Ingeniería Energética General

Ahorro Energético Integral

Aplicado a la Mediana y Pequeña Industria, a los Centros Comerciales, a los Edificios.

Demanda de Vapor

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

Resumen

En este documento se resumen las informaciones básicas, los cálculos a seguir y la forma de registrar los datos primarios para computar los consumos de vapor que se demandaran en una instalación dada. Es un documento práctico que puede ser utilizado para mostrar el empleo de técnicas termodinámicas con fines de computar la información primaria para un proyecto energético. Para cumplimentar estos objetivos, se hace una breve explicación de que es el vapor, sus propiedades, parámetros que miden su comportamiento, el diagrama de Mollier y formas de emplearlo, mediciones que se realizarán y su aproximación estadística, para obtener la información que se utilizará en este inventario o auditoria.

Finalmente, se resume la información a registrar en un formato de Tablas que ayudan al trabajo de terreno. Una serie de sugerencias practicas y tips que se aprenden en trabajos realizados, se presentan a lo largo del instructivo, de forma de facilitar la comprensión, obviar dificultades que siempre surgen en el desarrollo del trabajo y al final y obtener cifras con un nivel satisfactorio de seguridad estadístico.

El resultado obtenido en este documento servirá de base primaria informativa para el trabajo de proyección de un sistema energético, para la evaluación de la factura energética y su competitividad, la factibilidad económica y medioambiental respecto al uso de otros portadores y/o sistemas, las posibilidades de sustitución parcial o total por sistemas que utilicen fuentes renovables de energía y para definir la capacidad a instalar en los generadores de vapor, dimensiones de redes de distribución y de condensado y sus accesorios (tanque de condensado, bomba de condensado, trampas de vapor, dilatadores, soportería,) instrumentación y control, (como reguladores de presión, indicadores de temperatura, indicadores de presión, etc.).

Para la comprensión de este instructivo se requiere una formación básica técnica, no entra en definiciones teóricas ni en sus demostraciones

el Autor:

René Ruano *es director y fundador de Ingeniería Energética General, tiene más de 30 años de experiencia en la realización de proyectos de Ahorro Energético y de Energías Renovables.*

René Ruano *is Manager and founder of General Energetic Engineering with more than 30 years making Save Energy and Renewable Energy Project.*

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

INDICE

Cap.y/o Epígrafes	Tema	Página
I	**Resumen teórico necesario**	**4**
1	Introducción	4
2	Vapor. Propiedades del Vapor	5
2.1	Calor Sensible, Calor Latente y Calor Total. Entalpía (ΔH	5
2.2	La Humedad del Vapor.	6
3	Diagrama de Mollier y las Tablas de Vapor.	7
4	Demanda y Consumo. Equipo y Sistema.	8
5	Mediciones a realizar en diferentes sistemas y equipos. Demanda y Consumo.	10
5.1	Equipamiento existente y en funcionamiento.	10
5.2	Diseño y Proyectos de nuevos equipos y Sistemas	10
6	Formas de calcular de la energía que se necesita o la masa de vapor demandada	11
7	Estimación estadística de los datos que se tomaran.	12
8	Procedimiento para determinar el consumo de energía calórica conociendo los parámetros termodinámicos y el flujo de vapor.	12
9	Procedimiento para determinar el consumo de calor que requiere ganar un proceso para calentar un material homogéneo o heterogéneo.	13
II	**Procedimientos a seguir. Ejemplos, Cálculos, Registros, Procedimiento.**	**16**
1	Ejemplos, cálculos y aplicaciones	16
1.1	Determinar la Demanda de Vapor para el calentamiento indirecto de un material homogéneo ó heterogéneo	16
1.2	Determinar la Demanda de Vapor para el calentamiento directo del agua	17
1.3	Determinar la Demanda de Vapor para el calentamiento y la fusión de una Sustancia Acumuladora de Energía Térmica	19
1.4	Determinar la Demanda de Vapor para el Calentamiento de Aire	20
2	Procedimientos a seguir. Diagramas y Registro de la información	21
III	**Anexos**	**26**
	Anexo 1 Tablas de Vapor	27
	Anexo 2 Diagrama de Mollier	28
	Anexo 3 Diagrama de Flujo	29
	Anexo 4 Registro Información Primaria y Cálculos	30
	Anexo 5 Resumen de la Demanda y Consumo	31

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

I. Resumen teórico necesario.

1. Introducción

En este documento se resumen las informaciones básicas, los cálculos a seguir y la forma de registrar los datos primarios para computar los consumos de vapor que se demandaran en una instalación cualquiera. Es un documento práctico, no cumple objetivos educacionales, pero pudiera ser utilizado para mostrar el empleo de técnicas termodinámicas con fines de computar la información primaria para un proyecto energético. Para cumplimentar estos objetivos, se hará una breve explicación de que es el vapor, sus propiedades, parámetros que miden su comportamiento, el diagrama de Mollier y formas de emplearlo, mediciones que se realizarán y su aproximación estadística, para obtener la información que se utilizará en este inventario o auditoria.

Finalmente, se resumirá la información a registrar en un formato en forma de Tabla que ayude al trabajo de terreno. Una serie de sugerencias practicas, maldades que se aprenden en trabajos realizados y tips, se irán presentando a lo largo del instructivo, de forma de facilitar la comprensión, obviar dificultades que siempre surgen en el desarrollo del trabajo y al final, obtener un resultado con un nivel satisfactorio de seguridad estadístico.

El resultado obtenido en este documento servirá de base primaria informativa para el trabajo de proyección de un sistema energético, para la evaluación de la factura energética y su competitividad, la factibilidad económica y medioambiental respecto al uso de otros portadores y/o sistemas, las posibilidades de sustitución parcial o total por sistemas que utilicen fuentes renovables de energía y para definir la capacidad a instalar en los generadores de vapor, dimensiones de redes de distribución y de condensado y sus accesorios (tanque de condensado, bomba de condensado, trampas de vapor, dilatadores, soportería,) instrumentación y control, (como reguladores de presión, indicadores de temperatura, indicadores de presión, etc.).

Para la comprensión de este instructivo se requiere una formación básica técnica o profesional ya que no entra en definiciones teóricas ni sus demostraciones.

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

2. Vapor. Propiedades del Vapor.

El vapor de agua es una sustancia de trabajo universalmente empleada como fluido térmico o transportador de energía calórica. El agua líquida es calentada en equipos Generadores de Vapor mediante la ganancia de energía (un combustible sólido, liquido o gaseoso que se combustionan en quemadores apropiados), hasta que llega a su temperatura de ebullición (373 ºk ó 100 ºC a 1 atmósfera de presión), punto en el que cambia su estado de líquido a vapor en un proceso a temperatura y presión constante. Una vez en forma de vapor, puede seguirse recalentando o mantenerse en estado de saturación. Este proceso de cambio de estado del agua, implica un incremento de temperatura desde la ambiente hasta el punto de ebullición y cuando continuamos recalentado el vapor, un incremento de temperatura y presión manométrica sobre la atmosférica lo que a su vez es equivalente al incremento de la energía interna del vapor. Para poder aumentar la energía interna del agua líquida a vapor saturado y después continuar recalentando, se requiere disponer de una fuente de energía que la produzca, energía en forma de calor. La energía consumida por la sustancia de trabajo para convertirse en vapor saturado o recalentado, es almacenada en el vapor. En la medida que se desarrolla el proceso inverso, de enfriamiento y el vapor vuelve al estado original o va disminuyendo su temperatura y presión, el vapor va cediendo al medio exterior el calor que había ganado. Si este calor que entrega el vapor al disminuir su temperatura y presión es controlado a través de equipos de intercambio calórico, para su utilización práctica en el calentamiento de materiales, alimentos, aire o procesos que necesiten la energía térmica, estaremos empleando el vapor como un fluido térmico que transporta la energía calórica y la cede bajo un control determinado.

2.1 Calor Sensible, Calor Latente y Calor Total. Entalpía (ΔH).

Calor Sensible del agua líquida. ΔH_L

El calor que produce una elevación de temperatura en una sustancia sin que ocurra un cambio de estado se denomina calor sensible. En términos generales, todo cuerpo que se encuentre a una temperatura dada, tiene intrínsicamente calor sensible. Cuando en un proceso térmico calentamos una masa de agua (fijemos 1 kg) desde la temperatura ambiente (273 a 303 ºK) y elevamos su energía interna hasta que alcance 373 ºK, temperatura a la cual se iniciará la ebullición con desprendimientos de vapor, se le denomina calor sensible al calor ganado en esa etapa del proceso. El calor sensible es el producto del calor específico de la sustancia, en este ejemplo agua (4,18 kJ/kg ºk) por el incremento de temperatura del proceso, asumamos 100 ºK desde 273 a 373 ºK y por la masa de la sustancia, definida en el ejemplo como 1 kg. Para que

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

este proceso se realice requerimos suministrarle al kg de agua 418 kJ ó 100 kcal.

