

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA QUÍMICA

**PLANTA DE TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE ALPERUJO
PARA AUTOSUFICIENCIA ENERGÉTICA DE ALMAZARA.**



DIRECTOR: JOSE MANUEL ANDÚJAR PERAL

ALUMNO: GUILLERMO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

ALMERÍA, JUNIO 2014

ÍNDICE GENERAL.

- DOC. N°1: MEMORIA Y ANEJOS.

- RESUMEN.

- MEMORIA JUSTIFICATIVA.

- MEMORIA DESCRIPTIVA.

- ANEJOS.

- DOC.N°2: PLANOS.

- DIAGRAMA DE FLUJO.

- RED DE INT. DE CALOR CON B.M.

- RED DE INT. DE CALOR CON B.E.

- DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.

- DOC. N°3: PLIEGO DE CONDICIONES.

- DOC. N°4: PRESUPUESTO.

DOC. N°1: MEMORIA Y ANEJOS.

1- RESUMEN. -	7
1.1- Objetivo del proyecto	7
2- MEMORIA JUSTIFICATIVA.	8
2.1- Antecedentes.	8
2.1.1- Sistemas de extracción de aceite.	8
2.1.2- La materia prima : el alperujo.	12
2.2- Justificación del proyecto	13
2.3- Estudio y selección de las alternativas	14
3- MEMORIA DESCRIPTIVA	17
3.1- Localización	17
3.2- Descripción general del proceso.	18
3.3- Diagrama de bloques.	20
3.4- Medio ambiente.	20
4- ANEJOS.	24
4.1- Anejo 1: Balances de materia y energía.	24
4.1.1- Balances de materia.	24
4.1.2- Balances de energía.	27
4.1.2.1- Energía que requiere el secadero	28
4.1.2.2- Energía que requiere la almazara.	29
4.1.2.3- Energía que sale hacia la línea del generador.	31
4.2- Anejo 2: Transporte y almacenamiento	32
4.2.1- Transporte.	32
4.2.2- Capacidad de almacenamiento.	33
4.2.3- Silos de alimentación.	35
4.2.4- Silo de recirculación y alimentación a proceso.	37

4.3- Anejo 3: Diseño de equipos. -----	37
4.3.1- Secadero. -----	37
4.3.2- Pelletizadora. -----	61
4.3.3- Caldera. -----	62
4.3.4- Intercambiadores de calor. -----	70
4.3.4.1- Evaporadores de calentamiento directo. -----	70
4.3.4.2- Condensadores superficiales. -----	74
4.3.4.3- Propiedades de los tubos. -----	76
4.3.4.4- Propiedades del aceite térmico. -----	78
4.3.4.5- Cálculo del Nu, factor de corrección. -----	83
4.3.4.6- Intercambiador de calor nº1 (aceite-aire). -----	84
4.3.4.7- Condensador nº2 (vapor de agua-agua). -----	90
4.3.4.8- Intercambiador de calor nº3 (aceite -agua). -----	97
4.3.4.9- Recalentador nº4 (agua-acetona). -----	106
4.3.4.10- Precalentador nº5 (agua-acetona). -----	111
4.3.4.11-Evaporador nº6 (agua-acetona). -----	116
4.3.4.12- Condensador-enfriador nº7 (acetona-agua) ---	122
4.3.5- Grupo turbina-generator. -----	126
4.4- Anejo 4: Instrumentación para el control del proceso. -----	127
4.5- Anejo 5: Sistemas de impulsión y transporte. -----	129
4.5.1- Descripción de flujos. -----	129
4.5.2- Tornillo sinfín. -----	130
4.5.3- Elevador de cangilones -----	134
4.5.4- Soplante. -----	135
4.5.5- Bombas. -----	141
4.6- Anejo 6: Tuberías y accesorios. -----	145
4.6.1-Tuberías. -----	146
4.6.1.1-Cálculo del espesor mínimo de tuberías. -----	148
4.6.1.2- Cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías	149
4.6.2- Accesorios. -----	151

4.6.2.1- Tipos de accesorios. -----	152
4.6.2.2- Bridas. -----	153
4.6.2.3- Válvulas. -----	154
4.7- Anejo 7: Condiciones generales de la planta. -----	159
4.8- Anejo 8: Seguridad -----	163
4.8.1- Ficha de seguridad química de la acetona. -----	163

1- RESUMEN.

1.1- Objetivo del proyecto.

El objetivo del presente Proyecto Fin de Carrera es el diseño de una línea de proceso para la obtención de una potencia eléctrica de 595kW. Dicha energía se producirá a partir del alperujo y huesos de las aceitunas residuales procedentes de la almazara y servirá tanto para la autosuficiencia energética de esta como para su comercialización.

Constituida por cinco unidades principales: un horno rotatorio horizontal, una pelletizadora, una caldera, un generador de electricidad y un sistema de intercambiadores de calor. El Proyecto Fin de Carrera incluirá también el diseño de los equipos auxiliares necesarios.

Primeramente el alperujo será sometido a una etapa de secado, posteriormente a una de pelletizado y finalmente pasará por un proceso de combustión, en el cual, gracias a la energía liberada será posible la producción de electricidad por medio de un generador.

El proceso proyectado presenta el diseño y dimensionamiento de las siguientes unidades:

1. Silos de almacenamiento.
2. Equipos de impulsión y transporte.
3. Intercambiadores de calor.
4. Torre de refrigeración.
5. Horno.
6. Ciclón.
7. Pelletizadora.
8. Caldera.
9. Grupo turbina-generador.
10. Sistemas de tuberías, válvulas y accesorios.

2- MEMORIA JUSTIFICATIVA.

2.1- Antecedentes.

A continuación se describen los dos principales procesos de extracción de aceite y se argumentan los motivos por los cuales se eligió el proceso de extracción de aceite en dos fases, así como la necesidad de instalar una planta de tratamiento de los residuos que esta genera para producir energía eléctrica.

También se exponen las principales propiedades y características de la materia prima principal en el desarrollo del proceso, el alperujo.

2.1.1- Sistemas de extracción de aceite.

- **Proceso de extracción de tres fases:**

Extracción de aceite de oliva por centrifugación de la pasta de aceituna y la obtención separada de aceite, agua de vegetación y el residuo sólido (orujo) se efectúa en la centrífuga horizontal o decanter. La pasta de las aceitunas fluidificada, con adición de agua, al someterse a centrifugación se separa en tres fases en función de la diferente densidad de las mismas: Orujo, alpechín y aceite. El aceite es el más ligero de los tres, el alpechín tendría una densidad intermedia entre el aceite y el orujo, siendo este último el más pesado. Dicha separación no es nítida, siempre existen zonas de transición.

La adicción del agua es necesaria para facilitar el transporte de la pasta, mantener la temperatura de trabajo y crear capas de líquidos de suficiente espesor para una adecuada separación de las tres fases, pero los elevados volúmenes de agua que son necesarios emplear (750-1000litros por tonelada de aceitunas) puede llegar a suponer un problema.

Del decantador centrífugo salen dos tipos de líquidos, uno de color verde formado por el aceite y algo de fase acuosa y el otro de color marrón constituido principalmente por la fase acuosa con algo de aceite.

Como los líquidos que salen puede llevar partículas sólidas se pasan a través de un tamiz vibratorio para separar los pequeños trozos de hueso o pulpa.

En el proceso de tres fases se reduce la cantidad de antioxidantes naturales presentes en el aceite debido al agua agregada para diluir la pasta.

El mayor problema de este proceso es el elevado volumen de agua residual que se genera (alpechín). Este líquido tiene una alta contaminación y una elevada concentración de polifenoles que impiden su posible depuración por medios convencionales. La única solución ha consistido en depositar este líquido en balsas de evaporación con el aumento consiguiente en costos, problemas de salud e impacto visual.

- **Proceso de extracción de dos fases:**

El elevado volumen de agua residual generada por el proceso de tres fases era un grave problema, por ello, algunas empresas fabricantes de maquinaria para las industrias oleícolas lanzaron al mercado nuevos modelos de decantadores centrífugos horizontales y verticales. Estos eran capaces de separar la fase aceitosa de la pasta de aceituna sin requerir la adición de agua caliente. Esto implicaba que no se producían vertidos líquidos, ya que agua de vegetación de las aceitunas permanecía junto con la pulpa, teniendo por tanto el residuo sólido un mayor contenido de humedad.

Estos nuevos decantadores cuentan con dos salidas. Tras la centrifugación, los sólidos abandonan el decanter por una de las salidas junto con el agua de vegetación y por la otra salida, fluye el aceite.

El contenido en polifenoles es mayor al precisar menor adición de agua que solubiliza estos compuestos, sin embargo, presenta valores de acidez e índice de peróxidos ligeramente superiores.

Estas plantas trabajan en continuo y en ellas se obtiene separadamente el aceite, y por otro lado, el alperujo ,que contiene el agua de vegetación y la pulpa.

El rendimiento es superior en este proceso y ello es debido a que no se añade agua a la pasta de aceituna y se evita la formación de emulsiones aceite/agua.

No produce apenas vertidos, sólo un pequeño volumen del agua añadida en el lavado del aceite en la centrifugación y con ello se reducen los problemas medioambientales.

La calidad del aceite producido es superior y es más estable en su almacenamiento.

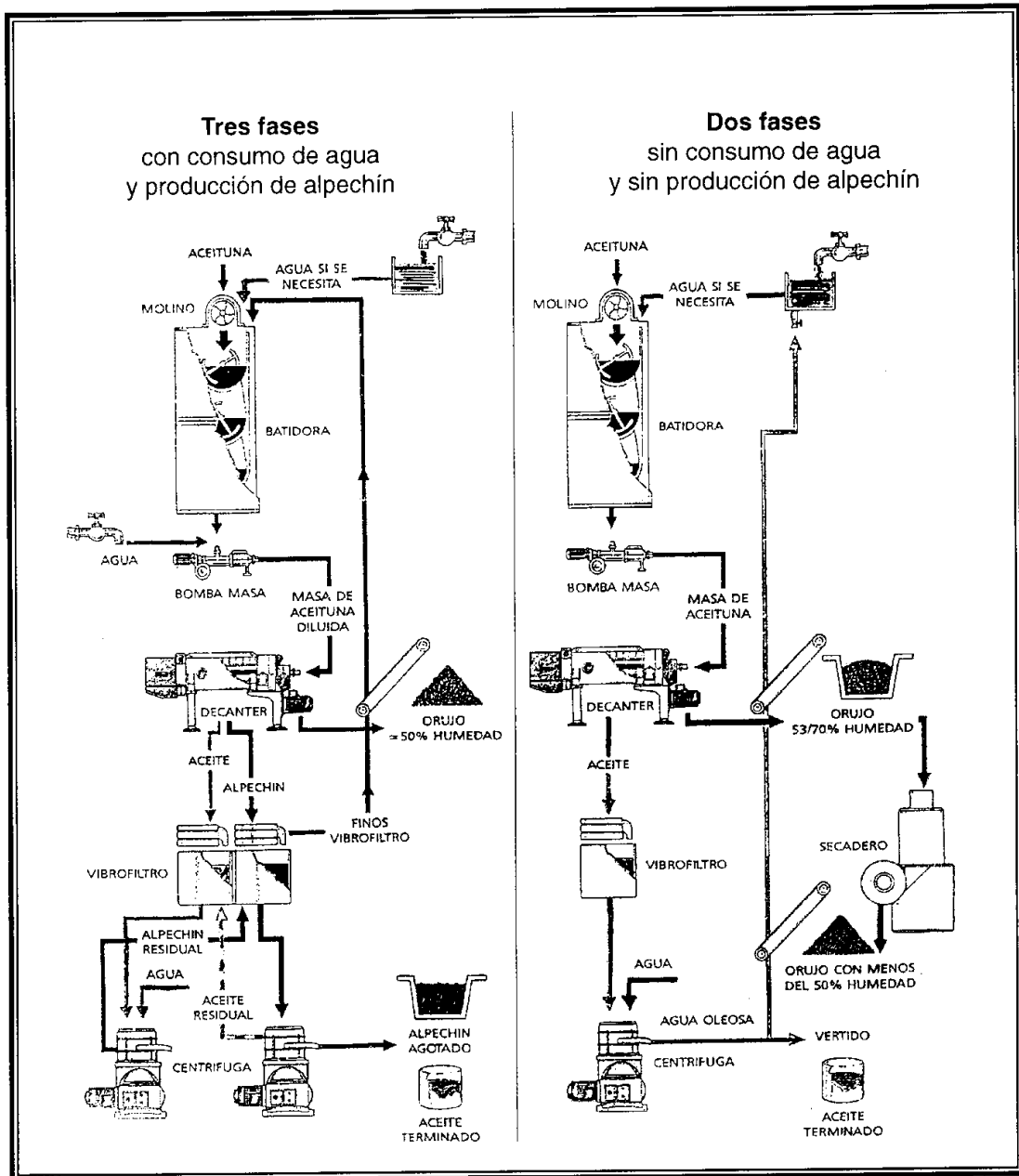
En las pruebas de cata los aceites de dos fases presentan una mayor puntuación en el amargor y en el picante, mientras que los de tres fases se dan puntuaciones superiores en el dulce.

La única diferencia en el proceso de ambas fases se encuentra en la centrifugación de la pasta y la subsiguiente centrifugación del aceite resultante.

- **Ventajas e inconvenientes de ambos métodos.**

	Ventajas	Desventajas
Sistema de tres fases.	<ul style="list-style-type: none"> - Continuidad en el proceso y posibilidad de automatización. - Escasa necesidad de mano de obra. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gran demanda de agua. - Gran producción de alpechín.
Sistema de dos fases.	<ul style="list-style-type: none"> - Continuidad en el proceso y posibilidad de automatización. - Escasa necesidad de mano de obra. - Menor volumen de agua. - Menor necesidad de agua caliente. - Pequeño volumen de alpechín. - Mayor contenido de antioxidantes en el aceite. 	<ul style="list-style-type: none"> - Orujo con mayor contenido en humedad, mayor volumen y mayor dificultad de extracción. - Menores controles visuales. - Necesidad de personal más especializado.

- Esquema de ambos procesos:



2.1.2- La materia prima : el alperujo.

El fruto del olivo es una drupa y está formada por tres partes: la parte exterior o esocarpo o cáscara, la parte mediana o mesocarpo o pulpa de la que se saca el 70% del aceite y la parte interna o endocarpo o avellano de que se saca el

restante 30% acerca de del aceite.

Desde el punto de vista de la elaboración de aceite, la composición de fruto en el momento de la recolección es de un 22% de aceite. Del 78% restante de biomasa, un 10% se trata de hueso y un 90% alperujo. Ambos poseen un excelente poder calorífico y constituyen un combustible ideal en una planta de generación de energía eléctrica a través de biomasa.

Del alperujo se puede extraer un combustible no fósil, neutro desde el punto de vista del ciclo del carbono, por lo que las emisiones de CO₂ que se producen, al proceder de un carbono retirado de la atmósfera en el mismo ciclo biológico, no alteran el equilibrio de la concentración de carbono atmosférico, y por tanto no incrementan el efecto invernadero.

Resulta paradójico que siendo España el mayor productor de aceite de oliva, y por lo tanto, de orujillo, exportamos un cantidad considerable de esta materia prima al extranjero para fines energéticos en lugar de darle un mayor peso local. A las industrias eléctricas del Reino Unido, Bélgica e Italia no les importa pagar la biomasa hasta tres veces más de su coste para el productor debido al encarecimiento que supone el transporte marítimo. Esta situación se crea por la política de incentivos que sus gobiernos tienen hacia el fomento de energías renovables (se les concede un certificado verde a las empresas que utilizan la biomasa como combustible).

2.2- Justificación del proyecto.

La idea de la implantación de esta planta de generación de energía eléctrica utilizando la biomasa residual de la almazara surge atendiendo a diversas razones:

- El ahorro económico en cuanto al consumo eléctrico de la almazara se refiere.
- La venta del excedente de energía producida/combustible.
- La eliminación de dichos residuos constituye un grave problema ambiental y de costosa resolución, en términos económicos y energéticos.

Con el presente proyecto se evita este problema.

En cualquier caso, conviene recordar que el aprovechamiento energético de la biomasa supone convertir un residuo, en un recurso.

El motivo principal por el cual es llevado a cabo el desarrollo del presente proyecto es el gran ahorro energético, y por lo tanto económico que supondrá la implantación de esta planta para la almazara. La almazara requiere 250kW y la planta de generación eléctrica está diseñada para producir hasta 595kW, por lo tanto el excedente energético se comercializará.

Cabría considerar la opción de vender directamente la biomasa residual que produce la almazara a otras empresas. Actualmente existe un amplio mercado en la compra-venta de esta biomasa, pero al trabajar con volúmenes tan grandes, hacen que su transporte sea costoso, y ello favorece su utilización local.

2.3- Estudio y selección de las alternativas.

Las energías del régimen especial como son la biomasa, hidráulica, eólica, solar, tratamiento de residuos y cogeneración, tienen un trato diferente a la energía del régimen ordinario a la hora de la distribución y el transporte de la energía producida por esas vías.

Dicho régimen establece unas normas para que no se produzcan situaciones discriminatorias que no permitan una libre competencia. La regulación viene marcada por los Reales Decretos 436/2004 y 661/2007 donde se establecen unos incentivos temporales para que dichas instalaciones puedan posicionarse en el mercado. De este modo el Estado potencia las energías renovables y evita el consumo de otros combustibles.

Un productor de una energía en régimen especial tiene dos opciones a la hora de vender la energía generada:

- **Venta de energía a precio fijo o tarifa:**

Se recibe un porcentaje de la tarifa media o de referencia (TRM) definida en un

Real Decreto de tarifas eléctricas, publicado normalmente a finales de cada año, que oscila entre 80% y 90%. Éste disminuye con el paso del tiempo de la construcción de la instalación. También percibe un complemento conocido como complemento de energía reactiva, que será positivo o negativo en función de la calidad de la energía recibida entregada.

La facturación de la energía se produce mensualmente según una factura tipo aprobada por la Dirección General de la Energía.

- **Venta de energía al mercado liberalizado:**

Si se utiliza esta vía, el productor recibe el precio negociado y una prima por ser energía suscrita al régimen especial. Para la determinación de este complemento se tienen en cuenta los siguientes factores:

- Tensión de entrega de la energía a la red
- Costes de inversión que se han incurrido
- Contribución efectiva a la mejora del medioambiente, al ahorro de energía primaria y a la eficiencia energética.

La venta al mercado puede ser diaria, a un plazo de tiempo determinado o por un contrato bilateral.

Los titulares de las instalaciones de potencia superior a cincuenta megavatios están obligados a escoger esta opción de venta, como no es nuestro caso, la opción de vender la energía producida a un precio fijo es la que ofrece mayor rentabilidad en una inversión como la estudiada, sea cual sea el escenario que se nos presente.

Los precios de venta de electricidad no son constantes en el tiempo por lo que hay que tener en cuenta los diferentes índices que intervienen en cada uno de los componentes del precio de venta de la energía.

En las opciones de venta a precio fijo, la tarifa media de referencia tiene un aumento anual del 2,5 %. Además, el precio del coste de operación y mantenimiento está sometido a un 40% del Índice de Precios Industriales (IPI) y

a un 60 % del IPC.

El proceso tiene capacidad para producir un máximo de 595kW, de los cuales 250kW serán destinados a la autosuficiencia de la almazara, 50kW serán destinados al consumo de la planta y los restantes serán vendidos a la red. La mejor forma de venta de energía es según una tarifa fija, sea cual sea el escenario.

El precio al que se paga el kW producido en una planta de biomasa destinada únicamente a su comercialización no es rentable hoy en día, pero en nuestro caso, al tratarse del aprovechamiento de un residuo si hace muy atractiva la idea de comercializar el excedente de energía.

La industria bioenergética es una oportunidad de negocio pero existe una incertidumbre sobre el tema, ya que debería haber más incentivos para poder beneficiarse de este negocio y crear un marco legal para la utilización de la materia prima nacional en estas plantas de transformación.

Un proyecto de estas características debería obtener ayudas o subvenciones debido al fomento de las energías renovables que el gobierno nacional se ha propuesto.

En caso de que no se pudieran crear incentivos económicos, se sugiere el aumento de los costes medioambientales a centrales térmicas o eléctricas que menos colaboren con la preservación del entorno y el desarrollo sostenible.

3- MEMORIA DESCRIPTIVA.

3.1- Localización

A la hora de elegir la ubicación de esta planta de proceso, se han tenido en cuenta ciertas consideraciones básicas.

Estará situada en los mismo terrenos donde se encuentre la almazara, debido a que debe encontrarse cerca del suministro de materias primas y de materiales esenciales. Esto será óptimo para operar a menor coste que si los materiales deben ser transportados desde lejos. También deberá pensarse en la localización con relación a la disponibilidad de mano de obra cualificada, además pueden existir ventajas políticas en zonas de alto nivel de desempleo. Otro factor a tener en cuenta serían las condiciones de los alrededores de la localización, las condiciones climáticas demasiado extremas podrían no ser adecuadas para el proceso, lo que conllevaría a tener que tomar ciertas medidas de prevención.

Atendiendo a todos estos factores, se ha decidido que la planta de proceso será ubicada dentro de los límites de Canjáyar, municipio Español de la provincia de Almería, situada a la orilla del río Andarax.



Se ha elegido la almazara de Canjáyar para la puesta en marcha de esta planta debido a que sus dimensiones son lo suficientemente grandes como para que los resultados sean extrapolables a nivel industrial y lo suficientemente pequeños

como para que la inversión no sea excesivamente elevada, dado que actualmente no existe ninguna instalación de este tipo en el mundo que sirva de referencia y es lo que se presente lograr con este proyecto. Además este emplazamiento, supone una importante ampliación de la empresa, así como un ahorro económico de gran importancia para ésta.

3.2- Descripción general del proceso.

Las etapas que constituyen el proceso son a modo general las siguientes:

Se dispone de unos vehículos adaptados de 2500kg de capacidad que realizarán por lotes el traspaso de la materia prima hasta la planta de proceso.

Una vez en la planta, el alperujo será vertido gracias a un elevador de cangilones de 1,342 kW de potencia y 35 toneladas/hora de capacidad en los silos de alimentación al proceso, mientras que los huesos de aceituna serán depositados en un recipiente junto a la caldera, ya que estos no precisan de ningún tratamiento para su combustión.

Se cuenta con cuatro silos de una capacidad de almacenamiento de alperujo aproximadamente de 40 toneladas, fabricados en acero inoxidable y provistos de células de carga, sensores visuales y alarmas para conocer su estado en cualquier momento.

El alperujo es descargado desde los silos a un tornillo sinfín de 9,144m de longitud y 0,63kW, gracias al cual la materia prima es introducida en un secadero rotatorio de aproximadamente 7 metros de longitud y 1,4 metros de diámetro. En la zona de descarga el secadero está provisto de un ciclón y un filtro de tela para evitar la fuga de las partículas que se encuentren en suspensión hacia el exterior.

Del secadero se obtiene un producto seco denominado orujillo, que posee únicamente un 5% de humedad, del cual, un cierto caudal másico será realimentado, de forma que la humedad media del alperujo en el interior del secadero no supere el 50% para un óptimo funcionamiento de este.

El restante caudal másico es impulsado mediante una soplante de 2,591 kW de potencia a una tolva de alimentación de una pelletizadora de 5kW.

Los pellets resultantes son transportados mediante un tornillo sinfín de 23m de longitud a la tolva de alimentación de una caldera de aceite térmico.

La caldera cuenta con los pellets procedentes del orujillo y los huesos de aceitunas como combustible, los cuales son introducidos desde la tolva de la caldera hasta el quemador mediante un tornillo sinfín de dosificación que trae incorporado el propio equipo. Posee un rendimiento del 80%, por lo tanto si la planta se encuentra en temporada de máxima producción la caldera es capaz de llegar a producir 2.026.075 kcal/h.

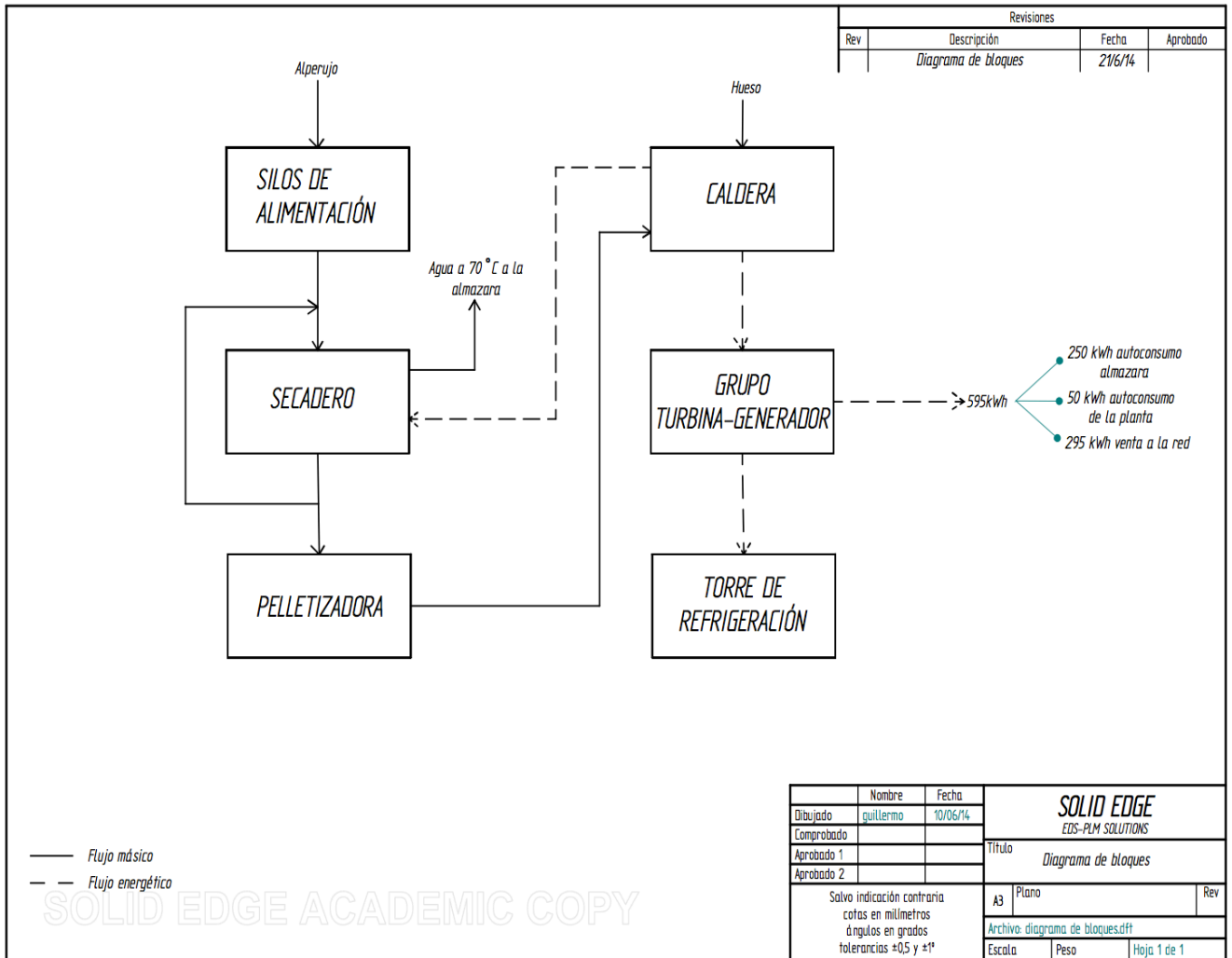
Tras la combustión se consigue obtener un aceite térmico a 240°C que realizará la función de fluido calentador en un circuito de intercambiadores de calor de tubos horizontales, gracias a los cuales una turbina es capaz de generar 595kW de potencia eléctrica.

Del total de energía disponible, 250kW son destinados al abastecimiento de la almazara, 50kW son destinados al autoconsumo de nuestra planta y los restantes son vendidos a la red eléctrica.

Otra conducción de este aceite a 240°C se emplea como transmisor de calor en un intercambiador de calor aceite-aire, el cual produce un caudal de aire a 150°C que es introducido en el secadero para eliminar la humedad del alperujo y poder llegar a obtener el orujillo con un 5% de humedad.

La mezcla de aire con vapor de agua resultante a la salida del secadero es aprovechada e introducida en un condensador, el cual proporcionará un caudal de agua a 70°C aprovechable en la almazara.

3.3- Diagrama de bloques.



3.4- Medio ambiente.

La utilización de orujillo como combustible supone grandes ventajas medioambientales ya que se consigue eliminar de manera controlada y limpia el excedente del mismo, que en zonas olivareras ha aumentado considerablemente en los últimos años. La eliminación de los residuos de orujillo revaloriza este producto autóctono y crea riqueza en el medio rural, reduciendo además la dependencia energética de otros combustibles fósiles.

Actualmente, más del 80% de nuestro abastecimiento energético proviene de energías fósiles, otro 13% de energía nuclear, y solamente alrededor del 6% de

energías renovables. Este 94% no renovable conlleva importantes implicaciones medioambientales y una fuerte dependencia del abastecimiento exterior.

La materia vegetal que existe sobre la Tierra constituye un importante recurso energético, cuya utilización racional puede reemplazar una parte sustancial de los combustibles fósiles que hoy utilizamos.

A esto se une una ventaja medioambiental más, ya que la ausencia de azufre y otros compuestos en el orujillo hacen que el único componente contaminante que se encuentra en la corriente de gases de la caldera de una planta de estas características sean las partículas sólidas en suspensión. Para evitar su emisión a la atmósfera, la planta dispone de una serie de equipos que encargados de la retención de estas partículas, lo que supone que se cumplan las legislaciones autonómicas y nacionales más exigentes en materia medioambiental.

Los parámetros fundamentales de la biomasa transformable en combustible para generación térmica o eléctrica son la materia seca y el contenido energético de dicha materia. Cuanto más elevados sean estos índices, mejor para la instalación.

La biomasa empleada para el proceso tendrá que secarse para obtener un poder calorífico del mismo orden que los lignitos, carbones y hullas grasas, materias con un alto poder calorífico. Sin embargo, respecto a los combustibles fósiles presenta las siguientes ventajas:

- Bajo contenido en cenizas, escorias y azufre.
- Bajas emisiones de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno.
- No da lugar a emisión de metales pesados ni hidrocarburos.
- El aprovechamiento de un residuo que hace que esta materia se convierta en recurso.
- Puede considerarse un combustible neutro frente a las emisiones de CO₂, pues su producción en la combustión se compensa con la fijación del mismo en el crecimiento vegetal.
- Producción descentralizada: favorece el aprovechamiento local de

los recursos y puede tener una gran incidencia económica y social en el mundo rural.

- Fácil de almacenar.

Aunque también cabe citar varias desventajas que presenta:

- Variabilidad temporal de la producción.
- Para aprovechar el contenido energético se debe someter a procesos de transformación previos. Se necesita mayor cantidad de biomasa para conseguir la misma cantidad de energía que otras fuentes.
- Grandes espacios para el almacenaje.
- El rendimiento de las calderas de biomasa es inferior a las que usan combustible fósil.

No obstante, la implantación de nuevos recursos energéticos es fundamental principalmente por las siguientes puntualizaciones:

- Sustituciones en el uso de energías primarias debido a la aparición de nuevas tecnologías, la disponibilidad de nuevos recursos la aparición de consumos específicos de energías más limpias y respetuosas con el medio y precios más competitivos.
- El actual crecimiento de precios de los recursos energéticos, centrándose en la crisis energética iniciada en octubre de 1973 con la subida de los precios de los crudos y con restricciones de oferta aplicadas por los países de la OPAEP (Organización de los Países Árabes Exportadores de Petróleo), y alimentada por hechos similares en los años siguientes. Todo esto hace que se resienten las grandes economías importadoras del “oro negro” y se busquen alternativas.
- Nuestro planeta cuenta todavía con recursos energéticos suficientes para continuar abasteciendo durante al menos tres cuartos de siglo con consumos similares a los actuales. Aunque desde la perspectiva económica el plazo parece no preocupante

para algunos, pero puede parecer demasiado breve para el futuro bienestar de la humanidad. Considerando que Europa es pobre en recursos energéticos, sobre todo en lo referente a hidrocarburos (principal recurso energético en el último cuarto de siglo), aunque dispone de abundante carbón.

4- ANEJOS.

4.1- Anejo 1: Balances de materia y energía.

4.1.1- Balances de materia.

Humedad a la entrada del secadero:

El máximo contenido en humedad que puede llegar a contener la biomasa a la entrada de este tipo de secaderos es del 50%.

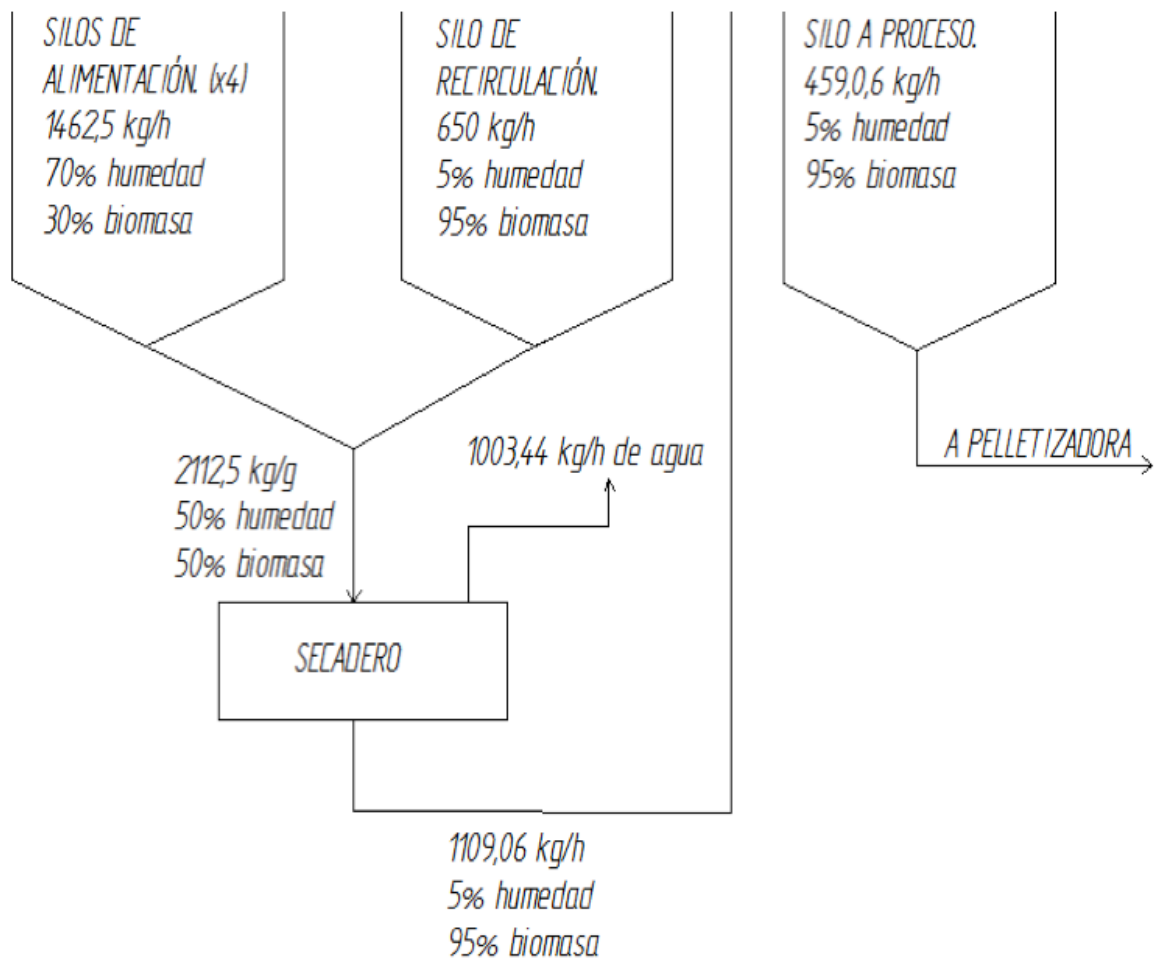
La biosamasa procedente de la almazara contiene un 70% de humedad y tras el proceso de secado abandona el horno con un 5% de humedad, por lo tanto se procede a calcular la cantidad de biomasa que ha de recircularse para que la humedad de esta a la entrada del secadero sea del 50%.

$$1,4625 \frac{\text{ton}}{\text{h}} * 0,7 + X * 0,05 = (1,4625 + X) * 0,5$$

$$1,02375 + 0,05 * X = 0,73125 + 0,5 * X$$

$$0,2925 = 0,45 * X$$

$$X = 0,65 \frac{\text{toneladas}}{\text{h}} \text{ se recirculan.}$$



De tal forma, a la entrada del secadero dispondremos de 2.112,5 kg/h de biomasa, constituida por un 50% de agua y un 50% de sólido. Durante el proceso de secadero se evaporarán 1.003,44 kg/h del agua inicialmente contenida, por lo tanto el producto a la salida del secadero estará constituido por 1.056,25 kg/h de sólido y 52,81 kg/h de agua, o lo que es lo mismo, un 5% de humedad del producto.

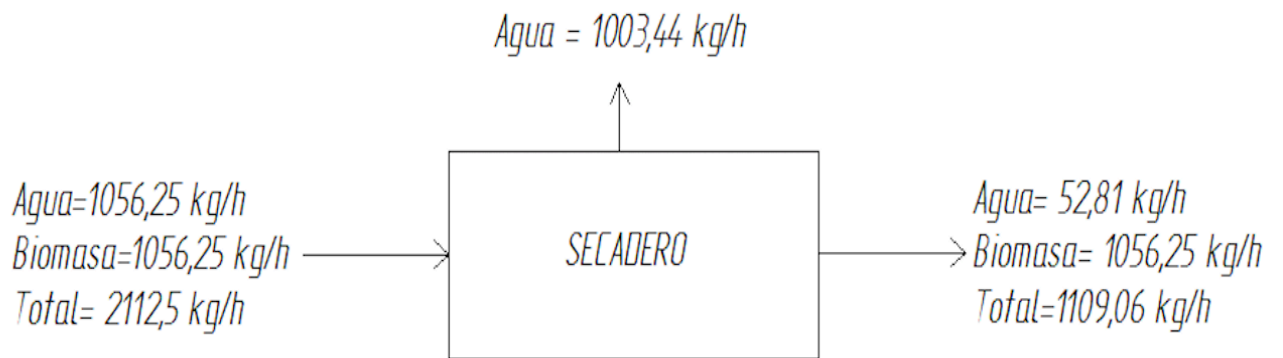
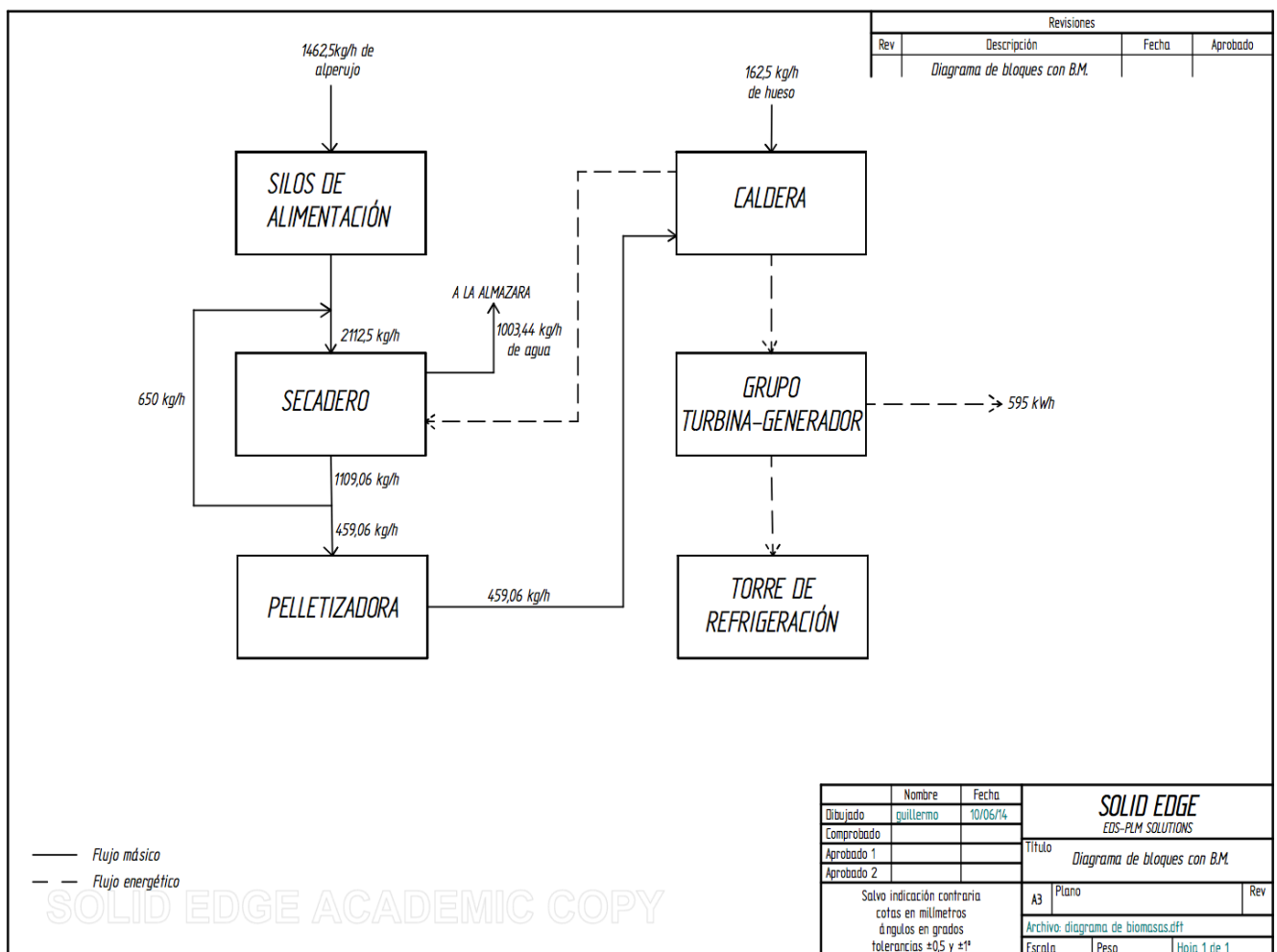


Diagrama de bloques con balances de biomasa:



4.1.2- Balances de energía:

4.1.2.1- Energía que requiere el secadero:

Las materias primas de las que se disponen son dos, el alperujo tratado (orujillo) y los huesos de aceituna.

