mi parecer, dentro de mi carrera hay muchas áreas de oportunidad para impartir algunas materias enfocándose al área de Energía, ya que creo que hay más promoción y oferta de materias enfocadas a otras ramas de la Ingeniería Mecánica como es el diseño de maquinaria, materiales y manufactura.

En este empleo pude desarrollar otras habilidades que no me fueron enseñadas en las aulas de clases, como son las relaciones laborales, la buena comunicación y el liderazgo para llevar a cabo todas mis responsabilidades, estas son clave para cumplir con los objetivos del proyecto. Ya que una de mis actividades era mantener contacto con los proveedores, puedo recomendar que siempre es bueno estudiar al menos el idioma inglés, ya que muchas veces los equipos que solía cotizar eran fabricados y comercializados por empresas extranjeras y es muy importante tener una buena comunicación o incluso para poder entender las especificaciones técnicas de los equipos. Muchas veces no contratan a Ingenieros preparados que cuentan con amplios conocimientos en estas áreas porque tienen una gran deficiencia en la comunicación con los colegas extranjeros, ya sean externos o internos.

Agradezco la oportunidad que me brindó la empresa Abeinsa por pertenecer a su equipo de trabajo, sobre todo que confiaron en mí para hacerme responsable de los intercambiadores de calor. Aprendí que todas las áreas de ingeniería son interdisciplinarias, y que todas tienen una mínima relación para que todo pueda funcionar de manera correcta y eficiente dentro de un proyecto. En el caso de esta posición laboral, fueron la Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Civil e Instrumentación y Control.

Otra de enseñanza que me dejó esta posición, fue que el área de la ingeniería está muy de la mano de las finanzas, puesto que hay muchos proyectos técnicamente ambiciosos, pero si no son rentables, muchas veces no se llevarán a cabo. Siempre hay que buscar un balance entre el costo y el beneficio.

Con la actual reforma energética que entró en vigor en el 2018 y la actualización, el mercado de la energía tiene un gran campo de oportunidad y responsabilidad para los estudiantes de México y sobre todo de nuestra Máxima Casa de Estudios, cabe mencionar que durante mi estadía en Abeinsa, la mayoría de mis colegas eran también egresados de la Facultad de Ingeniería UNAM. Creo que, para el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica en la UNAM, le vendría bien la impartición de materias optativas de gestión de la energía y desarrollo de proyectos de energía, tomando en cuenta la rama legal, el área financiera y sobre todo el área técnica, así como su vinculación entre estas.

Por último, quiero agradecer infinitamente a la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por haberme brindado educación del más alto nivel y que gracias a la dedicación y preparación de mis profesores, pude alcanzar lograr los objetivos durante mi estadía en Abeinsa.

7.-Bibliografía

[1] ABENGOA, <<WEB ABENGOA,>> [En línea] Disponible:

<http://www.abengoa.com.mx/web/es/areas-de-actividad/ingenieria-y-construccion-industrial/>. [Último acceso: 16 de julio 2016].

[2] ABENGOA, <<WEB ABENGOA,>> [En línea] Disponible:

<http://www.abengoa.com.mx/web/es/acerca-de-nosotros/vision-y-mision/>. [Último acceso: 16 de julio 2016].

[3] ABENGOA, <<WEB ABENGOA,>> [En línea] Disponible:

<http://www.abengoa.com.mx/web/es/responsabilidad-social/calidad/>. [Último acceso: 16 de julio 2016].

[4] ABEINSA, <<WEB ABEINSA,>> [En línea] Disponible:

http://www.abeinsa.com/web/es/acerca_de_nosotros/. [Último acceso: 10 de diciembre 2016].

[5] ABEINSA, <<WEB ABEINSA,>> [En línea] Disponible:

http://www.abeinsa.com/web/es/nuestras_actividades/ingenieria_y_construccion/. [Último acceso: 10 de diciembre 2016].

[6] ABEINSA, <<WEB ABEINSA,>> [En línea] Disponible:

http://www.abeinsa.com/web/es/nuestras_actividades/ingenieria_y_construccion/energia/. [Último acceso: 10 de diciembre 2016].

[7] ABEINSA, <<WEB ABEINSA,>> [En línea] Disponible:

http://www.abeinsa.com/web/es/nuestras_actividades/ingenieria_y_construccion/agua_medioambiente/. [Último acceso: 10 de diciembre 2016].

[8] ABEINSA, <<WEB ABEINSA,>> [En línea] Disponible:

http://www.abeinsa.com/web/es/nuestras_actividades/ingenieria_y_construccion/transmision/. [Último acceso: 10 de diciembre 2016].

[9] ABEINSA, <<WEB ABEINSA,>> [En línea] Disponible:

http://www.abeinsa.com/web/es/nuestras_actividades/ingenieria_y_construccion/equipamiento/. [Último acceso: 10 de diciembre 2016].

[10] ABEINSA, <<WEB ABEINSA,>> [En línea] No Disponible:

<http://www.abengoa.com.mx/web/es/acerca-de-nosotros/presentacion/>. [Último acceso: 16 de julio 2016].

[11] Yunus A. Cengel y Afshin J. Ghajar, Transferencia de Calor y Masa, Cuarta Edición, The McGraw-Hill, 2011.

[12] Yunus A. Cengel y Michael A. Boles, Termodinámica, Séptima Edición, The McGraw-Hill, 2012. Tabla A2, Pág. 911.