Calor Latente. ΔH_{L-v}
El calor que está asociado a la etapa del proceso de ebullición del agua desde que aparece la primera molécula de vapor hasta que se evapora la ultima gota de agua. Al calor ganado en esta etapa del proceso de calentamiento, se le denomina calor latente del agua. Ya mencionamos anteriormente que este proceso ocurre a temperatura y presión constante, en el caso de la sustancia agua, a 373 ºK y 1 atm de presión. Bajo estas condiciones el calor requerido para hacer ebullir 1Kg de agua a 373 ºK y presión atmosférica es de 2257 kJ ó 540 kcal.

Calor sensible del vapor o gas. ΔH_{V}
Una vez que todo el líquido es convertido a vapor, al calor asociado con el recalentamiento del vapor le denominamos calor sensible del vapor. El Calor específico para la zona de vapor saturado y recalentado, puede variar en función de la temperatura de recalentamiento desde 2 kJ/kg ºk para 373 ºK y hasta 2,9 kJ/kg ºk para temperaturas cercanas a 1000 ºK. El Calor Sensible se calculará aplicando el mismo procedimiento que en el caso anterior. Asumiendo que la temperatura de recalentamiento sea de 573 ºK, es decir 200 ºK sobre la temperatura de ebullición y que el Calor específico es de 2,09 kJ/kg ºk, el calor sensible asociado con esta del proceso de recalentamiento es de 418 kJ ó 100 kcal.

La entalpía es una propiedad termodinámica, denominada variable de estado, que depende de los estados iniciales y finales de un proceso energético que se realiza, independiente de los estados intermedios del proceso. Es equivalente al contenido energético de una sustancia y nos da la información que necesitamos para medir el potencial calórico del vapor en un punto termodinámico cualquiera, conocida la temperatura y presión atmosférica a la que se encuentra.

El Calor Total es la suma de los calores sensibles mas el latente para un punto termodinámico dado. $(\Sigma\Delta H_{L} + \Delta H_{L-v} + \Delta H_{V}) = \Delta H_{TOTAL}$

2.2 La Humedad del Vapor.

Cuando se produce el vapor, desde que comienza la ebullición del agua y aparece la primera molécula gaseosa, encontramos presencia de dos fases, la fase líquida compuesta por el agua que empieza a ebullir y la fase gaseosa o vapor, formada por las partículas de agua que se evaporan. Las dos fases permanecen presentes en todo el proceso del cambio de estado de líquido a

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

vapor, enriqueciéndose progresivamente la fase vapor y empobreciéndose la líquida, hasta que el 100 por ciento del agua se ha convertido en vapor. En los puntos intermedios de la etapa del proceso de ebullición, donde la composición de las dos fases va cambiando, decimos que estamos en presencia de vapor húmedo y que su calidad va en aumento hasta que todo es vapor, denominándolo bajo esa condición vapor saturado seco. El exceso de velocidad en la ebullición, la formación de espumas en la superficie de ebullición por alta concentración de sales y otras causas mecánicas, pueden hacer que el vapor producido al dejar el recipiente donde se genera, arrastre gotas de agua, lo que no es deseable a los efectos de las redes de transmisión, sus accesorios y equipos de utilización. Estos arrastres afectan la calida del vapor.

La calidad del vapor se determina por la relación entre la fracción de masa de gas (X_v) y la fracción de la masa de agua líquida ($X_F = 1- X_v$) que hay en la corriente de vapor húmedo. En la medida que la calidad varia, la entalpía del vapor y su volumen específico lo harán en igual proporción, pues son función de la concentración en cada una de las fases. Estas propiedades están relacionadas de la manera siguiente:

$\Delta H_{VAP\ HUMEDO} = \Delta H_{liq} * (1-X_v) + \Delta H_{vap\ seco} * X_v$

- Cuando $X_v = 0$, toda la masa el liquida y entonces $\Delta H_{VAP\ HUMEDO} = \Delta H_{LIQ}$
- Cuando sucede lo contrario, $X_v = 1$, estamos en presencia de vapor saturado seco y $\Delta H_{VAP\ HUMEDO} = \Delta H_{vap\ seco}$

Hagamos un ejemplo. Calcularemos la entalpía del Vapor Húmedo ($\Delta H_{VAP\ HUMEDO}$) en la zona de mezcla, etapa de ebullición. Si un kg de vapor saturado, con una calidad del 95% ($X_v = 0,95$), se encuentra a 10 atm de presión, la entalpía para el vapor seco, según las Tablas de Vapor es de 2771,3 kJ/kg (663 kcal/kg) y la del agua líquida de 774,0 kJ/kg (185,4 kcal/kg). La entalpía del Vapor Húmedo ($\Delta H_{VAP\ HUMEDO}$) en la zona de mezcla será:

$\Delta H_{VAP\ HUMEDO}$ = 774,0 kJ/kg (1-0,95) + 2771,3 kJ/kg (0,95) = 2671,0 kJ/kg

Como vemos este valor es menor que la entalpía del vapor seco a esa misma presión. Por lo que en la medida que el vapor tenga menor calidad, el contenido calórico disminuirá.

3. Diagrama de Mollier, Presión Entalpía y las Tablas de Vapor.

Conocido es que para cada estado energético del Vapor de Agua, existe una correlación de valores de presión, temperatura que se complementan con la calidad del vapor para determinar su contenido energético o entalpía. Por lo

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

que podemos evaluar las características energéticas del fluido térmico, en un estado determinado, si conocemos estos parámetros. Existen Tablas o Diagramas donde estos valores están registrados, los que son ampliamente utilizados para realizar los cálculos de la demanda y consumo de vapor. Hay Tablas para el estado de Vapor Saturado, donde la temperatura es suficiente para determinar la entalpía, y para el Vapor Recalentado, donde el contenido energético dependerá tanto de la temperatura como de la presión absoluta.

La Tablas y Diagrama Presión Entalpía se acompañan en los Anexos 1 y 2

4. Demanda y Consumo. Equipo y Sistema.

Demanda. Es igual a la **capacidad nominal instantánea** de consumo de calor de un equipo instalado o un sistema dado. En un sistema energético determinado, un equipo puede operar intermitentemente por la propia naturaleza de sus funciones, por lo que su consumo es también intermitente. Es más, puede que en una etapa del proceso, el equipo requiera más consumo energético que en otro instante de tiempo. Si graficamos el consumo de este equipo respecto al tiempo notaremos que habrán horas que el consumo es positivo y tiene un valor, horas que el consumo es cero y otras en que el consumo es un pico mayor que los demás valores. Esto muestra que el consumo del equipo es intermitente, variando en cantidad y en el tiempo.

Este equipo es alimentado por un sistema de redes y accesorios de regulación y control que tienen la función de proveerle la energía. Sea cual fuera la forma de la energía, estos periféricos tienen que ser capaz de cubrir la necesidad energética puntual del equipo, para que el pueda realizar el proceso dado. Si tomamos el consumo de energía para una hora promedio y no consideramos los picos de consumo, el diseño no será capaz de cubrir los requerimientos puntuales de energía.

Si en realidad el sistema se diseña y proyecta para dar respuesta total a la operación del equipo instalado, deberá diseñarse y proyectarse con capacidad suficiente para que el equipo consuma tanto calor como su demanda especifica o como la hemos denominado, **capacidad nominal instantánea**.

Consumo. Es la cantidad de calor por unidad de tiempo que se consume en un equipo para determinado proceso de calentamiento. Puede ser igual o menor que la demanda del equipo y de no existir restricciones en los sistemas periféricos que abastecen, pudiera llegar a ser mayor, de hecho, muchos equipos por su diseño mecánico, admiten un porciento dado de sobre capacidad.

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

Factor de Diversidad, probabilidad. En la práctica se mide la probabilidad de que un conjunto de equipos estén en un régimen de capacidad al ritmo de la sumatoria de sus demandas. Si bien el sistema debe asegurar la demanda de cada equipo, es cierto que cuando el sistema tiene que abastecer a un numero determinado de equipos a la vez, la probabilidad de que todos los equipos lo hagan al ritmo de su demanda es menor que cuando se abastece a uno solo. Este factor probabilistico se le conoce como **factor de diversidad** del sistema y es una función del número de equipos que estén conectados al sistema y de la suma de la demanda de todos los equipos. Se emplea este factor estadístico para decidir sobre la capacidad de la generación de energía y de la capacidad de transmisión, transformación y distribución energética. Una operación óptima es en la que la generación de energía puede seguir fielmente el ritmo del consumo en cualquier instante de tiempo. De esta manera el dimensionamiento y por supuesto los costos de inversión y de operación de los equipos de generación de calor y los que componen las redes de transmisión, transformación, distribución y los accesorios de estas, serán menores que si se considera la sumatoria de las demandas del equipamiento como el valor de diseño.