Poder calorífico del orujillo=3.570 kcal/kg

Poder calorífico del hueso= 5.500kcal/kg

Calor necesario para calentar el alperujo sin humedad desde 10°C hasta 100°C:

$$Q = M * C_p * \Delta T$$

Siendo:

Q: Calor necesario para calentar el alperujo en $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$

M: Caudal volumétrico de alperujo en $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

C_p: Capacidad calorífica del alperujo seco = $600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 * ^\circ\text{C}}$

ΔT: Incremento de temperatura del alperujo en °C

$$Q = 1,625 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0,3 * 600 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 * ^\circ\text{C}} * 90^\circ\text{C} = 26.325 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Calor necesario para calentar el agua que contiene el alperujo desde 10°C hasta 100°C:

$$Q = M * C_p * \Delta T$$

Siendo:

Q: Calor necesario para calentar el agua en $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$.

M: Caudal volumétrico de agua en $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$.

Cp: Capacidad calorífica del agua = $1.000 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$

ΔT : Incremento de temperatura del alperujo en $^\circ\text{C}$.

$$Q = 1,625 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0,7 * 1.000 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}} * 90^\circ\text{C} = 102.375 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Energía necesaria para evaporar el agua que contiene el alperujo:

$$Q = \lambda * M$$

Siendo:

M: Caudal volumétrico de agua en $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

λ : Calor latente de vaporización del agua = $540 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$

$$Q = 540 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} * 1.003,44 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 541.857 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

4.1.2.1- Energía que requiere el secadero:

Las kcal/h que requiere el secadero serán la suma de las necesarias para calentar el alperujo desde 10°C hasta 100°C y las necesarias para calentar el agua contenida en la biomasa desde 10°C hasta 100°C y su posterior evaporación:

$$Q_{\text{total}} = 26.325 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 102.375 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} + 541.857 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 670.557 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

El secadero tiene un rendimiento del 80%, por tanto las kcal/h que requiere serán:

$$670.557 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 0,8 = 838.196 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

4.1.2.2- Energía que requiere la almazara:

Potencia = Potencia activa + Potencia reactiva

$$P = \frac{250kW}{0,8} = 312KVA$$

$$312KVA * 861 = 269.063 \frac{kcal}{h}$$

Energía que produce la caldera:

- Orujillo:

$$Q1 = M. orujillo * Cp. orujillo$$

Siendo:

Q1: kcal/h procedentes de la combustión del orujillo.

M.orujillo: Caudal másico de orujillo en $\frac{kg}{h}$

Cp.orujillo: Poder calorífico del orujillo=3570 kcal/kg

$$459,06 \frac{kg}{h} * 3.570 \frac{kcal}{kg} = 1.638.844 \frac{kcal}{h}$$

- Hueso:

La almazara está provista de varias deshuesadoras, las cuales nos permiten la obtención del hueso de la aceituna por separado, siendo este un combustible biomásico con un PCI de 5.500kcal/kg, con una granulometría muy homogénea y una humedad de entre el 15 y el 25%. Todas estas propiedades convierten al hueso de la aceituna en un combustible muy óptimo.

La almazara produce unas 312 toneladas al año, las cuales repartidas uniformemente durante toda la temporada de trabajo:

$$\frac{312 \text{ toneladas de hueso}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{120 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{16 \text{ h}} = 0,1625 \frac{\text{toneladas}}{\text{h}} = 162,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$Q2 = M. \text{hueso} * Cp. \text{hueso}$$

Siendo:

Q2: kcal/h procedentes de la combustión del hueso.

M.hueso: Caudal másico de hueso en $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$

Cp.hueso: Poder calorífico del hueso=5.500 kcal/kg

$$162,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 5.500 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 893.750 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Energía total entrante a la caldera procedente del orujillo y del hueso de la aceituna:

$$Q_{total} = Q1 + Q2$$

$$Q_{total} = 1.638.844 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} + 893.750 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 2.532.594 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \text{ entran a la caldera.}$$

la caldera tiene un rendimiento del 80%, por lo tanto :

$$2.532.594 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 0,8 = 2.026.075 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \text{ produce la caldera.}$$

Dicha energía es repartida, 882.312 kcal/h son requeridas para el óptimo funcionamiento del secadero, el resto. 1.143.763 kcal/h son destinadas a la producción de energía.

4.1.2.3- Energía que sale hacia la línea del generador:

$$2.026.075 \frac{kcal}{h} - 882.312 \frac{kcal}{h} = 1.143.763 \frac{kcal}{h}$$

Disponemos de $1.032.246 \frac{kcal}{h}$ a la entrada de la turbina.

El generador posee un rendimiento del 62%, por lo tanto:

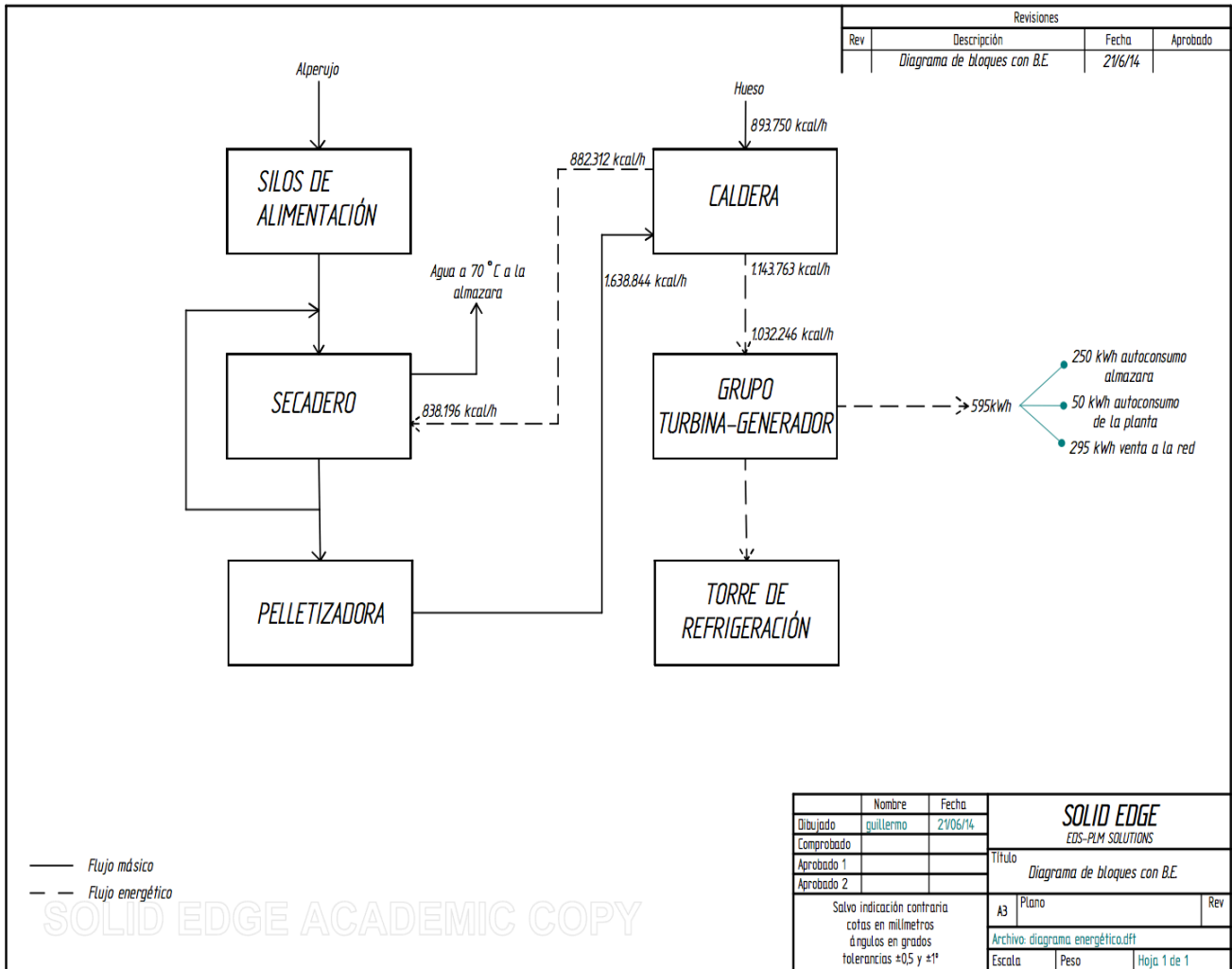
$$1.032.246 \frac{kcal}{h} * 0,62 \approx 640.626 \frac{kcal}{h}$$

$$\frac{640.626 \frac{kcal}{h}}{861} = 744KVAh$$

$$744 \frac{KVA}{h} * 0,8 = 595KWh$$

El generador del proceso es capaz de producir 595KW/h cuando la caldera es abastecida con 459,06 kg/h de orujillo y con 162,5 kg/h de huesos de aceituna.

Diagrama de bloques con balances energéticos.



4.2-Anejo 2: Transporte y almacenamiento.

4.2.1-Transporte:

La forma en la que transportará el alperujo desde la almazara hasta la zona de recepción de las tolvas en el proceso será a través de vehículos adaptados para tal uso.

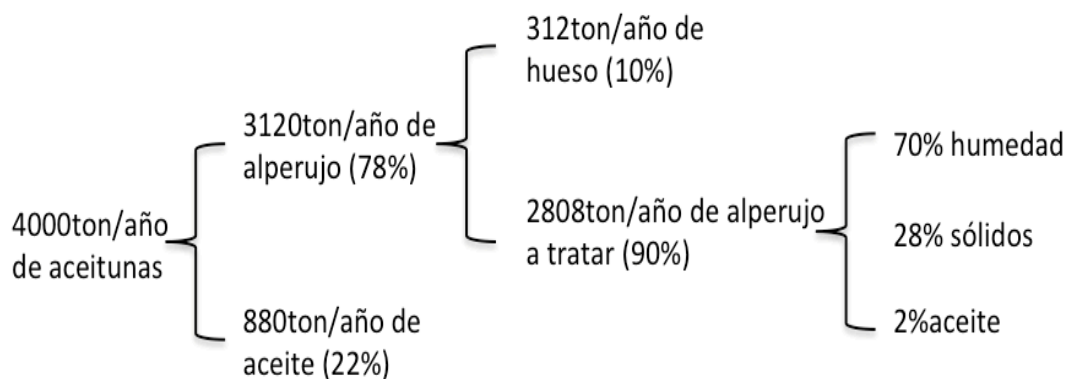
Los vehículos tendrán 2.500kg de capacidad.

Los contenedores de los vehículos se deben encontrar limpios y en condiciones adecuadas de mantenimiento, a fin de proteger de la contaminación, de forma que permitan una limpieza y desinfección adecuadas, así como el mantenimiento de un entorno saludable para el personal. Se recomienda establecer un sistema de limpieza o mediante un protocolo las operaciones y periodicidad de limpieza de los receptáculos, así como datos del transportista, conservándose los registros de las limpiezas efectuadas.

Las zonas de maniobra de los vehículos estarán pavimentadas, tendrán suficiente amplitud para la carga y descarga y con evacuación de las aguas pluviales.

4.2.2-Capacidad de almacenamiento:

La almazara de aceite de orujo es abastecida con 4.000ton/año de aceitunas. Es posible extraer el 22% de dicha cantidad en aceite (880 ton/año). Del 78% de biomasa restante, un 10% estaría formado por los huesos de aceitunas y el resto sería alperujo (2.080ton/año).



En el almacenamiento del alperujo se produce una considerable elevación de la temperatura, mayor en las capas intermedias que en la superficial, muy aireada, o que en las profundas, donde se dan condiciones para la anaerobiosis.

La temporada de elaboración de aceite dura cuatro meses al año, por lo tanto:

$$\frac{2.808 \text{ toneladas de alperujo a tratar}}{120 \text{ días}} = 23,4 \frac{\text{tonelas}}{\text{día}}$$

La densidad media del alperujo es de $0,9 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$, por lo tanto el volumen de alperujo a tratar será:

$$\frac{23,4 \frac{\text{toneladas}}{\text{día}}}{0,9 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}} = 26 \text{m}^3 \frac{\text{de alperujo a tratar}}{\text{día}}$$

teniendo en cuenta que la jornada de trabajo será de 16 h/día :

$$23,4 \frac{\text{toneladas}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{16 \text{h}} = 1,4625 \frac{\text{toneladas de alperujo a tratar}}{\text{h}}$$

Expresado en términos de volumen:

$$\frac{1,4625 \frac{\text{toneladas}}{\text{h}}}{0,9 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}} = 1,625 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El tiempo máximo de almacenamiento de almacenamiento del aperujo conservando todas sus propiedades es de 7 días.

$$23,4 \frac{\text{ton}}{\text{día}} * 7 \text{ días} = 163,8 \text{ toneldas}$$

163,8 toneladas es la capacidad de almacenamiento que se necesita cubrir.

4.2.3-Silos de alimentación:

A la llegada de los vehículos a la planta se realiza la descarga del alperujo procedente del remolque a las tolvas de alimentación.

Estarán construidas con acero inoxidable de tipo AISI 410 y sin la aplicación de ningún tipo de pintura.

Su diseño debe permitir una adecuada circulación del alperujo.

Es conveniente tener una reserva de alperujo considerable para conseguir el funcionamiento sin interrupción durante toda la campaña. De esta forma la planta podrá cubrirse ante periodos de baja producción de aceituna en la almazara debido al mal tiempo, problemas en la recolección, etc. Su capacidad de almacenamiento no debe exceder las 50 toneladas de capacidad/tolva.

Los silos se encontrarán empotrados en el suelo del patio debido a los olores que se producen durante el almacenamiento del alperujo.

Se recomienda un mayor número de tolvas frente a pocas unidades de mayor capacidad ya que la planta tendrá más versatilidad de esta manera. Así mismo se podrá realizar simultáneamente la descarga de vehículos y nos facilita la adaptación del sistema a posibles cambios en la producción en un futuro, sin que ello suponga un coste excesivo por cambio de mobiliario. También nos facilita una mayor continuidad en el proceso.

Las tolvas se deben encontrar siempre limpias y en condiciones adecuadas de mantenimiento, a fin de proteger de la contaminación de forma que permitan una limpieza adecuada. Se recomienda establecer un sistema de limpieza o mediante un protocolo las operaciones y periodicidad de limpieza de las tolvas, conservándose los registros de limpiezas efectuadas.

Los silos de alimentación deben de ser capaces de cubrir la capacidad de almacenamiento anteriormente calculada, para ello vamos a disponer de cuatro silos rectangulares (3m x 3m x 5m), con 1 cm de espesor de pared cada uno.

$$\text{Almacenamiento} = \frac{163,8 \text{ toneladas}}{4 \text{ silos}} = 40,95 \frac{\text{toneladas}}{\text{silo}}$$

Expresando dicha cantidad en términos volumétricos:

$$\frac{\frac{40,95 \text{ toneladas}}{\text{silo}}}{0,9 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}} = 45,5 \frac{\text{m}^3}{\text{silo}}$$

Suponemos una altura de 5m para cada silo.

$$\text{Superficie silo} = \frac{\text{Volumen silo}}{\text{altura del silo}} = \frac{45,5\text{m}^3}{5\text{m}} = 9,1\text{m}^2$$

$$\text{lado del silo} = \sqrt{\text{Superficie silo}} = \sqrt{9,1\text{m}} = 3,016\text{m} \approx 3\text{m}$$

Cada silo cuenta con una base cónica formando un ángulo de 45 grados que no proporciona un margen extra de almacenamiento, de esta forma, nos aseguramos que el volumen de alperujo en los silos no supera el 90% de la capacidad de estos en los periodos de máxima producción.

Estas tolvas cuentan con una válvula tajadera neumática a la salida. Todas ellas descargan el alperujo almacenado sobre un tornillo sinfín, el cual transportará la biomasa hasta la siguiente etapa.

Los silos cuentan con la siguiente instrumentación:

- Sensor de nivel visual.
- Transmisor de nivel, de forma que si desciende el nivel nos aseguramos que el tornillo sinfín desplaza biomasa.
- Señal de alarma que se activa cuando el silo está lleno y cuando está vacío.

4.2.4- Silo de recirculación y de alimentación a proceso:

El silo de recirculación y el silo de alimentación a proceso poseen una forma rectangular y una dimensiones de 0,75m x 0,75m x 1m, y un espesor de pared de 0,5cm.

Ambos silos cuentan con una base cónica formando un ángulo de 45 grados que no proporciona una margen extra de almacenamiento, de esta forma, nos aseguramos que el volumen de alperujo en los silos no supera el 90% de la capacidad de estos en los periodos de máxima producción.

El sistema de descarga con el que cuenta cada silo se trata de una válvula tajadera neumática.

Estarán construidas con acero inoxidable de tipo AISI 410 y sin la aplicación de ningún tipo de pintura.

Los silos cuentan con la siguiente instrumentación:

- Sensor de nivel visual.
- Transmisor de nivel, de forma que si desciende el nivel nos aseguramos que el tornillo sinfín desplaza biomasa.
- Señal de alarma que se activa cuando el silo está lleno y cuando está vacío.

4.3-Anejo 3: Diseño de equipos.

4.3.1- Secadero:

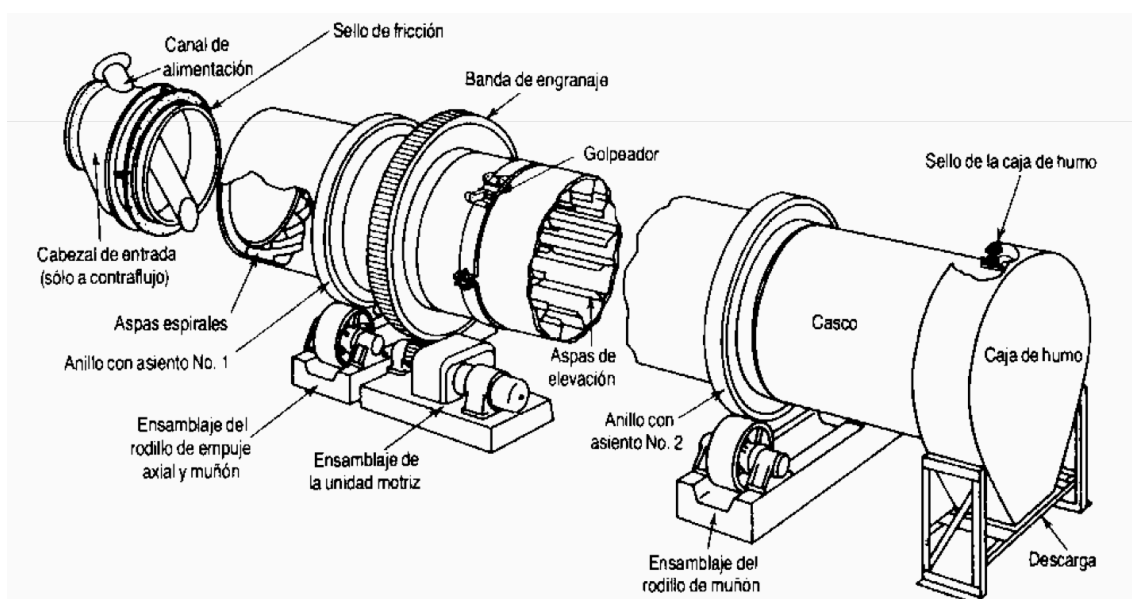
Un secador rotatorio consiste en un cilindro que gira sobre cojinetes apropiados y, por lo común, tiene una leve inclinación en relación con la horizontal.

Constituye una de las formas más ampliamente utilizadas para el secado, de una amplia gama de materiales, a nivel industrial, en forma rápida y con bajo costo unitario cuando se trata de grandes cantidades. En este tipo de secador, el

material húmedo es continuamente elevado por la rotación del secador, dejándolo caer a través de una corriente de aire caliente que circula a lo largo de la carcasa del secador. El flujo de aire puede ser tanto en paralelo como en contracorriente.

Estos secadores se pueden diseñar para tiempos de secado comprendidos entre 5 y 60 minutos y capacidad de secado desde unos pocos cientos de kilogramos por hora hasta alcanzar las 200 toneladas/hora.

Son muy adecuados para el secado de productos granulares, con buenas características de flujo que requieren tiempos de secado moderados. Pueden ser adaptados para manipular materiales algo pegajosos mediante dispositivos especiales que disgreguen las costras sólidas formadas. De hecho, la acción de volcado es beneficiosa dentro de ciertos límites para todos los productos, pues se rompe la corteza semipermeable que se forma en la superficie de las partículas que se secan, con lo cual se facilita la salida de la humedad desde el interior de las partículas. Además se adecuan bastante bien para materiales termosensibles, en los casos en que una restricción en la temperatura de secado no implique que el tiempo de secado tenga que ser muy prolongado.



A continuación se enumeran los principales tipos:

- **Secador rotatorio directo:** se trata por lo común de un centro metálico ordinario con o sin paletas o aspas. Es apropiado para operaciones a temperaturas bajas e intermedias en donde la temperatura de operación está limitada primordialmente por las características de resistencia del metal que se haya empleado en la fabricación.

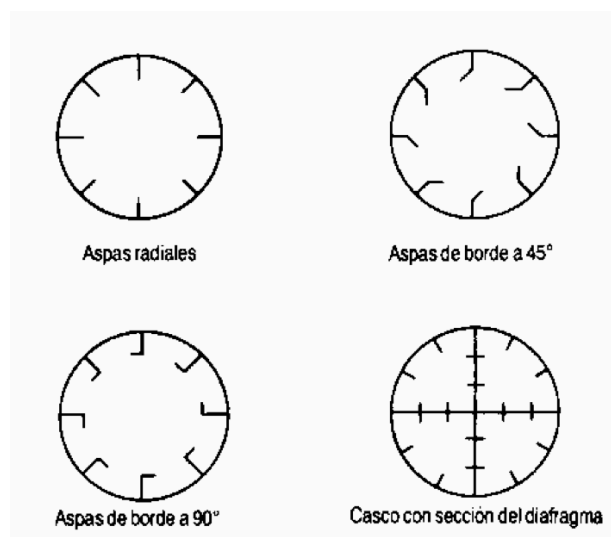
El secador rotatorio de calor directo está equipado normalmente con aspas en el interior, para levantar y dejar caer los sólidos a través de la corriente de gas a su paso por el cilindro. Estas aspas se sitúan normalmente de manera alterna cada 0,6 a 2 m para asegurar una cortina de sólidos más continua y uniforme en el gas. La forma de las aspas depende de las características de manejo de los sólidos. En el caso de materiales de flujo o movimiento libre, se utiliza un aspa radial con un reborde de 90°. Cuando se trata de materiales pegajosos, se emplea un aspa radial plana. Cuando el material cambia de características durante el secado, el diseño de las aspas varía a lo largo de la extensión del secador. Muchos diseños de secadores estándar emplean aspas planas sin ningún reborde en el primer tercio de la longitud total del secador, medido éste desde el extremo por donde entra la alimentación, aspas con rebordes de 45° en el tercio intermedio y con rebordes de 90° en el tercio final del cilindro. En el primer metro de recorrido a partir de la entrada de alimentación, casi siempre se instalan aspas espirales para acelerar el movimiento de entrada bajo el canalón de alimentación o el transportador, y evitar fugas en el anillo de retención del extremo de alimentación a través de los sellos para gas. Cuando se utiliza un flujo en paralelo de gas y sólidos, las aspas se pueden omitir en el último metro cercano a la salida, para reducir el arrastre de producto seco en el gas de salida.

Por otro lado, la aspersión de la alimentación mojada en el extremo de entrada de un secador a contracorriente sirve a menudo como medio eficaz para lavar los sólidos secos arrastrados en la corriente de gas, antes

de que esta salga del cilindro. Algunos secadores están provistos de aspas en diente de sierra para obtener una dispersión uniforme, mientras que otros emplean tramos de cadenas unidas al lado inferior de las aspas para raspar y golpear las paredes del cilindro, eliminando así los sólidos pegajosos que puedan adherirse a las mismas.

En el caso de los hornos de tambor, las cadenas contribuyen notablemente en la transmisión de calor; no obstante, su uso representa costes adicionales de mantenimiento cuando los secadores directos tienen aspas.

Los sólidos que se adhieren a las aspas y las paredes se desprenden con mayor eficacia por medio de golpeadores externos de carcasa.



En secadores con grandes secciones transversales, a veces se emplean elementos internos o divisiones, que sirven para aumentar la eficacia de distribución del material y reducir la formación de polvos finos y la trituración por impacto. El empleo de miembros internos aumenta la dificultad de la limpieza y el mantenimiento, a menos que se proporcionen espacios lo suficientemente amplios entre las subdivisiones para que los trabajadores tengan fácil acceso a ellos.

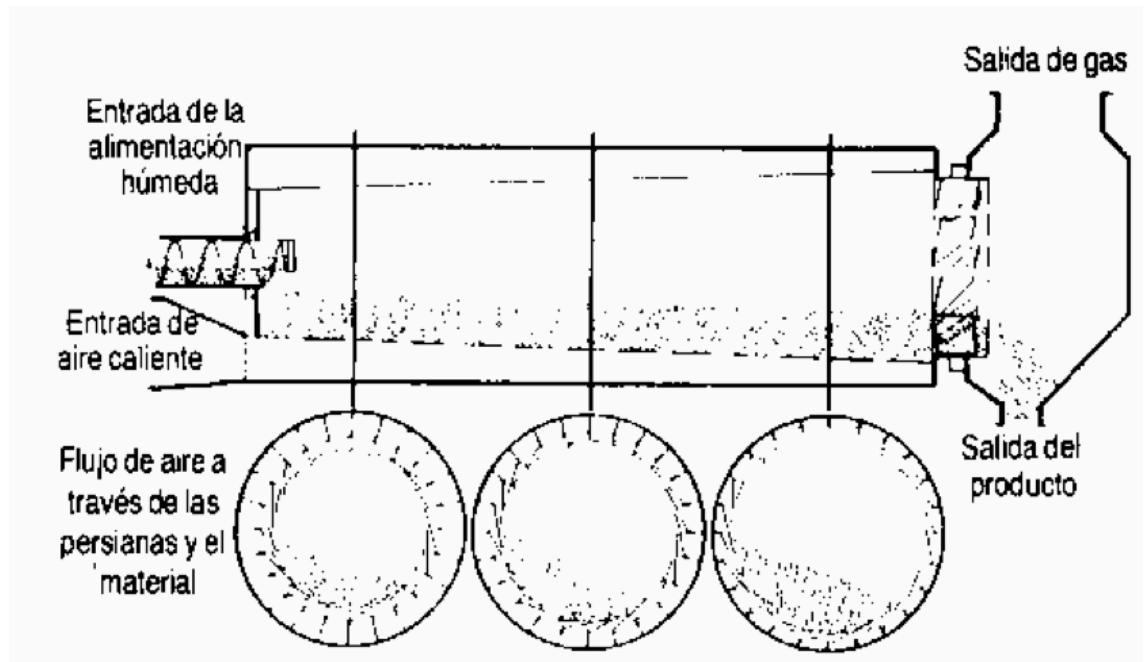
El flujo a contracorriente del gas y los sólidos genera mayor eficacia de transferencia de calor con una temperatura de gas de entrada determinada, pero el flujo en corrientes paralelas se utiliza con mayor

frecuencia para secar materiales sensibles al calor a temperaturas de gas de entrada superiores, debido al rápido enfriamiento que sufre el gas durante la evaporación inicial de la humedad de la superficie.

Hay varios métodos que se aplican para sellar el cilindro rotatorio y evitar fugas de gas por las aberturas anulares entre el cilindro rotatorio y las piezas estacionarias de la garganta. Ninguno de ellos es un sello de sólidos eficaz ni tampoco funcionará satisfactoriamente como sello de gas, si se permite la fuga de sólidos sobre el anillo de retención del cilindro.

En secadores rotatorios directos se encuentran muy pocos sellos de gas que sean totalmente herméticos, pero con el control minucioso de la presión interna, que casi siempre oscila entre 0,25 y 2,5 mm de agua por debajo de la atmósfera, se evita la emisión de polvos al exterior, reduciéndose al mínimo la entrada de aire del exterior.

En los secadores modernos se emplean, con mayor frecuencia, las cajas de cojinetes antifricción; sin embargo, cuando la carga del secador requiere un cojinete de diámetro mayor que 12,7 y hasta 15,2 cm sobre el eje del estribo, se sustituye el cojinete antifricción de eje fijo. Esto representa un ahorro considerable en los costes en comparación con las cajas de cojinetes de mayor tamaño. Están completamente selladas y se encuentran continuamente sumergidas en un baño de lubricante. En ocasiones menos frecuentes se utilizan bujes de cajas de cojinetes. Es difícil sellar herméticamente las arandelas de empuje axial para evitar el paso del polvo, consumiendo más potencia.



- **Horno rotatorio directo:** Éste es un cilindro metálico revestido en el interior con bloques aislantes y/o ladrillos refractarios, y es apropiado para operaciones a temperaturas elevadas.
- **Secador indirecto de tubos de vapor:** se trata de un cilindro metálico desnudo, provisto de una o más hileras de tubos metálicos instalados longitudinalmente sobre la cubierta. Sirve para operaciones a las temperaturas de vapor disponibles o para procesos en que los tubos se deben enfriar con agua.
- **Calcinadores rotatorios indirectos:** este es un cilindro metálico simple rodeado, en el exterior, por un horno encendido o con calefacción eléctrica. Es adecuado para operaciones a temperaturas intermedias hasta el máximo que pueda tolerar la pared metálica del cilindro, que casi siempre es del orden de 650 a 700 K, en el caso de acero al carbono, y de 800 a 1025K para acero inoxidable.
- **Secador directo de persianas giratorias:** este es uno de los tipos especiales más importantes y difiere de la unidad rotatoria directa entre,

en este caso, suministra una verdadera circulación directa de gas a través del lecho de sólidos. Al igual que el rotatorio directo este es apropiado para operaciones a temperaturas bajas e intermedias.

Campos de aplicación. Los equipos rotatorios se aplican al procesamiento de sólidos tanto en discontinuo como en continuo, que tienen un flujo relativamente libre, siendo el producto que descargan granular. Los materiales que no poseen un flujo completamente libre bajo sus condiciones de alimentación se manejan de una manera especial, ya sea reciclando una porción del producto final y premezclándola con la alimentación en una mezcladora externa para obtener una alimentación granular uniforme para el proceso, o bien manteniendo un lecho de producto de flujo libre dentro del cilindro, en el extremo de admisión de la alimentación, y en esencia, realizando la operación de premezclado dentro del cilindro propiamente dicho. Un diseño adecuado del proceso de reciclado originará que se puedan procesar en depósitos rotatorios muchas clases de lechadas y de alimentaciones en solución.

Los hornos rotatorios directos y los calcinadores indirectos sin aspas internas u otras obstrucciones, a menudo están provistos de cadenas colgantes. Estas pueden servir como superficies en las cuales se acumula el material hasta que deja de ser pegajoso, momento en que se desprende convertido en sólido granular, continuando su movimiento por el cilindro. Las cadenas de raspado se pueden utilizar también en calcinadores indirectos, para mantener limpias las paredes interiores de los mismos.

Como regla general, las unidades de calor directo son las más sencillas y económicas en lo que respecta a su construcción, y se emplean cuando se puede tolerar el contacto directo entre los sólidos y los gases de combustión y el aire. Puesto que la carga calorífica total se debe introducir o eliminar en la corriente de gas, casi siempre se necesitan grandes volúmenes de gas y altas velocidades del mismo. Estas últimas rara vez son menores que 0,5 m/s en un diseño económico. Por tanto, es probable que el empleo de equipos rotatorios directos con sólidos que contienen partículas extremadamente finas genere pérdidas excesivas por arrastre en la corriente de gas de salida.

Las formas indirectas sólo precisan un flujo de gas por el cilindro suficiente para eliminar los vapores o para completar el proceso interno en cualquier caso. Además, pueden estar selladas para procesos que requieren atmósferas especiales de gas y excluir el aire del exterior.

Equipo auxiliar. En los equipos rotatorios de calor directo se necesita una cámara de combustión para temperaturas elevadas y serpentines de vapor con aletas para temperaturas bajas. Si se desea evitar la contaminación del producto con los gases de combustión en las unidades de calor directo, se pueden utilizar calentadores de aire indirectos que empleen gas o petróleo para alcanzar las temperaturas que excedan la de vapor disponible.

El método de alimentación o dosificación para los equipos rotatorios depende de las características del material, de la ubicación y tipo del equipo de procesamiento corriente arriba. Cuando la alimentación proviene de arriba, se acostumbra a utilizar un canalón que se extiende hasta el interior del cilindro. Cuando es necesario que el sistema esté sellado o si no es conveniente llevar a cabo la alimentación por gravedad, se utiliza en general un alimentador de tornillo. En unidades de calor directo de corriente paralela, conviene a veces tener un encamisado de agua fría en el canal o el transportador de alimentación, si es que está en contacto con la corriente de gas caliente de la entrada. Esto evitará el sobrecalentamiento de la pared metálica, que puede causar el desprendimiento de escamas o el sobrecalentamiento de materiales de alimentación sensibles al calor.

Cualquier clase de transportador de sólidos es apropiado para el mezclado de reciclaje: sin embargo, el que se aplica de manera universal es el mezclador de paletas de doble eje. Este transportador o mezclador se debe aislar para evitar pérdidas de calor excesivas en productos secos y calientes de reciclaje. Para asegurar la uniformidad de la operación de reciclaje, se debe instalar una reserva de almacenamiento de compensación de sólidos reciclados para fines de arranque y para casos en que el cilindro interrumpa la descarga de producto. En muchos casos se ha descubierto que en las operaciones de reciclaje, la recirculación del 50-60% del producto es económicamente rentable.

Un método de alimentación para equipos directos de secado en corriente paralela utiliza los gases de expulsión del secador para transportar, mezclar y presecar la alimentación húmeda. Esta última se añade a los gases de expulsión a alta velocidad, desde el secador, y la alimentación húmeda mezclada con polvo arrastrado desde este se separa de los gases de escape en un ciclón, cayendo dentro del extremo de alimentación del cilindro. La técnica combina el secado neumático y el rotatorio. También se obtienen grandes eficacias térmicas cuando dos etapas de flujo con corriente paralela operan a contracorriente.

Con frecuencia se emplean transportadores neumáticos tanto como medio de transporte como de enfriamiento para productos secos. Entre los equipos adicionales de enfriamiento que se emplean a menudo están los transportadores de tornillo, los vibradores y los enfriadores rotatorios directos e indirectos.

El polvo arrastrado en la corriente de gas de salida se separa comúnmente por medio de recolectores de ciclón. Este polvo se descarga nuevamente al proceso, o bien se recoge por separado. En el caso de materiales costosos o partículas extremadamente finas, después del colector de ciclón, se pueden poner recolectores de bolsa, suponiendo que la estabilidad de la temperatura de la tela no lo impida. Cuando hay gases o sólidos tóxicos presentes, cuando el gas de salida tiene una temperatura muy elevada, cuando el gas está cerca de su nivel de saturación como cuando sale de un secador de tubo de vapor o cuando la recirculación de gas se realiza dentro de un sistema sellado. Es posible emplear lavadores por vía húmeda, ya sea de manera independiente o después del ciclón. Los ciclones y los recolectores de bolsas en aplicaciones de secado requieren con frecuencia aislamiento y trazado de vapor.

El ventilador de expulsión debe ubicarse corriente abajo en relación con el sistema de recolección.

El equipo rotatorio, excepto los depósitos revestidos con ladrillo, que operan por encima de la temperatura ambiente, está casi siempre aislado, con el fin de evitar las pérdidas de calor. Como caso excepcional están las unidades de calor directo, en cuya construcción se emplean metales sin recubrimiento y funcionan a altas

temperaturas, en donde las pérdidas de calor a través de la cubierta son necesarias, para evitar el sobrecalentamiento del metal. El aislamiento se convierte en un aspecto particularmente necesario en las unidades de calor directo con corriente paralela. Cuando el cilindro no está bien aislado, no es extraño que el enfriamiento o la condensación del producto en la cubierta ocurra en el último tramo de este.

Para asegurar una mejor operación, la velocidad de alimentación para los equipos rotatorios se debe regular de una manera muy minuciosa, como también debe ser uniforme la cantidad y la calidad alimentada. Puesto que las temperaturas de los sólidos son difíciles de medir y los cambios se detectan con cierta lentitud, la mayor parte de las operaciones en equipos rotatorios se controlan por medios indirectos. En las unidades de calor directo, las temperaturas del gas de entrada y salida se miden y regulan como si se tratara de secadores y hornos directos. En las unidades de tubos de vapor, lo que se regula es la temperatura y presión del vapor y la temperatura y la humedad del gas de salida, y en los calcinadores de calor indirecto se mide directamente la temperatura de la carcasa. En la mayor parte de los casos, las mediciones de la temperatura del producto se toman sólo con fines de control secundario.

El equipo que se impulsa eléctricamente y opera con temperaturas de metal que sobrepasan de 425 K debe estar provisto de unidades motrices o fuentes de potencia auxiliares. La pérdida de rotación de un calcinador calentado, o de un secador de alta temperatura que conduce un lecho pesado de sólidos calientes, generará cierto hundimiento o flexión del cilindro, debido al enfriamiento no uniforme.

Se optará por un secadero rotatorio de calor directo con flujo en paralelo.

El secadero se trata de un horno rotatorio directo, ya que el intercambio de calor se produce directamente entre el sólido y los gases.

Utilizamos flujo paralelo debido a que al producirse el contacto de aire a temperaturas mayores a 100°C con el alperujo seco se pueden producir explosiones, pero si este alperujo tiene un alto porcentaje de humedad (50% de humedad a la entrada) es poco probable.



Cálculo de la temperatura del alperujo a la entrada del secadero, una vez alcanza el estado estacionario.

$$1462,5 \frac{\text{kg de alperujo}}{h} \text{ a } 10^{\circ}\text{C} \rightarrow X = 0,692$$

$$650 \frac{\text{kg de alperujo}}{h} \text{ a } 100^{\circ}\text{C} \rightarrow X = 0,308$$

$$0,692 * 10^{\circ}\text{C} = 6,92^{\circ}\text{C}$$

$$0,308 * 100^{\circ}\text{C} = 30,8^{\circ}\text{C}$$

La temperatura a la que entra el alperujo al secadero tras alcanzar el estado estacionario será la suma de ambas: $6,92^{\circ}\text{C} + 30,8^{\circ}\text{C} = 37,72^{\circ}\text{C}$

Será necesaria la toma de muestras de humedad a la biomasa a la entrada y a la salida del horno para regular el caudal que alimenta el TSF de dosificación de la tolva de realimentación.

También serán necesarios transmisores de temperatura a la entrada y a la salida del flujo de aire.

En la tolva de alimentación del tornillo sinfín se colocarán tres células de carga. Si se superan los 330kg se acelera el tornillo sin fin y si desciende por debajo de los 270kg se ralentiza. El error máximo de las células de carga debe ser del 0,1%. Si es mayor hay que poner tolvas intermedias.

Características generales del secadero rotatorio:

- Caudal de entrada: 2.112,5 kg/h.
- Densidad del sólido: 900kg/m³.
- Humedad a la entrada: 50%.
- Humedad a la salida: 5%.
- Caudal de salida: 1.109,6kg/h.
- Materia seca: 1.056,25 kg/h.
- Volumen a la entrada: 2,347 m³/h.
- Volumen a la salida: 1,233m³/h.
- Agua a la entrada 1.056,2 kg/h.
- Agua a la salida: 52,81 kg/h.
- Agua a evaporar: 1.003,44 kg/h.

Condiciones del aire a la entrada:

- Temperatura: 230 °C.

Condiciones del aire a la salida:

- Temperatura: 105°C.
- Humedad en kg vapor/ kg de aire seco: 0,112 kg vapor/ kg de aire seco
- Volumen específico: 0,92m³/kg.
- Kg de aire necesarios: 8.959,3 kg/h.
- Densidad del aire: 1,29 kg/m³.
- Volumen de aire necesario: 6,9452 m³/h.
- Volumen estimado: 10,4178 m³/h.
- Calor específico de aire: 0,24 kcal/kg °C.

- Kcal/h requeridas en el secadero: 8.38196 kcal/h.

Características físicas del horno:

- Grosor de capa: 0,1m
- Tiempo de secado en horas: 1h.
- Diámetro del secadero: 1,4m
- Longitud del trómel: 7,0232m
- Inclinación: 1-5°C.
- Espirales interior: 12.
- Velocidad teórica del trómel: 0,2 rpm.
- Velocidad máxima trómel: 0,3 rpm.
- Diámetro de cremallera: 0,2m.

Cálculo de la longitud del horno a partir de U:

Energía necesaria para calentar el agua contenida en el alperujo desde 10°C hasta los 100°C y su posterior evaporación:

$$Q \text{ de agua} = M * \lambda + M * C_p * \Delta T$$

Siendo:

Q de agua: Kcal/h necesarias para calentar y evaporar el agua.

M: Caudal másico de agua en kg/h

C_p: Capacidad calorífica del agua en $\frac{kcal}{kg * ^\circ C}$

ΔT: Incremento de temperatura en °C .

λ: calor latente de vaporización del agua en $\frac{kcal}{kg}$

$$Q \text{ de agua} = 1.003,44 \frac{kg}{h} * 540 \frac{kcal}{kg} + 1.003,44 \frac{kg}{h} * 1 \frac{kcal}{kg * ^\circ C} * 90^\circ C$$

$$Q \text{ de agua} = 632.167 \frac{kcal}{h}$$

Energía necesaria para calentar el sólido desde 10°C hasta 100°C:

$$Q \text{ de sólido} = m * Cp * \Delta T$$

siendo:

Q de sólido: Kcal/h necesarias para calentar el alperujo sin humedad.

M: Caudal másico de alperujo en kg/h

Cp: Capacidad calorífica del alperujo seco en $\frac{kcal}{kg * ^\circ C}$.