El Factor de Diversidad se obtiene bien de tablas estadísticas basadas en modelos empíricos o de las mediciones de consumo de energía realizadas en el punto principal de alimentación del sistema, determinaciones que deben ser lo suficientemente representativas para que sean tomadas en serio. Conocido es que la demanda es variable, para diferentes situaciones productivas, en diferentes épocas del año, días y horarios. Por lo cual las mediciones deberán abarcar el mayor numero de escenarios posibles para que el consumo pico sea representativo de la demanda de los equipos instalados.

En relación a las tablas empíricas existen diversidad de criterios, muchos específicos para cada uno de los portadores energéticos o fluidos que se transmiten, transforman, distribuyen y utilizan en los sistemas de energía.

Equipo consumidor de calor. Es el aparato donde el calor es la fuente energética para realizar un proceso de calentamiento dado.

Sistema. Es el conjunto de componentes que interconectan los equipos consumidores de calor y facilitan su generación, transporte, transformación, regulación y control. Está formado por equipos generadores y consumidores, equipos y sistemas de transformación, las redes de transmisión y distribución, los accesorios auxiliares, los instrumentos y medios de control y análisis, los materiales complementarios, equipos auxiliares, etc.

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

5. Mediciones a realizar en diferentes sistemas y equipos. Demanda y Consumo.

5.1 Equipamiento existente y en funcionamiento.

En el acápite anterior hemos mencionado que las principales mediciones a realizar son de presión y temperatura. Generalmente en los equipos y sistemas que consumen importantes cantidades de energía se instalan estos instrumentos indicativos y en ocasiones se registra y digitaliza la información. En consumidores significativos también se instalan medidores de flujo, de temperatura y presión, los que indican, registran, almacenan y transmiten la información para ser procesada en tiempo real.

Un trabajo de Auditoria requiere disponer de determinados instrumentos que complementen la instrumentación propia del sistema o resuelva su ausencia. La diversidad y complejidad de los instrumentos que se necesitan en una Auditoria dependerá del equipo o sistema a Auditar. Son tan diversos como termómetros portátiles digitales con sus sondas de inserción y superficiales, manómetros portátiles de bourdon o transductores de presión, higrómetros, anemómetros y otros más.

Antes de comenzar la Auditoria, debemos realizar una exploración de la documentación técnica archivada del equipamiento energético, entre ellas catálogos, manuales de operación, de mantenimiento, proyectos, etc., donde puede estar registrada la información, bien tomada de catálogos originales o bien empleada para el diseño del equipo o sistema. La consulta u utilización de estos datos es básica para complementar el inventario por equipo.

5.2 Diseño y Proyectos de nuevos equipos y Sistemas.

En esta variante será necesario tomar en cuenta todas las demandas de calor que ha concebido el contratante o consultar el Estudio de Ingeniería Básico del Proyecto o su Tarea Técnica. El trabajo de campo es casi nulo, a no ser para definir la ubicación o el trazado de los equipos generadores y consumidores de calor, las redes de distribución, la instalación de sus accesorios, etc.

Para cada punto donde se requiere el calor, hay que registrar información de la **demanda de energía y la calidad del vapor** que esta demanda tendrá asociada. Esta información de **demanda y calidad** dependerá de las exigencias del proceso donde se utilizará el vapor, principalmente la temperatura a la que se desarrollará el calentamiento, lo que definirá la calidad y características del Vapor. No es lo mismo utilizar vapor para calentamiento del aire para climatizar un local en invierno que para ser usado en Hornos de

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

Secado a temperaturas de 473 ºK. En el primer caso con vapor de baja calidad, saturado, húmedo, podemos satisfacer la necesidad, ya que no se requiere una temperatura elevada. En el segundo caso, para secar a 473 ºK estaremos obligados a disponer vapor seco y recalentado, para que su temperatura sobrepase los 473 ºK y físicamente podamos, por transferencia de calor, alcanzar en el interior del secador los 473 ºK requeridos.

La determinación de la demanda de vapor requiere de un trabajo al pie de la instalación y de búsqueda de información amplio, magnitud que dependerá de la complejidad del sistema que tenemos que auditar.

6. Formas de calcular de la energía que se necesita o la masa de vapor demandada.

a) Mediante el empleo de los parámetros temperatura y presión absoluta.
Si en un proceso dado donde el vapor es utilizado como fluido térmico para calentamiento, por lo que cede su contenido energético al proceso, se mide la temperatura y presión a la entrada y a la salida, con la ayuda de las Tablas o del Diagrama de Mollier, encontraremos que la diferencia es igual al contenido calórico del vapor (entalpía) cedido en el proceso más el calor perdido al medio.

b) Utilizando las propiedades termodinámicas y físicas del material, objetos y ambiente a calentar. Otra forma, si conocemos el material, producto, ambiente a calentar, en un equipo o sistema dado, y sus propiedades termodinámicas y físicas, podríamos calcular la energía que se requiere para un proceso de calentamiento dado. Este contenido calórico mas las pérdidas del proceso o sistemas serán igual al consumo de energía, que al dividirlo entre el contenido calórico del vapor nos da el consumo.

c) Conocido el flujo másico o volumétrico de consumo. Otra manera de obtener el consumo de vapor es que el equipamiento y sus catálogos nos den la información. Estas informaciones vienen a veces en forma de flujo másico (en unidades de masa/unidades de tiempo) y se reportan adjunto a las condiciones de presión y temperatura a que se corresponde. Si la información está en forma de flujo volumétrico (unidades de volumen/unidad de tiempo), puede transformarse a las unidades de masa/unidades de tiempo, determinando el volumen específico del vapor, dato que también puede ser obtenido de las Tablas o Diagrama de Mollier.

d) La forma más sencilla. Es que cada equipo consumidor registre en sus especificaciones la potencia térmica nominal o el consumo de energía térmica nominal, junto con otros parámetros de interés, como los parámetros de seguridad, como son la presión nominal y máxima de operación, los valores

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

prefijados a los sistemas de seguridad por sobrepresión si es el caso, las dimensiones de las superficies de intercambio, caídas de presión, dilataciones térmicas, etc.

7. Estimación estadística de los datos que se tomaran.

En la medida que nuestras mediciones sean tomadas con instrumentos de mayor precisión, procedamos con cuidado a seleccionemos el lugar correcto donde tomarlas y a la vez repitamos las mismas en ese punto para toda la gama de estados de operación y carga que puedan ocurrir en determinado equipo o sistema, durante un periodo de tiempo razonable, estaremos garantizando la confiabilidad de que el valor que al final tomemos para nuestros cálculos, sea representativo de la realidad que ocurre. Los procesos que se realizan en los sistemas térmicos, donde se genera, transforma, transporta, transfiere y se utiliza el calor, cambian dinámicamente en el espacio y tiempo. Quiero esto decir que en cada instante de tiempo y en cada punto del sistema hay cambios de temperatura y presión que diferencia el ahora, del antes y después. No estamos en presencia de proceso estáticos, donde todo permanece constante e independiente del tiempo y del espacio.

Sin embargo al final utilizaremos un valor y solo uno para definir que contenido energético tiene el fluido térmico en determinado punto. Entonces como hacer que este valor sea representativo de las diferentes variantes que realmente ocurren, conociendo las característica transciente de estos procesos?. Estadísticamente se resuelve este inconveniente repitiendo las mediciones y tomando las mismas bajo diferentes condiciones termodinámicas del fluido térmico, equipo o sistema. Mediante cualquier método estadístico analizamos cuales son los valores semejantes y aproximados, a los que denominamos representativos, su variabilidad y finalmente desechamos aquellos datos que salen fuera de las fronteras lógicas o intervalo de confianza de estas mediciones. Cuantas mediciones hacemos?, tantas como nivel de confianza que necesitemos alcanzar. Es muy importante tener en cuenta que nuestros cálculos deben ser representativos del proceso que ocurre por lo que las herramientas estadísticas nos aseguran el nivel de confianza de los mismos y la calidad profesional del trabajo.

8. Procedimiento para determinar el consumo de energía calórica conociendo los parámetros termodinámicos y el flujo de vapor.

Hemos visto que conocida la temperatura y presión del vapor, se obtiene la entalpía del vapor en ese punto. Esta determinación podemos hacerla mediante el empleo de las Tablas de Vapor o del Diagrama de Mollier. Los valores de la

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

entalpía se reportan en unidades de energía/masa ó energía/volumen (joule/kg ó m^3 ó kcal/ kg ó m^3, Termia/ kg ó m^3 o BTU/lb ó p^3).

Si es conocido el flujo de vapor, bien másico o volumétrico, se puede calcular la cantidad de energía que transporta el calor, multiplicando la entalpía por el flujo, en este caso las unidades se operaran de la manera siguiente:

(energía/masa ó volumen) * (masa ó volumen/tiempo) = energía/tiempo

La diferencia entre la entalpía en un punto del sistema y otro, nos informará si se gana o cede calor, si esta es positiva o negativa. Cuando el proceso es de calentamiento y se utiliza el vapor como fluido térmico, las diferencias negativas representan consumos + pérdidas de calor.

9. Procedimiento para determinar el consumo de calor que requiere ganar un proceso para calentar un material homogéneo o heterogéneo.

Primero es necesario que esté definido el proceso de calentamiento que se utilizará para el trabajo que se necesita, es decir, se conoce desde que punto termodinámico y hasta que otro se realizará el proceso. Como hemos definido anteriormente, cada punto de este proceso estará representado por parámetros termodinámicos de presión temperatura, entalpía, volumen específico y otros. El proceso nos brindará información sobre la forma del calentamiento y su dinámica, si ocurrirá sin o con cambio de estado (sólido a líquido, o líquido a gaseoso), el tiempo en que ocurrirá o se requiere que ocurra.

También se necesita conocer la naturaleza del material o los componentes que forman parte del mismo, para buscar la información de sus parámetros y especificaciones, tales como el calor específico, calor de fusión, calor de liquefacción o el calor latente, durante el cambio de líquido a gaseoso, ponderando estos parámetros en función del porciento de cada componente que forme el material. Para esto el auditor tiene que manejar conocimientos de cálculo termodinámicos y disponer de información que registre las especificaciones y parámetros termodinámicos de cada uno de los componentes. Múltiples e infinitas son las variantes que pueden encontrarse en cualquier proceso industrial pero una vez en mano los datos, el procedimiento es el mismo.

Siguiendo la historia del proceso de calentamiento, se determinarán los consumos de energía para las regiones donde ocurre el calentamiento sin cambio de estado y para aquellos puntos donde hay cambios de estado del material. Al final tendremos una sumatoria de consumos que representarían el

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

gasto para el calentamiento del material, sin considerar las pérdidas al exterior. En esta sumatoria se encontraran componentes de calor sensible y latentes, estos últimos representativos de los cambios de estado. Por lo general los fluidos térmicos se clasifican potencialmente por el contenido de calor latente que intercambia cuando entregan o reciben calor para cambiar su estado. El vapor se clasifica como un fluido térmico excelente por el alto valor del calor que puede transportar una corriente recalentada, donde por cada grado de temperatura sin cambio de estado o calor sensible del vapor entrega 2,1 kJ/kg ó 0,5 kcal/kg y por cada kg condensado a temperatura constante unos 2215 kJ/kg ó 530 kcal/kg.

Las pérdidas de calor al exterior dependerán de las variantes del proceso y de las características constructivas y mecánicas del equipo donde se transferirá el calor. El calentamiento del material podrá ser de manera directa, es decir, el vapor en contacto directo con el material o mediante un proceso de transferencia de calor indirecto, a través de superficies de contacto comunes entre el material y el vapor, siendo esta la forma más empleada por los equipos de calentamiento, tanto para uso industrial, comercial, domésticos, etc.

Una vez calculada la sumatoria del consumo de calor, en unidades de energía/tiempo, y determinadas las pérdidas de calor del proceso y el equipamiento donde se realizará, en las mismas unidades, tendremos el consumo de calor que se demandará en unidades energía/tiempo. La sumatoria de estas demandas y su tratamiento posterior estadístico, definirán la demanda y con ello la capacidad de generación, consumo de energía a contratar para generar el calor que demanda el sistema, en unidades de energía/tiempo, dimensionamiento de redes de distribución, capacidades de almacenamiento, de equipos auxiliares, de componentes, etc.

Como está definida la temperatura a la cual debe ser calentado el material, tendremos fijada una condición y es que el vapor o fluido térmico debe estar a una temperatura superior a este valor. Por lo que estará definido si el vapor que el proceso demandará es vapor saturado o recalentado y tendremos una idea de en que zona de recalentamiento deberá encontrarse. Ambos parámetros complementaran la información que necesitamos para definir claramente la Demanda de Vapor.

El valor de la Demanda de Vapor se emplea en diferentes propósitos:

a) Selección del equipamiento para realizar los procesos. Con la información anterior, podremos analizar que equipamiento existente en el mercado que puede ajustarse a los requerimientos del proceso y del material a manipular.

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

La selección se hace tomando la información de las características de presión y temperatura del vapor y el consumo de energía/tiempo que demanda el análisis anterior, así como las características específicas del o los materiales a calentar. Con el consumo de energía, la temperatura y presión podremos determinar la entalpía del vapor, lo que dividido por el valor de la demanda nos dará el flujo másico o volumétrico de vapor, sin contar las perdidas. A la vez el consumo de energía del proceso en unidades energía/tiempo, así como conocida las propiedades del vapor, nos facilita estimar la superficie de transferencia de calor y con ello la complejidad o capacidad del equipo de intercambio. La presión a la que ocurrirá el proceso nos facilita determinar la complejidad mecánica, el tipo de material a emplear en la construcción de equipamiento y los elementos de seguridad. El tipo de material a calentar y su manipulación son elementos para definir la forma, capacidad de almacenamiento del material si los materiales constructivos tiene que ser especiales o estándares. Con esta información se puede seleccionar el equipo existente en el mercado.

Una vez definido el equipo en capacidad energética, tipo y formas constructivas, tendremos sus especificaciones y entre ellas las pérdidas de calor que admiten. De no estar disponible la información de las perdidas, podríamos estar calculándolas, una vez conocida los parámetros del vapor a la entrada, y el proceso de calentamiento que se desarrollará, el que a su vez definirá las propiedades y condiciones de salida del vapor. Con esta información es posible estimar las perdidas y sumarlas a nuestro consumo de calor anterior. Así tendremos la demanda de vapor para este proceso y equipo de intercambio.

b) Para casos específicos, que equipos habrá que diseñar y proyectar para el desarrollo del proceso.

De no encontrarse disponible en el mercado un equipo apropiado para un proceso particular, los elementos anteriores nos facilitaran la información básica para elaborar la Tarea Técnica y el Proyecto Básico del diseño y proyección posterior, tarea que deberá ser contratada o realizada por personal especializado.

Para el propósito de calcular la demanda de vapor será suficiente con conocer el consumo energético que demandará el proceso en sí, estimando unas pérdidas asociadas, las que dependerán del tipo de proceso a desarrollar y de la experiencia práctica del Auditor.

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

II. Procedimientos a seguir. Ejemplos, Cálculos, Registros.

1. Ejemplos, cálculos y aplicaciones

1.1 Determinar la Demanda de Vapor para el calentamiento indirecto de un material homogéneo ó heterogéneo:

Se trata de calentar tiras de gomas para su reutilización. Este proceso de calentamiento se realiza en un equipo por contacto indirecto o de doble pared, en forma de baches. Este equipo por diseño tiene especificado que se pierde el 10 porciento del calor total. Las tiras se calentaran desde la temperatura ambiente de 303 ºK (30 ºC) hasta 423 ºK (150 ºC). Se cuenta con vapor saturado seco a una temperatura de 453 ºK (180 ºC) a la entrada del equipo de calentamiento y estimamos que agotaremos energéticamente este vapor para que salga del equipo agua condensada a una temperatura de 90 ºC. Las cantidades diarias de tiras de gomas son de 7 TM/día

En textos de la especialidad (Hand Book) se puede encontrar el calor específico para el caucho, equivalente a 1,05 kJ/kg (0,25 kcal/kg).

El calor requerido para el calentamiento de la goma es de:

Q_{GOMA} **=** 7000 Kg/día*****1,05 kJ/kg (423-303) = 882 000 kJ/día

Como hay perdidas al exterior, 10 % según diseño del equipo, el calor a suministrar por el vapor será de 1,1*882 000 kJ/día = 970200 kJ/día

El contenido calórico del vapor saturado seco a 453 ºK (180 ºC) es de 2770 kJ/kg y del agua a 363 ºK (90 ºC) es de 376 kJ/kg. La diferencia 1894 kJ/kg es el calor que cada kg de vapor entregará al proceso de calentamiento al disminuir su temperatura desde 453 a 363 ºK por lo que se condensará totalmente, cediendo su calor latente de condensación además de la componente sensible.

ΔH_V **=** (2270-363) kJ/kg = 1894 kJ/kg

Si ahora se divide Q_{GOMA} anterior por el ΔH_V de vapor saturado seco, tendremos el **consumo de vapor diario**.

$G_{\text{VAP SAT SECA A 180 ºC}}$ = (970200 kJ/día) / (1894 kJ/kg) = 512,24 Kg/día

La Demanda de Vapor se calcula dividiendo este valor por las horas nominales/día que en realidad ocurre el proceso de calentamiento. Si estos

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

baches ocurren en periodos de 1 hora y en cada bache se procesan 1,4 tonelada, tendremos que en el día habrá 5 procesos de calentamiento de 1 hora. Dividiendo el consumo de vapor entre 5 obtendremos la demanda, que no es más que el consumo instantáneo.

D VAP SAT SECA A 180 ºC = (512,24 Kg/día) / (5h/día) = 102,4 kg/h

A los efectos del diseño y proyecto del sistema, redes, accesorios, recuperación del condensado, selección del generador de vapor, etc. el valor de la demanda es el que se tendrá en cuenta.