ΔT : Incremento de temperatura en $^\circ C$.

$$Q \text{ de sólido} = 1.109,06 \frac{kg}{h} * 0,6 \frac{kcal}{kg * ^\circ C} * 90^\circ C$$

$$Q \text{ de sólido} = 59.886 \frac{kcal}{h}$$

Energía total necesaria en el secadero:

$$Q_{total} = 632.167 \frac{kcal}{h} + 59.886 \frac{kcal}{h} = 692.053 \frac{kcal}{h}$$

$$(\Delta T_m)_{lg} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{(100^\circ C - 105^\circ C) - (10^\circ C - 230^\circ C)}{\ln\left(\frac{10^\circ C - 230^\circ C}{100^\circ C - 105^\circ C}\right)} = 56,8^\circ C$$

Tras un amplio estudio de los diferentes modelos de secaderos rotatorios válidos para el desarrollo del presente proyecto y según información proporcionada por los principales fabricantes de este tipo de hornos podemos llegar a la conclusión

de que todos operar con un valor de U comprendido entre $2200 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$ y

$2700 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$. Se toma como valor para trabajar la media de obtenida de un amplio

abanico de modelos aptos para el desarrollo del proyecto.

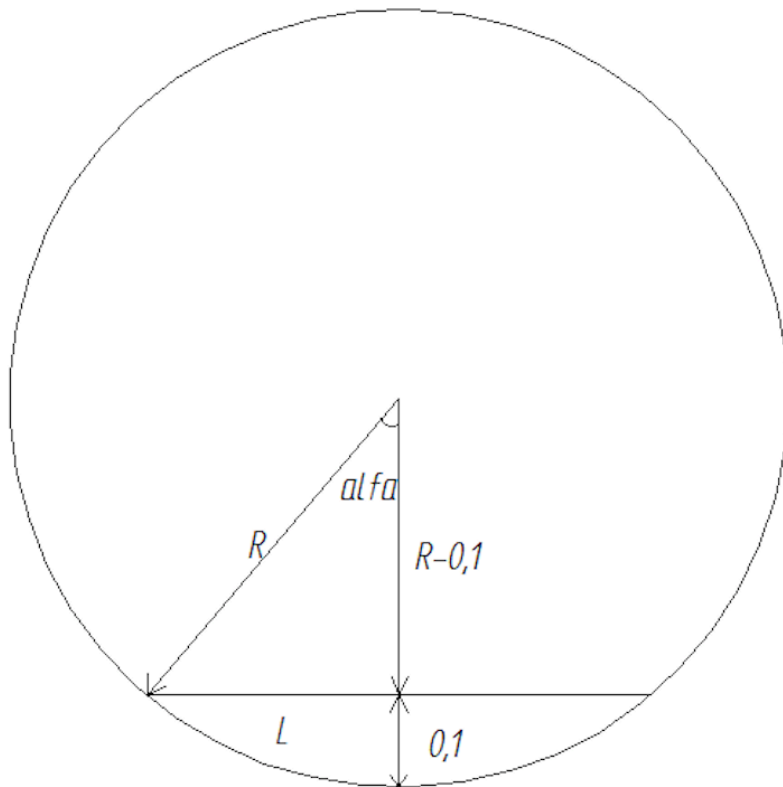
$$U = 2.518,93 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

El cálculo de los siguiente parámetros se realiza fijando un radio para el secadero rotatorio, en nuestro caso se fija en un valor de 0,7m, valor recomendado según

las empresas dedicadas a la construcción de este tipo de hornos para las capacidades y condiciones con las que se va a operar.

El valor más común con el que suele operar secaderos de dimensiones similares para el grosor de la capa límite es de 0,1m

Procedemos a calcular el valor de α , la longitud, la superficie y el volumen del secadero:



$$L = R * \sin \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{R - 0,1}{R} = 1 - \frac{0,1}{R}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{0,1}{R}\right)^2}$$

obtenemos un valor de $\alpha = 30,93^\circ$

$$L = R * \sin \alpha = R * \sqrt{1 - \left(1 - \frac{0,1}{R}\right)^2}$$

$$L_0 = 2 * L = 2 * R * \sqrt{1 - \left(1 - \frac{0,1}{R}\right)^2}$$

$$L_0 = 0,72m$$

A partir de esta longitud y tomando como valor de $U = 2518,93$, proporcionado por los comerciales de este tipo de secaderos se procede al cálculo de la longitud del mismo:

$$L = \frac{Q_{total}}{U * L_0 * (\Delta T_m)_{lg}} = \frac{692.053 \frac{kcal}{h}}{2.518,93 * 0,72m * 56,8^\circ C} = 6,71m$$

Cálculo del valor de la superficie del secadero:

$$S = R * d\alpha * R * (\sin(\alpha - d\alpha))$$

$$S = \frac{1}{2} * R * d\alpha * (R * \sin \alpha - R * d\alpha)$$

$$S = -R^2 * \cos \alpha + R^2 * d\alpha$$

$$S = \left[R^2 * \left(\alpha * \frac{\pi}{180} - \cos \alpha \right) \right]_0^\alpha$$

obtenemos un valor de $S = 0,33418m^2$

Cálculo de la longitud del horno fijando el tiempo de residencia:

Fijamos igual que en el caso anterior el radio, $R=0,7\text{m}$.

Aplicando la fórmula anteriormente calculada:

$$L = R * \sin \alpha = R * \sqrt{1 - \left(1 - \frac{0,1}{R}\right)^2}$$

obtenemos un valor de $L_0=0,72$.

Podemos calcular el valor del ángulo α mediante:

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{0,1}{R}\right)^2}$$

obtenemos un valor de $\alpha = 30,93^\circ$

y el valor de S mediante:

$$S = \left[R^2 * \left(\alpha * \frac{\pi}{180} - \cos \alpha \right) \right]_0^\alpha$$

obtenemos un valor de $S=0,33418\text{m}^2$

La superficie ocupada por la biomasa multiplicada por la longitud del secadero es equivalente al caudal volumétrico de la biomasa por el tiempo de residencia de esta en el secadero. De tal forma:

$$S * L = Qv * tr$$

Si fijamos el tiempo de residencia en 1h, valor más común con el que se suele operar en este tipo de secaderos:

$$L = \frac{2,347 \frac{m^3}{h} * 1h}{0,33418m^2} = 7,0232m$$

Obtenemos un caudal volumétrico de:

$$Qv = 2,347 \frac{m^3}{h}$$

El volumen ocupado por la biomasa será:

$$V = S * L$$

$$V = 0,33418m^2 * 7,0232m = 2,347m^3$$

Para ser conservativos se escoge el mayor valor de L, por lo tanto L=7,0232m.

El secadero cuenta con un filtro de tela y un ciclón para evitar que las partículas en suspensión salgan al exterior.

Filtro de tela.

Uno de los sistemas más eficientes para la eliminación de partículas es la utilización de filtros de tela como mecanismo colector. Los filtros de tela tienen la capacidad de mantener las eficacias de recolección por encima del 99% para partículas de hasta 0,3 mm de diámetro.

Los filtros de tela se caracterizan por estar contruidos de tela de fieltro, normalmente con forma de tubos (bolsas) que están suspendidos dentro de una estructura cerrada (cámara de bolsas). El flujo gaseoso se distribuye a través de unas cámaras de entrada y salida especialmente diseñadas para que el flujo se distribuya homogéneamente a través del medio de filtración.

Los mecanismos de recogida de partículas mediante el uso de filtros de tela incluyen el impacto inercial, la difusión browniana, la interceptación, la sedimentación por gravedad y atracción electrostática. Las partículas se retiran en forma seca de los apelmazamientos que se forman dentro de las bolsas (más eficiente) o en la propia tela. Este proceso provoca una pérdida de presión pequeña.

Periódicamente se recoge el apelmazamiento de polvo para su posterior eliminación; el polvo residual que queda en las bolsas sirve de ayuda durante la filtración inicial hasta que se desarrolle la acumulación siguiente.

A continuación compararemos los sistemas de filtros de tela con respecto a los principales sistemas de limpieza, discutiéndose algunos de los aspectos más importantes a tener en cuenta en el diseño de este tipo de limpiadores.

Sistemas de filtros de tela. El mecanismo de recolección de partículas utilizado en los distintos colectores de tela es básicamente el mismo. Sin embargo, difieren en la geometría del sistema, los modos de limpieza y las modificaciones propias de cada suministrador. Estas diferencias son debidas al gran número de aplicaciones de este tipo de filtros con necesidades y características físicas específicas.

El criterio más comúnmente utilizado para clasificar los filtros de tela es atendiendo al método de limpieza de la tela. Los tres tipos de métodos utilizados son el agitado mecánico, la limpieza mediante la inversión del flujo de aire y la limpieza a chorro. Otros métodos incluyen la limpieza manual, los agitadores neumáticos, desplome de la bolsa y limpieza sónica.

- **Agitadores mecánicos.** Muchas de las cámaras de bolsas usan algún tipo de agitado mecánico, normalmente operados con motores eléctricos. El movimiento rotatorio de un motor se convierte en oscilaciones y las bolsas se agitan horizontalmente (normalmente) o verticalmente. El proceso de limpieza se lleva a cabo por cada uno de los compartimentos individuales que contienen las bolsas.

Durante el ciclo de agitación no debería haber presión dentro del filtro. A no ser que el impulsor esté apagado durante el proceso de limpieza, es

normal utilizar un pequeño flujo de aire en sentido inverso para asegurarse de que la bolsa se limpie por completo. Cuando la unidad funciona con fuentes a alta temperatura, como por ejemplo un horno, el empuje térmico puede ser suficiente como para interferir en el proceso de limpieza aunque el impulsor está apagado.

Conforme el polvo se acumula en el filtro de tela, la caída de presión aumenta hasta que se alcanza una caída de presión predeterminada, momento en el cual es necesario llevar a cabo la limpieza para reducir la caída de presión. Las limpiezas se llevan a cabo de forma manual, semiautomática o automática. Es necesario disponer de suficiente tiempo para asegurarse una buena limpieza. Los ciclos de limpieza automáticos comienzan según un tiempo

El agitado crea una oscilación en la bolsa que provoca que la tela se doble. De esta forma, el aglomerado de polvo se raja liberando partes del mismo, quedando algo de polvo residual en la tela. La intensidad de la limpieza se controla mediante la tensión en la bolsa de tela y mediante la amplitud, frecuencia y duración del proceso de agitado.

- **Flujo inverso.** Los filtros de tela que utilicen la limpieza por flujo inverso, sufren la inyección de un gran volumen de aire a baja presión directamente a contracorriente al flujo normal del gas. Esta inversión del flujo provoca que el polvo apelmazado en la tela se resquebraje provocando su eliminación.

Normalmente, el proceso de limpieza ocurre cuando la planta no está funcionando, especialmente para colectores de tela interiores en los cuales la limpieza se puede llevar a cabo por unidades aisladas o compartimentos. En estos casos, puede ser necesario añadir anillos anti-colapso para prevenir el cierre del colector y el trasvase del polvo.

Para generar el flujo inverso puede ser necesario un impulsor adicional que impulse tanto gases de escape limpio o aire externo. La velocidad de flujo depende de las características del polvo a eliminar.

- **Limpieza por chorro pulsante.** Para los sistemas que usan la filtración en la parte exterior del colector de tela, se puede utilizar la limpieza a chorro. Este proceso consiste en la aplicación de un pulso de aire comprimido a alta presión dentro del colector durante un pequeño intervalo de tiempo (fracciones de segundo). Esta acción tiende a formar una oscilación desde la parte baja del colector que se extiende rápidamente a lo largo de la tela dislocando todo el polvo acumulado. La vibración del pulso formado y la flexión de la tela debido al incremento de presión es el principal mecanismo de limpieza.

El pulso de aire de limpieza tiene normalmente de 700 a 825 kPa de presión durante una duración de menos de 0,1 a 0,2 segundos.

Normalmente estas características permiten que la limpieza se pueda llevar a cabo durante el funcionamiento de la planta. Una desventaja de este sistema de limpieza es que el pulso de alta presión generalmente incrementa las emisiones de partículas durante el proceso de limpieza. Por otro lado, dado que el pulso de aire elimina todo el apelmazado de polvo, se pierden las acciones de filtrado que pudiera hacer el polvo residual. Por esta razón, se prefieren telas de fieltro frente a las tejidas.

Ciclón:

Un separador ciclónico es un separador muy versátil y de bajo coste que procede a la separación de las partículas del flujo gaseoso mediante el uso de una serie de partes móviles. Existe una gran variedad de unidades. El vórtice necesario para que ocurra la separación de las partículas se consigue inyectando el flujo gaseoso en la sección cilíndrica del separador de forma tangencial o mediante el uso de ventiladores con entradas axiales. La mayoría de estos sistemas disponen de un camino para el gas doble de tal forma que las partículas se expulsan a lo largo de las paredes del cilindro justo en el punto donde el vórtice cambia de dirección. La eficacia de un separador ciclónico depende, sobre todo, del tamaño de las

partículas, razón por la cual a la hora de diseñar el sistema se debe tener en cuenta la eficacia de recolección, la pérdida de presión y el tamaño de la unidad.

Conforme mayor es la caída de presión mayor es la eficacia del sistema y depende de factores tales como aumento de la velocidad de entrada del gas o aumento de las dimensiones del sistema de recolección, su longitud total, la relación entre el diámetro del cuerpo y el diámetro de salida y la homogeneidad de las paredes internas del sistema. La eficiencia aumenta también conforme disminuye la densidad del gas.

Los tipos de ciclones más comunes para operar e unas condiciones similares a las del proceso son los siguientes:

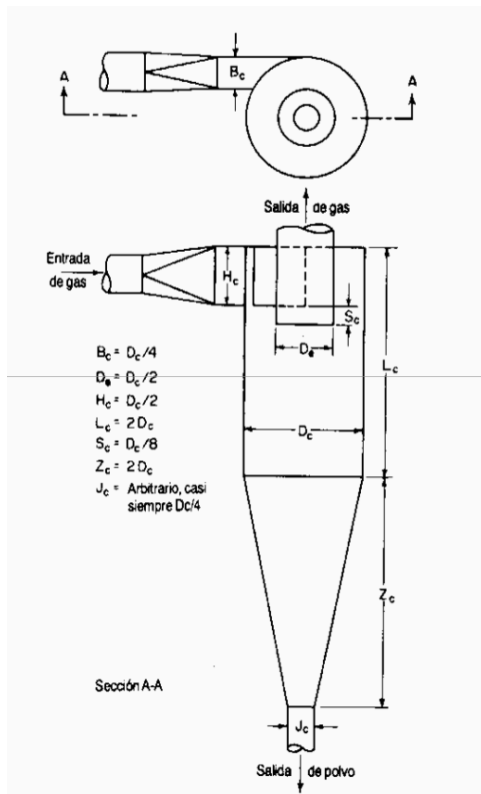
Separadores ciclónicos simples. La configuración básica de un separador ciclónico simple consiste en una entrada tangencial, una salida axial y una salida axial del polvo. No obstante, las siguientes matizaciones y relaciones son igual de válidas para todos los separadores ciclónicos.

La velocidad de entrada debe ser suficientemente alta como para poder tener una eficacia de separación alta sin crear excesivas turbulencias. Las velocidades de entrada típicas oscilan entre 10 y 25 m/s (30-85 ft/s).

Los ciclones deben dimensionarse usando un factor de separación basado en la premisa de que la fuerza centrífuga aplicada a las partículas varía según el cuadrado de la velocidad de entrada y es inversamente proporcional al radio del ciclón.

Aunque no se exprese mediante una ecuación específica, la eficacia de recogida varía de forma directamente proporcional al factor de separación.

La pérdida de presión a través del ciclón es el resultado de varios factores, entre los que se incluyen las pérdidas de entrada y salida, la fricción interna con las paredes y la energía cinética en el gas de salida. La determinación más exacta es la que se lleva a cabo comprobando el comportamiento del prototipo real.



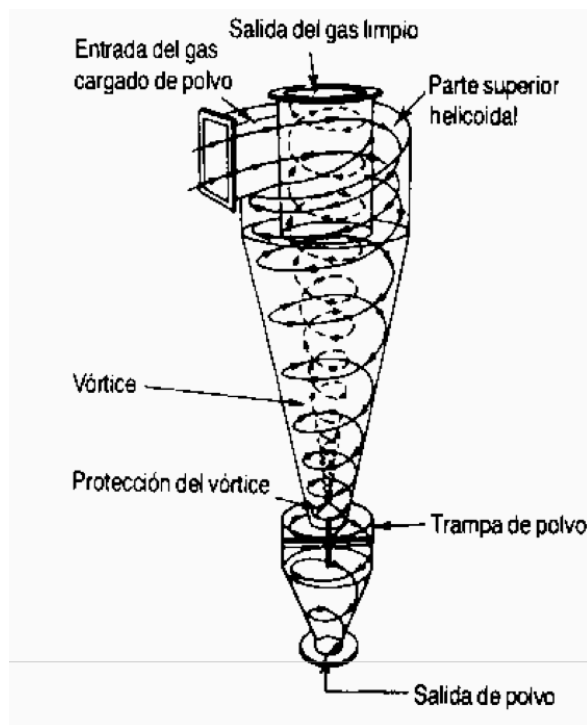
Separador ciclónico de alta eficacia. Incrementando la longitud del cuerpo y disminuyendo el diámetro de un separador ciclónico simple, se consigue un separador ciclónico de alta eficacia. Este tipo de separadores se utilizan para partículas de 5 a 10 μm de diámetro. Las variaciones de sus características físicas, en relación con el separador ciclónico simple, consisten en el aumento de la longitud del cilindro, aumento de la velocidad de entrada, aumento del tiempo de detención y de la fuerza centrífuga que se imprime a las partículas y disminución del diámetro del cilindro.

Un separador ciclónico de alta eficacia consiste en un cilindro con una entrada de gas rectangular y tangencial, una salida tubular y axial del gas, y una sección cónica inferior con una salida axial de las partículas recolectadas.

Separadores mecánicos. Estos separadores utilizan la fuerza que un ventilador rotatorio o impulsor ejerce sobre las partículas provocando que se desplacen hacia el perímetro del separador para ser eliminadas posteriormente. Los separadores mecánicos tienen una eficacia mayor que los simplemente gravitatorios. En el mercado existe una gran cantidad

de separadores de este tipo.

Las principales ventajas de estos separadores residen en que son muy compactos, que tienen una gran eficacia de recolección de partículas pequeñas, y que su eficacia aumenta significativamente cuando se utilizan en combinación varias unidades. Sin embargo, no funcionan adecuadamente cuando se exponen a partículas que tiendan a agruparse o a acumularse en las espas, y presentan la desventaja de que necesitan una fuente de energía considerable. Si trabajan a velocidades bajas, de 400 a 800 rpm, pueden minimizarse los efectos que la abrasión puede provocar sobre el material del que están contruidos.



En el presente proyecto se empleará un separador ciclónico simple, ya que cubre adecuadamente con las exigencias físicas que se precisan.

4.3.2- Pelletizadora.

Que consistirá en un equipo compuesto de los siguientes elementos, como mínimo:

- Depósito mezclador acondicionador de humedad.
- Dosificador con velocidad variable.
- Matriz anular para pellets de 6 mm de diámetro.
- Grupo de rodillos de presión ajustables sobre excéntrica.
- Cuchillas regulables para la longitud de los pellets.
- Compuerta con apertura por cremallera para inspección matriz con doble seguridad de cierre.
- Motor principal de 5 kW.
- Transmisión por correas dentadas.
- Instalación automática de engrase.
- Bomba de aceite fin de ciclo.
- Unidad de aspiración centralizada con filtros de mangas y sistema de vibración.
- Tubos de conexión flexibles.

Sistema de Almacenamiento y expedición, que contará con los siguientes elementos:

- Sistema de transporte inclinado de pellets, con funciones de enfriamiento y eliminación de polvo.
- Sistema centralizado de aspiración, filtrado y recuperación de polvo.
- Electro compresor de aire con calderín.
- Tolva de almacenaje de pellets.
- Aparato acústico de aviso de aforo máximo.
- Báscula de pesaje.
- Termo-soldadora de sacos de plásticos.

Toda la instalación eléctrica de esta planta de pelletización se realizará según el Reglamento de Baja Tensión. Dicha instalación eléctrica contendrá como mínimo, un cuadro de protección y maniobra, con interruptores magneto-térmicos,

interruptor diferencial y un PLC con pantalla táctil; canalización diferencial y el cableado, potencia y mando.

4.3.3- Caldera.

Se está produciendo una irrupción en el mercado de calderas que tienen como combustible de alimentación los residuos de almazara, en particular el uso de orujillo de aceituna o hueso de aceituna. Estos componentes pueden emplearse como combustible al quemarse o transformarse en otras formas de combustible como biogás o biocombustible.

Emplear biomasa como combustible resulta beneficioso para el entorno: elimina residuos ayudando a disminuir el riesgo de incendio y acumulación de desechos. A esto hay que sumar que el hueso de aceituna es mucho más barato que cualquier otra energía fósil. La biomasa es respetuosa con el medio ambiente ya que no emite gases de efecto invernadero y, de paso, se sustituye el consumo de combustibles fósiles con algo tan sencillo, como es el hueso de aceituna, que es muy limpio y no origina polvo.

La implantación de una caldera de combustión directa será empleada para generar calor, el cual será utilizado directamente para el secado de la biomasa. Además, esta será aprovechada para transferir calor en los sistemas de intercambio de calor y para la producción de electricidad se aprovechará en la producción de vapor para procesos industriales y electricidad.

El sistema automático de alimentación de combustible permitirá introducir el combustible a la parrilla desde el punto de almacenamiento. Está compuesto por los siguientes elementos:

- Grúa de carga
- Cinta transportadora
- Silo-dosificador de alimentación de combustible al hogar

El sistema de combustión es a base de una parrilla móvil de tipo oscilante,

accionada hidráulicamente, en conjunto con un sistema de spreaders alimentadores de biomasa que lanzan el combustible en suspensión produciéndose una combustión uniforme, quemándose sobre parrilla aquellas partículas de mayor granulometría y humedad.

La distribución del aire de combustión en la caldera debe ser óptima, por ello la caldera dispone de un ventilador de tiro forzado, que impulsa el aire de combustión a la misma, y un ventilador de tiro inducido, que aspira los gases, a través del filtro de mangas hacia la chimenea. Se instalan también ventiladores de aire de transporte y ventilador de aire de turbulencia. Los ventiladores de aire de transporte suministran el aire necesario para transportar el orujillo molido a los quemadores y el ventilador de aire de turbulencia introduce aire a diversos niveles del hogar para proporcionar la turbulencia necesaria para conseguir una combustión completa y controlar las emisiones de NOx. Todos estos ventiladores irán controlados por variadores de frecuencia, lo que optimiza, tanto el punto de trabajo de los mismos como los autoconsumos de la instalación.

Los gases que salen de la caldera son depurados antes de su expulsión a la atmósfera. Para ello, existe un sistema de limpieza de gases que consiste en un ciclón y un filtro. El ciclón evita que lleguen al filtro partículas incandescentes que podrían dañar el filtro. El filtro separa las partículas de polvo (cenizas volantes) de los gases. Estas partículas son extraídas y transportadas a un silo.

La extracción de escorias se realiza de forma automática por la parte inferior de parrilla. Con un recogedor de tipo redler, con cámara inundada de agua que permite el enfriamiento de las cenizas y la estanqueidad del sistema con el hogar.

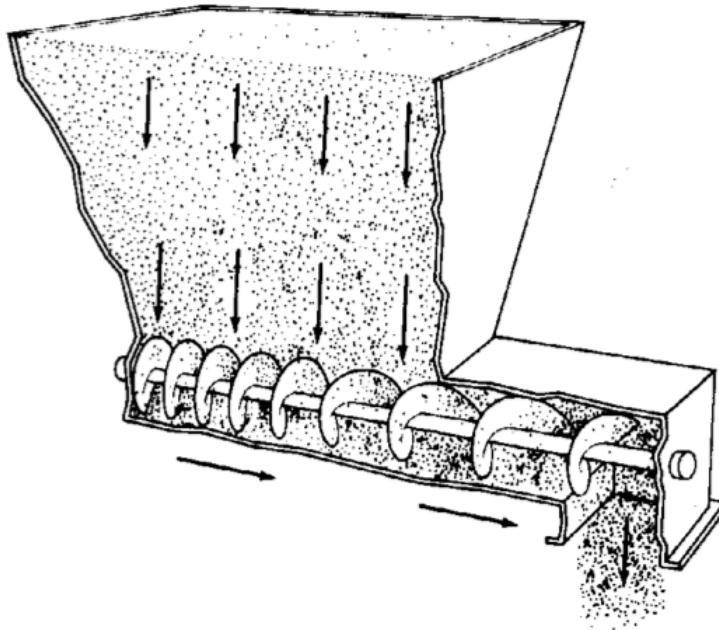
Estará construido íntegramente en acero inoxidable.

La caldera lleva incorporado un sistema de control de Scada que controla la carga de caldera, control de nivel, temperatura, además de visualizar en pantalla todas las indicaciones de presión y temperatura tanto de gases como de vapor.

Se va a usar una caldera de aceite térmico.

La caldera consta de:

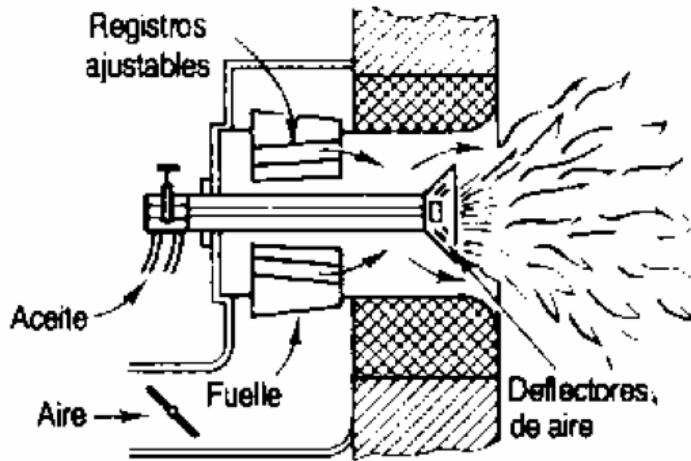
- Tolva de almacenamiento para el alperujo con su correspondiente tornillo sinfín que alimenta el quemador.
- Tolva de almacenamiento para el hueso de aceituna con su correspondiente tornillo sinfín que alimenta el quemador.



- Turbina de aire para la llama junto al termostato de seguridad para regular la temperatura máxima y mínima.
- Regulador.
- Parrilla de tipo oscilante.

El consumo de aceite necesario es un factor clave para la elección del tipo de caldera. Se debe tener en cuenta que será la calefacción para el horno rotatorio y para el grupo turbina-generador.

La instalación se completa con una serie de sistemas auxiliares como plantas de tratamiento de agua y efluentes, sistema de depuración de gases de caldera, sistema eléctrico y de control.



Se cuenta también con una unidad quemadora completa mecánica o de actualización de aceite a presión. Se proporciona aire por tiro natural o con un soplador de baja presión.

Combustión de gases.

Las ventajas de los gases como combustibles son:

1. Facilidad de manejo y transporte por tuberías.
2. Ausencia de cenizas y materias extrañas.
3. Facilidad de control de la combustión, que permite mantener la temperatura aún con demandas variables.
4. Posibilidad de regulación de la atmósfera de los hornos, para obtener condiciones oxidantes o reductoras.
5. Posibilidad de precalentar el gas en regeneradores o recuperadores, con aumento de la temperatura de combustión y elevación del rendimiento térmico.
6. Los gases combustibles proceden muchas veces de combustibles sólidos de mala calidad.

Los gases se mezclan con el aire en el quemador y experimentan una combustión rápida, pero no instantánea, al alcanzar la temperatura de ignición. Por esto han de permanecer en la cámara de combustión el tiempo necesario para que las reacciones sean completas.

Hay muchos tipos de quemadores de gas, y para una determinada aplicación pueden emplearse indistintamente varios de ellos. La característica general es la mezcla del gas con todo el aire, o bien solamente con el llamado aire primario, antes de la ignición. En los quemadores atmosféricos, de llama corta, el gas entra a baja presión, y el aire es aspirado del exterior con ayuda de un ventilador. En los quemadores de presión, el gas entra a presión hasta de 3 atm, por orificios más pequeños; la capacidad de acomodación (definida por el cociente entre los caudales máximo y mínimo del gas en una determinada instalación) es mucho mayor que en los quemadores atmosféricos.

Las bocas de entrada se distribuyen de modo que se aproveche al máximo de espacio de combustión. Por razones económicas es conveniente instalar el menor número de bocas; pero al hacer el proyecto hay que tener en cuenta el tamaño de la llama y el punto de calado o velocidad por debajo de la cual tiene lugar la regresión de la llama. Al reducir el tamaño del orificio, disminuye hasta anularse la velocidad de calado. Con un gran número de orificios muy pequeños puede reducirse el caudal total hasta valores ínfimos sin que exista peligro de calado.

Por otra parte, los orificios grandes dan llamas más largas, pero la capacidad de adaptación es muy pequeña.

En los quemadores de boca radiante la entrada de la mezcla se efectúa a través de boquillas de material refractario especial, que se calientan hasta la incandescencia durante el funcionamiento, facilitando la combustión de los gases.

Energía que produce la caldera:

El poder calorífico de casi todos los combustibles procedentes de residuos sólidos es función de su contenido en carbono. El contenido en cenizas es generalmente bajo, pero el contenido en humedad es muy variable y depende, además de la humedad en el lugar de generación, de los fenómenos de procesado, manipulación y almacenamiento.

Orujillo:

$$Q. \text{ orujillo} = m * Cp$$

siendo:

Q. orujillo: Kcal/h necesarias para calentar orujillo

M: Caudal másico de orujillo en kg/h

Cp: Poder calorífico del orujillo=3570 kcal/kg

$$459,06 \frac{kg}{h} * 3.570 \frac{kcal}{kg} = 1.638.844 \frac{kcal}{h}$$

Hueso:

La almazara está provista de varias deshuesadoras, las cuales nos permiten la obtención del hueso de la aceituna por separado, siendo un combustible biomásico con un PCI de 5500kcal/kg, con una granulometría muy homogénea y una humedad de entre el 15 y el 25%. Todas estas propiedades convierten al hueso de la aceituna en un combustible muy óptimo.

$$\frac{312 \text{ toneladas de hueso}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{120 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{16h} = 0,1625 \frac{\text{toneladas}}{h} = 162,5 \frac{kg}{h}$$

$$Q. \text{ hueso} = m * Cp$$

siendo:

Q. hueso: Kcal/h necesarias para calentar los huesos de aceitunas.

M: Caudal másico de huesos de aceitunas en kg/h

Cp: Poder calorífico del hueso de aceituna= 5500kcal/kg

$$162,5 \frac{kg}{h} * 5.500 \frac{kcal}{kg} = 893.750 \frac{kcal}{h}$$

Energía total entrante a la caldera procedente del orujillo y del hueso de la aceituna:

$$Q. total = Q. orujillo + Q. hueso$$

$$Q. total = 1.638.844 \frac{kcal}{h} + 893.750 \frac{kcal}{h} = 2.532.594 \frac{kcal}{h} \text{ entran a la caldera.}$$

la caldera tiene un rendimiento del 80%, por lo tanto :

$$2.532.594 \frac{kcal}{h} * 0,8 = 2.026.075 \frac{kcal}{h} \text{ produce la caldera.}$$

Se seleccionará una caldera con las siguientes características y dimensiones :

- Tamaño: 2000
- Potencia Térmica útil: 2.000.000 kcal/h.
- Consumo de orujillo: 588kg/h.
- Peso transportado: 6550kg.
- Volumen de aceite: 3'210m³.
- Perdidas de Carga circuito humos: 80mm.c.a.
- Perdidas de Carga circuito agua: 180mm.c.a.
- Diámetro de salida y retorno: DN-150
- Diámetro de conexión expansión: 3"
- Diámetro de conexión de vaciado: 1 1/4"

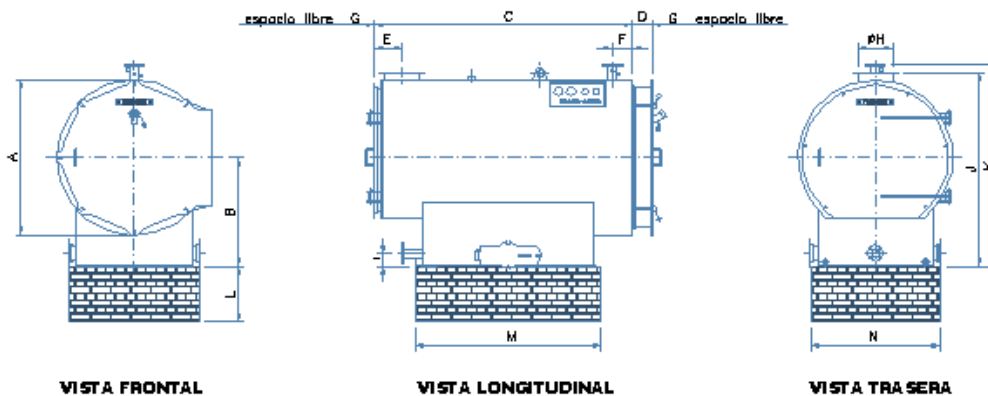
TCN-H

TAMAÑO	POTENCIA TÉRMICA ÓTIL. koa/h	CONSUMO ORJILLO kg/h (1)	PESO TRANSPOR. kg (2)	VOLUMEN AGUA m ³	PERD. CARGA CIRC. HUMOS mm.d.a.	PERD. CARGA CIRC. AGUA mm.d.a.	Ø SALIDA Y RETORNO	Ø CONEXIÓN EXPANSIÓN	Ø CONEXIÓN VACIADO
100	100.000	30	900	0,410	30	100	DN-50	1 1/4"	1/2"
150	150.000	45	930	0,395	35	100	DN-50	1 1/4"	1/2"
200	200.000	59	950	0,388	35	100	DN-50	1 1/4"	1/2"
255	255.000	74	1280	0,621	45	100	DN-65	1 1/2"	1"
300	300.000	88	1300	0,611	45	100	DN-65	1 1/2"	1"
350	350.000	103	1320	0,600	45	110	DN-65	1 1/2"	1"
400	400.000	117	1350	0,590	60	110	DN-65	1 1/2"	1"
450	450.000	132	1860	1,182	60	120	DN-80	2"	1 1/4"
500	500.000	147	1880	1,176	60	120	DN-80	2"	1 1/4"
550	550.000	161	1890	1,172	60	140	DN-80	2"	1 1/4"
600	600.000	176	1910	1,170	60	140	DN-80	2"	1 1/4"
650	650.000	191	1920	1,167	60	160	DN-80	2"	1 1/4"
700	700.000	205	3520	1,793	60	160	DN-80	2"	1 1/4"
800	800.000	235	3560	1,801	70	170	DN-80	2"	1 1/4"
900	900.000	265	4220	2,015	70	170	DN-125	2 1/2"	1 1/4"
1000	1.000.000	294	4240	2,013	70	180	DN-125	2 1/2"	1 1/4"
1100	1.100.000	323	4270	2,009	70	180	DN-125	2 1/2"	1 1/4"
1200	1.200.000	352	4290	2,007	70	180	DN-125	2 1/2"	1 1/4"
1300	1.300.000	382	5230	2,350	80	180	DN-150	3"	1 1/4"
1400	1.400.000	412	5260	2,343	80	180	DN-150	3"	1 1/4"
1500	1.500.000	441	5280	2,333	80	180	DN-150	3"	1 1/4"
1800	1.800.000	529	6530	3,223	80	180	DN-150	3"	1 1/4"
2000	2.000.000	588	6550	3,210	80	180	DN-150	3"	1 1/4"

(1) P.C.I. ESTIMADO DEL COMBUSTIBLE 4.000 kcal/kg

(2) PESO INDICADO A UNA PRESIÓN DE 4 bar

* PRESIONES DE TRABAJO A 4 Y 6 bar



TAMAÑO	A	B	C	D	E	F	G	ØH	I	J	K	L	M	N
100	990	585	1575	140	137	150	1300	175	100	1140	1240	450	1300	790
150	990	585	1575	140	137	150	1300	175	100	1140	1240	450	1300	790
200	990	585	1575	140	137	150	1300	175	100	1140	1240	450	1300	790
255	1050	725	2150	180	175	150	1800	250	110	1300	1400	450	1300	950
300	1050	725	2150	180	175	150	1800	250	110	1300	1400	450	1300	950
350	1050	725	2150	180	175	150	1800	250	110	1300	1400	450	1300	950
400	1050	725	2150	180	175	150	1800	250	110	1300	1400	450	1300	950
450	1310	905	2400	185	200	150	2000	300	120	1610	1660	550	1750	1150
500	1310	905	2400	185	200	150	2000	300	120	1610	1660	550	1750	1150
550	1310	905	2400	185	200	150	2000	300	120	1610	1660	550	1750	1150
600	1310	905	2400	185	200	150	2000	300	120	1610	1660	550	1750	1150
650	1310	905	2400	185	200	150	2000	300	120	1610	1660	550	1750	1150
700	1550	1075	2500	200	225	200	2050	350	120	1610	1660	550	1750	1200
800	1550	1075	2500	200	225	200	2050	350	120	1610	1660	550	1750	1200
900	1600	1050	2625	220	237	200	2200	375	140	1900	1950	550	1950	1250
1000	1600	1050	2625	220	237	200	2200	375	140	1900	1950	550	1950	1250
1100	1600	1050	2625	220	237	200	2200	375	140	1900	1950	550	1950	1250
1200	1600	1050	2625	220	237	200	2200	375	140	1900	1950	550	1950	1250
1300	1700	1100	2900	240	250	200	2400	400	160	2000	2050	550	1950	1250
1400	1700	1100	2900	240	250	200	2400	400	160	2000	2050	550	1950	1250
1500	1700	1100	2900	240	250	200	2400	400	160	2000	2050	550	1950	1250
1800	1850	1175	3300	260	275	200	2750	450	160	2150	2200	550	1950	1350
2000	1850	1175	3300	260	275	200	2750	450	160	2150	2200	550	1950	1350

* LAS COTAS Y DATOS QUE FIGURAN EN ESTE CATALOGO SE DAN A TITULO INFORMATIVO Y PUEDEN SER MODIFICADAS SIN PREVIO AVISO

* COTAS EN mm

* EN CASO DE REQUERIR PRODUCCIÓN DE VAPOR CONSULTAR

4.3.4- Intercambiadores de calor.

4.3.4.1- Evaporadores de calentamiento directo.

La evaporación de líquidos, como proceso físico, es sólo un aspecto particular de la transmisión del calor. Se utiliza este proceso para la separación, por ebullición, de una parte del líquido contenido en una disolución o suspensión. El calor necesario para ello puede proceder de cualquier medio de calefacción. Cuando este medio es el vapor de agua condensante, el aparato se llama evaporador, y la evaporación se estudia separadamente como operación básica. La clasificación de la evaporación dentro de la ingeniería química responde al empleo de aparatos especiales y métodos particulares.

Partes esenciales de un evaporador. Las partes esenciales de un evaporador son la cámara de calefacción y la cámara de evaporación, separadas por una superficie de calefacción. La forma y disposición de ambas cámaras, diseñadas para lograr un funcionamiento eficaz y un valor máximo del coeficiente de transmisión del calor, varían de unos a otros tipos de evaporadores. El evaporador más sencillo está formado por una cámara de calefacción (camisa de vapor) que rodea el recipiente donde se efectúa la evaporación. La superficie de transmisión del calor tiene aquí un área muy limitada, y el dispositivo sólo sirve para evaporaciones en pequeña escala. En caso contrario, hemos de recurrir a la superficie de calefacción tubular, que permite incluir un área de transmisión de calor muy extensa en un aparato de dimensiones mínimas.

Tipos de evaporadores.

- **Evaporadores de camisa de vapor.** Estos aparatos responden a formas diferentes, con frecuencia cilíndricas o semiesféricas. El material de construcción suele ser hierro fundido, aunque en la industria de la alimentación se emplean cobre, aluminio, hierro esmaltado y diversos metales. En los aparatos de hierro fundido suele fundirse, en la misma pieza, la cámara envolvente. En otro caso, la cámara de vapor se forma envolviendo el recipiente interno con otro del mismo metal, que va

soldado o remachado sobre aquel. La envolvente lleva conexiones para la entrada del vapor, salida del condensado y purga de los gases no condensables. En muchos casos, la descarga del recipiente, interno se hace por un tubo conectado a la parte inferior de la caldera, que ha de atravesar la envolvente.

- **Evaporadores de superficie tubular.** En el desarrollo histórico, de los evaporadores de tubos han surgido varios tipos diferentes, que siguen empleándose en la actualidad. La razón de la existencia de los diversos tipos hay que buscarla más en la costumbre de cada industria que en un criterio de utilización racional.

El primer tipo construido, el evaporador de tubos horizontales con vapor por el interior, respondía a la necesidad de aumentar la superficie de calefacción contenida en un aparato de volumen limitado. Posteriormente, y siempre por la tendencia a aumentar la capacidad de evaporación, se ha tratado de mejorar las condiciones de transmisión de calor desde el vapor condensante hasta el líquido en ebullición, consiguiéndose a igualdad de superficie una mayor capacidad de evaporación. Para ello es necesario aumentar el coeficiente de convección en el lado del líquido hirviendo, haciendo que sea éste, y no el vapor, el que circule, por el interior de los tubos, mientras que el vapor condensa en el exterior. Los distintos modelos de evaporador difieren en el modo en que se ha activado esta circulación si en unos de ellos es superior la capacidad de evaporación por unidad de superficie, para lograrlo ha sido necesario introducir complicaciones mecánicas que pueden no ser compensadas por aquel aumento. Los tubos de evaporación pueden ser horizontales o verticales o inclinados.

- **Evaporadores de tubos horizontales.** La cámara de evaporación está formada por un cuerpo cilíndrico vertical, cerrado en sus dos bases, con salidas para el vapor en la superior y para la solución concentrada por el fondo.

Esta última puede ser cónica o tener forma apropiada para la recogida de

cristales, cuando la evaporación dé lugar a una cristalización. La parte inferior está atravesada por un haz de tubos insertados en dos chapas colectoras que forman las dos caras internas de las cajas de vapor. El vapor entra por una tubería de conexión y se condensa a lo largo de los tubos, arrastrando las pequeñas cantidades de gases condensables que puede contener hacia el otro extremo, donde se ha colocado el grifo de purga de aire. Este evaporador se construye de chapa de acero o hierro fundido, con un tamaño medio de 2 m de diámetro por 3 m de altura, y tubos de 2 ó 3 cm de diámetro. Se emplea con preferencia para disoluciones no viscosas que no depositen cristales o impurezas en la cristalización, ya que la operación de limpieza de las superficies es relativamente difícil.