A efectos de conocer el combustible que se utiliza para esta producción, y el ahorro que podríamos obtener de realizar mejoras de eficiencia, el valor del consumo diario es el que nos interesará.

Si además de calentar las tiras de gomas, junto con ellas se requiere calentar una sal que le proporcione al caucho ciertas propiedades elásticas, tendremos que tener en cuenta el peso de este material y su calor especifico, para agregarlo a nuestros cálculos de capacidad calórica. Se harán estos cálculos para cada uno de los materiales que estén presentes en este proceso.

1.2 Determinar la Demanda de Vapor para el calentamiento directo del agua:

Un volumen de agua de 1570 l contenido en un tanque de acero común abierto de 2 m de diámetro y 1 metro de altura, colocado sobre la superficie del terreno y sin aislamiento térmico, se requiere calentar a 60 ºC para uso en el lavado de una Planta de Aceite, donde se utiliza una cantidad de 500 l/h o menor. La temperatura del agua de reposición es de 30 ºC. En la tubería de reposición se encuentra una válvula automática que controla el flujo de reposición.

El calentamiento del agua se hará por contacto directo con vapor de baja calidad, que retorna de la Planta de Aceite después de haber sido agotado parcialmente en varios equipos energéticos. El vapor húmedo llega a la entrada del tanque de agua a 2 atm de presión y con una calidad del 45 %.

Calculemos la demanda de vapor húmedo para esta necesidad.

Observemos que:
- El contacto es directo, toda la energía que entregue el vapor pasara al agua.
- Salen del tanque 500 l/h y entra la misma cantidad. Ese es el flujo a calentar con el vapor húmedo.

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

- Además del gasto de vapor para calentar los 500 l/h, tendremos un consumo asociado a las pérdidas de calor al medio exterior. Este tanque está destapado, sin aislar y sobre el terreno, radiando calor al medio y perdiéndose por evaporación.
- Disponemos de vapor húmedo a 2 atm, con $\Delta H_{\textbf{vap seco}}$ = 2700 kJ/kg ó 645,6 Kcal/kg y $\Delta H_{\textbf{LIQ}}$ = 500,7 kJ/kg ó 119,8 Kcal/kg
- Las pérdidas de Calor al exterior (no es el objetivo de este Instructivo pero por su importancia se trataran ligeramente en este ejemplo) principalmente son de dos tipos.
  a) Superficiales, a través de la pared de acero del tanque al aire ambiente. La temperatura superficial es de 60 ºC.
  b) y por la evaporación del agua a 60 ºC en la superficie líquida.
  Las primeras pérdidas se calculan a través del Coeficiente global de transferencia de calor y para las condiciones que aquí ocurren, régimen laminar, temperatura ambiente asumida de 25 ºC. Este valor aproximado es de 20 kcal/h-m^2-ºC.
  La segunda, y según nuestra experiencia acumulada, para una superficie en calma, sin agitación y de agua limpia, son aproximadamente 1100 kcal/h-m^2

Con esta información procederemos a realizar nuestros cálculos.

Primero calculemos la energía que disponemos en el vapor húmedo.

$\Delta H_{\textbf{VAP HUMEDO}} = \Delta H_{\textbf{liq}} * (1 - X_{\textbf{v}}) + \Delta H_{\textbf{vap seco}} * X_{\textbf{v}}$

$\Delta H_{\textbf{VAP HUMEDO}} = 500,7 * (1-0,45) + 2700 * 0,45 = 1490$ kJ/kg ó 356,4 Kcal/kg

Segundo, calculemos la energía que se requiere para el calentamiento del agua, que por ser agua a 60 ºC 500 l/ ~ 500 kg/h

$Q_{\textbf{AGUA}}$ = (500kgl/h)(1 kcal/kgºC)(60-30) ºC = 15000 kcal/h ó 62700 kj/kg
Las pérdidas por la pared de acero del tanque tiene un valor de:
$Q_{\textbf{PÉRDIDAS PARED}}$ = (1*3,1416 m^2)(20 kcal/h-m^2-ºC)(60 ºC)= 3770 kcal/h ó 15758 kj/kg
Las pérdidas por evaporación en la superficie abierta al ambiente.
$Q_{\textbf{PÉRDIDAS SUPERFICIE}}$ = (2*0,785) m^2*(1100 Kcal/h-m^2) = 1727 kcal/h ó 7218 kj/kg

El Calor Total que necesitamos para el calentamiento del agua a 60 ºC es de:

$Q_{\textbf{TOTAL}} = Q_{\textbf{AGUA}} + Q_{\textbf{PÉRDIDAS PARED}} + Q_{\textbf{PÉRDIDAS SUPERFICIE}}$ = (15000 +3770 + 1727) kcal/h = 20497 kcal/h

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

Nota del Autor: Las pérdidas de eficiencia en este proceso producirán un sobre consumo del 27% sobre la energía útil que se requiere.

La Demanda de Vapor entonces es de:

D VAPOR HÚMEDO A 2 ATM.= 20497 kcal/h/ 356,4 Kcal/kg = 57,51 kg/h

1.3 Determinar la Demanda de Vapor para el calentamiento y la fusión de una Sustancia Acumuladora de Energía Térmica.

Breve introducción de estas sustancias y su utilidad.
Como hemos leído anteriormente, el calor latente de cambio de estado de líquido a vapor para el agua que ocurre a una temperatura constante de 373 ºK es de 2257 kJ/kg (ó 540 kcal/kg ó 972 btu/lb) y de ahí la ventaja del vapor como fluido transportador de energía, por la cantidad de calor que este cede cuando se condensa.

Otras sustancias tienen propiedades térmicas similares y algunas cambian de estado sólido al líquido a temperaturas cercanas a la ambiente, unas por encima del valor ambiental, otras por debajo del mismo. Estas sustancias son útiles para Acumular Energía Térmica. La propiedad de cambiar su estado en zonas cercanas a la ambiente, sumadas con otras cualidades como si el calor latente es significativo, es no son sustancias nocivas o corrosivas, si no son muy viscosas y sea muy costoso su manipulación, etc. la hacen atractivas para almacenar energía calórica o frigorías, según el caso. En los sistemas donde se capte calor de la energía solar, las sustancias que se funden a temperaturas sobre y cercanas a la ambiente pudieran almacenar calorías durante las horas soleadas. En las horas de sombra o la noche, cuando no hay sol, al circular el agua fría por las sustancias fundidas, estas cederán su calor latente al agua, que a su vez se calienta, entregando así el calor almacenado en las mismas durante las horas soleadas.

La acumulación de frío en los sistemas de climatización centralizados, es otro de los usos de estas sustancias. La sustancia que se solidifique a una temperatura inferior pero cercana a la ambiente y cumpla con el resto de los requisitos técnicos, es útil para almacenar frigorías, cuando hay excedentes durante las horas valle. Estas que están en estado líquido a temperatura ambiente, se solidifican cuan el agua fría excedente le roba calor. Una vez sólidas, al invertirse el ciclo en las horas punta y pasar agua caliente a través de estas sustancias, se licuara, robando al agua tanto calor como el equivalente a su calor de licuefacción, enfriándola. Así se pueden cubrir horas pico con las horas de excedente de capacidad o valles de consumo

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

Entre estas sustancias se encuentra diferentes tipos de sales y algunos líquidos como polialcoles.

En nuestro caso de ejemplo nos referiremos a que pudiéramos continuar aprovechando parte del calor excedente de la corriente de vapor agotada del caso ejemplo 1,2 para almacenar calor y reutilizarlo durante las horas en que la Planta de Aceite estará fuera de servicio y que no dispondremos de vapor agotado. En el calentamiento directo de agua la demanda calculada fue de 57,51 kg/h.

En la Planta existe un Acumulador de Calor, aislado térmicamente, que dispone en su interior de 350 tubos de 1 1/2 ' de diámetro y 3,3 ' de alto, cada uno lleno de una Sal $Na_2\ CO_3.10H_2O$ cuyas características son:

Nota del Autor: Utilicemos en este caso ejemplo las Unidades Inglesas

Punto de Fusión	ºF:	90 – 97
Calor Latente Fusión	btu/lb:	106
Densidad	lb/pie^3:	90

Cantidad de Sal en el Acumulador

$M_{SAL} = (350)\ 0{,}785\ (1{,}5/12)^2\ (3{,}3\ pie)\ (90\ lb/pie^3) = 1275\ lb$

Calor requerido para fundir la sal a una temperatura de 97 ºF

$Q_{SAL} = 1275\ lb * 106\ btu/lb = 135150\ btu.$

Por estar aislado totalmente consideramos las pérdidas de calor al exterior pequeñas y las despreciamos.

Si el proceso de fusión se realiza en 1 hora, el calor requerido es de 135150 btu/h y la Demanda de Vapor Húmedo es de:

$D_{VAPOR\ HÚMEDO\ A\ 2\ ATM.} = 135150\ btu/\ 972\ btu/lb = 139\ lb/h\ (63{,}2\ kg/h)$

Si el proceso de acumulación de calor lo realizamos e 2 horas, la demanda es la mitad y así sucesivamente.