- **Evaporadores de tubos verticales.** Posteriores a los modelos ya descritos, han desplazado a éstos en muchos casos por sus ventajas indudables.

El tipo llamado Standard, uno de los más conocidos, consta de un cuerpo cilíndrico vertical análogo al descrito para el evaporador de tubos horizontales. En su parte inferior tiene una cámara anular de vapor, atravesada por haces de tubos abiertos en sus dos extremos

El líquido a evaporar que entra en los haces de tubos adquiere en ellos un movimiento ascendente al producirse las primeras burbujas de vapor. Las porciones de líquido arrastradas del fondo han de ser reemplazadas por otras que descienden por el conducto central, produciéndose así una circulación activa que facilita la evaporación. Se emplean tubos de 1 a 4 pulg. de diámetro y, aproximadamente, 1 m de longitud.

La mayor desventaja de este evaporador es el arrastre de espuma o gotas del líquido con el vapor, que, sólo se atenúa mediante la introducción de cortaespumas y tabiques deflectores. Este dispositivo es más sencillo de aplicar en el evaporador de cesto, que tiene un conducto de descenso periférico en sustitución del conducto central. El elemento de calefacción forma un cuerpo compacto, que puede sacarse, del evaporador para la limpieza. Las restantes

características son análogas a las del evaporador Standard, y las diferencias entre ambos son más bien de tipo constructivo.

El evaporador de tubos largos, constituye un notable avance sobre los anteriores, ya que en el se logra mejorar el coeficiente integral de, transmisión de calor por aumento de, la velocidad de circulación del líquido en los tubos. El diámetro de éstos es de 3 a 6 cm, y su longitud de 3 a 6 m. El nivel del líquido se mantiene un poco por encima del extremo inferior. La formación de burbujas de vapor origina una corriente ascendente muy rápida del líquido a evaporar, que pasa una sola vez por los tubos. El deflector, separa del vapor la mayor parte de las partículas de líquido, y el resto queda retenido en el separador de ciclón, volviendo al tubo de salida del concentrado. Mediante deflectores situados entre el haz de tubos se consigue que el vapor circule por la cámara de calefacción de tal modo que los gases no condensables se arrastran hacia la parte inferior, donde se dispone fácilmente el grifo de purga correspondiente.

El evaporador de circulación forzada tiene mayor capacidad de evaporación que ninguno de los anteriormente descritos, a igualdad de superficie de evaporación, esto se logra a expensas de una mayor complicación mecánica, por empleo de una bomba de circulación. La cámara de calefacción se proyecta, en parte, en el espacio del vapor. El líquido parcialmente concentrado vuelve otra vez al circuito por el tubo . El evaporador representado en la figura tiene también un sedimentador de cristales, dispuesto en derivación con el tubo de recirculación.

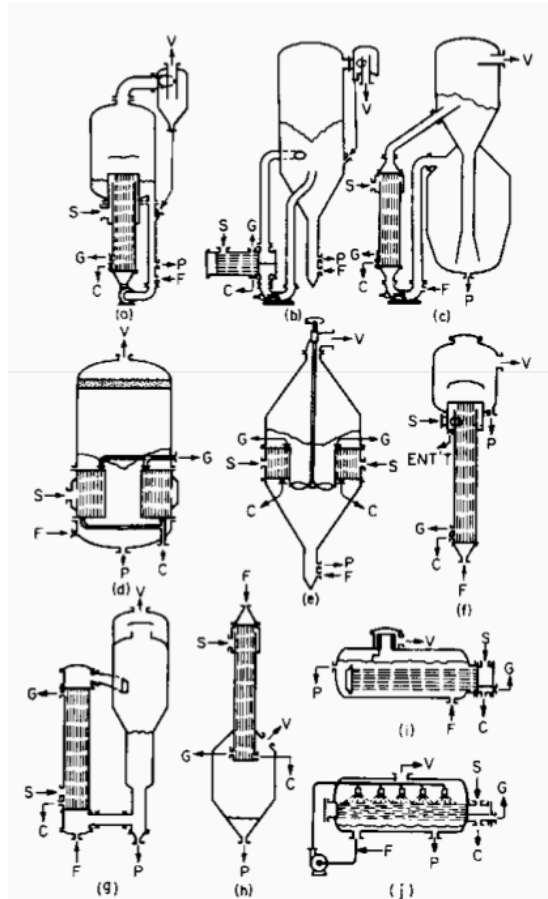


FIG. 11-21 Tipos de evaporadores. a) Circulación forzada. b) Circulación forzada de tubo sumergido. c) Cristalizador del tipo de Oslo. d) Vertical de tubo corto. e) De calandria y hélice. f) Vertical de tubo largo. g) Vertical de tubo largo con recirculación. h) De película descendente. i) Evaporador de tubo horizontal. C, condensado, F, alimentación, G, ventila, P, producto, S, vapor de agua, V, vapor, ENT, T, salida de arrastre separado.

En el presente proyecto emplearemos evaporadores de carcasa y tubos.

4.3.4.2- Condensadores superficiales.

La mayoría de los condensadores superficiales son del tipo cubierta y tubería. Los fabricantes suministran unidades compuestas por una serie de agrupaciones de tubos, que pueden estar orientados tanto horizontalmente como verticalmente.

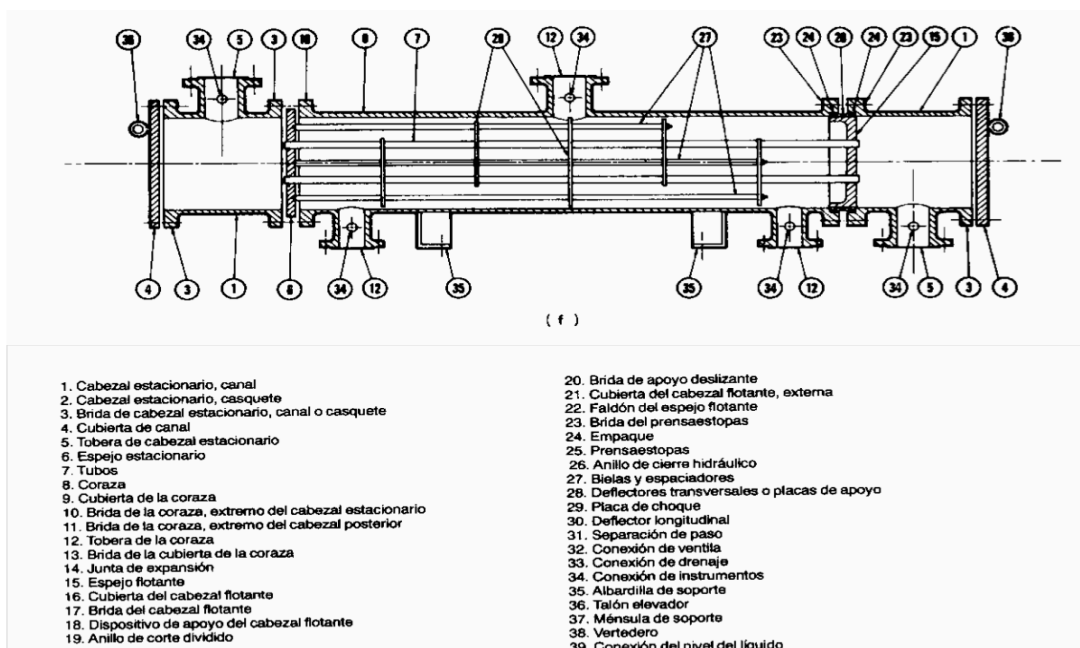
El agua refrigerante fluye por el interior mientras que los vapores se condensan en la cubierta. En los condensadores superficiales, el agua o el líquido refrigerante utilizado se suele reutilizar siempre que no haya sido contaminado por el condensado. Para poder disipar el calor ganado en el condensador, es

necesario disponer de torres de refrigeración y otros sistemas de disipación de calor.

Los condensadores superficiales no sólo producen un volumen relativamente pequeño de condensado para su posterior tratamiento, sino que además el condensado se puede recuperar en unas condiciones que permiten su reciclado o utilización como subproducto.

Diseño del condensador. La complejidad del diseño depende del número y naturaleza de los contaminantes contenidos en el flujo de emisiones que se puedan condensar. Los fabricantes y las referencias técnicas suministran información detallada a este respecto.

El diseño de un sistema de estas características implica la determinación de la temperatura de condensación necesaria, la selección del refrigerante, el tamaño del condensador y sus requerimientos de funcionamiento. Si hay presente vapor de agua en el flujo de emisiones, lo primero es llevar a cabo un tratamiento preliminar que conduzca a su eliminación, como por ejemplo utilizando un intercambiador de calor. De esta forma el agua (incluso el hielo) no podrá interferir con el propósito del condensador de eliminar los contaminantes presentes en forma de vapor.



4.3.4.3- Propiedades de los tubos.

- Según las normas técnicas de tubos de acero a emplear en los intercambiadores de calor:

Tabla comparativa de dimensiones y masas

Diámetro nominal DN	Tamaño de la rosca R	Diámetro exterior especific. D (mm)	Serie M		Serie H		Tipo L1		Tipo L2		Tipo L	
			Espesor mm	Masa kg/m	Espesor mm	Masa kg/m	Espesor mm	Masa kg/m	Espesor mm	Masa kg/m	Espesor mm	Masa kg/m
6	1/8	10,2	2,0	0,404	2,6	0,487						
8	1/4	13,5	2,3	0,641	2,9	0,765	2,0	0,570	1,8	0,515	2,0	0,567
10	3/8	17,2	2,3	0,839	2,9	1,02	2,0	0,742	1,8	0,670	2,0	0,750
15	1/2	21,3	2,6	1,21	3,2	1,44	2,3	1,08	2,0	0,947	2,3	1,08
20	3/4	26,9	2,6	1,56	3,2	1,87	2,3	1,39	2,3	1,38	2,3	1,40
25	1	33,7	3,2	2,41	4,0	2,93	2,9	2,20	2,6	1,98	2,9	2,20
32	1 ¼	42,4	3,2	3,10	4,0	3,79	2,9	2,82	2,6	2,54	2,9	2,82
40	1 ½	48,3	3,2	3,56	4,0	4,37	2,9	3,24	2,9	3,23	2,9	3,25
50	2	60,3	3,6	5,03	4,5	6,19	3,2	4,49	2,9	4,08	3,2	4,51
65	2 ½	76,1	3,6	6,42	4,5	7,93	3,2	5,73	3,2	5,71	3,2	5,75
80	3	88,9	4,0	8,36	5,0	10,3	3,6	7,55	3,2	6,72	3,2	6,76
	3 ½	101,6									3,6	8,70
100	4	114,3	4,5	12,2	5,4	14,5	4,0	10,8	3,6	9,75	3,6	9,83
125	5	139,7	5,0	16,6	5,4	17,9					4,5	15,0
150	6	165,1	5,0	19,8	5,4	21,3					4,5	17,8

*Masa por unidad de longitud de tubo negro con extremo liso

- Escogemos los tubos de ¾ de pulgada de diámetro que son los más comunes.

Tamaño de rosca	Diámetro nominal	Diámetro específico	Espesor de pared especificado	Masa por unidad de tubo negro
3/4	20mm	26,9mm	2,6mm	1,56kg/m

- La longitud más común de estos es de 20ft=6,096m, por tanto será esta la medida empleado en nuestros tubos debido a la comodidad y al mayor coeficiente de transferencia de calor para esta longitud.
- Adoptamos disposición cuadrada.
- Siempre el fluido caliente circula por el interior de los tubos para tener menores pérdidas térmicas y el fluido a calentar circula por el exterior,

exceptuando el caso en el que se produzca cambio de fase, que será siempre el fluido que cambia de estado el que circule por el exterior.

Depósitos de los líquidos, válvulas, conducciones y accesorios:

En el mercado, siguiendo la norma AISI, se ofrecen dos tipos de acero inoxidable, el 304 y el 316, en función de la proporción de cromo y níquel de su composición.

El menos resistente es el AISI 304, pero nos dará los mismos resultados de calidad a menor precio. Se utilizará este último para la fabricación de los depósitos, conducciones y demás componentes.

Las válvulas, conducciones y accesorios deberán ser de acero inoxidable, y estas últimas estarán separadas para las diferentes líneas de fabricación. Los depósitos contarán con accesorios tales como niveles, dispositivos de toma de muestras a diferentes alturas, llenado por la parte inferior para evitar la aireación del aceite en la caída, etc.

Para reducir o eliminar el contacto con el aire se recomienda tapar todos los depósitos, realizar los trasiegos por las bocas inferiores de los depósitos.

Las conducciones están diferenciadas por diferente color según el fluido que transporten y su recorrido será distinto. El color de las conducciones en función del fluido será:

- Azul: Agua.
- Verde: Aire y vapor.
- Rojo: Aceite.
- Marrón: Acetona.

Todos estos conductos están dotados de válvulas de mariposa, que permiten modular y regular el flujo de agua a cada uno de los sistemas.

4.3.4.4- Propiedades del aceite térmico:



Technical Data Sheet

Shell Thermia Oil B

Aceite para transferencia térmica

Shell Thermia Oil B es un aceite mineral puro de baja viscosidad, baja tensión de vapor y alta resistencia a la oxidación desarrollado para transferencia de calor ya sea en sistemas de calefacción cerrados o bien en tratamiento térmico de metales.

Aplicaciones

El aceite Shell Thermia B está recomendado para sistemas cerrados de calefacción, ya sea por convección natural o circulación forzada, que utilizan fluidos que operan con temperaturas de hasta 320°C. Además su uso está indicado en tratamientos térmicos de metales, como por ejemplo templado y revenido de aceros.

Shell Thermia Oil B posee una excepcional estabilidad térmica a temperaturas de hasta 320°C. Aún a estas temperaturas, la tasa de craqueo y oxidación se mantiene en valores bajos, maximizando la vida útil del aceite. Esto asume un sistema de calefacción eficiente, y manteniendo una circulación adecuada para asegurar que las temperaturas de piel de tubo no superan los 340°C.

Características Principales

- Alto coeficiente de transferencia de calor
- Alta estabilidad térmica y a la oxidación
- Buenas características de viscosidad/temperatura
- Baja presión de vapor
- No corrosivo
No tóxico.

Estabilidad Térmica

Los aceites minerales están sujetos a dos tipos de degradación a temperaturas elevadas:

- Craqueo, o rotura de las cadenas de hidrocarburos por medio del calor. Las cadenas largas se dividen en cadenas más pequeñas en sucesivas etapas. Algunas de ellas se eliminan como gases, pero otras son inestables y polimerizan dando lugares a compuestos insolubles que forman depósitos.
- Oxidación, o la reacción del hidrocarburo con el oxígeno atmosférico. A temperatura ambiente la reacción ocurre con una velocidad relativamente lenta, pero esta se acelera conforme aumenta la temperatura. La oxidación produce la acidificación del aceite, algunos compuestos insolubles y generalmente va acompañada de un incremento de la viscosidad.

Intervalo de Servicio

La vida útil del Shell Thermia Oil B depende fundamentalmente del diseño y el modo de utilización del sistema. Para sistemas con diseños adecuados, que no estén sometidos a sobrecargas anormales, la vida útil del aceite puede ser de varios años.

Es importante realizar un control periódico de las variaciones de las propiedades fisicoquímicas del aceite, pues estas son más importantes que los valores puntuales observados. Es de práctica común tomar una muestra luego de una semana del llenado inicial y puesta en marcha a fin de establecer valores de referencia.

Luego, se recomienda tomar muestras cada seis meses y comparar los resultados de análisis con los valores previamente obtenidos.

Las variables más relevantes a evaluar son viscosidad, acidez, punto de inflamación (abierto y cerrado) y contenido de insolubles.

Recomendaciones para el diseño

- La temperatura máxima admisible para la película adherida a la superficie de calefacción es de 340°C. La carga térmica debe ser mantenida al mínimo para reducir la temperatura de película.
- Una fuente potencial de daños al aceite es el calentador. A fin de mejorar la transferencia de calor y prolongar la vida útil del aceite se debe asegurar un flujo turbulento y un caudal constante en las superficies de calefacción, independientemente de las necesidades del proceso. Velocidades adecuadas a tal fin están en el orden de los 2,0 a 3,5 m/s dependiendo de la geometría del sistema. Es recomendable asegurar un caudal continuo a través del calentador, lo cual puede obtenerse por medio de una válvula de presión constante y una línea de by-pass.
- Para el caso de calentadores por llama, debe evitarse la incidencia directa de la misma sobre el serpentín de aceite a fin de evitar sobrecalentamientos localizados.
- Es necesario incluir en el circuito un tanque de expansión de capacidad suficiente para soportar la expansión térmica del fluido dentro del sistema. Como regla, puede estimarse que el aceite a 300°C ocupa un 20% más de volumen que cuando se encuentra a temperatura ambiente. Es recomendable diseñar el tanque de tal modo de minimizar la superficie de contacto aceite/ aire.
- El tanque debe estar colocado en el punto más alto del sistema y conectado a la succión de la bomba para proveer una altura neta positiva de succión (NPSH) suficiente para evitar la cavitación de la bomba.
- El circuito debe poseer venteos a modo de poder eliminar las bolsas de vapor y de aire que pudieran formarse durante la puesta en marcha y operación.
- Para los casos de sistemas presurizados, es recomendable eliminar el agua que pudiera encontrarse en el sistema previamente a la puesta en marcha. Para ello, se sugiere elevar la temperatura lentamente hasta 110°C con venteos continuos. Luego, puede incrementarse hasta los valores de trabajo con purgas periódicas de vapor.

El sistema debe estar instrumentado para monitorear el caudal y temperatura del aceite en los puntos críticos, como ser a cada lado del calentador. Debe también contar con dispositivos de seguridad que actúen en caso de fallas de la bomba o temperaturas excesivas

Características Típicas

Shell Thermia Oil B	
Viscosidad cinemática @ 40°C, cSt	35,0
Índice de viscosidad (VI)	95
Densidad a 15/4°C, g/cc	0,873
Punto de inflamación, COC, °C	206
Punto de escurrimiento, °C	-12
Coefficiente de expansión térmica, 1/°C	0,00076

Los valores indicados son representativos de la producción actual y no constituyen una especificación. La producción del producto se realiza conforme a las especificaciones de Shell.

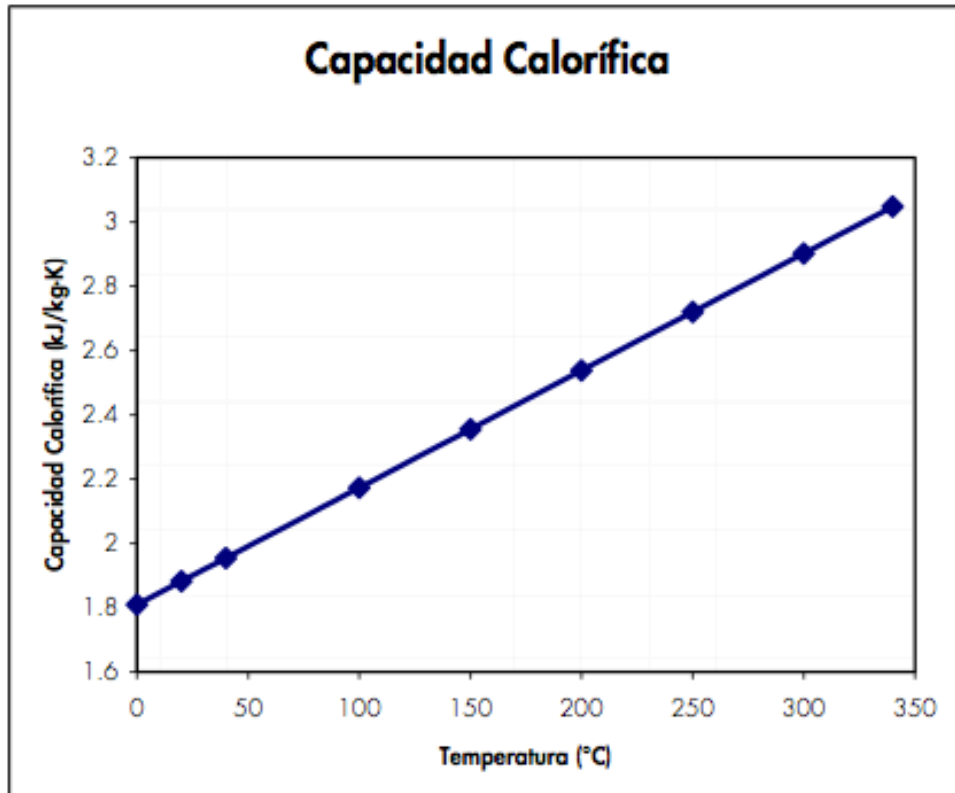
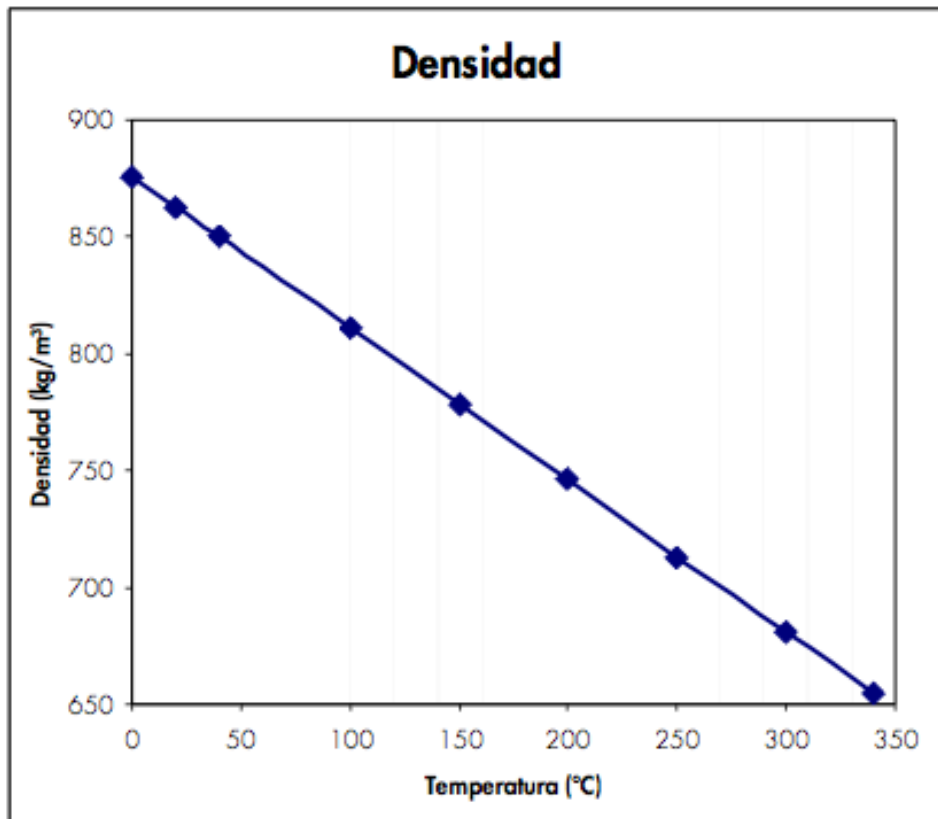
Salud y Seguridad

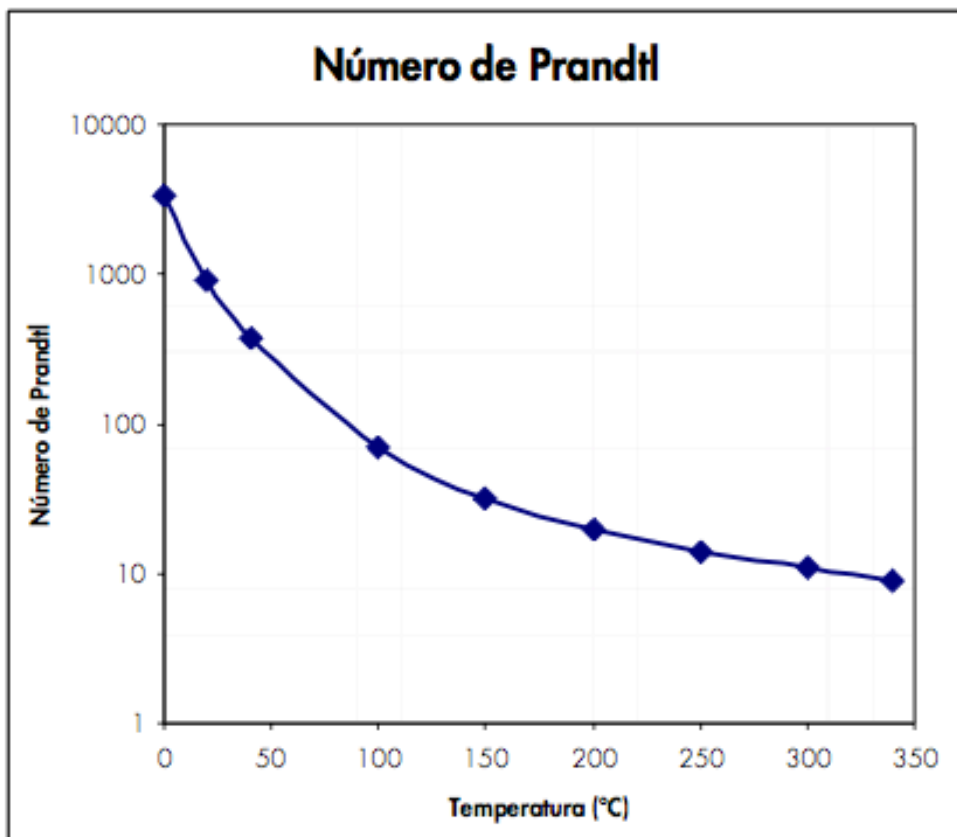
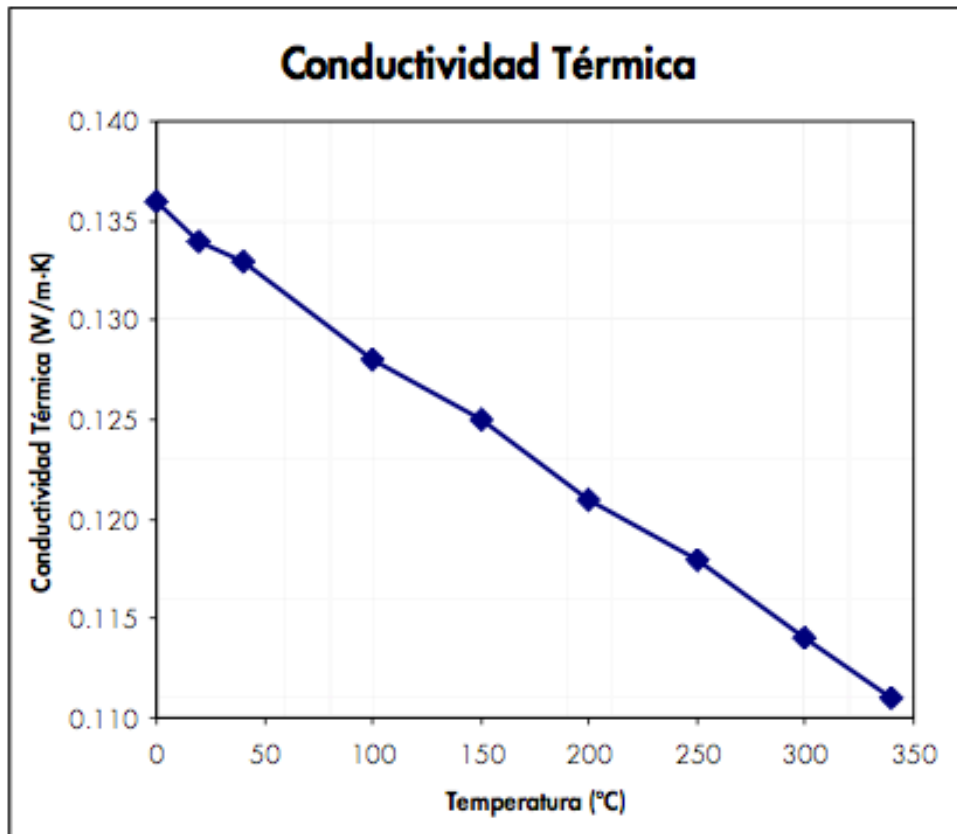
El aceite Shell Thermia Oil B no presenta riesgo para la salud cuando es usado en las aplicaciones recomendadas y se observan los niveles adecuados de higiene personal e industrial.

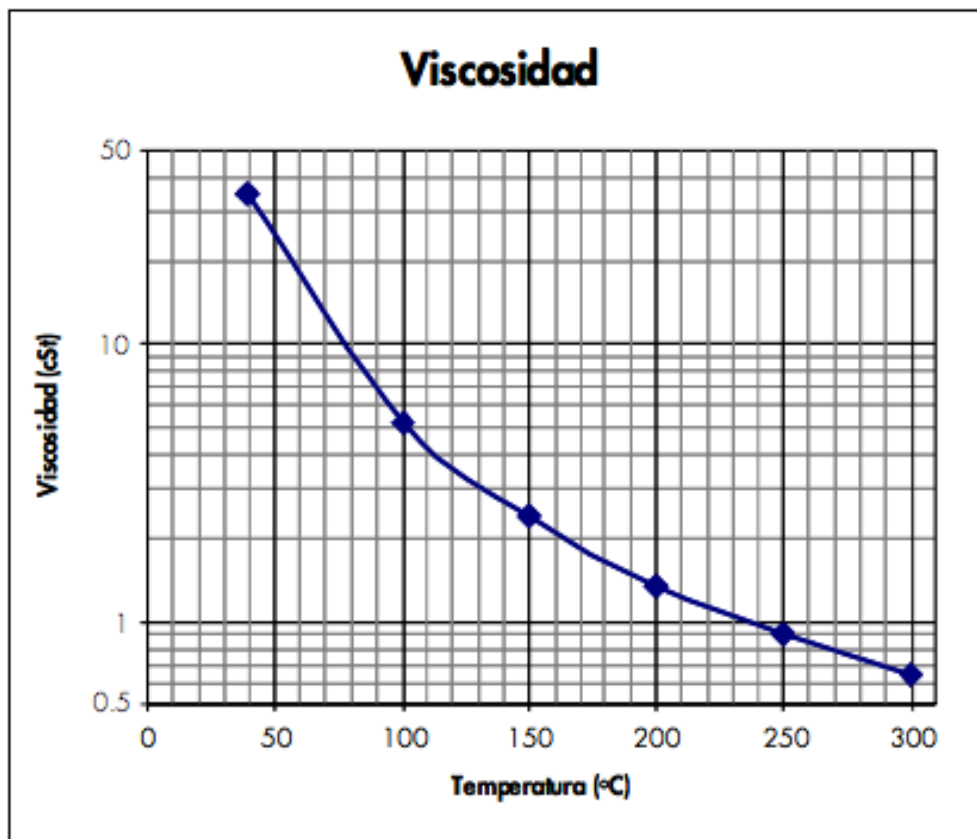
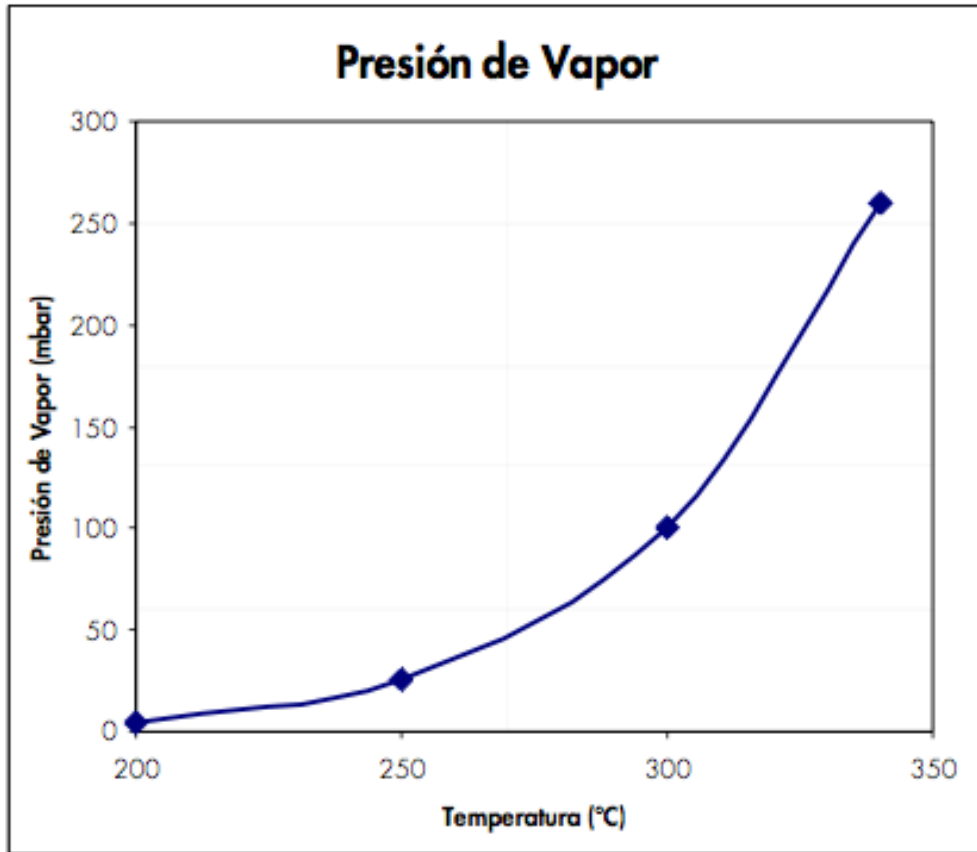
Para una información más detallada sobre higiene y seguridad, solicite la Hoja de Seguridad de Producto al Centro Técnico Shell.

Asesoramiento Técnico

Para aplicaciones no contenidas en esta publicación, consulte al Centro Técnico Shell.







4.3.4.5- Cálculo del Nusselt, factor de corrección.

Para el cálculo del 'Nusselt' en cada uno de los intercambiadores de calor se ha de tener en cuenta en que condiciones se trabaja y el tipo de fluido con el que se opera.

- En régimen turbulento:

- Para fluidos:

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^n \quad (\text{Ec. de Dittus - Boelter})$$

$n = 0,4$ Para fluidos que se calientan.

$n = 0,3$ Para fluidos que se enfrían.

- Para fluidos viscosos:

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (\text{Ec. de Dittus - Boelter})$$

μ_w : viscosidad del fluido a la temperatura media de la pared.

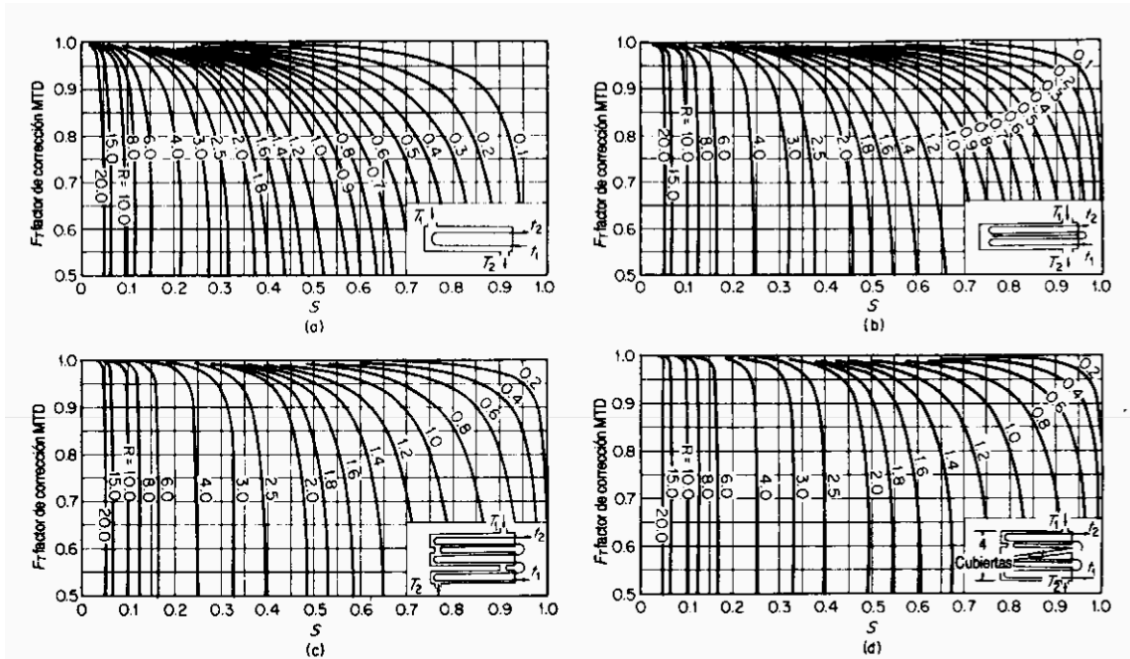
- Para gases:

$$Nu = 0,021 * Re^{0,8}$$

En caso de que sean gases los que circulan por el interior de las conducciones el valor del "Pr" es prácticamente constante.

(Estas situaciones son válidas para $Re > 10^4$ y $0,4 < Pr < 160$).

Factores de corrección LMTD para intercambiadores de calor:



- Un paso de cubierta y dos o más pasos de tubos.
- Dos pasos de cubierta y dos o más pasos de tubos.
- Tres pasos de cubierta y seis o más pasos de tubos.
- Cuatro pasos de cubierta y ocho o más pasos de tubos.

4.3.4.6- Intercambiador de calor n°1 (Aceite-Aire).

Fijamos la temperatura de salida del aceite en 150°C, ya que en caso de mal funcionamiento de la caldera el aire debe entrar al secadero a más de 100°C.

El fluido caliente (aceite) circula por el interior de los tubos para tener menores pérdidas térmicas, mientras que el fluido a calentar (aire) circula a través de la carcasa del intercambiador de calor.

Propiedades del aceite:

$$\text{Capacidad calorífica: } C_{pc} = 2,5 \frac{KJ}{kg * k} = 0,598 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$\text{Conductividad térmica: } k = 0,122 \frac{W}{m * k} = 0,1049 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

$$\text{Viscosidad: } \mu = 3,78 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

(datos tomados a una temperatura media de 195°C)

Propiedades del aire:

$$\text{Capacidad calorífica: } C_{pf} = 0,24 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Conductividad térmica: } k = 0,027 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}} = 0,0232 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Viscosidad: } \mu = 2,17 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} * 0,946 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} = 0,074 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

(datos tomados a una temperatura media de 120°C).

Método LMTD para flujo en contracorriente:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{(240^\circ\text{C} - 230^\circ\text{C}) - (150^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{240^\circ\text{C} - 230^\circ\text{C}}{150^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}}\right)} = 49,26^\circ\text{C}$$

$$Q = mc * C_{pc} * (T_{c2} - T_{c1}) = mf * C_{pf} * (T_{f2} - T_{f1})$$

Siendo:

Q: Energía de operación en el intercambiador expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$

mc: Caudal másico del fluido calentador expresado en $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$

C_{pc}: Capacidad calorífica del fluido calentador expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$

T_{c2}: Temperatura de entrada al intercambiador del fluido calentador expresada en °C

T_{c1}: Temperatura de salida del intercambiador del fluido calentador expresada en °C

mf: Caudal másico del fluido a calentar expresado en $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$

C_{pf}: Capacidad calorífica del fluido a calentar expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

T_{f2}: Temperatura de salida del intercambiador del fluido a calentar expresada en $^\circ\text{C}$

T_{f1}: Temperatura entrada al intercambiador del fluido a calentar expresada en $^\circ\text{C}$

$$m_f = \frac{Q}{C_{pf} * (T_{f2} - T_{f1})} = \frac{882312 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{0,24 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (230^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})} = 16.710 \frac{\text{kg de aire}}{\text{h}}$$

$$m_c = \frac{Q}{C_{pc} * (T_{c2} - T_{c1})} = \frac{882312 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{0,598 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (240^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C})} \\ = 16.394 \frac{\text{kg de aceite}}{\text{h}}$$

Factor de corrección:

$$R = \frac{(T_{c2} - T_{c1})}{(T_{f2} - T_{f1})} = \frac{(240^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C})}{(230^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})} = 0,409$$

$$S = \frac{(T_{f2} - T_{f1})}{(T_{c2} - T_{f1})} = \frac{(230^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})}{(240^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})} = 0,957$$

El valor de S debe ser ≤ 1 .

Empleamos un intercambiador de calor de carcasa y tubos de un paso por la carcasa y dos o más pasos por los tubos.

Gráfica: Ft=0,82.

(Existe una restricción mínima en cuanto al factor de corrección. Si Ft<0,75, el intercambiador de calor será ineficiente e inoperable desde el punto de vista termodinámico.)

Cálculo del coeficiente individual para el interior del tubo, hi:

$$mc = 16.394 \frac{\text{kg de aceite}}{\text{h}}$$

diámetro interno de los tubos: $Di = 0,0243\text{m}$

$$Cp = 0,598 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$k = 0,1049 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}$$

$$\mu = 3,78 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

El "Re" óptimo en estos intercambiadores de calor con fluidos líquidos suele estar en torno a los 45.000-60.000 debido a los fenómenos de corrosión, fenómenos de cavitación, etc.

Para lograr este valor tenemos dos opciones, aumentar la sección de tubo o aumentar el número de tubos.

Elegimos esta última opción que nos proporciona una mejor transmisión de calor.

Colocando cinco tubos logramos un "Re" igual a 45.446.

$$Re = \frac{Di * \frac{mc}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243\text{m} * \frac{16.394 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{5 * 4,638 * 10^{-4}\text{m}^2}}{3,78 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}} = 45.446$$

$$Pr = \frac{\mu * Cp}{kc} = \frac{3,78 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}} * 0,589 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}}{0,1049 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}} = 21,55$$

Para el cálculo del Nu consideramos el aceite como un fluido viscoso en régimen turbulento, por ello empleamos la ecuación de Dittus-Boelter:

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

$$= 0,023 * 45.446^{0,8} * 21,55^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{3,78 \frac{kg}{m * h}}{8,1 \frac{kg}{m * h}}\right)^{0,14} = 851,8$$

Siendo μ_w la viscosidad del fluido a la temperatura media de la pared de los tubos.

El aceite circula a una temperatura media de 195°C por el interior de los tubos y el agua lo hace a una temperatura media de 77,5°C, por lo tanto, la pared se encontrará aproximadamente a una temperatura de 136,25°C.

El aceite a 136,25°C tiene una viscosidad de 3cst, según la gráfica de propiedades de este, por lo tanto:

$$\mu_w = 3cst = 3 * 10^{-6} \frac{m^2}{s} * 750 \frac{kg}{m^3} * \frac{3.600s}{1h} = 8,1 \frac{kg}{m * h}$$

$$h_i = \frac{Nu * k}{D_i} = \frac{851 * 0,1049 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{0,0243m} = 3.677,1 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Cálculo del coeficiente individual para el exterior del tubo, he:

$$m_f = 16.710 \frac{Kg \text{ de aire}}{h}$$

Espacio existente entre los tubos: $D_e = 0,0243m$

(Consideramos el espacio entre los tubos equivalente al que existe en el interior de ellos.)

$$C_p = 0,24 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$K = 0,0232 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

$$\mu = 0,074 \frac{kg}{m * h}$$

$$Re = \frac{Di * \frac{mf}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243m * \frac{16.710 \frac{kg}{h}}{5 * 4,638 * 10^{-4}m^2}}{0,074 \frac{kg}{m * h}} = 2.366.193$$

Para el cálculo del Nu emplearemos la ecuación conveniente para fluidos gaseosos:

$$Nu = 0,021 * Re^{0,8} = 0,021 * 2.366.193^{0,8} = 2.639,1$$

$$he = \frac{Nu * k}{De} = \frac{2.639,1 * 0,0232 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{0,0243m} = 2.519,63 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Cálculo de U:

$$\begin{aligned} \frac{1}{U} &= \frac{1}{he} + \frac{e}{kp} + \frac{1}{hi} + Rf'' \\ &= \frac{1}{2.519,63 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + \frac{0,0026m}{46 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + \frac{1}{3.677,1 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + 0 \end{aligned}$$

Siendo:

$$\text{Constante característica del acero: } kp = 46 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

Espesor de los tubos: $e=0,0026m$

$Rf''=0$, por tratarse de un equipo recién diseñado no tendremos en cuenta las resistencias a la transferencia debida a las costras en la pared del intercambiador de calor.

$$U = 1.378,63 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

El área del intercambiador de calor será:

$$A = \frac{Q}{U * Ft * (\Delta T) ml} = \frac{882.312 \frac{kcal}{h}}{1.378,63 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C} * 0,82 * 49,26^\circ C} = 15,84 m^2$$

4.3.4.7- Condensador nº2 (vapor de agua-agua).

No existe cambio de temperatura en el fluido caliente, la energía se obtiene exclusivamente de la condensación de este.

El fluido caliente (vapor de agua con aire) circula por la carcasa del intercambiador, mientras que el fluido a calentar (agua) circula por el interior de los tubos del intercambiador de calor.

Propiedades del vapor de agua con aire:

Caudal másico de aire y vapor de agua:

$$mc = 1.003,44 \frac{kg \text{ de vapor}}{h} + 16.710 \frac{kg \text{ de aire}}{h} = 17.713,44 \frac{kg}{h}$$

Fracción másica de agua: $X_{aire} = 0,943$

Fracción másica de vapor de agua: $X_{vapor} = 0,057$

Capacidad calorífica del vapor de agua:

$$Cp \text{ del vapor} = 8,22 + 1,5 * 10^{-4} * T(k) + 1,34 * 10^{-6} * T^2(k)$$

$$Cp \text{ del vapor} = 8,4682 \frac{cal}{mol * ^\circ C} = 0,47035 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

Capacidad calorífica del aire:

$$Cpc = 0,057 * 0,47035 + 0,943 * 0,24 = 0,2531 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$\text{Conductividad del vapor de agua: } k \text{ del vapor} = 0,0137 \frac{Btu}{h * pie^2 * \frac{^\circ F}{pie}}$$

$$= 0,000056633 \frac{cal}{s * m * ^\circ C} * \frac{1kcal}{1.000cal} * \frac{3.600s}{1h} * \frac{100cm}{1m}$$

$$= 0,02039 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Conductividad del aire: } k \text{ del aire} &= 0,0183 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{pie}^2 * \frac{\text{°F}}{\text{pie}}} \\
 &= 0,000075648 \frac{\text{cal}}{\text{s} * \text{m} * \text{°C}} * \frac{1\text{kcal}}{1.000\text{cal}} * \frac{3.600\text{s}}{1\text{h}} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} \\
 &= 0,02723 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * \text{°C}}
 \end{aligned}$$

$$kc = 0,0057 * 0,02039 + 0,943 * 0,02723 = 0,02684 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * \text{°C}}$$

$$\mu \text{ del vapor} = 1,25 * 10^{-4} \text{poises} = 1,25 * 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s} * \text{m}} * \frac{3.600\text{s}}{1\text{h}} = 0,045 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

$$\mu \text{ del aire} = 0,074 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

$$\mu c = 0,057 * 0,045 + 0,943 * 0,074 = 0,07235 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

(datos tomados a una temperatura de 105°C.)

Propiedades del agua:

$$\text{Capacidad calorífica: } C_{pf} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * \text{°C}}$$

$$\text{Conductividad térmica: } k = 0,536 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * \text{°C}}$$

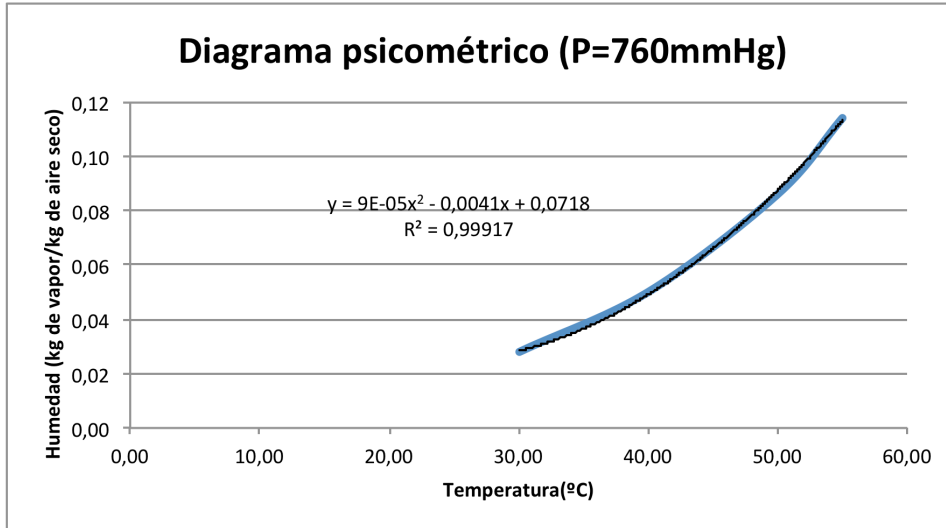
$$\text{Viscosidad: } \mu = 0,58\text{cp} = 0,00058 \frac{\text{kg}}{\text{s} * \text{m}} * \frac{3.600\text{s}}{1\text{h}} = 2,088 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

(datos tomados a una temperatura media de 52°C).

Método LMTD para flujo en contracorriente:

Conociendo la temperatura del aire (105°C), mediante el gráfico psicrométrico obtenemos el valor de la humedad de este: RE

Temperatura	Humedad
30,00	0,03
40,00	0,05
50,00	0,09
55,00	0,11



Temperatura sup.	Humedad calc.
105	0,63355

Representando humedad en $\frac{kg \text{ de vapor de agua}}{kg \text{ de aire seco}}$ frente a la temperatura en °C obtenemos un valor para la humedad del aire a 105°C de:

$$0,63355 \frac{kg \text{ de vapor de agua}}{kg \text{ de aire seco}}$$

A partir de este valor se procede a calcular el caudal másico de vapor que condensa y el que no condensa:

$$0,63355 \frac{kg \text{ de vapor de agua}}{kg \text{ de aire seco}} * 1.003,44 \frac{kg}{h} = 635,73 \frac{kg \text{ de vapor}}{h} \text{ no condensan.}$$

$$1.003,44 \frac{kg}{h} - 635,73 \frac{kg}{h} = 367,71 \frac{kg \text{ de vapor}}{h} \text{ condensan.}$$

$$Q = M * \lambda$$

Siendo:

M: Caudal másico de vapor que condensa en $\frac{kg}{h}$

λ : Calor latente de vaporización del agua en $\frac{kcal}{kg}$

Q: Energía requerida en condensar el vapor expresa en $\frac{kcal}{h}$

$$Q = 367,71 \frac{kg}{h} * 540 \frac{kcal}{kg} = 198.563,4 \frac{kcal}{h}$$

Método LMTD para flujo en contracorriente:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{(105^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}) - (105^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{105^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}}{105^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}}\right)} = 50,49^\circ\text{C}$$

$$Q = mc * C_{pc} * (T_{c2} - T_{c1}) = mf * C_{pf} * (T_{f2} - T_{f1})$$

Siendo:

Q: Energía de operación en el intercambiador expresada en $\frac{kcal}{h}$

mc: Caudal másico del fluido calentador expresado en $\frac{kg}{h}$

C_{pc}: Capacidad calorífica del fluido calentador expresada en $\frac{kcal}{kg*^\circ\text{C}}$

T_{c2}: Temperatura de entrada al intercambiador del fluido calentador expresada en °C

T_{c1}: Temperatura de salida del intercambiador del fluido calentador expresada en °C

mf: Caudal másico del fluido a calentar expresado en $\frac{kg}{h}$

C_{pf}: Capacidad calorífica del fluido a calentar expresada en $\frac{kcal}{kg*^\circ\text{C}}$

T_{f2}: Temperatura de salida del intercambiador del fluido a calentar expresada en °C

T_{f1}: Temperatura entrada al intercambiador del fluido a calentar expresada en °C

$$m_f = \frac{Q}{C_{pf} * (T_{f2} - T_{f1})} = \frac{198.563,4 \frac{kcal}{h}}{1 \frac{kcal}{Kg * ^\circ C} * (70^\circ C - 35^\circ C)} = 5.673,24 \frac{Kg \text{ de agua}}{h}$$

Factor de corrección:

$$R = \frac{(T_{c2} - T_{c1})}{(T_{f2} - T_{f1})} = \frac{(105^\circ C - 105^\circ C)}{(70^\circ C - 35^\circ C)} = 0$$

$$S = \frac{(T_{f2} - T_{f1})}{(T_{c2} - T_{f1})} = \frac{(70^\circ C - 35^\circ C)}{(105^\circ C - 35^\circ C)} = 0,5$$

El valor de S debe ser ≤ 1 .

Empleamos un intercambiador de calor de carcasa y tubos de un paso por la carcasa y dos o más pasos por los tubos.

$F_t=1$

Cálculo del coeficiente individual para el interior del tubo, h_i :

$$m_f = 5.673,24 \frac{Kg \text{ de agua}}{h}$$

Diámetro interior de los tubos: $D_i = 0,0243m$

$$C_p = 1 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$k = 0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

$$\mu = 0,58c_p = 0,00058 \frac{kg}{s * m} * \frac{3600s}{1h} = 2,088 \frac{kg}{m * h}$$

El "Re" óptimo en estos intercambiadores de calor con fluidos líquidos suele estar en torno a los 45.000-60.000 debido a los fenómenos de corrosión, fenómenos de cavitación, etc.

Para lograr este valor tenemos dos opciones, aumentar la sección de tubo o aumentar el número de tubos.

Elegimos esta última opción que nos proporciona una mejor transmisión de calor.
Colocando tres tubos logramos un "Re" igual a 47452.

$$Re = \frac{Di * \frac{mc}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243m * \frac{5.673,24 \frac{kg}{h}}{3 * 4,638 * 10^{-4}m^2}}{2,088 \frac{kg}{m * h}} = 47.452$$

$$Pr = \frac{\mu * Cp}{k} = \frac{2,088 \frac{kg}{m * h} * 1 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}}{0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}} = 3,896$$

Para el cálculo del Nu se considera el agua como un fluido no viscosos en régimen turbulento, por ello aplicaremos la ecuación de Dittus-Boelter:

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,4} = 0,023 * 47.452^{0,8} * 3,896^{0,4} = 218,26$$

$$hi = \frac{Nu * k}{Di} = \frac{218,26 * 0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{0,0243m} = 4.814,3 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Cálculo del coeficiente individual para el exterior del tubo, he:

$$mc = 17.713,44 \frac{kg \text{ de vapor con aire}}{h}$$

$$De = 0,0243m$$

(Consideramos el espacio entre los tubos equivalente al que existe en el interior de ellos.)

$$Cpc = 0,2531 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$k = 0,02684 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

$$\mu = 0,07235 \frac{kg}{m * h}$$

$$Re = \frac{Di * \frac{mc}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243m * \frac{17.713,44 \frac{kg}{h}}{3 * 4,638 * 10^{-4}m^2}}{0,07235 \frac{kg}{m * h}} = 4.275.812$$

$$Nu = 0,021 * Re^{0,8} = 0,021 * 4.275.812^{0,8} = 4.236,76$$

$$he = \frac{Nu * k}{De} = \frac{4.236,76 * 0,02684 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{0,0243m} = 4.679,6 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Cálculo de U:

$$\begin{aligned} \frac{1}{U} &= \frac{1}{he} + \frac{e}{kp} + \frac{1}{hi} + Rf'' \\ &= \frac{1}{2.519,63 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + \frac{0,0026m}{46 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}} + \frac{1}{3.677,1 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + 0 \end{aligned}$$

Siendo:

$$\text{Constante característica del acero: } kp = 46 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

Espesor de los tubos: $e=0,0026m$

$Rf''=0$, por tratarse de un equipo recién diseñado no tendremos en cuenta las resistencias a la transferencia debida a las costras en la pared del intercambiador de calor.

$$U = 2.092,4 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

El área del condensador será:

$$A = \frac{Q}{U * Ft * (\Delta T)_{ml}} = \frac{198.563,4 \frac{kcal}{h}}{2.092,4 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C} * 1 * 50,49^\circ C} = 1,88m^2$$

4.3.4.8- Intercambiador de calor nº3 (aceite -agua).

Fijamos la temperatura de salida del aceite en 150°C, ya que en caso de mal funcionamiento de la caldera el aire debe entrar al secadero a más de 100°C.

El fluido caliente (aceite) circula por el interior de los tubos para tener menores pérdidas térmicas, mientras que el fluido a calentar (agua) circula a través de la carcasa del intercambiador de calor.

En este intercambiador operamos con una presión de $5 \frac{kg}{cm^2}$ de presión en la fase acuosa, de esta forma nos aseguramos que no exista cambio de fase en la fase en el agua hasta los 151°C.

En la fase del aceite no se aplica ninguna presión adicional.

Propiedades del aceite:

$$\text{Capacidad calorífica: } C_{pc} = 2,5 \frac{KJ}{kg * k} = 0,598 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$\text{Conductividad térmica: } k = 0,122 \frac{W}{m * k} = 0,1049 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

$$\text{Viscosidad : } \mu = 3,78 \frac{kg}{m * h}$$

(datos tomados a una temperatura media de 195°C)

Propiedades del agua:

$$\text{Capacidad calorífica: } C_{pf} = 1 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$\text{Conductividad térmica: } k = 0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

$$\text{Viscosidad: } \mu = 0,58cp = 0,000378 \frac{kg}{s * m} * \frac{3600s}{1h} = 1,36 \frac{kg}{m * h}$$

(datos tomados a una temperatura media de 95°C).

Método LMTD para flujo en contracorriente:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{(240^\circ\text{C} - 145^\circ\text{C}) - (150^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{240^\circ\text{C} - 145^\circ\text{C}}{150^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C}}\right)} = 99,92^\circ\text{C}$$

$$Q = mc * Cpc * (Tc2 - Tc1) = mf * Cpf * (Tf2 - Tf1)$$

Siendo:

Q: Energía de operación en el intercambiador expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$

mc: Caudal másico del fluido calentador expresado en $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$

Cpc: Capacidad calorífica del fluido calentador expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

Tc2: Temperatura de entrada al intercambiador del fluido calentador expresada en $^\circ\text{C}$

Tc1: Temperatura de salida del intercambiador del fluido calentador expresada en $^\circ\text{C}$

mf: Caudal másico del fluido a calentar expresado en $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$

Cpf: Capacidad calorífica del fluido a calentar expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

Tf2: Temperatura de salida del intercambiador del fluido a calentar expresada en $^\circ\text{C}$

Tf1: Temperatura entrada al intercambiador del fluido a calentar expresada en $^\circ\text{C}$

$$mf = \frac{Q}{Cpf * (Tf2 - Tf1)} = \frac{1.143.763 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{1 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (145^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})} = 11.438 \frac{\text{Kg de agua}}{\text{h}}$$

$$m_c = \frac{Q}{C_{pc} * (T_{c2} - T_{c1})} = \frac{1.143.763 \frac{kcal}{h}}{0,598 \frac{kcal}{Kg * ^\circ C} * (240^\circ C - 150^\circ C)}$$

$$= 21.251 \frac{Kg \text{ de aceite}}{h}$$

Factor de corrección:

$$R = \frac{(T_{c2} - T_{c1})}{(T_{f2} - T_{f1})} = \frac{(240^\circ C - 150^\circ C)}{(145^\circ C - 45^\circ C)} = 0,9$$

$$S = \frac{(T_{f2} - T_{f1})}{(T_{c2} - T_{f1})} = \frac{(145^\circ C - 45^\circ C)}{(240^\circ C - 45^\circ C)} = 0,513 \leq 1$$

El valor de S debe ser ≤ 1 .

Empleamos un intercambiador de calor de carcasa y tubos de un paso por la carcasa y dos o más pasos por los tubos.

Gráfica: Ft=0,83.

(Existe una restricción mínima en cuanto al factor de corrección. Si Ft<0,75, el intercambiador de calor será ineficiente e inoperable desde el punto de vista termodinámico.)

Cálculo del coeficiente individual para el interior del tubo, hi:

$$m_c = 21.251 \frac{Kg \text{ de aceite}}{h}$$

$$D_i = 0,0243m$$

$$C_p = 0,598 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$K = 0,1049 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

$$\mu = 3,78 \frac{kg}{m * h}$$

El "Re" óptimo en estos intercambiadores de calor con fluidos líquidos suele estar en torno a los 45.000-60.000 debido a los fenómenos de corrosión, fenómenos de cavitación, etc.

Para lograr este valor tenemos dos opciones, aumentar la sección de tubo o aumentar el número de tubos.

Elegimos esta última opción que nos proporciona una mejor transmisión de calor.

Colocando siete tubos logramos un "Re" igual a 42079.

$$Re = \frac{Di * \frac{mc}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243m * \frac{21.251 \frac{kg}{h}}{7 * 4,638 * 10^{-4}m^2}}{3,78 \frac{kg}{m * h}} = 42.079$$

$$Pr = \frac{\mu * Cp}{k} = \frac{3,78 \frac{kg}{m * h} * 0,589 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}}{0,1049 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}} = 21,55$$

Para el cálculo del Nu consideramos el aceite como un fluido viscoso en régimen turbulento, por ello empleamos la ecuación de Dittus-Boelter:

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

$$= 0,023 * 42.079^{0,8} * 21,55^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{3,78 \frac{kg}{m * h}}{8,1 \frac{kg}{m * h}}\right)^{0,14} = 801$$

Siendo μ_w la viscosidad del fluido a la temperatura media de la pared de los tubos.

El aceite circula a una temperatura media de 195°C por el interior de los tubos y el agua lo hace a una temperatura media de 77,5°C, por lo tanto, la pared se encontrará aproximadamente a una temperatura de 136,25°C.

El aceite a 136,25°C tiene una viscosidad de 3cst, según la gráfica de propiedades de este, por lo tanto:

$$\mu_w = 3cst = 3 * 10^{-6} \frac{m^2}{s} * 750 \frac{kg}{m^3} * \frac{3.600s}{1h} = 8,1 \frac{kg}{m * h}$$

$$h_i = \frac{Nu * k}{Di} = \frac{801 * 0,1049 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{0,0243m} = 3.457,8 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Cálculo del coeficiente individual para el exterior del tubo, he:

$$m_f = 11.438 \frac{Kg \text{ de agua}}{h}$$

Espacio existente entre los tubos: De = 0,0243m

(Consideramos el espacio entre los tubos equivalente al que existe en el interior de ellos.)

$$C_{pf} = 1 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$K = 0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

$$\mu = 1,36 \frac{kg}{m * h}$$

El "Re" óptimo en estos intercambiadores de calor con fluidos líquidos suele estar en torno a los 45.000-60.000 debido a los fenómenos de corrosión, fenómenos de cavitación, etc.

Para lograr este valor tenemos dos opciones, aumentar la sección de tubo o aumentar el número de tubos.

Elegimos esta última opción que nos proporciona una mejor transmisión de calor. Colocando siete tubos logramos un "Re" igual a 62949.

$$Re = \frac{Di * \frac{mf}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243m * \frac{11.438 \frac{kg}{h}}{7 * 4,638 * 10^{-4}m^2}}{1,36 \frac{kg}{m * h}} = 62.949$$

$$Pr = \frac{\mu * Cp}{k} = \frac{1,36 \frac{kg}{m * h} * 1 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}}{0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}} = 2,537$$

Para el cálculo del Nu se considera el agua como un fluido no viscosos en régimen turbulento, por ello aplicaremos la ecuación de Dittus-Boelter:

$$Nu = 0,021 * Re^{0,8} * Pr^{0,4} = 0,023 * 62.949^{0,8} * 2,537^{0,4} = 230,49$$

$$he = \frac{Nu * k}{De} = \frac{230,49 * 0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{0,0243m} = 4.135,54 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Cálculo de U:

$$\begin{aligned} \frac{1}{U} &= \frac{1}{he} + \frac{e}{kp} + \frac{1}{hi} + Rf'' \\ &= \frac{1}{4.135,54 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + \frac{0,0026m}{46 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + \frac{1}{3.457,8 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + 0 \end{aligned}$$

Siendo:

$$\text{Constante característica del acero: } kp = 46 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Espeor de los tubos: $e=0,0026m$

$Rf''=0$, por tratarse de un equipo recién diseñado no tendremos en cuenta las resistencias a la transferencia debida a las costras en la pared del intercambiador de calor.

$$U = 1.702 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

El área del intercambiador de calor será:

$$A = \frac{Q}{U * Ft * (\Delta T)ml} = \frac{1.143.763 \frac{kcal}{h}}{1702 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C} * 0,85 * 102,48^\circ C} = 7,031m^2$$

Cálculo del caudal de acetona necesario en el grupo turbina-generator:

El grupo turbina-generator, para un funcionamiento óptimo requiere que el flujo de acetona entre en él a 140°C, $20 \frac{kg}{cm^2}$, de presión y en estado gaseoso. El fluido abandonará el equipo a 35°C, $0,4 \frac{kg}{cm^2}$, de presión y en estado gaseoso.

$$H: 140^\circ C, 20 \frac{kg}{cm^2}, Gas.$$

$$H_0: 35^\circ C, 0,4 \frac{kg}{cm^2}, Gas.$$

Para el cálculo de la capacidad calorífica de la acetona a cualquier temperatura se hace una representación lineal de Cp frente a las temperaturas de 70°C, 100°C y 140°C:

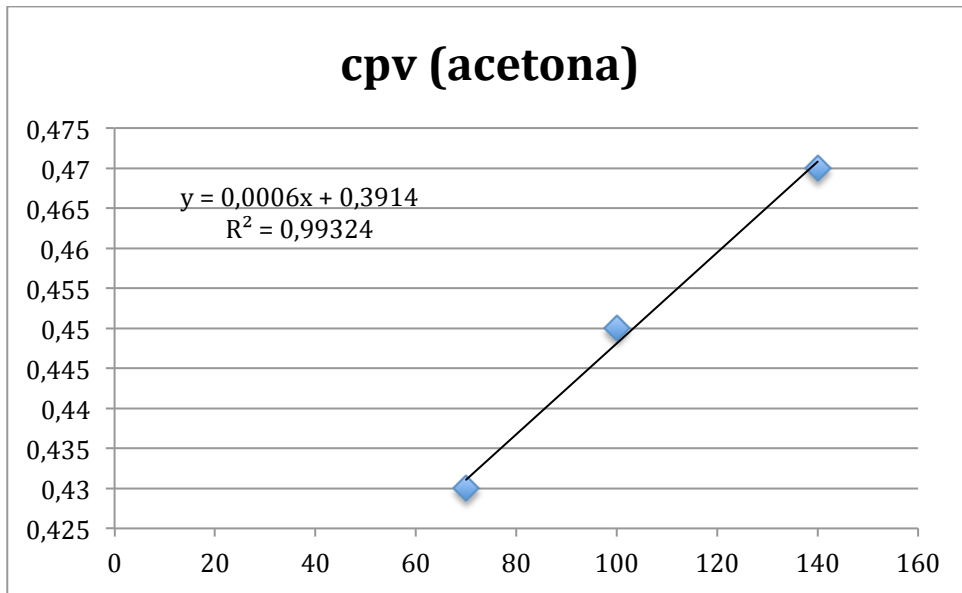
$$Cpv_{70^\circ C} = 0,43 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$Cpv_{100^\circ C} = 0,45 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$Cpv_{140^\circ C} = 0,47 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

Por lo tanto:

$$Cpv = a' + b' * T$$



$$C_{pv} = 0,3914 + 0,0006 * T$$

Potencia térmica:

$$H - H_0 = \int_{T_0}^T C_p * dT \rightarrow \int_{35}^{140} 0,3914 + 0,0006 * T * dT \rightarrow$$

$$\rightarrow 0,3914 * (140 - 35) + \frac{0,0006}{2} * (140^2 - 35^2) = 46,51 \frac{kcal}{kg}$$

Potencia mecánica:

$$dP_{mecánica} = dV * \frac{dP}{dt} = \frac{1}{dt} * \frac{dn * R * T * k}{P} * dP = \frac{\dot{m}}{pm} * k * R * T * \frac{dP}{P}$$

$$P_{mecánica} = \int \frac{\dot{m}}{pm} * k * R * T * \frac{dP}{P} = \frac{\dot{m}}{pm} * k * R * T * \int_{p_0}^P \frac{dP}{P}$$

Nota:

$$P * V = n * R * T \rightarrow P * V = k * n * R * T \rightarrow V = \frac{k * n * R * T}{P} \rightarrow V$$

$$= \frac{k * R * T * \dot{m}}{pm}$$

Siendo:

$$R = 8,31 * 10^{-3} * \frac{kJ}{kmol} = 1,98 * 10^{-3}$$

peso molecular de la acetona: $pm = 60$

temperatura de la acetona a la salida del generador: $T = 313k$

k : igual coeficiente de desviación de los gases ideales. Aplicando la ecuación de Virial se encuentra que la transformación a temperatura constante para la acetona tiene el siguiente valor $k=2,8$.

$$P_{total} = P_{térmica} + P_{mecánica}$$

$$P_{total} = \dot{m} * \left[\int_{T_0}^T C_p * dT + k * \frac{R * T}{pm} * \int_{p_0}^P \frac{dP}{P} \right] =$$

$$= \dot{m} * \left[0,3914 * [T]_{35}^{140} + \frac{0,0006}{2} * [T^2]_{35}^{140} + 2,8 * \frac{1,98 * 10^{-3} * 313}{60 * 10^{-3}} * \ln[P]_{0,4}^{20} \right] =$$

$$= \dot{m} * \left[46,51 * 28,92 * \ln \frac{20}{0,4} \right] = \dot{m} * [46,51 + 28,92 * 3,912] = \dot{m} * 159,645$$

1.032.246 kcal/h es la energía a la entrada de la turbina

Eficiencia del generador= 62%

Por lo tanto:

$$\frac{1032246 \frac{kcal}{h}}{0,62} \approx 640.626 \frac{kcal}{h}$$

$$\frac{1032246 \frac{kcal}{h}}{861} = 744KVAh = 595KWh$$

Producimos un total de 595KWh en periodos de máxima producción, de los cuales 250KWh son destinados al consumo energético de la almazara, 50KWh son destinados al consumo energético del presente proyecto y el resto, 295KWh son vendidos a la red eléctrica.

$$P. total = 640.626 \frac{kcal}{h} = \dot{m} * 159,645 \rightarrow \dot{m} = 4.012,8 \frac{kg}{h}$$

El flujo de acetona requerido para un óptimo funcionamiento de la planta en periodos de máxima producción será de 4012,8 kg/h.

Para que la acetona se mantenga en estado gaseoso a la salida de la turbina a 35 °C operamos con una presión de 300 mmHg = 0,40785 kg/ cm².

A esta presión las entradas mantiene en estado gaseoso hasta 31, 1 °C.

4.3.4.9- Recalentador nº4 (agua-acetona).

El fluido caliente (agua) circula por el interior de los tubos para tener menores pérdidas térmicas, mientras que el fluido a calentar (acetona) circula a través de la carcasa del intercambiador de calor.

Propiedades del agua:

La fase acuosa se encuentra presurizada a 5 kg/cm², esta forma nos aseguramos que no se produce cambio de estado en esta fase, siempre se haya estado líquido.

$$Capacidad\ calorífica: C_{pc} = 1 \frac{kcal}{kg * °C}$$

$$Conductividad\ térmica: k = 0,536 \frac{kcal}{h * m * °C}$$

$$Viscosidad: \mu = 0,864 \frac{kg}{m * h}$$

(datos tomados a una temperatura media de 139,25°C).

Propiedades de la acetona:

$$\text{Capacidad calorífica: } Cpv = 0,3914 + 0,0006 * 105 = 0,4544 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Conductividad térmica: } k = 0,0201 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{k}} = 0,01728 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Viscosidad: } \mu = 0,101 * 10^{-4} \text{Pa} * \text{s}$$

$$= 0,101 * 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{cm} * \text{s}} * \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} = 0,03636 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

(datos tomados a una temperatura media de 105°C)

$$Q = mc * Cpc * (Tc2 - Tc1) = mf * Cpf * (Tf2 - Tf1)$$

Siendo:

Q: Energía de operación en el intercambiador expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$

mc: Caudal másico del fluido calentador expresado en $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$

Cpc: Capacidad calorífica del fluido calentador expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$

Tc2: Temperatura de entrada al intercambiador del fluido calentador expresada en °C

Tc1: Temperatura de salida del intercambiador del fluido calentador expresada en °C

mf: Caudal másico del fluido a calentar expresado en $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$

Cpf: Capacidad calorífica del fluido a calentar expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$

Tf2: Temperatura de salida del intercambiador del fluido a calentar expresada en °C

Tf1: Temperatura entrada al intercambiador del fluido a calentar expresada en °C

$$Q. \text{ acetona} = 4.012,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,4544 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (140^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}) = 127.639 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

La eficacia del recalentador es del 97%

$$\frac{127.639 \frac{kcal}{h}}{0,97} = 11.438 \frac{kg}{h} * 1 \frac{kcal}{Kg * ^\circ C} * (145^\circ C - T_{c1}) \rightarrow T_{c1} = 133,5^\circ C$$

Método LMTD para flujo en contracorriente:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)} = \frac{(145^\circ C - 140^\circ C) - (133,5^\circ C - 70^\circ C)}{\ln \left(\frac{145^\circ C - 140^\circ C}{133,5^\circ C - 70^\circ C} \right)} = 23,02^\circ C$$

Factor de corrección:

$$R = \frac{(T_{c2} - T_{c1})}{(T_{f2} - T_{f1})} = \frac{(145^\circ C - 133,5^\circ C)}{(140^\circ C - 70^\circ C)} = 0,1643$$

$$S = \frac{(T_{f2} - T_{f1})}{(T_{c2} - T_{f1})} = \frac{(140^\circ C - 70^\circ C)}{(145^\circ C - 70^\circ C)} = 0,933$$

El valor de S debe ser ≤ 1 .

Empleamos un intercambiador de calor de carcasa y tubos de un paso por la carcasa y dos o más pasos por los tubos.

Gráfica: $F_t=0,77$.

(Existe una restricción mínima en cuanto al factor de corrección. Si $F_t < 0,75$, el intercambiador de calor será ineficiente e inoperable desde el punto de vista termodinámico.)

Cálculo del coeficiente individual para el interior del tubo, h_i :

$$m_c = 11.438 \frac{kg \text{ de agua}}{h}$$

$$Di = 0,0243m$$

$$Cpc = 1 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$k = 0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

$$\mu = 0,864 \frac{kg}{m * h}$$

El "Re" óptimo en estos intercambiadores de calor con fluidos líquidos suele estar en torno a los 45.000-60.000 debido a los fenómenos de corrosión, fenómenos de cavitación, etc.

Para lograr este valor tenemos dos opciones, aumentar la sección de tubo o aumentar el número de tubos.

Elegimos esta última opción que nos proporciona una mejor transmisión de calor. Colocando doce tubos logramos un "Re" igual a 57800.

$$Re = \frac{Di * \frac{mc}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243m * \frac{11.438 \frac{kg}{h}}{12 * 4,638 * 10^{-4}m^2}}{0,864 \frac{kg}{m * h}} = 57.800$$

$$Pr = \frac{\mu * Cp}{kc} = \frac{0,864 \frac{kg}{m * h} * 1 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}}{0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}} = 1,61$$

Para el cálculo del Nu se considera el agua como un fluido no viscosos en régimen turbulento, por ello aplicaremos la ecuación de Dittus-Boelter:

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,3} = 171,13$$

$$hi = \frac{Nu * k}{Di} = \frac{171,13 * 0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{0,0243m} = 3774,72 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Cálculo del coeficiente individual para el exterior del tubo, he:

$$mf = 4.012,8 \frac{\text{Kg de acetona}}{\text{h}}$$

$$De = 0,0243\text{m}$$

$$Cp = 0,4544 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$K = 0,01728 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}$$

$$\mu = 0,03636 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

Supongo que el espacio de los tubos equivale a la mitad del que existe en el interior de ellos, ya que la resistencia de la capa límite de la acetona es muy alta.

$$Re = \frac{Di * \frac{mf}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243\text{m} * \frac{4012,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{12 * (4,638 * 10^{-4}/2)\text{m}^2}}{0,03636 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}} = 963.713$$

Para el cálculo del Nu se considera el flujo de acetona como un fluido gaseoso:

$$Nu = 0,021 * Re^{0,8} = 1.286,4$$

$$he = \frac{Nu * k}{De} = \frac{1.286,40 * 0,01728 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}}{0,0243\text{m}} = 942 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

Cálculo de U:

$$\begin{aligned} \frac{1}{U} &= \frac{1}{he} + \frac{e}{kp} + \frac{1}{hi} + Rf'' \\ &= \frac{1}{942 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m}^2 * ^\circ\text{C}}} + \frac{0,0026\text{m}}{46 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m}^2 * ^\circ\text{C}}} + \frac{1}{3.774,72 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m}^2 * ^\circ\text{C}}} + 0 \end{aligned}$$

Siendo:

$$\text{Constante característica del acero: } k_p = 46 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}$$

Espesor de los tubos: $e=0,0026\text{m}$

$Rf'=0$, por tratarse de un equipo recién diseñado no tendremos en cuenta las resistencias a la transferencia debida a las costras en la pared del intercambiador de calor.

$$U = 722,40 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

El área del recalentador será:

$$A = \frac{Q}{U * Ft * (\Delta T)ml} = \frac{92.374 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{722,4 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 0,77 * 18,82^\circ\text{C}} = 8,82\text{m}^2$$

4.3.4.10- Pre calentador nº5 (agua-acetona).

El fluido caliente (agua) circula por el interior de los tubos para tener menores pérdidas térmicas, mientras que el fluido a calentar (acetona) circula a través de la carcasa del intercambiador de calor.

Propiedades del agua:

$$\text{Capacidad calorífica: } C_{pc} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Conductividad térmica: } k = 0,536 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Viscosidad: } \mu = 0,000342 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} = 1,2312 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

(datos tomados a una temperatura media de $73,8^\circ\text{C}$).

Propiedades de la acetona:

$$\text{Capacidad calorífica: } C_p = 0,5 + 0,05 * 45 = 2,75 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Conductividad térmica: } k = 0,1414 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Viscosidad: } \mu = 0,25c_p = 0,00025 \frac{\text{kg}}{\text{s} * \text{m}} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} = 0,9 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

(datos tomados a una temperatura media de 45°C)

Método LMTD para flujo en contracorriente:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{(102,65^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}) - (45,01^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{102,65^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}}{45,01^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}\right)} = 28,66^\circ\text{C}$$

$$Q = mc * C_{pc} * (T_{c2} - T_{c1}) = mf * C_{pf} * (T_{f2} - T_{f1})$$

Siendo:

Q: Energía de operación en el intercambiador expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$

mc: Caudal másico del fluido calentador expresado en $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$

C_{pc}: Capacidad calorífica del fluido calentador expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$

T_{c2}: Temperatura de entrada al intercambiador del fluido calentador expresada en °C

T_{c1}: Temperatura de salida del intercambiador del fluido calentador expresada en °C

mf: Caudal másico del fluido a calentar expresado en $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$

C_{pf}: Capacidad calorífica del fluido a calentar expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$

T_{f2}: Temperatura de salida del intercambiador del fluido a calentar expresada en °C

T_{f1}: Temperatura entrada al intercambiador del fluido a calentar expresada en °C

$$Q. \text{ acetona} = 4012,8 * 2,75 * (70 - 20) = 551.760 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

La eficacia del precalentador es del 83,7%

$$\frac{551.760 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{0,837} = 11.438 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (102,65^\circ\text{C} - T_{c1}) \rightarrow T_{c1} = 45,01^\circ\text{C}$$

Factor de corrección:

$$R = \frac{(T_{c2} - T_{c1})}{(T_{f2} - T_{f1})} = \frac{(102,65^\circ\text{C} - 45,01^\circ\text{C})}{(70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})} = 1,15$$

$$S = \frac{(T_{f2} - T_{f1})}{(T_{c2} - T_{f1})} = \frac{(70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{(102,65^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})} = 0,605$$

El valor de S debe ser ≤ 1 .

Empleamos un intercambiador de calor de carcasa y tubos de un paso por la carcasa y dos o más pasos por los tubos.

Gráfica: $F_t=0,87$

(Existe una restricción mínima en cuanto al factor de corrección. Si $F_t < 0,75$, el intercambiador de calor será ineficiente e inoperable desde el punto de vista termodinámico.)

Cálculo del coeficiente individual para el interior del tubo, h_i :

$$m_c = 11.438 \frac{\text{kg de agua}}{\text{h}}$$

$$D_i = 0,0243\text{m}$$

$$C_{pc} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$k = 0,536 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}$$

$$\mu = 1,2312 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

El "Re" óptimo en estos intercambiadores de calor con fluidos líquidos suele estar en torno a los 45.000-60.000 debido a los fenómenos de corrosión, fenómenos de cavitación, etc.

Para lograr este valor tenemos dos opciones, aumentar la sección de tubo o aumentar el número de tubos.

Elegimos esta última opción que nos proporciona una mejor transmisión de calor. Colocando diez tubos logramos un "Re" igual a 48.670.

$$Re = \frac{Di * \frac{mc}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243\text{m} * \frac{11.438 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{10 * 4,638 * 10^{-4}\text{m}^2}}{1,2312 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}} = 48.674$$

$$Pr = \frac{\mu * Cp}{kc} = \frac{1,2312 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}}{0,536 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}} = 2,297$$

Para el cálculo del Nu se considera el agua como un fluido no viscosos en régimen turbulento, por ello aplicaremos la ecuación de Dittus-Boelter:

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,3} = 165,94$$

$$hi = \frac{Nu * k}{Di} = \frac{165,94 * 0,536 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}}{0,0243\text{m}} = 3.660,24 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

Cálculo del coeficiente individual para el exterior del tubo, he:

$$mf = 4.012,8 \frac{\text{Kg de acetona}}{\text{h}}$$

$$De = 0,0243\text{m}$$

$$Cp = 0,5725 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$K = 0,1414 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}$$

$$\mu = 0,9 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

Supongo que el espacio de los tubos equivale a la mitad del que existe en el interior de ellos, ya que la resistencia de la capa límite de la acetona es muy alta.

El "Re" óptimo en estos intercambiadores de calor con fluidos líquidos suele estar en torno a los 45.000-60.000 debido a los fenómenos de corrosión, fenómenos de cavitación, etc.

Para lograr este valor tenemos dos opciones, aumentar la sección de tubo o aumentar el número de tubos.

Elegimos esta última opción que nos proporciona una mejor transmisión de calor. Colocando diez tubos logramos un "Re" igual a 46.721.

$$Re = \frac{Di * \frac{mf}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243\text{m} * \frac{4.012,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{10 * (4,638 * 10^{-4}/2)\text{m}^2}}{0,9 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}} = 46.721$$

$$Pr = \frac{\mu * Cp}{kc} = \frac{10,9 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}} * 0,5725 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}}{0,1414 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}} = 3,64$$

Para el cálculo del Nu se considera la acetona como un fluido no viscoso en régimen turbulento, por ello aplicaremos la ecuación de Dittus-Boelter:

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,3} = 209,79$$

$$h_e = \frac{Nu * k}{De} = \frac{209,79 * 0,1414 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{0,0243m} = 1.220,75 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Cálculo de U:

$$\begin{aligned} \frac{1}{U} &= \frac{1}{h_e} + \frac{e}{kp} + \frac{1}{h_i} + Rf'' \\ &= \frac{1}{1220,75 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + \frac{0,0026m}{46 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + \frac{1}{3660,24 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + 0 \end{aligned}$$

Siendo:

$$\text{Constante característica del acero: } kp = 46 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

Espesor de los tubos: $e=0,0026m$

$Rf''=0$, por tratarse de un equipo recién diseñado no tendremos en cuenta las resistencias a la transferencia debida a las costras en la pared del intercambiador de calor.

$$U = 870,4 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

El área del precalentador será:

$$A = \frac{Q}{U * Ft * (\Delta T)_{ml}} = \frac{55.1760 \frac{kcal}{h}}{870,4 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C} * 0,87 * 28,66^\circ C} = 25,42m^2$$

4.3.4.11- Evaporador nº6 (agua-acetona).

El fluido a calentar (acetona) circula a través de la carcasa del intercambiador de calor debido a que experimenta un cambio de fase.