1.4 Determinar la Demanda de Vapor para el Calentamiento de Aire.

Este caso de estudio se corresponde con un cálculo de climatización normal, donde se requiere climatizar un local. No seguiremos todos los pasos de un calculo de este tipo, nos ocuparemos solamente del calentamiento de un volumen de aire dado, partiendo de una temperatura exterior de -2 ºC del aire seco y hasta una temperatura interior de confort de 20 ºC, considerando que debemos elevar la humedad del local a 50%, por lo que el proceso de

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

calentamiento abarcaran el calor sensible del volumen de aire y el calor latente para llevar su humedad desde 0 a 50%.

En esos cálculos se utilizan las Tablas Psicometrías, las que nos brindan la entalpía del aire en equilibrio con el vapor de agua para las diferentes temperaturas ambiente.

Cantidad de Calor a suministrarle al aire.

$\Delta H_{\text{AIRE}} = \Delta H_{\text{AIRE A 20ºC y 50\% HR}} - \Delta H_{\text{AIRE A -2 ºC y 0\% HR}} = 13,8 - 4,2 = 9,6$ kcal/kg

Calculamos la demanda de vapor por cada 1000 kg de aire que se requiera:

$D_{\text{VAPOR HÚMEDO A 2 ATM.}} = (9,6 \text{ kcal/kg}_{\text{AIRE}} / 540 \text{ kcal/kg}_{\text{VAP 2 ATM}}) * 1000 =$

$D_{\text{VAPOR HÚMEDO A 2 ATM.}} = 17,77 \text{ kg/kg}_{\text{AIRE}}$

2. Procedimientos a seguir. Diagramas y Registro de la información.

a) Diagrama del sistema

En el Anexo 3 se ha incorporado un **Diagrama de Flujo** para el fluido térmico vapor, perteneciente a una Unidad de Destilación donde el calor que transporta el Xileno desprendido es aprovechado en un Evaporador para generar vapor saturado a baja presión, el que a su vez es agotado en una turbina de condensación donde se transforma en sucesivas etapas, la energía calórica en energía eléctrica.

La utilidad del Diagrama de Flujo es evidente. En el podemos anotar los puntos de interés para nuestros cálculos de la Demanda de Vapor los que nos facilitará poder ubicar en cada punto las variables termodinámicas que se requieren en los cálculos ya vistos. En el ejemplo del Anexo 3, la generación de 6,6 MW eléctrico requiere de 76 t/h de vapor a 2,42 atm abs. Y 130 ºC que son las condiciones de salida del evaporador. Esta fuente energética no se transforma totalmente en electricidad, sale de la turbina en forma de vapor húmedo, por lo que en ese punto hay que determinar la energía de salida. La diferencia entre la entrada y salida, es la energía que se convierte en electricidad más las perdidas propias de este tipo de máquina térmica. El diagrama nos facilita la operación.

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

Los diagramas pueden ser muy complejos pero si se estructura en secciones, son muy flexibles y fáciles de construir. Una vez que las secciones han sido resueltas, es fácil su integración para representar el total del sistema. Cada diagrama debe tener detallada una Tabla donde en cada punto se registre las condiciones de presión, temperatura, calidad y la energía calórica del fluido en ese punto.

b) Formato de Tablas Dinámicas para registrar las informaciones primarias.

Los Anexos 4 y 5 tienen las tablas de registro de la información.

La Tabla Registro Primario es donde se irán anotando la información de todos los equipos que serán conectados a la red de vapor. La información de cómo proceder se explica a continuación:

Columna No: Los equipos se identificaran por un número de orden en el Registro Primario
Descripción: Se identificará la función del equipo mediante su descripción.
Las columnas sobre el bloque Condiciones de Trabajo se refieren a los parámetros de operación (presión, temperatura y calidad del vapor) que debe tener el vapor a la entrada y a la salida del equipo. En ocasiones no se fijan las condiciones de salida del vapor, pero se informa cual es su potencia calórica o la demanda de vapor. De ser así, se puede calcular las condiciones de salida del vapor ya que están fijadas la entrada y la potencia calórica.
P Abs: Es la presión manométrica más la atmosférica
Temperatura: Es la temperatura del Vapor a la entrada del equipo
Calidad: La relación entre la fracción en peso de la masa de vapor y la masa de líquido del vapor húmedo.

Los parámetros anteriores son especificados por el fabricante del equipo o el proyectista. Si no están disponibles pueden ser medidos en la práctica cuando los equipos están instalados y funcionando, utilizando los instrumentos de diagnóstico apropiados.

Entalpía: Contenido calórico del vapor que se obtiene de las Tablas del Vapor, del Diagrama de Mollier conocida la presión, temperatura y calidad del vapor. En caso de que el vapor sea húmedo se calcula su entalpía como la sumatoria ponderada de las entalpías del vapor y el líquido a esa temperatura por la fracción en peso del vapor y del líquido correspondientes. Ver los casos de estudio anteriores.

Veamos el bloque de columnas Cálculo de la Demanda.

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

Potencia Nominal: Información que nos brinda el fabricante del equipo o que ha sido calculada basándonos en datos de su operación.
ΔH en el vapor: La diferencia de entalpía entre la entrada y la salida del equipo. Hay que tener presente que para el calculo real de la demanda hay que tener en cuenta el valor energético de la corriente de vapor o condensado que sale del equipo consumidor. Este contenido energético no se convierte en calor en el equipo consumidor. En esta diferencia si están incluidas, además del calor útil usado en el equipo para calentamiento, las perdidas que por ineficiencias o propias de este tipo de proceso se escapan al ambiente.
Demanda de Vapor: Conocida la potencia nominal del equipo y la energía por unidad de masa que entrega el vapor, se calcula la masa de vapor que demanda cada uno de los equipos. Recordemos que esta es la máxima capacidad de asimilar energía de cada equipo y que la sumatoria nos dará el pico mayor de demanda.

La Tabla Resumen de la Demanda de Vapor es donde realizamos el inventario de todos los equipos existentes, agrupándolos por equipos iguales, los que están conectados, los que realmente operan y las horas que operan.
En esta Tabla a la vez podremos calcular el consumo diario de vapor al multiplicar la demanda por las horas reales de operación para un día.
Revisemos cada Bloque de Columnas de esta Tabla:

Antes de detallar cada bloque definiremos como se registraran los datos por **Filas** en esta Tabla. En cada fila se agruparan los equipos con igual Uso Final pero en conjuntos donde la demanda sea también igual. Por eso para un mismo tipo de equipo, ejemplo Calentador de Agua, que tienen el mismo Uso Final, Calentamiento de Agua, puede haber varios equipos de diferentes demandas, en grupos diferentes. Se registraran en filas independientes cada grupo de Calentadores que coincidan sus demandas.

Parámetros: Tiene dos columnas, **Presión y Temperatura**, ambas se corresponderán con iguales columnas en la Tabla Registro Primario. En esta Tabla se destacaran los valores máximos de presión y temperatura, parámetros que nos guiaran para tomar decisiones, bien cuando auditamos y tenemos que ajustar el régimen de operación de los equipos que generan energía y forman el sistema de redes transmisoras, distribuidoras, reguladores de presión, etc. o bien cuando realizamos el proyecto de un nuevo sistema y tenemos que definir la potencia a instalar de generación de vapor y del resto del sistema, sus capacidades y bajo que condiciones de presión y temperatura.

Equipo: Este bloque tiene dos columnas, **Uso Final y Demanda**. La columna Uso Final es donde identificamos cual es el trabajo útil que realizará el conjunto

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

de equipos, por ejemplo marmitas, (cocción de alimentos), calentador de aire (climatización), calentador de agua (calentamiento de agua).

La segunda columna es la demanda que tiene el equipo, si son varios de igual demanda o es uno solo. Se agruparan en Filas, según su demanda como antes explicamos. Es decir que si tenemos 4 unidades de marmitas con demanda A, de 30 000 kcal/h y 2 unidades de marmitas con una demanda B de 20 000 kcal/h, en una fila anotaremos los datos de A y en la siguiente los datos de B.

Equipos: Estas 3 columnas definen cuantos equipos están instalados, de ellos cuantos operan y cuantas horas diarias lo hacen. Hay diferentes variantes y criterios que caracterizan a cada sistema o proceso. Hay servicios que requieren equipos instalados en el sistema que son reserva de capacidad, que entran en servicio solo cuando otro sale de operación, bien para cubrir un imprevisto, o por cubrir un mantenimiento programado. Esto es debido a que el proceso demanda una capacidad constante, si no se garantiza ocurrirán afectaciones costosas y que hay que impedir. Por ello es factible que estén instalados más equipos que los que realmente operan. En la columna **Instalados** se anotan todos los equipos que están conectados al sistema, en la columna **Operan** se registran los que demandan vapor realmente, y en la columna **Horas Opera** las horas diarias que en un día común estos equipos están funcionando.