La fase acuosa se encuentra presurizada a $5 \frac{kg}{cm^2}$ para evitar el cambio de fase y la fase orgánica se encuentra presurizada a $20 \frac{kg}{cm^2}$ tal y como requiere el grupo turbina-generador para su óptimo funcionamiento.

$$\text{Fase acuosa } 5 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\text{Fase orgánica } 20 \frac{kg}{cm^2}$$

$$mc = 11.438 \frac{kg \text{ de agua}}{h}$$

$$mf = 4.012,8 \frac{kg \text{ de acetona}}{h}$$

Método LMTD para flujo en contracorriente:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)} = \frac{(133,5^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}) - (102,65^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C})}{\ln \left(\frac{133,5^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}}{102,65^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}} \right)} = 46,38^\circ\text{C}$$

$$Q. \text{ evaporador} = Q. \text{ condensador} - Q. \text{ recalentador} - Q. \text{ precalentador}$$

$$Q. \text{ evaporador} = 1.032.246 \frac{kcal}{h} - 127.639 \frac{kcal}{h} - 551.760 \frac{kcal}{h} = 352.847 \frac{kcal}{h}$$

$$Q = mc * Cpc * (Tc2 - Tc1) = mf * Cpf * (Tf2 - Tf1)$$

Siendo:

Q: Energía de operación en el intercambiador expresada en $\frac{kcal}{h}$

mc: Caudal másico del fluido calentador expresado en $\frac{kg}{h}$

Cpc: Capacidad calorífica del fluido calentador expresada en $\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ\text{C}}$

Tc2: Temperatura de entrada al intercambiador del fluido calentador expresada en $^\circ\text{C}$

Tc1: Temperatura de salida del intercambiador del fluido calentador expresada en $^\circ\text{C}$

mf: Caudal másico del fluido a calentar expresado en $\frac{kg}{h}$

C_{pf}: Capacidad calorífica del fluido a calentar expresada en $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

T_{f2}: Temperatura de salida del intercambiador del fluido a calentar expresada en $^\circ\text{C}$

T_{f1}: Temperatura entrada al intercambiador del fluido a calentar expresada en $^\circ\text{C}$

$$352.847 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 11.438 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (133,5^\circ\text{C} - T_{c1}) \rightarrow T_{c1} = 102,65^\circ\text{C}$$

Cálculo del coeficiente individual para el exterior del tubo, h_e:

Datos tomados a una temperatura media de 70 $^\circ\text{C}$:

$$m_f = 4.012,8 \frac{\text{kg de acetona}}{\text{h}}$$

$$D_e = 0,0243\text{m}$$

$$\rho.l = 790 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho.v = 2 * \rho. \text{aire} = 2 * 0,946 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,892 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\sigma = 23,7 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}} = 307.152 \frac{\text{kg}}{\text{h}^2}$$

$$C_{p.l} = 0,5 * 0,05 * 70 = 4 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$\lambda = 93 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$\begin{aligned} k.l &= 0,095 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2 * \frac{\text{F}}{\text{ft}}} = 3,927 * 10^{-4} \frac{\text{cal}}{\text{s} * \text{cm} * ^\circ\text{C}} * \frac{1\text{kcal}}{1.000\text{cal}} * \frac{3.600\text{s}}{1\text{h}} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} \\ &= 0,1414 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

$$P = 20 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 20 * 101.300 = 200.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$h = 0,225 * \left(\frac{q}{A} * \frac{Cp \cdot l}{\lambda} \right)^{0,69} * \left(\frac{P * k \cdot l}{\sigma} \right)^{0,31} * \left(\frac{\rho \cdot l}{\rho \cdot v} - 1 \right)^{0,33}$$

$$h = 0,225 * \left(\frac{479.481 \frac{kcal}{h}}{3,39 * 10^{-2} m^2} * \frac{0,6 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}}{0,93 \frac{kcal}{kg}} \right)^{0,69}$$

$$* \left(\frac{200.000 \frac{kg}{m^2} * 0,1414 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{307.152 \frac{kg}{h^2}} \right)^{0,31} * \left(\frac{790 \frac{kg}{m^3}}{1,892 \frac{kg}{m^3}} - 1 \right)^{0,33}$$

$$= 3.652 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

Cálculo del coeficiente individual para el interior del tubo, hi:

$$mc = 11.438 \frac{kg \text{ de agua}}{h}$$

$$Di = 0,0243m$$

$$Cpc = 1 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$k = 0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

$$\mu = 0,00025 \frac{kg}{m * s} * \frac{3600s}{1h} * 0,9 \frac{kg}{m * h}$$

(Datos tomados a una temperatura media=118°C)

El "Re" óptimo en estos intercambiadores de calor con fluidos líquidos suele estar en torno a los 45.000-60.000 debido a los fenómenos de corrosión, fenómenos de cavitación, etc.

Para lograr este valor tenemos dos opciones, aumentar la sección de tubo o aumentar el número de tubos.

Elegimos esta última opción que nos proporciona una mejor transmisión de calor. Colocando doce tubos logramos un "Re" igual a 55488.

$$Re = \frac{Di * \frac{mc}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243m * \frac{11438 \frac{kg}{h}}{12 * 4,638 * 10^{-4}m^2}}{0,9 \frac{kg}{m * h}} = 55488$$

$$Pr = \frac{\mu * Cp}{kc} = \frac{0,9 \frac{kg}{m * h} * 1 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}}{0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}} = 1,68$$

Para el cálculo del Nu se considera el agua como un fluido no viscoso en régimen turbulento, por ello aplicaremos la ecuación de Dittus-Boelter:

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,3} = 167,76$$

$$hi = \frac{Nu * k}{Di} = \frac{167,76 * 0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{0,0243m} = 3.700,39 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Esquema de cálculo:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{he} + \frac{e}{kp} + \frac{1}{hi} + Rf'' \rightarrow U. ficticio \rightarrow A. ficticia$$

$$\frac{q}{A} \rightarrow he.$$

$$he, hi, e, kp \rightarrow U \rightarrow A$$

Comparamos A con A.ficticia

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{he} + \frac{e}{kp} + \frac{1}{hi} + Rf''$$

$$\frac{1}{U} = \frac{0,0026m}{46 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}} + \frac{1}{3.700,39 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + 0 \rightarrow U.ficticio$$

$$= 3.060,32 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

$$A = \frac{Q}{U * Ft * (\Delta T)ml} = \frac{352.847 \frac{kcal}{h}}{3.060,32 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C} * 1 * 46,38^\circ C} = 2,49m^2$$

$$\frac{q}{A.ficticia} = \frac{479.481 \frac{kcal}{h}}{8,37m^2} = 57.286 \frac{kcal}{m^2 * h}$$

$$h = 0,225 * \left(\frac{q}{A.ficticia} * \frac{Cp.l}{\lambda} \right)^{0,69} * \left(\frac{P * k.l}{\sigma} \right)^{0,31} * \left(\frac{\rho.l}{\rho.v} - 1 \right)^{0,33}$$

$$h = 0,225 * \left(57.286 \frac{kcal}{m^2 * h} * \frac{0,6 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}}{0,93 \frac{kcal}{kg}} \right)^{0,69}$$

$$* \left(\frac{2.000.000 \frac{kg}{m^2} * 0,1414 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{307152 \frac{kg}{h^2}} \right)^{0,31} * \left(\frac{790 \frac{kg}{m^3}}{1,892 \frac{kg}{m^3}} - 1 \right)^{0,33}$$

$$= 2.036 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

Cálculo de U:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{he} + \frac{e}{kp} + \frac{1}{hi} + Rf''$$

$$= \frac{1}{2.036 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + \frac{0,0026m}{46 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + \frac{1}{3.652 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + 0$$

Siendo:

Constante característica del acero: $k_p = 46 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$

Espesor de los tubos: $e=0,0026m$

$Rf'=0$, por tratarse de un equipo recién diseñado no tendremos en cuenta las resistencias a la transferencia debida a las costras en la pared del intercambiador de calor.

$$U = 1217,28 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

El área del evaporador será:

$$A = \frac{Q}{U * Ft * (\Delta T)_{ml}} = \frac{352.847 \frac{kcal}{h}}{1217,28 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C} * 1 * 46,38^\circ C} = 6,25m^2$$

4.3.4.12- Condensador-enfriador nº7 (acetona-agua).

Propiedades del agua:

Capacidad calorífica: $C_{pc} = 1 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$

Conductividad térmica: $k = 0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$

Viscosidad: $\mu = 0,000798 \frac{kg}{m * s} * \frac{3.600s}{1h} = 2,873 \frac{kg}{m * h}$

(datos tomados a una temperatura media de 30°C).

Propiedades de la acetona:

Capacidad calorífica: $C_p = 0,391 + 0,0006 * 35 = 0,412 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$

Conductividad térmica: $k = 0,0115 \frac{W}{m * k} = 9,8866 * 10^{-3} \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$

$$\text{Viscosidad: } \mu = 0,077 * 10^{-4} Pa * s = 0,077 * 10^{-3} \frac{g}{cm * s} = 0,02772 \frac{kg}{m * h}$$

La fase orgánica se encuentra presurizada a $0,4 \frac{kg}{cm^2}$

(datos tomados a una temperatura media de 27°C)

Método LMTD para flujo en contracorriente:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{(35^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) - (35^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{35^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}}{35^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}\right)} = 9,1^\circ\text{C}$$

$$Q = \dot{m} \cdot \text{acetona} * \lambda \cdot \text{acetona}$$

$$Q = 4012,8 \left(\frac{kg}{h}\right) * 97 \left(\frac{kcal}{h}\right) = 389241,6 \left(\frac{kcal}{h}\right)$$

$$Q = m \cdot \text{agua} * C_p * (T_{f2} - T_{f1})$$

Siendo:

Q: Energía de operación en el intercambiador expresada en $\frac{kcal}{h}$

m.agua: Caudal másico del fluido calentador expresado en $\frac{kg}{h}$

Cp: Capacidad calorífica del fluido calentador expresada en $\frac{kcal}{kg * ^\circ\text{C}}$

Tf2: Temperatura de salida del intercambiador del fluido enfriador expresada en °C

Tf1: Temperatura entrada al intercambiador del fluido enfriador expresada en °C

$$389.241,6 \frac{kcal}{h} = m \cdot \text{agua} * 1 \frac{kcal}{kg * ^\circ\text{C}} * (30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$m \cdot \text{agua} = 38.924 \frac{kg}{h}$$

Cálculo del coeficiente individual para el interior del tubo, hi:

$$m_c = 38.924 \frac{\text{kg de agua}}{\text{h}}$$

Diametro interior de los tubos: $D_i = 0,0243\text{m}$

$$C_{pc} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

$$k = 0,536 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}$$

$$\mu = 2,873 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}$$

El "Re" óptimo en estos intercambiadores de calor con fluidos líquidos suele estar en torno a los 45.000-60.000 debido a los fenómenos de corrosión, fenómenos de cavitación, etc.

Para lograr este valor tenemos dos opciones, aumentar la sección de tubo o aumentar el número de tubos.

Elegimos esta última opción que nos proporciona una mejor transmisión de calor. Colocando catorce tubos logramos un "Re" igual a 50702.

$$Re = \frac{D_i * \frac{m_c}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243\text{m} * \frac{38.924 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{14 * 4,638 * 10^{-4}\text{m}^2}}{2,873 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}}} = 50.702$$

$$Pr = \frac{\mu * C_p}{k} = \frac{2,873 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{h}} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}}{0,536 \frac{\text{kcal}}{\text{h} * \text{m} * ^\circ\text{C}}} = 5,36$$

Para el cálculo del Nu se considera el agua como un fluido no viscoso en régimen turbulento, por ello aplicaremos la ecuación de Dittus-Boelter:

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,4} = 261,46$$

$$h_i = \frac{Nu * k}{D_i} = \frac{261,46 * 0,536 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{0,0243m} = 5.767 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Cálculo del coeficiente individual para el exterior del tubo, he:

$$m_f = 4.012,8 \frac{Kg \text{ de acetona}}{h}$$

Espacio existente entre los tubos: $De = 0,0243m$

$$C_p = 0,412 \frac{kcal}{kg * ^\circ C}$$

$$K = 9,8866 * 10^{-3} \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

$$\mu = 0,02772 \frac{kg}{m * h}$$

Supongo que el espacio de los tubos equivale a la mitad del que existe en el interior de ellos, ya que la resistencia de la capa límite de la acetona es muy alta.

$$Re = \frac{D_i * \frac{m_f}{n * S}}{\mu} = \frac{0,0243m * \frac{4012,8 \frac{kg}{h}}{12 * (4,638 * 10^{-4} / 2)m^2}}{0,02772 \frac{kg}{m * h}} = 1.264.092$$

Para el cálculo del Nu se considera la acetona como un fluido gaseoso.

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} = 1598,2$$

$$h_e = \frac{Nu * k}{De} = \frac{1592,2 * 9,8866 * 10^{-3} \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}}{0,0243m} = 650 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Cálculo de U:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{he} + \frac{e}{kp} + \frac{1}{hi} + Rf''$$

$$= \frac{1}{650 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + \frac{0,0026m}{46 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + \frac{1}{5.767 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}} + 0$$

Siendo:

$$\text{Constante característica del acero: } kp = 46 \frac{kcal}{h * m * ^\circ C}$$

Espesor de los tubos: $e=0,0026m$

$Rf''=0$, por tratarse de un equipo recién diseñado no tendremos en cuenta las resistencias a la transferencia debida a las costras en la pared del intercambiador de calor.

$$U = 565 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

El área del condensador-enfriador será:

$$A = \frac{Q}{U * Ft * (\Delta T)ml} = \frac{389.241,6 \frac{kcal}{h}}{565 \frac{kcal}{h * m^2 * ^\circ C} * 1 * 9,1^\circ C} = 75,7m^2$$

4.3.5- Grupo turbina-generator.

Para el proceso de generación de electricidad contamos con un flujo de acetona a alta presión ($20 \frac{kg}{cm^2}$) y $140^\circ C$ que será llevado a una turbina unida a un alternador donde se produce tal proceso. A la salida de la turbina, el flujo de acetona perderá presión hasta los ($0'4 \frac{kg}{cm^2}$) y disminuirá su temperatura hasta los $35^\circ C$.

Su camino continua al seguir hacia un condensador, el cuál se refrigerará mediante agua procedente de una torre de refrigeración, donde lo que queda de

vapor pasa a estado líquido para poder entrar a una bomba que le subirá la presión al fluido nuevamente hasta los $20 \frac{kg}{cm^2}$ para poder continuar con el ciclo.

La siguiente etapa que experimentará el fluido será un precalentamiento desde los 20°C hasta los 70°C y posteriormente una evaporación sin cambiar prácticamente de temperatura.

Como última etapa del ciclo antes de entrar nuevamente a la turbina, la acetona sufre un proceso de recalentamiento desde los 70°C hasta los 140°C.

Los componentes principales del turbogruppo son:

- Turbina multietapa horizontal. La carcasa se compone de dos bloques unidos horizontalmente.
- Generador de potencia.
- Reductor de velocidad. La transmisión entre la turbina y el generador se realiza por medio de un reductor de velocidad.

4.4-Anejo 4: Instrumentación para el control del proceso.

Sensores de nivel: colocados en los silos para el control del contenido en materia prima en los mismos por si fuera necesario parar el proceso en espera de proceder a la carga de los mismos.

El sensor que se va a emplear es un interruptor limitador con activación mediante un diafragma de acero inoxidable. La presencia de material apoyado contra el diafragma abre el interruptor, si el interruptor se cierra, se activa una señal de alarma del sistema de control.

Se dispondrán dos sensores de nivel en los silos de almacenamiento, uno en el límite máximo del silo (90% del volumen) y otro al comienzo de la zona cónica.

En el sensor al tope del silo se emplea para el control del llenado de los silos.

Sensores de peso: Las básculas utilizadas son células de carga. Todas las básculas instaladas serán balanzas automáticas aditivas del tipo por lotes, teniendo en cuenta la dinámica del proceso en la planta.

Para un pesado preciso por lotes es esencial que haya un flujo uniforme desde los silos, ya que por eso se han empleado silos de flujo de masa en todos los casos. El pesado se realiza por adición, es decir, la materia prima se incorpora al recipiente de pesada que instantáneamente está detectando el peso gracias a el sistema de control de la báscula.

Se consideran importante tener una precisión lo mas exacta posible. Para ello la alimentación al recipiente pesador se divide en dos porciones sucesivas:

1. Una carga grande a granel, en primer lugar.
2. Una alimentación final breve o de goteo, que tendrá un índice de flujo de aproximadamente el 1% de la cantidad a granel.

La precisión de las balanzas comerciales por lotes es de $\pm 0,1\%$, para alcanzar esta precisión la balanza cuenta con un controlador del paso a granel y de goteo.

Para comprobar que la balanza está pesando correctamente, se dispone de un conjunto de pesas patrón, con las que se realizan pruebas de forma mensual.

Se deben mantener perfectamente limpios todos los puntos de apoyo, las articulaciones y partes análogas de las básculas. Los puntos de apoyo de las básculas estarán colocados en las vigas de sujeción de los silos.

El exterior de las básculas está realizado en acero inoxidable AISI 410, Y los brazos de sujeción en acero al carbono con bases de hormigón.

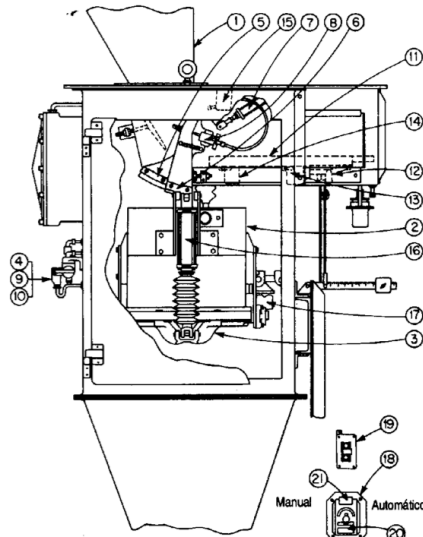


FIG. 7-35 Balanza automática aditiva del tipo por lotes. Componentes: 1) Depósito; 2) Cubo de la balanza; 3) Compuerta del cubo; 4) Válvula de solenoide; 5) Compuerta a granel; 6) Compuerta de goteo; 7, 8) Cilindros de aire accionados por válvulas activadas por solenoides; 9, 10) Válvulas activadas por medio de solenoides; 11) Brazo de la balanza; 12) Dispositivo reforzador; 13 y 14) Celdas de carga; 15) Microinterruptor; 16) Cilindro de aire; 17) Microinterruptor; 18) Microprocesador; 19) Interruptor manual de arranque. (Con autorización de St. Regis Paper Co.)

Sensores de humedad: para la medida del agua superficial en el aire del secadero, se emplearán sensores con electrodo de óxido, que se basa en la medición de la intensidad de una corriente alterna de baja tensión. Dichos sensores se ubicarán tanto en los silos de almacenamiento como a la entrada y a la salida del secadero.

Sensores de velocidad: se empleará un transformador diferencial como sensor de la velocidad de giro para los tornillos sinfn.

Sensores de presión: se van a utilizar este tipo de sensores en aquellas conducciones de los intercambiadores de calor que se encuentren sometidas a algún tipo de presión adicional.

4.5-Anejo 5: Sistemas de impulsión y transporte.

4.5.1- Descripción de flujos.

El alperujo transportado por los vehículos desde la almazara hasta su almacenamiento en las tolvas de alimentación a proceso se lleva a cabo a través de un elevador de cangilones de 1,342kW de potencia.

La siguiente etapa que experimenta la biomasa es un secado en un horno rotatorio, para ello, el alperujo es transportado a través de un tornillo sinfín de 0'63kW desde las tolvas de almacenamiento hasta el secadero.

A la salida del horno obtenemos el orujillo resultante, un producto seco y pulverulento que será impulsado a través de una soplante de 2,591 kW de potencia hasta la tolva de recirculación y hasta la tolva de alimentación a la pelletizadora.

Ambas tolvas descargan la biomasa a través de un tornillo sinfín de dosificación. Estos demandan una potencia de 0,3 kW cada uno.

Tras el proceso de pelletizado, los pellets resultantes son transportados por otro tornillo sinfín de 0,63 kW hasta la tolva de alimentación de la caldera.

4.5.2- Tornillo sinfín:

El tornillo sinfín es el transportador de sólidos empleado para llevar el alperujo desde los silos de almacenamiento hasta la entrada del secadero, y desde la pelletizadora hasta la tolva de alimentación de la caldera.

Existen varios factores a tener en cuenta a la hora de elegir una medida de sinfín para un sistema transportador. Se tendrán en cuenta una serie de condiciones para su selección:

- Condiciones generales.
 - Cuando los materiales a transportar son de buena fluidez, o para empleo en mezcladores de líquidos, se recomienda un sinfín de paso alargado, no superior a 1,5 veces el diámetro exterior.
 - Para transportar materiales con inclinación superior a 30°, también

para mezcladores, le recomendamos un sinfín de paso reducido no inferior a la $2/3$ parte del diámetro exterior.

- Para transportar materiales viscosos o húmedos, le recomendamos una cinta de espiral, pues evita la adherencia entre el sinfín y el eje.

- Factores determinantes.
 - Características del material a transportar.
 - Inclinación del sinfín.
 - Tipo de Inclinación.
 - Tipo de rosca.
 - Medidas, rendimiento y motores.

- Factor de seguridad para la conducción donde se encuentra el sinfín: 1,92.

- Inclinación del sinfín adaptable.

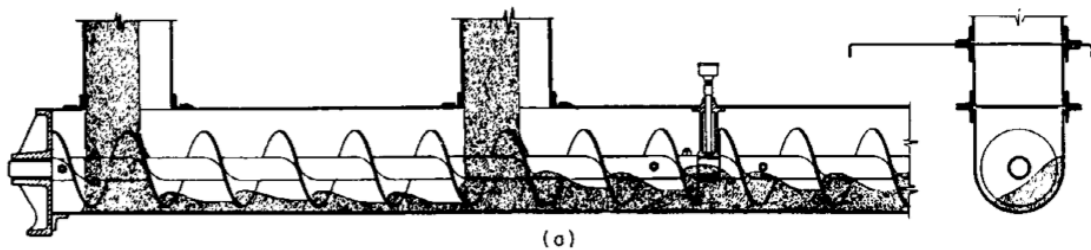
El rendimiento del sinfín varía mucho según su inclinación, y puede llegar a anular el sistema de sinfines si se sobrepasan los límites impuestos en el diseño. También es posible forzar al motor más allá de su capacidad, si se trata de elevar materiales de alta densidad en ángulos muy pronunciados.

Los elementos del sinfín también sufren, dependiendo de las relaciones de ala y eje, aunque por lo general y dada la calidad de la elaboración y materia prima, suelen ser los elementos más resistentes dentro del sistema.

- La selección de la dirección de la rosca vendrá en función del tipo de sinfín, del tipo de capacidad del mismo:
 - Para reconocer los sinfines con rosca derecha debemos imaginar que sujetamos con nuestra mano izquierda y el pulgar extendido, el eje del sinfín. Así, nuestros dedos señalarán el sentido de giro del sinfín,

mientras que el pulgar nos muestra el sentido de circulación del material transportado, que en la animación se representa con flechas rojas.

- Para reconocer los sinfines con rosca izquierda debemos hacer lo mismo que en el caso anterior, pero utilizando en cambio la mano derecha. Así, nuestros de dos señalarán el sentido de giro del sinfín, y el pulgar el sentido de circulación del material como indican las flechas rojas.

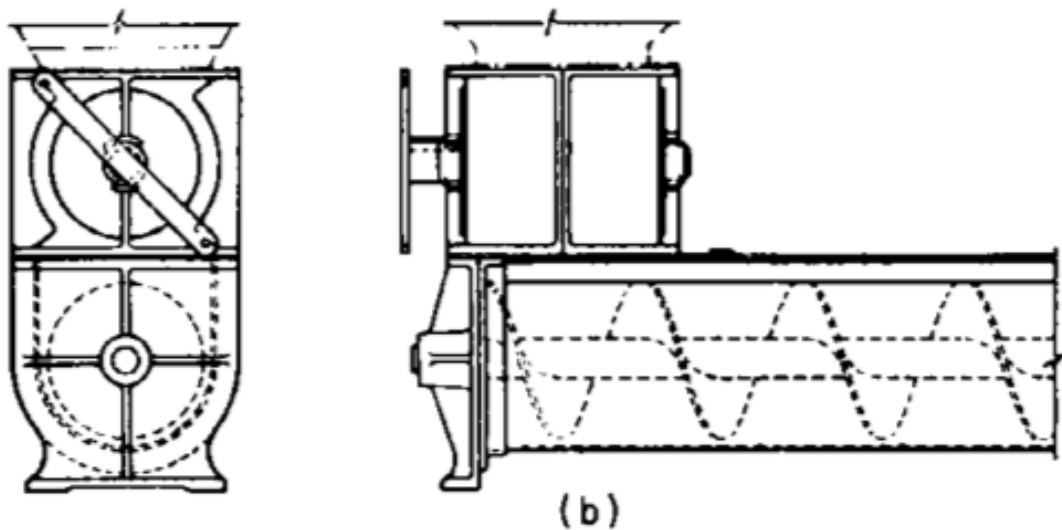


- Medidas de un sinfín para su pedido a un distribuidor, sería:
 1. Diámetro total del sinfín.
 2. Diámetro del eje.
 3. Ala del sinfín.
 4. Paso del sinfín.
 5. Largo total del sinfín.
 6. Espesor.
 7. Sentido de rotación.

Se dispone una válvula giratoria de corte como alimentación del tornillo sinfín respecto al silo de alperujo, es decir, esta válvula será el sistema de descarga del silo.

La válvula giratoria de corte es una válvula de acción rápida y proporciona un cierre hermético al alperujo. La abertura o cierre de la válvula y el movimiento del tornillo sinfín serán conjuntos, y estarán controlados por la báscula de

alperujo, que detendrá el tornillo y cerrará la válvula cuando se alcance la masa que se desea dosificar de alperujo a la mezcladora.



Características del tornillo sinfín de alimentación a horno rotatorio:

- 30% de llenado
- 5 ton/h= 5,555m³/h (Caudal del proceso 1,625m³/h)
- 200ft³/h= 5,664m³/h
- terrones de 20 a 25% : 1 ½
- velocidad: 40 rpm
- Diámetro sección de alimentación: 6in= 15cm
- Longitud: 30 ft= 9,144m
- Potencia: 0,85hp= 0,633845kW

Características del tornillo sinfín de alimentación a caldera:

- 30% de llenado
- 5 ton/h= 5,555m³/h
- 200ft³/h= 5,664m³/h
- terrones de 20 a 25% : 1 ½
- velocidad: 40 rpm

- Diámetro sección de alimentación: 6in= 15cm
- Longitud: 23m
- Potencia: 0,85hp= 0,633845kW

Se utilizarán bordes de superficie endurecidos, segmentos desmontables de tramos endurecidos y cubiertas de caucho, para reducir el desgaste del tornillo.

Se va a trabajar con un área aproximada de ocupación del 30% del diámetro de tubo, ya que, aunque el alperujo no es muy abrasivo, se puede evitar el desgaste excesivo de los acoplamientos y de los cojinetes de suspensión.

4.5.3- Elevador de cangilones:

Se opta por un elevador con las siguientes propiedades:

- Capacidad= 35 toneladas/hora
- $P = 1,8hp * 0,7457 = 1,342kW$

TABLA 7-9 Especificaciones de elevadores de cangilones de tipo continuo sobre cadenas*

Tamaño y espaciado del cangilón, in (mm) †	Centros del elevador, ft ‡	Capacidad, ton/h (tm/h) §	Tamaño de los terrones manejados, in (mm) ¶		Eje principal, rpm	hp requeridos en el eje principal	hp/ft adicionales para longitudes intermedias	Diámetro del eje, in		Diámetro de polea de cadena, in	
								Cabeza	Cola	Cabeza	Cola
8 x 5 1/2 x 7 3/4 - 8 (203 x 140 x 197) - (203)	25	35 (31.7)	1	(25.4)	28	1.8	0.06	1 15/16	1 11/16	20 1/2	14
	50	35 (31.7)	1	(25.4)	28	3.4	0.06	2 7/16	1 11/16	20 1/2	14
	75	35 (31.7)	1	(25.4)	28	5.0	0.06	2 9/16	1 11/16	20 1/2	14
10 x 7 x 11 3/4 - 12 (254 x 178 x 298) - (305)	25	60 (54.5)	1 1/2	(38.1)	23	3.0	0.10	2 7/16	1 15/16	25	17 1/2
	50	60 (54.5)	1 1/2	(38.1)	23	5.5	0.10	2 7/16	1 15/16	25	17 1/2
	75	60 (54.5)	1 1/2	(38.1)	23	8.0	0.10	2 9/16	1 15/16	25	17 1/2
12 x 7 x 11 3/4 - 12 (305 x 178 x 298) - (305)	25	70 (63.5)	1 1/2	(38.1)	23	3.5	0.12	2 7/16	1 15/16	25	17 1/2
	50	70 (63.5)	1 1/2	(38.1)	23	6.5	0.12	2 9/16	1 15/16	25	17 1/2
	75	70 (63.5)	1 1/2	(38.1)	23	9.5	0.12	3 7/16	2 7/16	25	17 1/2
14 x 7 x 11 3/4 - 12 (356 x 178 x 298) - (305)	25	80 (72.6)	1 3/4	(44.5)	23	4.0	0.14	2 7/16	2 7/16	25	17 1/2
	50	80 (72.6)	1 3/4	(44.5)	20	7.5	0.14	2 9/16	2 7/16	29	17 1/2
	75	80 (72.6)	1 3/4	(44.5)	20	11	0.14	3 7/16	2 7/16	29	17 1/2
14 x 8 x 11 3/4 - 12 (356 x 203 x 298) - (305)	25	100 (90.8)	2	(50.8)	20	5.0	0.17	2 9/16	2 7/16	29	17 1/2
	50	100 (90.8)	2	(50.8)	20	9.3	0.17	3 7/16	2 7/16	29	17 1/2
	75	100 (90.8)	2	(50.8)	20	13.3	0.17	3 9/16	2 7/16	29	17 1/2
16 x 8 x 11 3/4 - 12 (406 x 203 x 298) - (305)	25	115 (104.4)	2	(50.8)	20	6.0	0.20	2 9/16	2 7/16	29	17 1/2
	50	115 (104.4)	2	(50.8)	20	11	0.20	3 9/16	2 7/16	29	17 1/2
	75	115 (104.4)	2	(50.8)	20	16	0.20	4 7/16	2 7/16	29	17 1/2
18 x 8 x 11 3/4 - 12 (406 x 203 x 298) - (305)	25	130 (118.0)	2	(50.8)	20	7	0.22	2 9/16	2 7/16	29	17 1/2
	50	130 (118.0)	2	(50.8)	20	13	0.22	3 9/16	2 7/16	29	17 1/2
	75	130 (118.0)	2	(50.8)	20	20	0.22	4 7/16	2 7/16	29	17 1/2

* De Stephens-Adamson Division, Allis-Chalmers Corporation.

† Tamaños de cangilones: ancho x proyección x profundidad. Se supone una velocidad lineal del cangilón de 150 ft/min (45.7 m/min).

‡ Las equivalencias aproximadas en el SI son ft = 8 m, 50 ft = 15 m y 75 ft = 23 m.

§ Las capacidades y potencias (hp) se dan para materiales que tienen una densidad a granel de 100 lb/ft³ (1602 kg/m³). Para materiales con densidades diferentes, los valores de capacidad y potencia variarán en proporción directa; por ejemplo, un material de 50 lb/ft³ reducirá la capacidad y la potencia (hp) requeridas en un 50%.

¶ Si el volumen de los terrones es menor del 15% del volumen total, se podrán manejar terrones del doble del tamaño indicado.

4.5.4- Soplante:

El proceso cuenta con dos soplantes, una empleada en impulsar el orujillo desde la salida del secadero hasta la tolva de alimentación a la pelletizadora y una segunda encargada de introducir el caudal de aire correspondiente al intercambiador de calor Aceite-Aire.

Ambas serán idénticas y se procede al cálculo de sus propiedades.

Cálculo de la ΔP de la soplante:

- **Cálculo de U:**

- Datos:

- *masa de sólidos:* $ms = 1.109,06 \frac{kg}{h}$
- *diámetro de partículas de sólido:* $dp = 2mm = 0,002m$
- *densidad del sólido:* $\rho_s = 600 \frac{kg}{m^3}$
- *transporte neumático en fase diluida con aire a 20°C:*
 - *densidad del aire:* $\rho = 1,20 \frac{kg}{m^3}$
 - *viscosidad del aire:* $\mu = 0,0185m * Pa * s$

- Supongo un diámetro de tubo de 50mm

- D.tubo=0,005m

- U. crítica y U. del aire:

$$\frac{ms}{\rho * U_{CH} * A} = \frac{1}{10^x} * \left(\frac{U_{CH}}{\sqrt{g * D}} \right)^y$$

$$x = 1440 * dp + 1,96 = 1440 * 0,002 + 1,96 = 4,84$$

$$y = 1100 * dp + 2,5 = 1100 * 0,002 + 2,5 = 4,7$$

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2 = \frac{\pi}{4} * 0,05^2 = 1,963 * 10^{-3} m$$

$$ms = 1109,06 \frac{kg}{h} * \frac{1h}{3600s} = 0,3031 \frac{kg}{s}$$

$$Gs = \frac{1.109,06 \frac{kg}{h}}{1,963 * 10^{-3} m} * \frac{1h}{3600s} = 156,94 \frac{kg}{m^2 * s}$$

$$\frac{1.109,06 \frac{kg}{h}}{600 \frac{kg}{h} * U_{CH} * 1,963 * 10^{-3} m} = \frac{1}{10^{4,84}} * \left(\frac{U_{CH}}{\sqrt{9,81 \frac{m^2}{s} * 0,05m}} \right)^{4,7}$$

$$\frac{1.109,06 \frac{kg}{h}}{1,1778 * U_{CH}} = \frac{1}{10^{4,84}} * \frac{U_{CH}^{4,7}}{0,1875}$$

$$\frac{1.109,06 \frac{kg}{h} * 0,1875}{1,1778 * 1,4454 * 10^{-5}} = U_{CH} * U_{CH}^{4,7}$$

$$12.215.091 = U_{CH}^{5,7}$$

$$12.215.091^{\frac{1}{5,7}} = U_{CH}$$

$$U_{CH} = 17,5112 \frac{m}{s}$$

$$U = 1,5 * U_{CH} = 26,2668 \frac{m}{s}$$

- **Tramos horizontales:**

$$Vs = U * [1 - 0,0638 * dp^{0,3} * \rho s^{0,5}]$$

$$V_s = 26,2668 * [1 - 0,0638 * 0,002^{0,3} * 600^{0,5}]$$

$$V_s = 19,9045 \frac{m}{s}$$

➤ Cálculo de ε :

$$G_s = V_s * (1 - \varepsilon) * \rho_s$$

$$156,94 = 19,9045 * (1 - \varepsilon) * 600$$

$$\frac{156,94}{19,9045 * 600} = (1 - \varepsilon)$$

$$1,3141 * 10^{-2} = 1 - \varepsilon$$

$$\varepsilon = 0,9869$$

$$U_g = \frac{U}{\varepsilon} = 26,615 \frac{m}{s}$$

➤ Cálculo de f_s :

$$f_s = \frac{3}{8} * \frac{\rho}{\rho_s} * C_D * \frac{D}{dp} * \left(\frac{U_g - V_s}{V_s} \right)^2$$

$$f_s = \frac{3}{8} * \frac{1,20}{600} * C_D * \frac{0,05}{0,002} * \left(\frac{26,615 - 19,9045}{19,9045} \right)^2$$

➤ Cálculo del Rep :

$$Re\rho = \frac{dp * [U_g - V_s] * \rho}{\mu} = \frac{0,002 * [26,615 - 19,9045] * 1,20}{1,85 * 10^{-5}}$$

$$Re\rho = 870,55 \rightarrow \text{Régimen turbulento} \rightarrow C_D = 0,44$$

$$\text{Luego: } f_s = 9,3769 * 10^{-4}$$

➤ Cálculo de f:

$$\frac{1}{2} = 0,023 * Re^{-0,2}$$

$$Re = \frac{D * U_g * \rho}{\mu} = \frac{0,05 * 26,615 * 1,20}{1,85 * 10^{-5}} = 86.318,91$$

$$\text{Luego: } f = 2,3687 * 10^{-3}$$

➤ Cálculo de $F_{gw} * L$ y $F_{sw} * L$:

$$F_{gw} * L = 2 * f * \frac{\rho * U_g^2 * L}{D}$$

$$F_{sw} * L = 2 * f_s * \frac{G_s * V_s * L}{D}$$

Supongo una $L=15\text{m}$.

$$F_{gw} * L = 2 * 2,3687 * 10^{-3} * \frac{1,2 * 26,615^2 * 15}{0,05} = 1208$$

$$F_{sw} * L = 2 * 9,3769 * 10^{-4} * \frac{156,94 * 19,9045 * 15}{0,05} = 1757,5$$

Sustituimos términos en ΔP :

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} * \varepsilon * \rho * U_g^2 + \frac{1}{2} * (1 - \varepsilon) * \rho s * V_s^2 + F_{gw} * L + F_{sw} * L$$

$$P_1 - P_2 = 4941,97 Pa$$

- **Tramos verticales:**

$$P_1 - P_2 = 2 * f_s * \frac{\rho * U_g^2 * L}{D} + 0,057 * G_s * L * \sqrt{\frac{g}{D}} + \rho s * (1 - \varepsilon) * L * g + \rho * \varepsilon * L * g$$

Supongo L=8m.

$$P_1 - P_2 = 1.966,03 Pa$$

- **Pérdidas menores:**

Supongo cinco accesorios.

Un accesorios equivale a 7,5m de tubo vertical y del mismo diámetro.

$$\Delta P = \left(\frac{\Delta P \text{ en tubo verticales}}{\text{metros de tubo}} \right) * 7,5 * n^{\circ} \text{ de accesorios}$$

$$\Delta P = \frac{1.966,03}{8} * 7,5 * 5 = 9215,76 Pa$$

$$\text{Luego: } \Delta P_T = 4.941,97 + 1.966,03 + 9.215,76 = 16.123,76 Pa \approx 0,1612 ba$$

- **Cálculo de la potencia:**

$$Kw = 2,72 * 10^{-5} * Q * \Delta P$$

Siendo:

Q: volumen a la salida del secadero

ΔP = Caída de presión

Kw= Potencia de la soplante

$$Kw = 2,72 * 10^{-5} * 186,853 \frac{m^3}{h} * 164,38cm \text{ de } H_2O = 0,8354Kw$$

$$0,1612ba = 164,38cm \text{ de } H_2O$$

Se mayor y escogemos la soplante de 0,5ba que son el modelo comercializable que más se ajusta a nuestras necesidades.

$$Kw = 2,72 * 10^{-5} * 186,853 \frac{m^3}{h} * 509,9cm \text{ de } H_2O = 2,591Kw$$

$$0,5ba = 509,9cm \text{ de } H_2O$$

La potencia requerida por la soplante será de 2,591kWh.

$$Q = Q_{aire} + Q_{sólidos}$$

$$Q_{aire} = U_{aire} * Stubo = 26,2668 \frac{m}{s} * \frac{3600}{1h} * 1,963 * 10^{-3} m^2$$

$$= 185,62 \frac{m^3}{h}$$

$$Q = 195,62 \frac{m^3}{h} + 1,233 \frac{m^3}{h} = 186,853 \frac{m^3}{h}$$

4.5.5- Bombas centrífugas:

Consisten en un rotor o rodete, a cuya parte axial llega continuamente el líquido a impulsar. El rodete, por su rápido giro, proyecta el líquido hacia la periferia, centrífugamente, de cuya zona sale impulsado a presión por los alabes (o cucharas) de la turbina.

Son adecuadas para:

- presiones bajas y medias.
- grandes caudales y medios.
- Funcionan bien con líquidos abrasivos que lleven sustancias sólidas en suspensión y corrosivos, siempre que el rodete sea de material con resistencia química adecuada.
- Son las más idóneas para líquidos viscosos aunque modernamente hay modelos para ellos.

Propiedades

- a) Caudal uniforme, sin pulsaciones.
- b) El caudal disminuye a medida que aumenta la presión o altura a la que se ha de elevar el líquido.
- c) La altura media en metros de columna de líquido a que eleva una bomba es independiente de la naturaleza del líquido, prescindiendo del efecto de la viscosidad.
- d) La potencia absorbida por la bomba es proporcional al peso específico del líquido elevado.

e) El par requerido para el arranque de una bomba centrífuga es pequeño y la potencia absorbida durante su funcionamiento de régimen es continua y libre de sobrecargas, mientras no varíe la altura.

Curva característica

Para cada régimen de velocidad, es decir, para cada número de revoluciones, existe una relación entre el caudal que de la bomba, la altura que eleva y la potencia absorbida.

Esta relación es lo que llamamos curva característica o curva (QH)

En abcisas se representan caudales y en ordenadas alturas.

La bomba centrífuga es el tipo que se utiliza más de la industria química para transferir líquidos de todos los tipos. Estas bombas están disponibles en una variedad amplia de tamaños. En capacidades de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ a $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ y para cargas de descarga (presiones) desde unos cuantos metros aproximadamente 48MPa. El tamaño Y el tipo más adecuado para una aplicación dada sólo pueden determinarse mediante un estudio de ingeniería del problema.

Las ventajas primordiales de una bomba centrífuga son la sencillez, el bajo costo inicial, el flujo uniforme (sin pulsaciones), el pequeño espacio necesario para su instalación, los costos bajos de mantenimiento, el funcionamiento silencioso y su capacidad de actuación para su empleo con un motor eléctrico o de turbina.

Una bomba centrífuga en su forma más simple, consiste en un impulsor que gira dentro de una carcasa. El impulsor cuenta con una cierta cantidad de hojas, ya sean abiertas o resguardadas, montadas sobre un árbol o eje, que se proyecta al exterior de la carcasa. Los impulsores pueden tener ejes de rotación horizontales o verticales, para adaptarse al trabajo que se vaya a realizar. Por lo común los impulsores resguardados o de tipo cerrado suelen ser más eficientes. Los impulsores del tipo abierto o semiabierto se emplean para líquidos viscosos, así como también en muchas bombas pequeñas, para servicios generales. Los

impulsores pueden ser del tipo de succión simple o doble, simple si entra por un lado, y doble si entra por los dos lados.