El bloque Demanda lo forman dos columnas que contienen productos de dos columnas anteriores. Por cada Fila de equipos de igual característica, el producto de la **Demanda** por el número de **Equipos Instalados** nos da el resultado de la **Demanda Instalada,** en kg/h. Con un procedimiento similar, si hallamos el producto de la **Demanda** por el numero de equipos que **Operan** determinaremos la Demanda Real, en kg/h. La sumatoria de esta Tabla, para todos los equipos instalados y los que operan, nos dará la **Demanda de Vapor Instalada y Real del Sistema**. Este es un valor puntual, sus unidades son por unidad de tiempo, en la Tabla Resumen se ha utilizado (kg/h) pero pudiéramos haberla calculado en unidades de energía/tiempo (kJ, Kw. ó kcal sobre hora).

Complementado nuestra Tabla, para aprovechar la riqueza de esta información, podremos calcular el consumo real, solo tendremos que hallar el producto de la **Demanda Real** por las **Horas que Opera** en el día**.** El producto nos da la información del **Consumo Real Día** y sus unidades son Kg/día.

El objetivo de disponer de un método gráfico para realizar el trabajo de campo, (donde se plasme el actual o el futuro sistema a proyectar en un Diagrama de Flujo que nos facilite ubicar el equipamiento, los parámetros que caracterizan a los equipos, los valores de las corrientes energéticas en las entradas y salidas

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

de cada uno, identificar las direcciones del flujo, los puntos de medición de presión y temperatura), es que nos amplia la información visual y elemental para tomar decisiones tanto a la hora de buscar soluciones para mejoras del sistema como, en caso de que estemos proyectando, seleccionar correctamente las características técnicas de los componentes del futuro sistema.

Si esta información gráfica paralelamente la vamos ordenando, a través de un formato de registros de información, (Tabla Registro Primario y Tabla Resumen) al final tendremos una poderosa herramienta en nuestras manos que será la base de trabajos de ingeniería de optimización o de proyección de este tipo de sistema energético.



Sobre el Autor: René Ruano Domínguez tiene mas de 30 años de experiencia en actuaciones en sistemas y equipos energéticos, tanto en los que utilizan energía fósil como fuentes renovables. Se inició como operador, posteriormente tecnólogo y Gerente Técnico en la Industria de Conversión y Refinación de los Combustibles. Ha sido fundador y Gerente Técnico de varios Equipos de Ingeniería Energética dirigidos al Proyecto, Montaje y los Servicios Técnicos en los Sistemas de Calor y Frío, abarcando la generación, distribución y uso del vapor y el agua caliente en mediana y pequeñas instalaciones, hasta 10 bar de presión; y en los sistemas de Frío las bajas temperaturas (refrigeración y producción de hielo industrial), medianas temperaturas (conservación) y altas temperaturas (Aire Acondicionado) para instalaciones industriales y comerciales. Ha realizado múltiples actuaciones en proyectos, ejecución y servicios de Ingeniería Energética General.

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

III. Anexos

Anexo 1 Tablas de Vapor
Anexo 2 Diagrama Presión Entalpía
Anexo 3 Diagrama de Flujo
Anexo 4 Registro Información Primaria par los Cálculos
Anexo 5 Resumen de la Demanda de Vapor

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

TABLA DE VAPOR

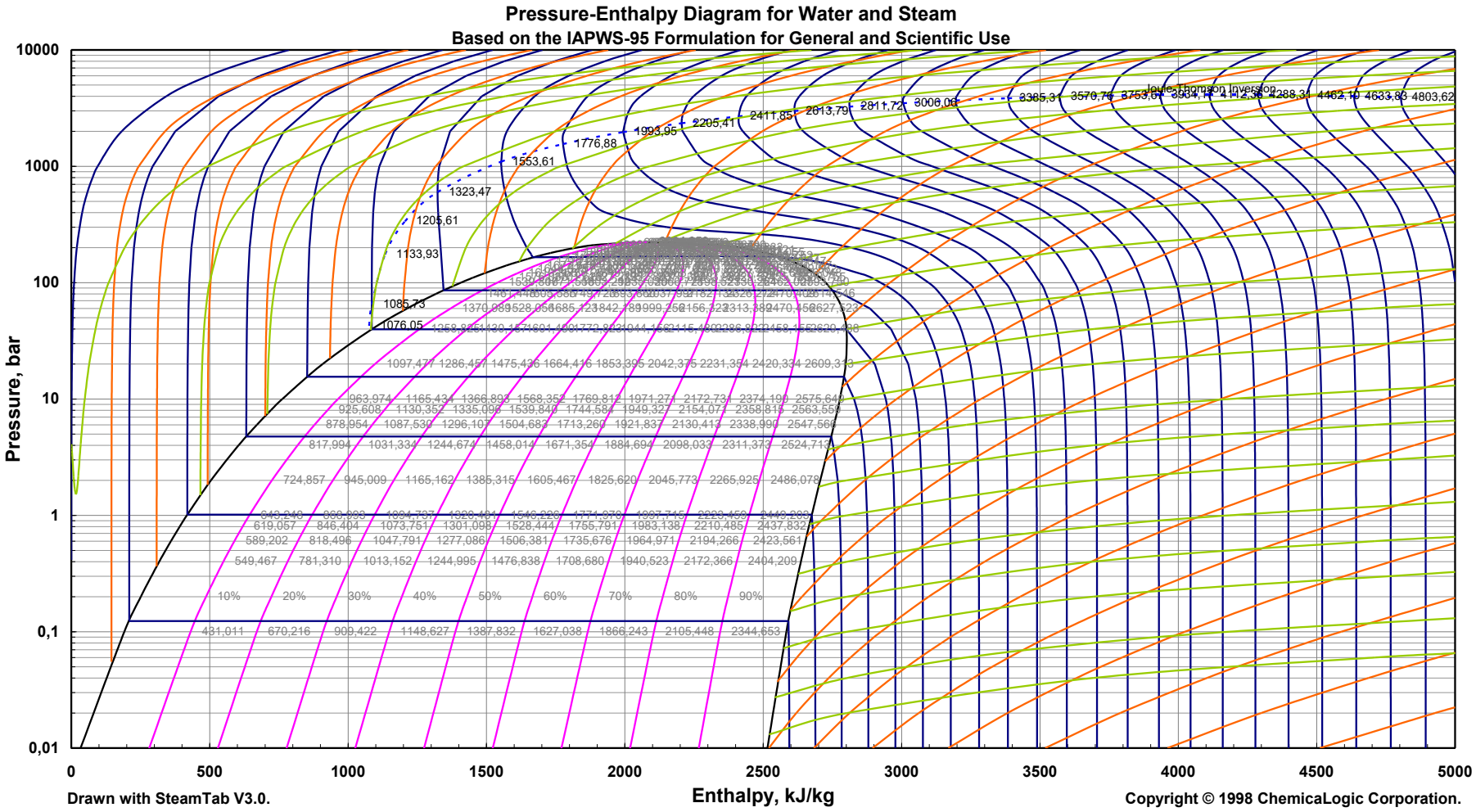
ANEXO 1 — **PROPIEDADES DEL VAPOR DE AGUA**