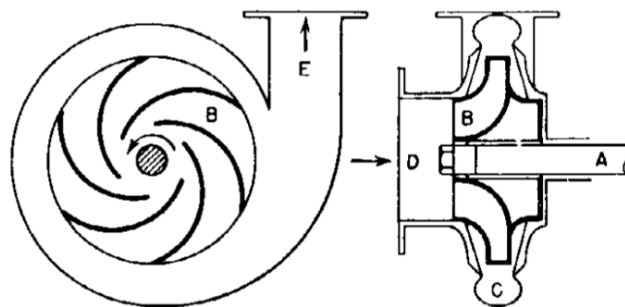
Las carcasas son de tres tipos generales, pero consiste siempre una cámara en la que gira el impulsor, con una entrada y una salida para el líquido que se bombea. La forma más simple de las carcasas es la circular, que consiste en una cámara anular en torno al impulsor; no se ha hecho ningún intento por superar las pérdidas debidas a los choques de remolinos que se producirán cuando entra a la cámara el líquido que sale del impulsor con velocidades relativamente elevadas. Es raro que se utilicen esas carcasas.

Las carcasas de volutas en espiral toman esa forma, con un área de sección transversal creciente al acercarse a la salida. Las volutas convierten eficientemente la energía de velocidad que el impulsor imparte al líquido en energía de presión.

En las bombas de turbina o de tipo de difusor se utiliza un tercer tipo de carcasa. Éste último, se interponen difusores o paletas de guía entre el impulsor y la cama de la carcasa. En las bombas de este tipo que están bien diseñadas, las pérdidas son mínimas y la eficiencia se puede mejorar en un amplio intervalo de capacidades. Esta construcción se utiliza con frecuencia en las bombas de tapas múltiples y cargas elevadas.

Acción de una bomba centrífuga.

En formas esquemática se puede mostrar la acción de una bomba centrífuga por la siguiente figura:



Se aplica una potencia de una fuente exterior al eje A, que hace girar el impulsor B dentro de la carcasa estacionaria C. Las hojas del impulsor al girar producen una reducción de presión a la entrada u orificio del impulsor. Esto hace que fluya líquido al impulsor desde la tubería de succión D. Este líquido se ve obligado a salir a lo largo de las paletas a velocidad es tangencialmente crecientes. La carga de velocidad que adquiere al salir de las puntas de las paletas, se convierte en carga de presión conforme pasa el líquido a la cámara espiral y, de esta última, a la descarga E.

La potencia W (en kWh) consumida por el motor de la bomba:

$$W = \frac{Q * \rho * g * H}{1000 * \eta}$$

Siendo:

Q = es el caudal volumétrico de la bomba = m³/h

ρ = la densidad del líquido bombeado = kg/m³

g = aceleración de la gravedad = 9.81 m/s²

η = rendimiento total de la instalación de bombeo, producto del rendimiento de la bomba, del rendimiento de la transmisión y del rendimiento del motor = 0.6

H = altura de presión total desarrollada por la bomba = 90 m.

$$H = \frac{P_2 - P_1}{g * \rho} + Hg + hs$$

donde:

P_2 = presión en el espacio de impulsión = 138960,23 Pa

P_1 = presión en el espacio de aspiración = 138961,00Pa

H_g = altura geométrica de elevación del líquido = 5 m.

h_s = altura de presión necesaria para crear la velocidad y superar el rozamiento y todas las resistencias locales en la succión e impulsión =80 m.

La potencia máxima de las bombas es de 6 kW, suficiente para satisfacer las necesidades.

4.6-Anejo 6: Tuberías y accesorios.

Las partes de un sistema de tuberías pueden agruparse en 4 grandes familias:

- Tuberías.
- Accesorios.
- Bridas.
- Válvulas.

Se seleccionaran los elementos del sistema de tuberías en función de las dimensiones, calidad de los materiales de tuberías, accesorios, bridas y válvulas disponibles para nuestro proceso en el mercado.

Existen grandes variedades de este tipo de elementos en función del uso que vayamos a darle: material, pérdidas de energía, duración del material (resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, etc.), facilidad de utilización y precio del mismo.

Nuestro objetivo es seleccionar las dimensiones y calidad de los materiales de las tuberías, accesorios, bridas y válvulas disponibles, para nuestro proceso, en el mercado.

Conociendo las características de los fluidos que se procesarán en la planta:

- Agua.
- Vapor de agua.
- Aceite.
- Acetona.
- Aire.
- Alperujo.

Se procede al diseño del sistema de tuberías.

4.6.1- Tuberías:

Los sistemas de tuberías representan aproximadamente un tercio del coste del material en una planta de proceso, requieren de un 30% a un 40% del trabajo de montaje, consumen del 40% al 48% de las horas-hombre de ingeniería y ocupan un 60% del volumen del material.

La mayoría de las tuberías para procesos deben construirse de acuerdo con la norma B31.3. Siendo las características de este tipo de tuberías para fluidos líquidos y vapor de agua:

- Hasta 20 bar (300 psig) en líquidos y hasta 85 bar (125 psig) en vapor de agua.
- Temperaturas desde -18°C hasta 177°C.
- Los tamaños serán de hasta 600mm de diámetro nominal.
- Espesor de pared de hasta 12,5 cm.

Para una adecuada selección de la tubería hay que tener en cuenta:

- Esfuerzo a las temperaturas de trabajo.
- Las características de los fluidos (aceite, agua, acetona, aire, vapor de agua y alperujo) que se procesarán en la planta.

- Tiempo de vida útil.
- Períodos de mantenimiento.
- Facilidad de instalación y reparación.
- Adecuada resistencia a la corrosión y erosión.
- Coste de los equipos.

La sección del Código aplicable en la mayoría de las plantas de proceso es ANSI B 31.3-1984, "Tuberías de Refinerías de Petróleo y Plantas Químicas".

Los siguientes datos y cálculos han sido adaptados de dicha Sección pues, es la más utilizada.

Así pues, se utilizan tuberías de acero inoxidable 316 (AISI 316g) debido a su menor coste y a que se ajustan perfectamente a los parámetros necesarios para el flujo de los fluidos anteriormente descritos. Para sistemas de tuberías de acero inoxidable, la norma de las dimensiones correspondientes sería la A.N.S.I. B36.19. para tuberías donde se produzca flujo de agua a temperatura menor a 100 °C y aceite a menos de 50 °C, se calcula un diámetro de tubería para cualquiera de los flujos de 90 mm de diámetro nominal y un Schedule de 2,11 mm.

Todos los tubos flexibles utilizados para conectar tuberías durante la carga y descarga deben ser de material inerte, estar convenientemente reforzados y ser de una longitud tal que resulten fáciles de limpiar.

Las terminaciones expuestas deben ser obturadas cuando no se usen.

Las juntas deben ser de acero inoxidable u otros materiales inertes.

Las tuberías que transporten fluidos calentadores estarán provistas de un revestimiento termoaislante.

4.6.1.1- Cálculo del espesor de pared mínimo en las tuberías.

Vamos a determinar el espesor mínimo necesario de la pared de las tuberías de diámetro calculado anteriormente.

La fórmula que debe ser utilizada para todos los cálculos de diseño es:

Siendo:

- t = espesor de tubo requerido en pulgadas.
- P = presión interna de diseño (psig), es normal añadir un 10% sobre el máximo anticipado.
- D_o = Diámetro externo de la tubería en pulgadas.
- S = Tensión admisible del material a la temperatura de diseño o coeficiente básico de trabajo.
- E = Factor de eficiencia a la soldadura o factor de calidad, depende del tipo de soldadura de la tubería.
 - $E = 1$ tubería sin soldadura.
 - $E = 0,6$ tubería soldada a tope.
- Y = Coeficiente que depende del material de la tubería y de la temperatura. (Valores dados en la norma ANSI B.31.1)

Los factores $S+E$ dan lugar al máximo coeficiente de trabajo que el código permite para la tensión circunferencial producido por la tensión interna.

Se debe tener en cuenta el sobreespesor de corrosión y la tolerancia de fabricación, esto no depende del material que fluye por la tubería, sino que son parámetros de diseño.

El espesor mínimo resulta:

$$t_m = \left(\frac{P * D_o}{2 * (S * E * P * Y)} + c \right) * M$$

Siendo:

- t_m = espesor mínimo de la tubería o accesorio en pulgadas, que se

requiere por presión y para compensar por material removido por roscado, ranurado, etc. Y como provisión para resistencia mecánica, corrosión y erosión, incluyendo 12,5% de tolerancia de fabricación.

- P = presión interna de diseño (psig), es normal añadir un 10% sobre el máximo anticipado.
- Do = Diámetro externo de la tubería en pulgadas.
- S = Tensión admisible del material a la temperatura de diseño o Coeficiente básico de trabajo.
- E = Factor de eficiencia a la soldadura o factor de calida, depende del tipo de soldadura de la tubería.
 - E = 1 tubería sin soldadura.
 - E = 0,6 tubería soldada a tope.
- Y = Coeficiente que depende del material de la tubería y de la temperatura. (Valores dados en la norma ANSI B.31.1.)
- C = tolerancia de corrosión en pulgadas, más la profundidad del roscado en el caso de tuberías roscadas.
- M = Tolerancia de fabricación: 12,5% para tuberías de acero sin costura.

Los fluidos que transportarán las tuberías no darán problemas de corrosión excesiva ni tampoco darán problemas de abrasión, ya que todos los fluidos generan poca fricción con la tubería (velocidades no muy altas y materiales no excesivamente viscosos) y son suficientemente fluidos como para tomar un material de tuberías estándar de Acero ANSI 316.

Teniendo en cuenta todos estos datos obtenemos un espesor de 2,6mm.

4.6.1.2- Cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías.

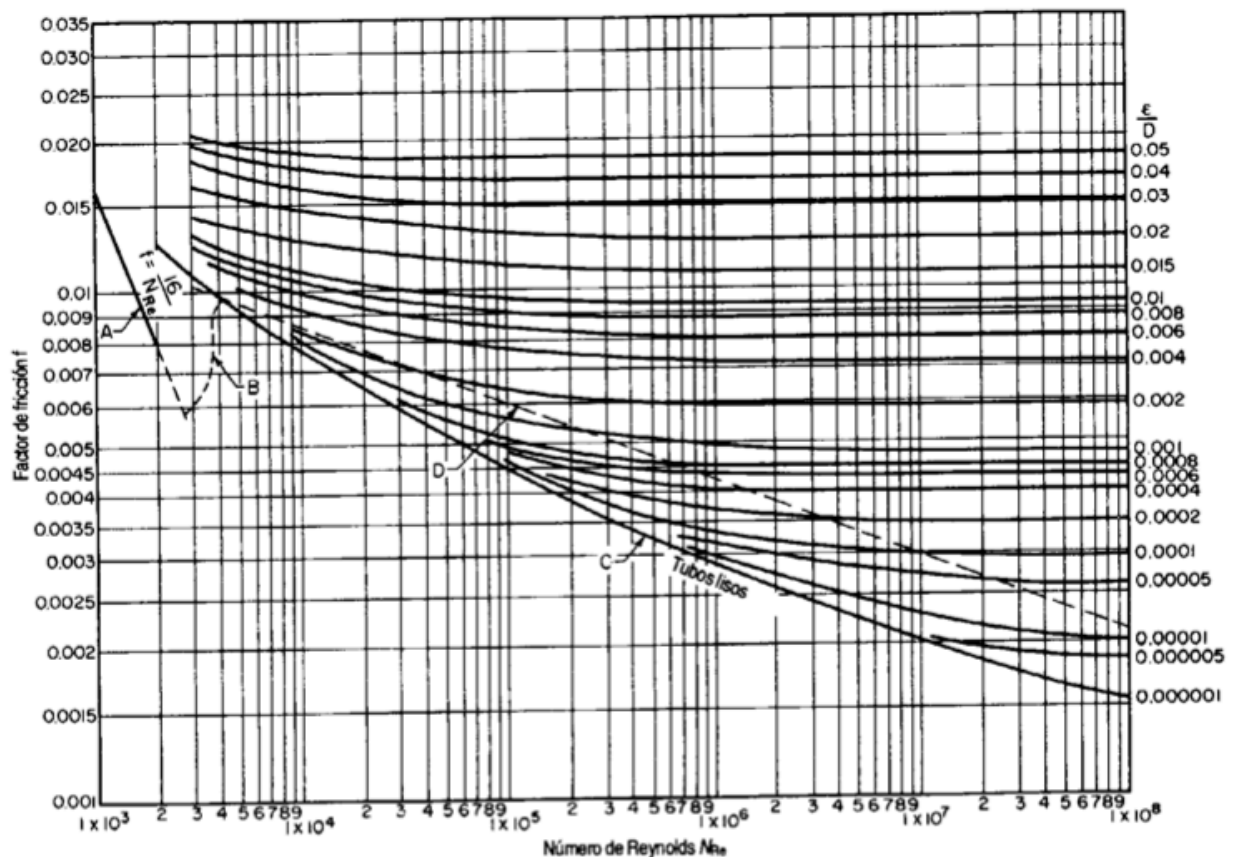
$$H = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

Siendo:

- H = pérdida de carga en metros de columna de líquido.

- f = coeficiente de fricción, adimensional.
- L = longitud total equivalente de la tubería, en metros.
- D = diámetro interior, en metros.
- v = velocidad del fluido, en m/s.
- g = aceleración de la gravedad, en m/s .

El factor f se puede obtener de la gráfica de Moody:



También se puede calcular a través de funciones obtenidas por métodos de ajuste no lineal. Entre ellas y, particularmente para régimen laminar ($Re < 2000$) se usa la ecuación propuesta por Poiseuille:

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

Para la zona en régimen turbulento se ha utilizado el diagrama de Moody. La influencia de accidentes en tuberías (codos, reducciones en sección, válvulas y

otros accesorios) se toman en cuenta asignando una longitud equivalente de tubería recta a cada accidente, según tabulaciones realizadas en base de datos experimentales.

La longitud equivalente es la longitud de tubería recta que produciría la misma caída de presión que un accesorio si lo reemplazara por tubería. Por lo tanto, en el término L quedan englobados no solo la longitud de tubería sino la suma de longitud real y todas las longitudes equivalentes a accesorios. La longitud L corresponde pues, a la suma de longitud real de tubería recta L_t más la longitud equivalente de los accesorios L_e .

4.6.2- Accesorios:

Si se estudian los accesorios necesarios en una planta se llega a la conclusión de que se deberán usar casi todos los elementos (tes, bifurcaciones o-lets, codos, etc.), pero los que tendrán mayor importancia por las caídas de presión antes y después de los mismos, costes y seguimiento y control de los mismos, son:

- Bridas.
- Válvulas.

Para bridas se opta por una de cara plana (flat face) de la clase 150 lbs, por su mayor uso, facilidad de instalación y manejo, además de ser más económica que otras con sus mismas características.

Para el caso de las válvulas destacan:

- Válvula de control y retención:
 - Válvula de globo.
 - Válvula de mariposa.

- Válvulas de seguridad y alivio.

Siendo todas de acero inoxidable, por la norma ANSI 36.19, de 316 (AISI 316 g.) y con un rating de 150 lbs.

Las de control de globo y mariposa se usarán en el sistema de flujo de fluidos en la planta.

Los accesorios se utilizan en las conducciones para:

- Cambiar la dirección de la línea.
- Cambiar el diámetro de la línea.
- Conectar diferentes ramas de la línea.
- Cerrar el final de la línea. En muchos casos, dos o más de estas funciones pueden combinarse en el mismo accesorio.

4.6.2.1- Tipos de accesorios.

- **Codos** (elbows o también ells). Se fabrican de 90° y de 45°.
- **Tapas soldadas** (weld caps). Estos accesorios se utilizan para tapar extremos de las tuberías.
- **Tes** (tees). Son accesorios utilizados para conectar un ramal (branch) perpendicularmente a un colector, pudiendo ser ambos del mismo tamaño o bien el ramal de menor diámetro que el colector.
- **Familia de bifurcaciones “o-lets”**
 - **Weldolets** conectan un ramal perpendicularmente a un colector.
 - **Latrolets** permiten conectar un ramal con un colector formando ambos un ángulo de 45°.
 - **Elbolets**, soldados a tope conectan un colector un ramal de menor diámetro que aquel, pero en un punto del colector que no sea recto sino curvo y con un radio de curvatura de 1,5 veces

el diámetro nominal de éste. Se usa cada uno de ellos en el momento que nos sea necesario en la instalación del sistema de tuberías. Además se usarán los accesorios del mismo material que las tuberías, y con las dimensiones necesarias para ellas.

4.6.2.2- Bridas.

Las bridas son aquellos elementos de una línea de tuberías destinados a permitir la unión o ensamblado de las partes, sean éstas tuberías, válvulas, bombas u otro equipo que forme parte de la línea.

Es un elemento que puede proveerse como una parte separada o como una pieza que viene unida, desde fábrica, a un elemento como una válvula, una bomba u otra pieza.

Se opta por la brida de cara plana (flat face), por su mayor uso, facilidad de instalación y manejo, nos proporciona la estabilidad necesaria, responde a todas las necesidades físicas del sistema, además de ser más económica que otras con sus mismas características.

En este tipo de bridas la cara de la brida no está toda ella contenida en un sólo plano, sino que la parte central de la misma sobresale del resto de la cara.

La junta correspondiente a una brida de cara resaltada tendrá sus diámetros exterior e interior coincidiendo con el exterior e interior del resalte respectivamente. Este tipo de cara se utiliza para obtener mayor estanqueidad que con las bridas de cara plana, pues con el mismo apriete de las tuercas de los pernos, se obtiene mayor presión en la junta en el caso de bridas de cara resaltada que en la de cara plana. Ambas bridas son idénticas, teniendo un resalte de 1/16" las de 150-300 lb. y 1/4" para las demás (400 – 2500 lb).

Presiones de trabajo (psi) vs temperatura grupo 2.3							
T °F	Clase-150	Clase-300	Clase-400	Clase-600	Clase-900	Clase-1500	Clase-2500
-20 a 100	230	600	800	1200	1800	3000	5000
200	195	505	675	1015	1520	2530	4220
300	175	455	605	910	1360	2270	3780
400	160	415	550	825	1240	2065	3440
500	145	380	510	765	1145	1910	3180
600	140	360	480	720	1080	1800	3000
650	125	350	470	700	1050	1750	2920
700	110	345	460	685	1030	1715	2880
750	95	335	450	670	1010	1680	2800
800	80	330	440	660	985	1645	2740
850	65	320	430	645	965	1610	2680

4.6.2.3- Válvulas.

Las válvulas son elementos que estando instalados en una tubería pueden realizar alguna de las siguientes funciones (bien sea de una forma automática o por accionamiento manual):

- Impedir totalmente la circulación de un fluido por una tubería, o bien permitirla sin oponer ningún obstáculo. (Por ejemplo, las válvulas de compuerta, o **gate valves**).
- Variar la pérdida de carga que sufre un fluido al atravesar la válvula con lo cual se puede regular el caudal que circula por la tubería. (Por ejemplo las válvulas de asiento, o **globe valves**).
- Permitir la circulación de un fluido a través de la válvula en un único sentido (por ejemplo, válvulas de retención, o **check valves**).
- Permitir el paso de un fluido a través de la válvula, únicamente cuando la diferencia de presión a un lado y otro de la misma, sobrepasa un cierto valor previamente establecido. (Por ejemplo, válvulas de seguridad o **safety- relief valves**).

- Permitir el paso de un fluido a través de la válvula, cuando dicho fluido se presenta en forma líquida, pero no, si se presenta en forma de gas o vapor, o viceversa. (Por ejemplo, los purgadores automáticos y las ventilaciones automáticas o **steam traps y automatic vents**).

Según sea la forma de unión de una válvula con las tuberías que con ella conectan, así serán los extremos de la válvula. según esto las válvulas pueden ser de extremos bridados, de extremos biselados para soldadura a tope, de extremos con un rebaje para soldadura a solape, o de extremos roscados. en los dos últimos casos los extremos de la válvula son hembra normalmente. Los materiales metálicos más frecuentes utilizados para la fabricación de válvulas son:

- fundición
- acero moldeado
- acero forjado
- bronce

Existe una gran variedad de diseños, de acuerdo a su uso y en una variedad de materiales, apropiados para cada aplicación particular.

Dado que una válvula es un elemento formado por múltiples partes, se elije para cada parte, el material con las características adecuadas a la función de esa parte. Los tipos principales de válvulas son:

- **Válvulas de compuerta:** Este tipo de válvula resulta poco recomendable para una regulación cuidadosa del flujo, aunque si es muy adecuada para servicios que requieran frecuentes cierres o aperturas. Estas válvulas no deben utilizarse de forma prolongada para regular el caudal del fluido que pasa por una tubería, pues se averiarían rápidamente, aparte de que la regulación sería muy inexacta.

Funcionan mediante una compuerta, cuya traslación se asegura por un vástago roscado que se desplaza perpendicularmente al flujo. La compuerta obtura la sección de paso del fluido al deslizarse entre dos aros fijos en el cuerpo.

- **Válvulas de globo:** Es recomendable para servicios de regulación del flujo y se utiliza también como elemento de cierre para las presiones muy altas. El movimiento del fluido queda interrumpido por un obturador, que cierra el paso entre los dos lados del cuerpo de la válvula. La estanqueidad queda asegurada por el aro del cuerpo y del obturador. El cuerpo va cubierto por una tapa, roscada o con bridas, según el diámetro, que recibe el sistema de estanqueidad del vástago de maniobra, estando sujeto en la tapa para subir o bajar el obturador.

- **Válvulas de retención ("Check-value"):** Su finalidad es evitar el retorno del fluido. Pueden ser varios tipos.
 - **De chapaleta o clapeta (swing type)**
 - **De pistón (lift type)**

- **De bola (ball type):** Operan como las de pistón, con el pistón sustituido por una bola guiada. Se caracterizan porque detienen el contraflujo más rápidamente que los otros dos tipos. Es buena para operar con fluidos viscosos, cuyos depósitos perjudicarían la operación de los otros tipos. Estas válvulas, al igual que las de asiento, tienen marcada siempre la dirección correcta de flujo en el cuerpo de la misma y deberán siempre instalarse con arreglo a dicha indicación.

- **Válvulas de macho:** son válvulas de cierre, que se utilizan en algunos casos para regulación. Están constituidos por un cuerpo en el que un elemento cónico o esférico, llamado macho, que lleva una abertura, al girar obtura o descubre el paso del fluido. El macho es solidario de un cuadrado externo que permite su maniobra abriendo o cerrando con un mínimo esfuerzo en un cuarto de vuelta del macho.

Las tres clases de válvulas de macho son:

- **Válvulas lubricadas.**

- **Válvulas no lubricadas** dotadas de un mecanismo para despegar el macho del cuerpo antes de cada maniobra.
 - **Válvulas con el cuerpo cubierto interiormente de teflón.**
- **Válvulas de mariposa (Butterfly valves).** Estas válvulas que son de construcción extremadamente simple tienen su aplicación fundamental en la regulación de caudal en tuberías de gran tamaño, y se prestan muy bien al accionamiento neumático, hidráulico, etc.
Pueden utilizarse tanto para líquidos como para gases.
No se consigue generalmente con estas válvulas un cierre perfectamente estanco, ni tampoco son utilizables en líneas de alta presión.
Las válvulas de mariposa crean insignificante pérdida de carga en la línea cuando están completamente abiertas.
 - **Válvulas de seguridad (Safety-Relief valves).** Estas válvulas se utilizan para proteger a los equipos o tuberías a los cuales van conectados, en un exceso de presión, para lo cual dichas válvulas, que están normalmente cerradas por la acción de un muelle, se abren cuando la diferencia de presión entre la entrada y la salida de la válvula alcanza un cierto valor previamente establecido.

Existen básicamente dos tipos de válvulas de seguridad:

- **Safety valves**
 - **Relief valves**
- **Válvulas de control (Control valves).** Son válvulas automáticas que están diseñadas para ejercer un ajuste perfecto de regulación y monitoreo (registro) del flujo dentro de un sistema de tuberías.
El tipo de válvula más utilizada para este control es la de globo, aunque se pueden utilizar otros tipos.
La de globo resulta más efectiva para la función aquí descrita. La válvula de control recibe una señal eléctrica, neumática o hidráulica para ejercer

la regulación o limitar la presión.

La tarea de especificar una válvula para un uso particular, implica determinar su tipo y diseño de acuerdo a las necesidades y características de la instalación, fijar sus dimensiones de acuerdo a la presión de trabajo, elegir el tipo de unión a la línea de tuberías para facilitar de montaje y servicio o la menor posibilidad de fugas, puntos de corrosión u otros problemas.

También se deben elegir los materiales de los diversos componentes (cuerpo y partes móviles), de acuerdo a la agresividad (corrosión, abrasión) del fluido, bajo las condiciones de temperatura y presión de operación.

Se opta por válvula de control (globo) para todas las conducciones excepto para aquellas por las cuales circula un flujo de acetona que se opta por las válvulas de seguridad (safety-relief valves) de acero inoxidable de 150 lbs, ya que el fluido orgánico se encuentra en algunos tramos a $20 \frac{kg}{cm^2}$ de presión.

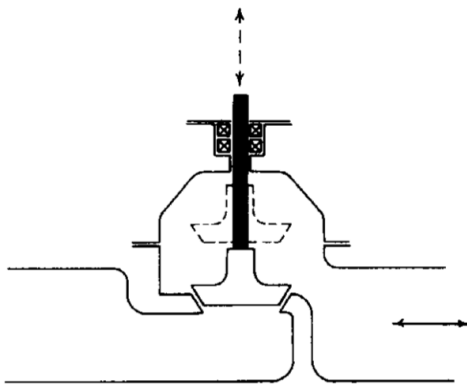


FIG. 6-111 Válvula esférica o de globo.

4.7-Anejo 7: Condiciones generales de la planta.

- **Ventilación:**

Todas las instalaciones deben tener ventilación natural o mecánica adecuada que asegure la eliminación de condensación e impida el crecimiento de hongos y bacterias, especialmente en los servicios sanitarios.

En caso de sistemas de ventilación mecánica se recomienda poder acceder fácilmente a los filtros y otras partes que deban limpiarse o sustituirse.

- **Iluminación:**

Los locales por donde circulen los productos deben estar lo suficientemente iluminados por medios naturales o artificiales.

Los tubos fluorescentes o lámparas se protegerán con medios adecuados para evitar la posible caída de cristales en caso de rotura y su fijación al techo o a las paredes será de forma que facilite su limpieza y se evite la acumulación de polvo.

- **Desagües:**

Los sistemas de desagüe serán los adecuados.

En caso de existir sumideros, se dispondrá de los medios que permitan la evacuación de las aguas de baldeo o limpieza. Estos sumideros estarán provistos de los dispositivos adecuados que eviten el retroceso.

- **Superficies:**

Las superficies de suelos, paredes y techos deben ser sólidas, duraderas y fáciles de limpiar. Los suelos además deberán tener un tratamiento antideslizante.

- **Suministro de agua:**

La empresa dispondrá de un suministro de agua potable clorada (o cualquier otro sistema de potabilización y desinfección autorizado por la Administración

sanitaria competente).

Los depósitos intermedios de agua deben limpiarse y desinfectarse periódicamente.

- **Limpieza y desinfección:**

Cada empresa debe disponer de un plan de limpieza y desinfección detallado de las instalaciones, así como las bombas de trasiego de aceite, acetona o agua y depósitos, que corresponda a sus necesidades.

El plan, desglosado por zonas, líneas de trabajo o secciones, con instrucciones claras, concretas y sencillas, debe estar por escrito y accesible al personal que deba llevarlo a cabo.

El plan debe especificar los tipos de productos utilizados, la frecuencia con la que se realizan estas operaciones y el personal designado para estas tareas. El personal que deba llevarlo a cabo tendrá la formación adecuada en este campo.

Los productos de limpieza deben ser convenientes para el fin perseguido y deben estar autorizados para su uso en industria. Estarán guardados juntos y en una habitación independiente.

- **Zona para el personal:**

Se preverá un local donde se pueda comer.

- **Evacuación de residuos industriales:**

Los desechos de la planta deben ser evacuados según una planificación ordenada para minimizar los olores anormales, la nidificación de insectos y la contaminación de los alrededores de la planta.

Las aguas residuales tendrán un tratamiento especial a fin de cumplir las exigencias de la normativa vigente.

- **Equipos:**

Las empresas deben establecer y llevar a cabo el mantenimiento de los equipos para asegurarse de su correcto funcionamiento y tomar las medidas necesarias para evitar el contacto de los productos con sustancias químicas u objetos extraños (protectores, bandejas, etc.).

La disposición de los equipos debe permitir su mantenimiento y limpieza adecuados, en línea con unas buenas prácticas de higiene.

- **Superficies de trabajo:**

Las superficies de trabajo se mantendrán en buen estado y se renovarán cuando sea necesario.

- **Carretillas:**

Las carretillas de gasoil se usarán exclusivamente fuera del almacén.

- **Máquinas y herramientas:**

Se deben utilizar máquinas y herramientas en buen estado que sean seguras y con los medios de protección adecuados (resguardos, dispositivos de seguridad, etc.). Además deben estar almacenados en un lugar adecuado.

- **Personal:**

La empresa debe asegurar la formación del personal, conservando un registro de los cursos impartidos.

Se recomienda asegurar la formación del responsable técnico y de calidad del proceso.

- **Salud y seguridad:**

La empresa debe tener documentado un plan de prevención de riesgos laborales.

Los contratos laborales deben ajustarse a los convenios laborales vigentes.

- **No conformidades:**

La empresa debe disponer un procedimiento de detección y constancia de registros por escrito de la acción correctora a desarrollar cuando se detecten “no conformidades” en cualquiera de los aspectos contemplados en este Reglamento.

- **Reclamaciones de los clientes:**



Se dispondrá de un sistema para el tratamiento de las reclamaciones de clientes relacionadas con las obligaciones y requisitos recogidos en este Reglamento.

El sistema contemplará la recepción, registro y evaluación, así como la conservación de los registros de las reclamaciones recibidas, su evaluación y las acciones correctoras emprendidas.

4.8- Anejo 8: Seguridad.

4.8.1- Ficha de seguridad química de la acetona.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACETONA		ICSC: 0087 Abril 2009	
CAS: 67-64-1 RTECS: AL3150000 NU: 1090 CE Índice Anexo I: 606-001-00-8 CE / EINECS: 200-662-2		2-Propanona Dimetil cetona Metil cetona $C_3H_6O / CH_3-CO-CH_3$ Masa molecular: 58.1	
			
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades o dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN			
Inhalación	Dolor de garganta. Tos. Confusión mental. Dolor de cabeza. Vértigo. Somnolencia. Pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio y reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Piel seca.	Gautes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa.	Gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Náuseas. Vómitos. (Ver Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Eliminar toda fuente de ignición. Ventilar. Protección personal: filtro para gases y vapores orgánicos de bajo punto de ebullición adaptado a la concentración de la sustancia en el aire. NO verterlo en el alcantarillado. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. Eliminarlo a continuación con agua abundante.		Clasificación UE Símbolo: F, Xi R: 11-36-66-67 S: (2-)-9-16-26-46 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Líquido y vapores muy inflamables. Provoca irritación ocular.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO		
Código NFPA: H1; F3; R0	A prueba de incendio. Separado de: Ver Peligros Químicos. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.		
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2009			
			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

DOC N°2: PLANOS.

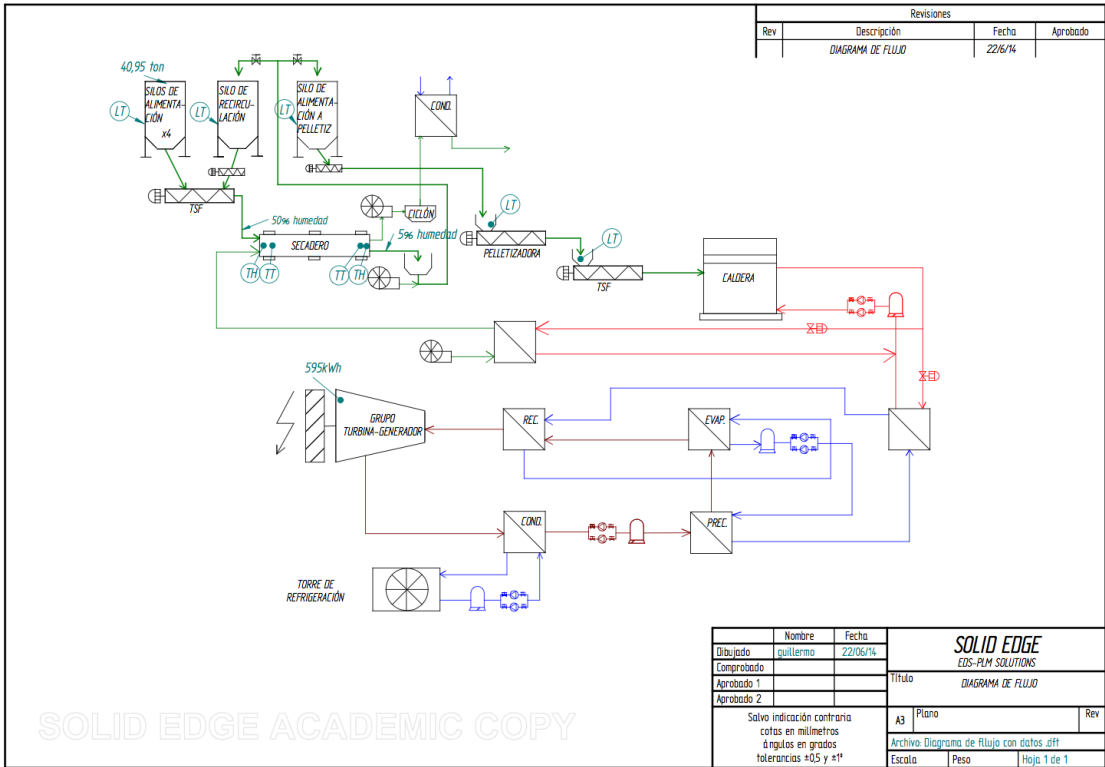
5- PLANOS

5.1- Diagrama de flujo.

5.2- Red de intercambiadores de calor con balances de materia.

5.3- Red de intercambiadores de calor con balances energéticos.

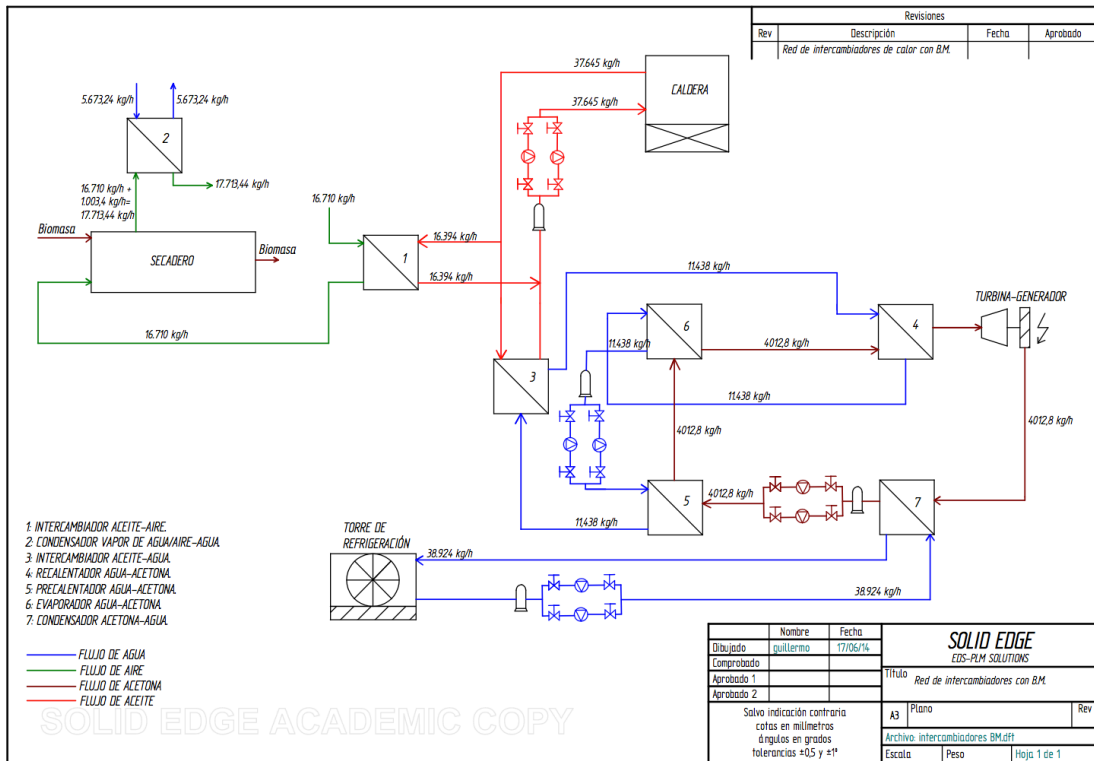
5.4- Distribución en planta.

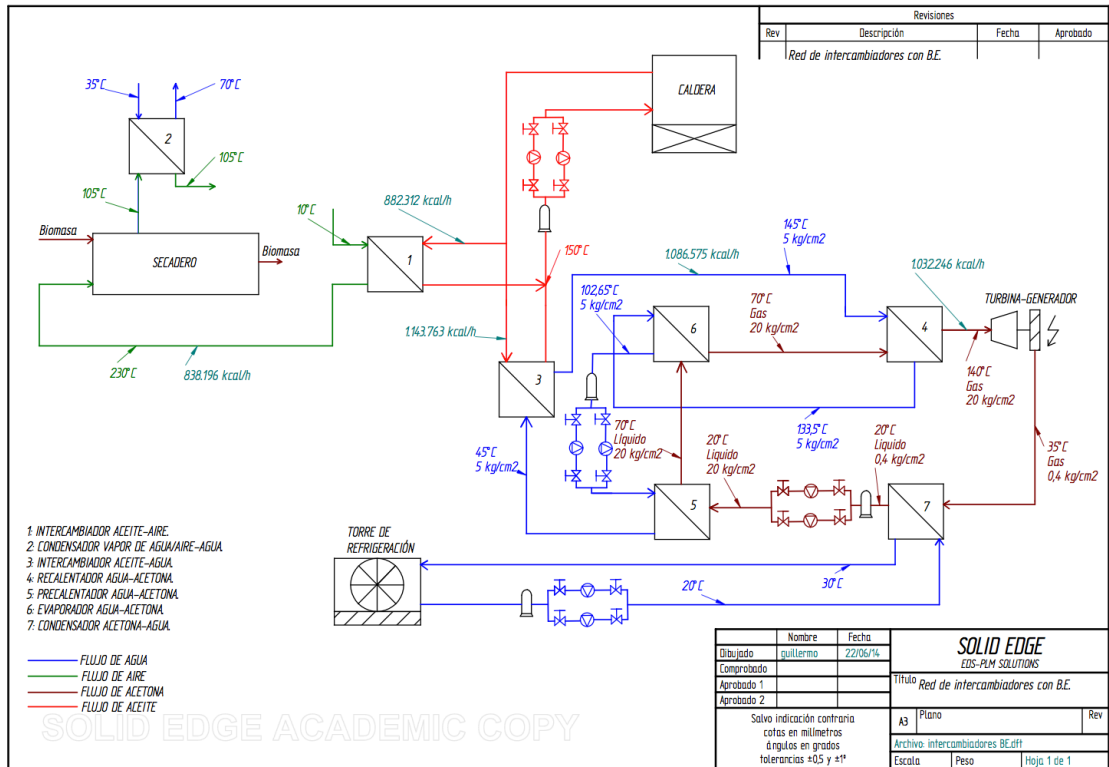


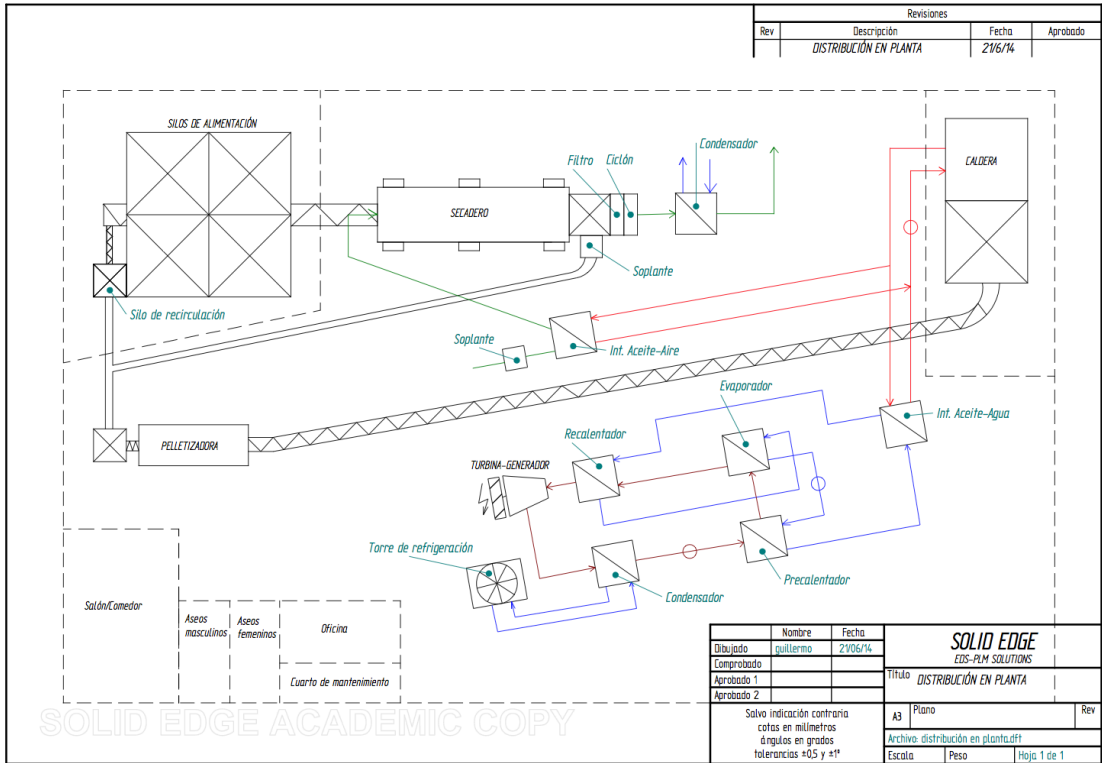
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado
	DIAGRAMA DE FLUJO	22/6/14	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Fecha	SOLID EDGE EDS-PLM SOLUTIONS Título: DIAGRAMA DE FLUJO	
Dibujado	Guillermo	22/06/14		
Comprobado				
Aprobado 1				
Aprobado 2			A3	Plano
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1*			Archivo: Diagrama de Flujo con datos.dft Escala: Peso: Hoja 1 de 1	







Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado
	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	2/16/14	

Nombre	Fecha	SOLID EDGE EDS-PLM SOLUTIONS Título: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	Rev
Dibujado: guillermo	2/16/14		
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2		A3 Plano	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°		Archivo: distribución en planta.dwg Escala: Peso: Hoja: 1 de 1	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

**DOC N°3: PLIEGO DE
CONDICIONES.**

6- PLIEGO DE CONDICIONES. -----	172
6.1- Disposiciones generales. -----	172
6.2- Pliego de condiciones técnicas. -----	174
6.3- Pliego de condiciones facultativas -----	181
6.4- Pliego de condiciones económicas. -----	189
6.5- Pliego de condiciones legales. -----	197

6- PLIEGO DE CONDICIONES.