PRES			SATURACION		TEMPERATURAS ºC															
ABS	TEMP		LIQ	VAPOR	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	275	300	325	350	375
kg/cm²	ºC		kcal/kg	kcal/kg																
1	99,0	H	99,1	638,4	663,3	668,0	672,7	677,4	682,0	686,7	691,3	695,9	700,5	705,1	709,6	721,0	732,4	743,8	755,1	766,4
		V	0,001	1,691	1,932	1,98	2,027	2,075	2,122	2,169	2,217	2,264	2,312	2,395	2,407	2,525	2,644	2,762	2,881	2,999
2	119,5	H	119,8	645,6	661,5	666,6	671,5	676,5	681,4	686,3	691,1	696,0	700,8	705,6	710,4	722,3	734,2	746,0	757,8	769,6
		V	0,0011	0,883	0,956	0,98	1,003	1,027	1,065	1,075	1,099	1,122	1,146	1,170	1,194	1,253	1,313	1,372	1,432	1,491
3	132,9	H	133,4	650,1	659,4	664,7	669,9	675	680,1	685,1	690,1	695,0	700,0	704,9	709,8	721,9	734,0	746,1	758,1	770,0
		V	0,0011	0,604	0,632	0,647	0,663	0,679	0,695	0,711	0,727	0,743	0,759	0,775	0,791	0,831	0,871	0,910	0,950	0,990
4	143,0	H	143,7	653,4	657,4	662,9	668,2	673,5	678,7	683,8	688,9	694,0	699,0	704,0	709,0	721,3	733,5	745,7	757,8	769,9
		V	0,0011	0,461	0,47	0,482	0,494	0,506	0,518	0,53	0,542	0,554	0,566	0,578	0,590	0,620	0,650	0,680	0,710	0,740
5	151,2	H	152,1	655,9		661	666,5	672	677,3	682,5	687,7	692,9	698,0	703,0	708,0	720,5	732,9	745,1	757,3	769,5
		V	0,0011	0,374		0,383	0,392	0,402	0,412	0,421	0,431	0,441	0,450	0,460	0,470	0,494	0,518	0,542	0,566	0,591
6	158,1	H	159,3	657,8		659	664,7	670,3	675,8	681,2	686,5	691,7	696,9	702,0	707,1	719,6	732,1	744,4	756,7	769,0
		V	0,0011	0,415		0,317	0,325	0,333	0,341	0,349	0,357	0,365	0,373	0,382	0,390	0,410	0,430	0,451	0,471	0,491
7	164,1	H	165,5	659,5			663	668,8	674,5	680	685,3	690,6	695,9	701,1	706,2	718,9	731,5	743,9	756,3	768,5
		V	0,0011	0,272			0,276	0,283	0,29	0,297	0,304	0,311	0,318	0,325	0,332	0,350	0,368	0,385	0,403	0,42
8	169,6	H	171,3	660,9			661,1	667,1	672,9	678,6	684,1	689,5	694,8	700,0	705,2	718,1	730,7	743,2	755,6	768,0
		V	0,0011	0,24			0,24	0,246	0,253	0,259	0,265	0,271	0,277	0,283	0,290	0,305	0,320	0,336	0,351	0,367
9	174,5	H	176,4	662,1				665,5	671,5	677,3	682,9	688,4	693,8	699,1	704,4	717,3	730,1	742,6	755,1	767,5
		V	0,0011	0,215				0,218	0,223	0,229	0,234	0,240	0,245	0,251	0,256	0,270	0,284	0,298	0,312	0,325
10	179,0	H	181,1	663,2				663,8	670	675,9	681,7	687,3	692,8	698,2	703,5	716,6	729,4	742,1	754,6	767,1
		V	0,0011	0,194				0,195	0,2	0,205	0,21	0,215	0,220	0,225	0,230	0,242	0,255	0,267	0,280	0,292
11	183,1	H	185,5	664,1					668,5	674,6	680,5	686,2	691,8	697,2	702,6	715,8	728,8	741,5	754,1	766,6
		V	0,0011	0,177					0,18	0,185	0,19	0,194	0,199	0,203	0,208	0,219	0,231	0,242	0,254	0,265
12	187,1	H	189,7	664,9					666,8	673,1	679,1	685,0	690,7	696,2	701,7	715,0	728,1	740,9	753,5	766,1
		V	0,0011	0,163					0,164	0,169	0,173	0,177	0,181	0,185	0,190	0,200	0,211	0,221	0,232	0,242
13	190,7	H	193,6	665,6						671,6	677,8	683,8	689,6	695,2	700,8	714,3	727,4	740,5	753,0	765,6
		V	0,0011	0,151						0,155	0,159	0,163	0,167	0,170	0,174	0,184	0,194	0,294	0,214	0,223
14	194,1	H	197,2	666,2						670,1	676,5	682,6	688,5	694,2	699,9	713,5	726,7	739,7	752,5	765,1
		V	0,0012	0,141						0,143	0,147	0,150	0,154	0,158	0,161	0,170	0,180	0,189	0,198	0,207
15	197,3	H	200,6	666,8						668,6	675,2	681,4	687,5	693,3	699,0	712,8	726,1	739,2	752,0	764,7
		V	0,0012	0,132						0,133	0,136	0,140	0,143	0,146	0,150	0,158	0,167	0,176	0,184	0,193

H=Entalpía kcal/kg
V=Vol. Específico m^3/kg

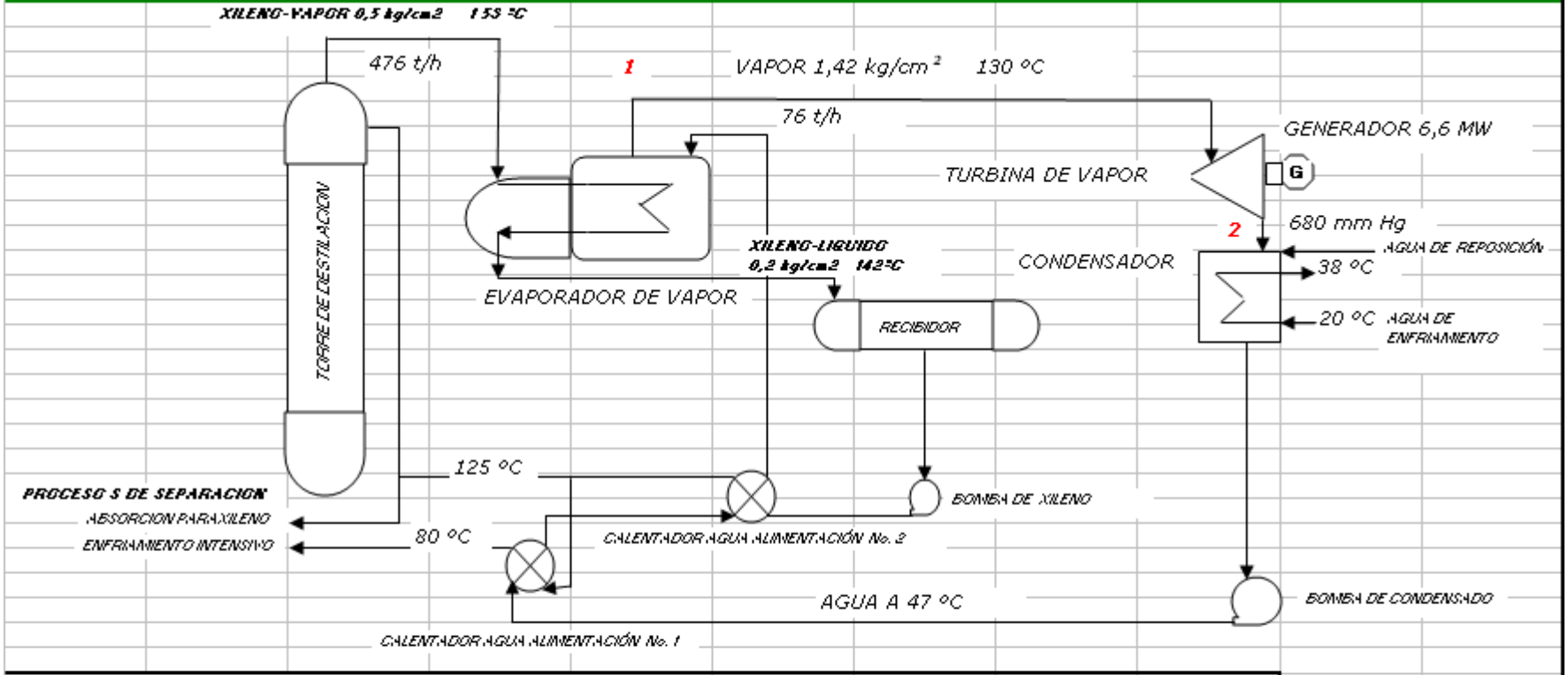
El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General. La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info.ingeneral@gmail.com

Anexo 2 Diagrama Presión Entalpía



El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

ANEXO 3 — DIAGRAMA DEL FLUJO DEL VAPOR



CARACTERISTICAS DEL VAPOR Y TRABAJO ELECTRICO REALIZADO

POSICION	PRESION ABS kg/cm2	TEMPERATURA °C	FLUJO t/h	H(ENTALPÍA) kcal/kg	ENERGÍA TOTAL Gcal	EFICIENCIA MEDIA	ENERGIA ELECT Gcal	ELECTRICIDAD MW
1	2,42	130	76	646,58	49,14			
2	1,89	118	76	435	33,06			
				211,58	**16,08**	**0,35**	**5,63**	**6,6**

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General. La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como ® Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info.ingeneral@gmail.com

REGISTROS PRIMARIOS DE LA INFORMACIÓN

	ANEXO 4	Condiciones de Trabajo								Cálculo de la Demanda		
		Entrada				Salida				Potencia	ΔH	Demanda
No	Descripción	P Abs	Temper.	Calidad	Entalpía	Presión	Temper.	Calidad	Entalpía	Nominal	en el Vapor	de Vapor
		kg/cm²	ºC	xg, %	kcal/kg	kg/cm²	ºC	xg, %	kcal/kg	kcal/h	kcal/kg	kg/h
1												
2												
	TOTALES											

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net

RESUMEN DE DATOS - CALCULO DE LA DEMANDA DE VAPOR.											
	ANEXO 5	PARÁMETROS		EQUIPO		EQUIPOS			DEMANDA		CONSUMO
No	Descripción	Presión	Temper.	Uso Final	Demanda	Instalados	Operan	Horas Opera	Instalada	Real	Real Día
		kg/cm²	ºC		kg/h			h	kg/h	kg/h	kg/día
	TOTALES										

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.
info@energianow.net