6.1- Disposiciones generales.

- **Obras objeto del presente proyecto.**

Se consideran sujetas a las condiciones de este Pliego, todas las obras cuyas características, planos y presupuestos, se adjuntan en las partes correspondientes del presente Proyecto, así como todas las obras necesarias para dejar completamente terminados los edificios e instalaciones con arreglo a los planos y documentos adjuntos.

Se entiende por obras accesorias, aquellas que por su naturaleza, no puedan ser previstas en todos sus detalles, sino a medida que avanza la ejecución de los trabajos.

Las obras accesorias, se construirán según se vaya conociendo su necesidad. Cuando la importancia lo exija se construirán en base a los proyectos adicionales que se redacten. En los casos de menor importancia se llevarán a cabo conforme a la propuesta que formule el Ingeniero Director de la Obra.

- **Obras accesorias no especificadas en el pliego.**

Si en el transcurso de los trabajos se hiciese necesario ejecutar cualquier clase de obras o instalaciones que no se encuentren descritas en este Pliego de Condiciones, el Adjudicatario estará obligado a realizarlas con estricta sujeción a las órdenes que, al efecto, reciba del Ingeniero Director de Obra y, en cualquier caso con arreglo a las reglas del buen arte constructivo.

El Ingeniero Director de Obra tendrá plenas atribuciones para sancionar la idoneidad de los sistemas empleados, los cuales estarán expuestos para su aprobación de forma que, a su juicio, las obras o instalaciones que resulten defectuosas total o parcialmente, deberán ser demolidas, desmontadas o recibidas en su totalidad o en parte, sin que ello dé derecho a ningún tipo de reclamación por parte del Adjudicatario.

- **Documentos que definen las obras.**

Los documentos que definen las obras y que la propiedad entregue al Contratista pueden tener carácter contractual o meramente informativo.

Son documentos contractuales los Planos, Pliego de Condiciones y Presupuestos, que se incluyen en el presente Proyecto.

Los datos incluidos en la Memoria y Anejos tienen carácter meramente informativo.

Cualquier cambio en el planteamiento de la Obra que implique un cambio sustancial respecto de lo proyectado deberá ponerse en conocimiento de la Dirección Técnica para que lo apruebe, si procede, y redacte el oportuno proyecto reformado.

- **Compatibilidad y relación entre los documentos.**

En caso de contradicción entre los planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en este último. Lo mencionado en los planos y omitido en el Pliego de Condiciones o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos.

- **Director de la obra.**

La propiedad nombrará en su representación a un Ingeniero Químico en quien recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente Proyecto. El Contratista proporcionará toda clase de facilidades para que el Ingeniero Director o sus subalternos puedan llevar a cabo su trabajo con el máximo de eficacia.

No será responsable ante la propiedad de la tardanza de los Organismos competentes en la tramitación del Proyecto. La tramitación es ajena al Ingeniero Director quien una vez conseguidos todos los permisos, dará la orden de comenzar la obra.

- **Disposiciones a tener en cuenta**

- Ley de Contratos del Estado aprobado por Decreto 923/1965 de 8 de Abril.
- Reglamento General de Contratación para aplicación de dicha Ley aprobado por decreto 3354/1967 de 28 de Diciembre.
- Pliegos de Prescripciones Técnicas Generales vigentes del M.O.P.U.
- Normas Básicas (NBE) y tecnologías de Edificación (NTE).
- Instrucción EHE-99 para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado.
- Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Tensión y Normas MIBT complementarias.
- Reglamento sobre recipientes y aparatos a presión.
- Resolución General de Instrucciones para la construcción de 31 de Octubre de 1966.

6.2- Pliego de condiciones técnicas.

- **Replanteo.**

Antes de dar comienzo a las obras, el Ingeniero Director auxiliados del personal subalterno necesario y con presencia del Contratista o de su representante, procederá al replanteo general de la obra. Una vez finalizado el mismo se levantará acta de comprobación del replanteo.

Los replanteos de detalle se llevarán a cabo de acuerdo con las instrucciones y ordenes del Ingeniero Director de la Obra, quien realizará las comprobaciones necesarias en presencia del Contratista o de su representante.

El contratista se hará cargo de las estacas, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo.

- **Movimiento de tierras.**

Se refiere el presente artículo a los desmontes y terraplenes para dar al terreno la rasante de explanación, la excavación a cielo abierto realizada con medios manuales y/o mecánicos y a la excavación de zanjas y pozos.

Se adoptan las condiciones generales de seguridad en el trabajo, así como las condiciones relativas a los materiales control de la ejecución, valoración y mantenimiento que especifican las normas:

-NTE-AD "Acondicionamiento del terreno".

-NTE-AD "Explanaciones".

-NTE-ADV "Vaciados".

-NTE-ADZ "Zanjas y pozos".

- **Red horizontal de saneamiento.**

Contempla el presente artículo las condiciones relativas a los diferentes aspectos relacionados con los sistemas de captación y conducción de aguas del subsuelo para protección de la obra contra la humedad. Se adoptan las condiciones generales de ejecución y seguridad en el trabajo, condiciones relativas a los materiales y equipos de origen industrial, control de la ejecución, criterios relativos a las prueba de servicio, criterios de valoración y normas para el mantenimiento del terreno, establecidas en la NTE "Saneamientos, Drenajes y Arenamientos", así como lo establecidos en la orden de 15 de septiembre de 1.986, del M.O.P.U.

- **Cimentaciones.**

Las secciones y cotas de profundidad serán las que el Ingeniero Director señale, con independencia de lo señalado en el Proyecto, que tienen carácter meramente informativo. No se rellenarán los cimientos hasta que lo ordene el Director.

El Ingeniero Director queda facultado para introducir las cimentaciones especiales o modificaciones que juzgue oportuno en función de las características particulares que presente el terreno.

Se adoptan las condiciones relativas a materiales, control, valoración, mantenimiento y seguridad especificados en las normas:

- NTE-CSZ. "Cimentaciones superficiales. Zapatas".
- NTE-CSC. "Cimentaciones superficiales corridas".
- NTE-CSL. "Cimentaciones superficiales. Losas"

- **Forjados.**

Regula el presente artículo los aspectos relacionados con la ejecución de forjados pretensados autoresistentes armados de acero o de cualquier otro tipo con bovedillas cerámicas de hormigón y fabricado en obra o prefabricado bajo cualquier patente.

Las condiciones de ejecución, de seguridad en el trabajo, de control de ejecución, de valoración y de mantenimiento, son las establecidas en las normas NTE-EHU y NTE-EHR así como en el R.D. 1630/1980 de 18 de Julio y en la NTE-EAF.

- **Hormigones.**

Se refiere el presente artículo a las condiciones relativas a los materiales y equipos de origen industrial relacionados con la ejecución de las obras de hormigón en masa o armado o pretensado fabricados en obra o prefabricados, así como las condiciones generales de ejecución, criterios de medición, valoración y mantenimiento.

Regirá lo prescrito en la Instrucción EHE-99 para las obras de hormigón en masa o armado y la instrucción EP-80 para las obras de hormigón pretensado. Asimismo se adopta lo establecido en las normas NTE-EH "Estructuras de hormigón", y NTE-EME "Estructuras de madera Encofrados".

Las características mecánicas de los materiales y dosificaciones y niveles de control son las que se fijan en los planos del presente proyecto (Cuadro de características EHE-99 y especificaciones de los materiales).

- **Acero laminado.**

Se establecen en el presente artículo las condiciones relativas a los materiales y equipos industriales relacionados con los aceros laminados utilizados en las estructuras de edificación, tanto en sus elementos estructurales, como en sus elementos de unión. Asimismo se fijan las condiciones relativas a la ejecución, seguridad en el trabajo, control de la ejecución, valoración y mantenimiento.

Se adoptan lo establecido en las normas:

-NBE-EA-95: "Ejecución de las estructuras de acero laminado en edificación". Se fijan los tipos de uniones, la ejecución en el taller, el montaje en obra, las tolerancias y las protecciones.

-NBE-EA-95: "Acero laminado para estructuras de edificaciones", donde se fijan las características del acero laminado, la determinación de sus características y los productos laminados actualmente utilizados.

-NBE-EA-95: "Roblones de acero".

-NBE-EA-95: "Tornillos ordinarios calibrados para estructuras de acero".

-NTE-EA: "Estructuras de acero".

- **Cubiertas y coberturas.**

Se refiere el presente artículo a la cobertura de edificios con tejas o plaquetas de fibrocemento, tejas cerámicas o de cemento, en el que el propio elemento proporciona la estanqueidad.

Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales y equipos de origen industrial y control de la ejecución, condiciones generales de ejecución y seguridad en el trabajo, así como los criterios de valoración y mantenimiento son los especificados en las siguientes normas:

-NTE-QTF: "Cubiertas. Tejados de fibrocemento".

-NBE-MV-301/1.970 sobre impermeabilización de cubiertas con materiales bituminosos. (Modificada por R.D. 2.085/86 de 12 de septiembre).

- **Albañilería.**

Se refiere el presente artículo a la fábrica de bloques de hormigón o ladrillo, a tabiques de ladrillo o prefabricados y revestimiento de paramentos, suelos, escalera y techos.

Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales y equipo de origen industrial, control de ejecución y seguridad en el trabajo, así como los criterios de valoración y mantenimiento son las que especifican las normas:

- NTE-FFI: "Fachadas de ladrillo".
- NTE-EFL: "Estructuras de fábrica de ladrillo".
- NTE-RPA: "Revestimiento de paramentos. Alicatados".
- NTE-RPE: "Revestimientos de paramentos. Enfoscado".
- NTE-RPG: "Revestimiento de paramentos. Guarnecidos y enlucidos". NTE-RPP: "Revestimiento de paramentos. Pintadas".
- NTE-RPR: "Revestimiento de paramentos. Revocos".
- NTE-RSP: "Revestimiento de suelos y escaleras. Placas".
- NTE-RTC: "Revestimiento de techos. Continuos".
- NTE-PTL: "Tabiques de ladrillo".

- **Carpintería y cerrajería.**

Se refiere el presente artículo a las condiciones de funcionalidad y calidad que han de reunir los materiales y equipos industriales relacionados con la ejecución y montaje de puertas, ventanas y demás elementos utilizados en particiones y accesos interiores.

Asimismo, regula el presente artículo las condiciones de ejecución, medición, valoración y criterios de mantenimiento.

Se adoptará lo establecido en las normas:

- NTE-PPA: "Puertas de acero".
- NTE-PPM: "Puertas de madera".

- **Aislamientos.**

Los materiales a emplear y ejecución de la instalación de aislamiento estarán de acuerdo con lo prescrito en la norma NBE-CB/79 sobre condiciones térmicas de los edificios que en su anexo 5 establece las condiciones de los materiales empleados para aislamiento térmico así como control, recepción y ensayos de dichos materiales, y en el anexo no 6 establece diferentes recomendaciones para la ejecución de este tipo de instalaciones.

La medición y valoración de la instalación de aislamiento se llevará a cabo en la forma prevista en el presente proyecto.

- **Red vertical de saneamiento.**

Se refiere el presente artículo a la red de evacuación de aguas previales y residuos desde los puntos donde se recogen, hasta la acometida de la red de alcantarillado, fosa aséptica, pozo de filtración o equipo de depuración así como a estos medios de evacuación.

Las condiciones de ejecución, condiciones funcionales de los materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento son las establecidas en las normas:

-NTE-ISS: "Instalaciones de salubridad y saneamiento".

-NTE-ISD: "Depuración y vertido".

-NTE.ISA: "Alcantarillado".

- **Instalación eléctrica.**

Los materiales y ejecución de la instalación eléctrica cumplirán lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Tensión de 2002 y Normas MBT complementarias. Asimismo se adoptarán las diferentes condiciones previstas en las normas:

-NTE-IEB: "Instalación eléctrica de baja tensión".

-NTE-IEE: "Alumbrado exterior".

- NTE-IEI: “Alumbrado interior”.
- NTE-IEP: “Puesta a tierra”.
- NTE-IER: “Instalaciones de electricidad Red Exterior”.

- **Instalaciones de fontanería.**

Regula el presente artículo las condiciones relativas a la ejecución, materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento de las instalaciones de abastecimiento y distribución de agua.

Se adopta lo establecido en las normas:

- NTE-IFA: “Instalaciones de fontanería”.
- NTE-IFC: “Instalaciones de fontanería. Agua caliente”.
- NTE-IFF: “Instalaciones de fontanería. Agua fría”.

- **Instalaciones de climatización.**

Se refiere el presente artículo a las instalaciones de ventilación, refrigeración y calefacción.

Se adoptarán las condiciones relativas a funcionalidad y calidad de materiales, ejecución, control, seguridad en el trabajo, pruebas de servicio, medición, valoración y mantenimiento, establecidas en las normas:

- NTE-ID: “Instalaciones de depósitos”.

Reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria. (R.D.1618/1.980 de 4 de Julio).

- **Instalaciones de protección.**

Se refiere el presente artículo a las condiciones de ejecución de los materiales, de control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento, relativas a las instalaciones de protección contra fuego y rayos.

Se cumplirá lo prescrito en la norma NBE-CPI-81 sobre condiciones de protección contra incendios y se adoptará lo establecido en la norma NTE.IPP: "Protección contra el fuego", y anejo no 6 de la EH.82.

- **Obras o instalaciones no especificadas.**

Si en el transcurso de los trabajos fuera necesario ejecutar alguna clase de obra no regulada en el presente Pliego de Condiciones, el Contratista queda obligado a ejecutarla con arreglo a las instrucciones que reciba del Ingeniero Director quien a su vez, cumplirá la normativa vigente sobre el particular. El Contratista no tendrá derecho a reclamación alguna.

6.3- Pliego de condiciones facultativas.

Apartado primero: Obligaciones y derechos del contratista.

- **Remisión de solicitud de ofertas.**

Por la Dirección Técnica se solicitarán ofertas a las Empresas especializadas del sector, para la realización de las instalaciones especificadas en el presente Proyecto o un extracto con los datos suficientes. En el caso de que el ofertante lo estime de interés deberá presentar además de la mencionada, la o las soluciones que recomiende para resolver la instalación.

El plazo máximo fijado para la recepción de las ofertas será de un mes.

- **Residencia del contratista.**

Desde que se dé principio a las obras, hasta su recepción definitiva, el Contratista o un representante suyo autorizado, deberá residir en un punto próximo al de la ejecución de los trabajos y no podrá ausentarse sin previo conocimiento del Ingeniero Director y notificándole expresamente, la persona que, durante su ausencia le ha de representar en todas sus funciones. Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se

efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados u operarios de cualquier ramo que, como dependientes de la contrata, intervengan en las obras y, en ausencia de ellos, las depositadas en la residencia.

Designada como oficial, de la Contrata en los documentos del proyecto, aún en ausencia o negativa de recibo por parte de los dependientes de la Contrata.

- **Reclamaciones contra las órdenes de dirección:**

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes emanadas del Ingeniero Director solo podrá presentarlas a través del mismo ante la propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes, contra disposiciones de orden técnico o facultativo del Ingeniero Director, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada, dirigida al Ingeniero Director, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo que, en todo caso, será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

- **Despido por insubordinación, incapacidad y mala fé.**

Por falta del cumplimiento de las instrucciones del Ingeniero Director o sus subalternos de cualquier clase encargados de la vigilancia de las obras; por manifiesta incapacidad o por actos que comprometan y perturben la marcha de los trabajos, el Contratista tendrá obligación de sustituir a sus dependientes y operarios, cuando el Ingeniero Director lo reclame.

- **Copia de los documentos.**

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costa, de los Pliegos de Condiciones, Presupuestos y demás documentos de la contrata. El ingeniero director de la obra, si el contratista solicita estos, autorizará las copias después de contratadas las obras.

Apartado segundo: Trabajos materiales y medios auxiliares.

- **Libro de órdenes.**

En la casilla y oficina de la obra, tendrá el Contratista el Libro de Ordenes, en el que se anotarán las que el Ingeniero Director de Obra precise dar en el transcurso de la obra.

El cumplimiento de las órdenes expresadas en dicho Libro es tan obligatorio para el Contratista como las que figuran en el Pliego de Condiciones.

- **Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución.**

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir veinticuatro horas de su iniciación.

El adjudicatario comenzará las obras dentro del plazo de 15 días desde la fecha de adjudicación. Dará cuenta al Ingeniero Director, mediante oficio, del día en que se propone iniciar los trabajos, debiendo este dar acuse de recibo.

Las obras quedarán terminadas dentro del plazo de un año.

El Contratista está obligado al cumplimiento de todo cuanto se dispone en la Reglamentación Oficial del Trabajo.

- **Condiciones generales de ejecución de los trabajos.**

El Contratista, como es natural, debe emplear los materiales y mano de obra que cumplan las condiciones exigidas en las “Condiciones Generales de índole Técnica” del “Pliego General de Condiciones Varias de la Edificación” y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan existir, por su mala ejecución o por la

deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servirle de excusa ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que el Ingeniero Director o sus subalternos no la hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados en las certificaciones parciales de la obra que siempre se supone que se extienden y abonan a buena cuenta.

- **Trabajos defectuosos.**

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Ingeniero Director o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos efectuados, o que los materiales empleados, o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados estos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrán disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata. Si esta no estimase justa la resolución y se negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se procederá con lo establecido en el apartado materiales no utilizables o defectuosos.

- **Obras y vicios ocultos.**

Si el Ingeniero Director tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que suponga defectuosos.

Los gastos de la demolición y de la reconstrucción que se ocasionen, serán a cuenta del Contratista, siempre que los vicios existan realmente; en caso contrario correrán a cargo del propietario.

- **Materiales no utilizables o defectuosos.**

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos sin que antes sean examinados y aceptados por Ingeniero Director, en los términos

que prescriben los Pliegos de Condiciones, depositando al efecto el Contratista, las muestras y modelos necesarios, previamente contraseñados, para efectuar con ellos comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones, vigente en la obra.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc. antes indicados serán a cargo del Contratista.

Cuando los materiales o aparatos no fueran de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Ingeniero Director dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas en los Pliego o, a falta de estos, a las órdenes del Ingeniero Director.

- **Medios auxiliares.**

Es obligación de la Contrata el ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras aún cuando no se halle expresamente estipulado en los Pliegos de Condiciones, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Ingeniero Director y dentro de los límites de posibilidad que los presupuesto determinen para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

Serán de cuenta y riesgo del Contratista, los andamios, cimbras, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesiten, no cabiendo por tanto, al Propietario responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares.

Serán asimismo de cuenta del Contratista, los medios auxiliares de protección y señalización de la obra, tales como vallado, elementos de protección provisionales, señales de tráfico adecuadas, señales luminosas nocturnas, etc. Y todas las necesarias para evitar accidentes previsibles en función del estado de la obra y de acuerdo con la legislación vigente.

Apartado tercero: Recepción y liquidación

- **Recepciones provisionales.**

Para proceder a la recepción provisional de las obras será necesaria la asistencia del Propietario, del Ingeniero Director de la Obra y del Contratista o su representante debidamente autorizado.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por percibidas provisionalmente y comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía que se considerará de tres meses.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas se hará constar en el acta y se especificarán en la misma las precisas y detalladas instrucciones que el Ingeniero Director debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Después de realizar un escrupuloso reconocimiento de la obra y se estuviese conforme con las condiciones de este Pliego, se levantará un acta por duplicado, a la que acompañarán los documentos justificantes de la liquidación final. Una de las actas quedará en poder de la propiedad y la otra se le entregará al Contratista.

- **Plazo de garantía.**

Desde la fecha en que la recepción provisional quede hecha, comienza a contarse el plazo de garantía que será de un año. Durante este período, el Contratista se hará cargo de todas aquellas reparaciones de desperfectos imputables a defectos y vicios ocultos.

- **Conservación de los trabajos recibidos provisionalmente.**

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado

por el Propietario, procederá a disponer todo lo que se precise para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuere menester para su buena conservación, abonándose todo aquello por cuenta de la contrata.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de rescisión de contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que le Ingeniero Director fije.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del mismo corra a cargo del Contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuere preciso realizar.

En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el Contratista a revisar y repasar la obra durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente "Pliego de Condiciones Económicas".

El Contratista se obliga a destinar a su costa a un vigilante de las obras que prestará su servicio de acuerdo con las órdenes recibidas de la Dirección Facultativa.

- **Recepción definitiva.**

Terminado el plazo de garantía, se verificará la recepción definitiva con las mismas condiciones que la provisional, y si las obras están bien conservadas y en perfectas condiciones, el Contratista quedará relevado de toda responsabilidad económica, en caso contrario se retrasará la recepción definitiva hasta que, a juicio del Ingeniero Director de la Obra, y dentro del plazo que se marque, queden las obras del modo y forma que se determinen en este Pliego.

Si el nuevo reconocimiento resultase que el Contratista no hubiese cumplido, se declarará rescindida la contrata con pérdida de la fianza, a no ser que la propiedad crea conveniente conceder un nuevo plazo.

- **Liquidación final.**

Terminadas las obras, se procederá a la liquidación fijada, que incluirá el importe de las unidades de obra realizadas y las que constituyen modificaciones del proyecto siempre y cuando hayan sido previamente aprobadas por la dirección técnica con sus precios. de ninguna manera tendrá derecho el contratista a formular reclamaciones por aumentos de obra que no estuviesen autorizados por escrito a la entidad propietaria con el visto bueno del ingeniero director.

- **Liquidación en caso de rescisión.**

en este caso, la liquidación se hará mediante un contrato liquidatorio, que se redactará de acuerdo por ambas partes. incluirá el importe de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de la rescisión.

Apartado cuarto: facultades de la dirección de obras.

- **Facultades de la dirección de obras.**

Además de todas las facultades particulares, que corresponden al ingeniero director, expresadas en los artículos precedentes, es misión específica suya la dirección y vigilancia de los trabajos que en las obras se realicen bien por si o por medio de sus representantes técnicos y ello con autoridad técnica legal, completa e indiscutible, incluso en todo lo no previsto específicamente en los pleigos de condiciones sobre las personas y cosas situadas en la obra y en relación con los trabajos que para la ejecución de los edificios y obras anejas se lleven a cabo, pudiendo incluso, pero con causa justificada, recusar al contratista, si considera que el adoptar esta resolución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

6.4- Pliego de condiciones económicas.

Apartado primero: Base fundamental.

- **Base fundamental.**

Como base fundamental de este pliego de condiciones económicas, se establece el principio de que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que estos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y Condiciones Generales y particulares que rijan la construcción del edificio y obra aneja contratada.

Apartado segundo: Garantías de cumplimiento y fianzas.

- **Garantías.**

El Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades o personal, al objeto de cerciorarse de si este reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del Contrato, dichas referencias las presentará el Contratista antes de la firma del Contrato.

- **Fianzas.**

Se podrá exigir al Contratista, para que responda del cumplimiento de lo contratado, una fianza del 10% del presupuesto de las obras adjudicadas.

- **Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza.**

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para utilizar la obra en las condiciones contratadas, el Ingeniero Director, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el propietario en el caso de que el importe de la fianza no baste para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran de recibo .

- **Devolución de la fianza.**

La fianza depositada será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de certificado del Alcalde del Distrito Municipal en cuyo término se halla emplazada la obra contratada, que no existe reclamación alguna contra él por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de los jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

Apartado tercero: Precios y revisiones.

- **Precios contradictorios.**

Si ocurriese algún caso por virtud del cual fuese necesario fijar un nuevo precio, se procederá a estudiarlo y convenirlo contradictoriamente de la siguiente forma:

El Adjudicatario formulará por escrito, bajo su firma, el precio que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad.

La Dirección Técnica estudiará el que, según su criterio, deba utilizarse.

Si ambos son coincidentes se formulará por la Dirección Técnica el Acta de Avenencia, igual que si cualquier pequeña diferencia o error fuesen salvados por simple exposición y convicción de una de las partes, quedando así formalizado el precio contradictorio.

Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, el Sr. Director propondrá a la propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el Adjudicatario o, en otro caso, la segregación de la obra o instalación nueva, para ser ejecutada por administración o por otro adjudicatario distinto.

La fijación del precio contradictorio habrá de proceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo, ya se hubiese

comenzado, el Adjudicatario estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarle el Sr. Director, y a concluirla a satisfacción de éste.

- **Reclamaciones de aumento de precios.**

Si el Contratista, antes de la firma del contrato no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error y omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirve de base para la ejecución de las obras.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en Indicaciones que, sobre las obras, se hagan en la Memoria, por no servir este documento de base a la Contrata. Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades de obra o en su importe, se corregirán en cualquier época que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión de contrato, señalados en los documentos relativos a los pliegos de condiciones facultativos, sino en el caso de que el Ingeniero Director o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de cuatro meses contados desde la fecha de adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha en la Contrata, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, pues esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

- **Revisión de precios.**

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello, que no se debe admitir la revisión de los precios contratados. No obstante y dada la variabilidad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que es característica de determinadas épocas anormales, se admite, durante ellas, la revisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en anomalía con las oscilaciones de los precios en el mercado.

Por ello y en los casos de revisión en alza, el Contratista puede solicitarla del Propietario, en cuanto se produzca cualquier alteración de precio, que repercuta, aumentando los contratos. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario

antes de comenzar o de continuar la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado, y por causa justificada, especificándose y acordándose, también previamente, la fecha a partir de la cual se aplicará el precio revisado y elevado, para lo cual se tendrá en cuenta y cuando así proceda, el acopio de materiales de obra, en el caso de que estuviesen total o parcialmente abonados por el propietario.

Si el propietario o el Ingeniero Director, en su representación no estuviese conforma con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc., que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad de proponer al Contratista, y éste la obligación de aceptarlos, los materiales, transportes, etc., a precios inferiores a los pedidos por el Contratista, en cuyo caso lógico y natural, se tendrán en cuenta para la revisión, los precios de los materiales, transportes, etc. adquiridos por el Contratista a merced a la información del propietario.

Cuando el propietario o el Ingeniero Director, en su representación, no estuviese conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc. Concertará entre las dos partes la baja a realizar en los precios unitarios vigentes en la obra, en equidad por la experimentada por cualquiera de los elementos constitutivos de la unidad de obra y la fecha en que empezarán a regir los precios revisados.

Cuando, entre los documentos aprobados por ambas partes, figurase el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al perpetuado en los casos de revisión por alza de precios.

- **Elementos comprendidos en el presupuesto.**

Al fijar los precios de las diferentes unidades de obra en el presupuesto, se ha tenido en cuenta el importe de andamios, vallas, elevación y transporte del material, es decir, todos los correspondientes a medios auxiliares de la construcción, así como toda clase de indemnizaciones, impuestos, multas o pagos que tengan que hacerse por cualquier concepto, con los que se hallen gravados o se graven los materiales o las obras por el Estado, Provincia o Municipio.

Por esta razón no se abonará al Contratista cantidad alguna por dichos conceptos.

En el precio de cada unidad de obra también van comprendidos los materiales accesorios y operaciones necesarias para dejar la obra completamente terminada y en disposición de recibirse.

Apartado cuarto: Valoración y abonado de los trabajos.

- **Valoración de la obra.**

La medición de la obra concluida se hará por el tipo de unidad fija en correspondiente presupuesto.

La valoración deberá obtenerse aplicando a las diversas unidades de obra, el precio que tuviese asignado en el Presupuesto, añadiendo a este importe el de los tantos por ciento que correspondan al beneficio industrial y descontando el tanto por ciento que corresponda a la baja en la subasta hecha por el Contratista.

- **Mediciones parciales finales.**

Las mediciones parciales se verificarán en presencia del Contratista, de cuyo acto se levantará acta por duplicado, que será firmada por ambas partes. La medición final se hará después de terminar las obras con precisa asistencia del Contratista.

En el acta que se extienda, de haberse verificado la medición en los documentos que le acompañan, deberá aparecer la conformidad del Contratista o de su representación legal. En caso de no haber conformidad, lo expondrá sumariamente y a reserva de ampliar las razones que a ello obliga.

- **Equivocaciones en el presupuesto.**

Se supone que el Contratista ha hecho detenido estudio de los documentos que componen el Proyecto, y por tanto al no haber hecho ninguna observación sobre posible errores o equivocaciones en el mismo, se entiende que no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a medidas o precios de tal suerte, que la obra

ejecutada con arreglo al Proyecto contiene mayor número de unidades de las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna.

Si por el contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

- **Valoración de obras incompletas.**

Cuando por consecuencia de rescisión u otras causas fuera preciso valorar las obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto, sin que pueda pretenderse hacer la valoración de la unidad de obra fraccionándola en forma distinta a la establecida en los cuadros de descomposición de precios.

- **Carácter provisional de las liquidaciones parciales.**

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a certificaciones y variaciones que resulte de la liquidación final. No suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden. La propiedad se reserva en todo documento, y especialmente al hacer efectivas las liquidaciones parciales el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido los compromisos referentes al pago de jornales y materiales intervenidos en la obra, a cuyo efecto deberá presente el Contratista los comprobantes que se exigen

- **Pagos.**

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos y su importe corresponderá, precisamente, al de las Certificaciones de obra expedidas por el Ingeniero Director, en virtud de las cuales se verifican aquellos.

- **Suspensión por retraso de pagos.**

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos, ni ejecutarlos a menor ritmo del que corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

- **Indemnización por retraso de los trabajos.**

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista por causas de retraso no justificado, en el plazo de terminación de las obras contratadas, será: el importe de la suma de perjuicios materiales causados por imposibilidad de ocupación del inmueble, debidamente justificados.

- **Indemnización por daños de causa mayor al contratista.**

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas, averías o perjuicio ocasionados en las obras, sino en los casos de fuerza mayor. Para los efectos de este artículo, se consideran como tales casos únicamente los que siguen:

- Los incendios causados por electricidad atmosférica.
- Los daños producidos por terremotos y maremotos.
- Los producidos por vientos huracanados, mares y crecida de los ríos superiores a las que se sean de prever el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que el Contratista tomó las medidas posibles, dentro de sus medios, para evitar o atenuar daños.
- Los que provengan de movimientos del terreno en que estén construidas las obras.
- Los destrozos ocasionados violentamente, a mano armada, en tiempo de guerra, movimientos sediciosos populares o robos tumultuosos.

La indemnización se referirá exclusivamente, al abono de las unidades de obra ya ejecutadas o materiales acopiados a pie de obra; en ningún caso comprenderá medios auxiliares, maquinaria o instalaciones, etc. propiedad de la Contrata.

Apartado quinto: Varios.

- **Mejoras de obra.**

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que el Ingeniero Director haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en

el Contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que el Ingeniero Director ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

- **Seguro de los trabajos.**

El Contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en todo momento, con el valor que tengan, por Contrata los objetos asegurados. El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en caso de siniestro, se ingresará a cuenta, a nombre del Propietario para que con cargo a ella, se abone la obra que se construya y a medida que esta se vaya realizando. El reintegro de la cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecha en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres ajenos a los de la construcción de la parte siniestrada; la infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda rescindir la contrata, con devolución de la fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc. y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no le hubiesen abonado, pero eso en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la Compañía Aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Ingeniero Director.

En las obras de reforma o reparación se fijará, previamente, la proporción de edificio que se debe asegurar y su cuantía, y si nada se previese, se entenderá que el seguro ha de comprender toda parte de edificio afectado pro la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuran en la póliza de seguros, los pondrá el Contratista antes de contratarlos en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de este su previa conformidad o reparos.

6.5- Pliego de condiciones legales.

- **Jurisdicción.**

Para cuantas cuestiones, litigios o diferencias pudieran surgir durante o después de los trabajos, las partes se someterán a juicio de amigables componedores nombrados en número igual por ellas y presidido por el Ingeniero Director de la Obra y en último término, a los Tribunales de Justicia del lugar en que radique la propiedad, con expresa renuncia del fuero domiciliario.

El contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el Contrato y en los documentos que componen el Proyecto. (La memoria no tendrá consideración de documento del Proyecto).

El Contratista se obliga a lo establecido en la ley de Contratos de Trabajo y además a lo dispuesto por la de Accidentes de Trabajo, Subsidio Familiar y Seguros Sociales.

Serán de cargo y cuenta del Contratista el vallado y la policía del solar, cuidando de la conservación de sus líneas de lindeo y vigilando que, por los poseedores de las fincas contiguas, si las hubiese, no se realizan durante las obras actos que mermen o modifiquen la propiedad.

Toda observación referente a este punto será puesta inmediatamente en conocimiento del Ingeniero Director.

El Contratista es responsable de toda falta relativa a la política Urbana y a las Ordenanzas Municipales estos aspectos vigentes en la localidad en que la edificación esté emplazada.

- **Accidentes de trabajo y daños a terceros.**

En caso de accidentes ocurridos con motivo en el ejercicio de los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos en la legislación vigente, y siendo, en todo caso, único responsable de su

cumplimiento y sin que por ningún concepto, pueda quedar afectada la Propiedad por responsabilidades en cualquier aspecto.

El contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que ñas disposiciones vigentes preceptuan para evitar, en lo posible, accidentes a los obreros o viandantes, no solo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra.

De los accidentes o perjuicios de todo género que, por no cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será este el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los preciso contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales.

El Contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiera lugar, de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras.

El Contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, debiendo exhibir, cuando a ello fuera requerido, el justificante de tal cumplimiento.

Pagos de arbitrios.

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse durante el tiempo de ejecución de las obras por concepto inherente a los propios trabajos que se realizan correrá a cargo de la Contrata, siempre que en las condiciones particulares del Proyecto no se estipule lo contrario. No obstante, el Contratista deberá ser reintegrado del importe de todos aquellos conceptos que el Ingeniero Director considere justo hacerlo.

Causas de rescisión del contrato.

Se consideran causas suficientes de rescisión las que a continuación se señalan:

-La muerte/incapacidad del contratista.

-La quiebra del Contratista.

En los casos anteriores, si los herederos o síndicos ofrecieran llevar a cabo las obras, bajo las mismas condiciones estipuladas en el contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que en este último caso tengan aquellos, derecho a indemnización alguna.

-Las alteraciones del contrato por las causas siguientes:

-La modificación del proyecto en forma tal que presente alteraciones fundamentales de mismo, a juicio del Ingeniero Director y, en cualquier caso siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, represente en más o menos del 40 por 100, como mínimo, de algunas unidades del Proyecto modificadas.

-La modificación de unidades de obra, siempre que estas modificaciones representen variaciones en más o en menos del 40 por 100, como mínimo de las unidades del Proyecto modificadas.

-La suspensión de la obra comenzada, y en todo caso siempre que, por causas ajenas a la Contrata, no se de comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses, a partir de la adjudicación, en este caso, la devolución de la fianza será automática.

-La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año.

-El no dar comienzo la Contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares del Proyecto.

-El cumplimiento de las condiciones del Contrato, cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de la obra.

-La terminación del plazo de ejecución de la obra, sin haberse llegado a esta. El abonado de la obra sin causa justificada.

-La mala fe en la ejecución de los trabajos.

La viabilidad legal viene determinada por la legislación y normativa que el proyecto debe cumplir, tanto a nivel del producto como a nivel del proceso de obtención.

El presente Proyecto cumple todas las siguientes normativas vigentes vinculadas con los aspectos tratados en el mismo, no existiendo ninguna legislación que afecte al Proyecto impidiendo su ejecución ni operación cuando la línea de proceso esté en marcha:

-Legislación contra incendios.

-Legislación contra derrames (aceites o materiales inflamables).

-Legislación contra emisión de humos y partículas.

-Legislación sobre sistemas de seguridad.

-Legislación sobre protocolos de emergencias.

DOC N°4: PRESUPUESTO.

7- PRESUPUESTOS.

Introducción.

En este apartado se va a estudiar la parte económica del proyecto, tratando de comprobar la rentabilidad de la empresa y de esta manera se podrá constatar la viabilidad del proyecto.

Para ello se estudiarán inicialmente los gastos que tiene la empresa, el importe inicial en el que se incurre y también los ingresos.

De esta forma se obtendrán los parámetros necesarios para el cálculo del VAN, del TIR y el plazo de recuperación.

Para el cálculo de los flujos de caja se ha considerado el año como la base temporal.

Generalmente, en cualquier proceso productivo, el factor que supone mayores costes es la compra de la materia prima, pero en nuestro caso no es así ya que nuestra materia prima procede de un residuo producido en la extracción del aceite en la almazara.

La rentabilidad alcanzada en la línea de producción es superior a la rentabilidad mínima de una planta química, por lo que la viabilidad económica está completamente justificada. Para realizar un análisis correcto de los costes, se deben tener en cuenta los costes de fabricación (materias primas, servicios auxiliares, etc.), los de gestión, así como los de tecnología aplicada. En cuanto a los beneficios generados por la línea de producción, se pueden resumir exponiendo que supondrá un gran ahorro eléctrico, y por lo tanto también económico y además comercializará el excedente de energía.

El concepto de mano de obra está incluido en cada partida de instalación que se hace referencia.

Vida útil.

El concepto de vida útil del proyecto está considerado como el número de años durante los que se considera que la inversión obtiene beneficios.

Se ha considerado una vida útil de 20 años para las instalaciones y una renovación de la maquinaria en el duodécimo año.

Subvenciones.

Se considera una subvención del 25% del coste a las inversiones efectuadas en instalaciones de energías renovables que utilizan biomasa como combustible.

Además la utilización de energías renovables permite a las empresas desgravaciones fiscales.

Inversión inicial.

En la inversión inicial se incluye la inversión en maquinaria, instalaciones, obras civiles y urbanización. El capital invertido será propio, de los promotores, y se desembolsará en el año cero.

Presupuesto general asciende a 1.303.000 euros, con el siguiente desglose:

- **Desglose de costes de los equipos:**

Equipo	Uds	Coste unitario (€)	Total (€)	Porcentaje
Grupo turbina y sus intercambiadores de calor (evaporador, recalentador y precalentador).	1	420.000	420.000	61,14
Torre de refrigeración	1	29.000	29.000	4,22
Caldera de biomasa	1	53.000	53.000	7,71
Secadero	1	49.000	49.000	7,13
Intercambiador de calor (aceite-aire) e intercambiador de calor (aceite-agua)	2	18.000	36.000	5,24

Condensador	2	22.000	44.000	6,40
Pelletizadora	1	15.000	15.000	2,18
Tornillo sinfín 9 m.	1	3.500	3.500	0,51
Tornillo sinfín 23m.	1	5.500	5.500	0,80
Bomba centrífuga	3	1.000	3.000	0,44
Silo de almacenamiento	4	3.500	14.000	2,04
Silo de recirculación y silo de alimentación a pelletizadora	2	1.500	3.000	0,44
Ciclón y filtro de tela	1	4.000	4.000	0,58
Depósito de fluido de intercambiador de calor.	4	500	2.000	0,29
Cuadro eléctrico	2	1.000	2.000	0,29
Soplante	2	2.000	4.000	0,58

- **Desglose de costes fijos directos:**

Costes fijos directos	Coste (€)	Porcentaje
Equipos	687.000	52,72
Trabajo de obra civil	12.000	0,92
Instalación equipos	20.000	1,53
Trabajos eléctricos	27.000	2,07
Equipos de seguridad	2.500	0,19
Edificio	95.000	7,29
Gastos de construcción	60.000	4,60
Terreno	350.000	26,86

La construcción de la planta en los terrenos ocupa una superficie de 500 m² aproximadamente. Según la información consultada, el precio del terreno está alrededor de los 700 euros por metro cuadrado.

- **Desglose de costes fijos indirectos:**

Costes fijos indirectos	Coste (€)	Porcentaje
Ingeniería y supervisión	7.500	0,58
Honorarios contratista	12.000	0,92
Imprevistos	30.000	2,30

La suma de los costes fijos directos e indirectos asciende a 1.303.000 euros.

Teniendo en cuenta las subvenciones recibidas el coste fijo se queda en **977.250 euros**.

Por tanto, este desembolso inicial junto con los gastos originados durante la vida útil del proyecto deberán recuperarse con los ingresos producidos y con el ahorro que supondrá de gasto eléctrico en la almazara.

Descomposición de los pagos

A continuación, se muestran los gastos originales por las compras de materias primas y de otros productos, así como los gastos de energía, agua consumida, los gastos generales y los gastos de personal.

La suma de estos gastos constituye el apartado de gastos ordinarios, que se desembolsarán durante la vida útil de la industria.

- **Costes de operación mensuales:**

Costes de operación	Uds.	Coste unitario (€)	Total (€)	Porcentaje
Jefe de planta	1	2500	2500	11,15
Ingenieros	2	2000	4000	17,84
Técnicos	3	1500	4500	20,07
Operarios	5	1200	6000	26,76

Oficinista	1	1200	1200	5,35
Energía eléctrica (kW)	50	0	0	-
Agua			500	2,23
Limpieza			2000	8,92
Mantenimiento de equipos			1717,5	7,66

Se estima un pago por mantenimiento de la maquinaria del 1% del valor presupuestado:

$$687.000€ * 0,01 = 6870€$$

$$\frac{6870€}{4 \text{ meses}} = 1.717,5€$$

La suma de costes de operación mensuales mensuales asciende a **22.417,5 euros.**

Pagos extraordinarios:

En el duodécimo año se incurre en un pago extraordinario en concepto de renovación del 25% de la maquinaria, lo que equivale a un capital de **171.750 euros.**

Flujos de caja:

año	Cobro ordinario	Cobro extr.	Ahorro coste	Pago ordinario	Pago extra.	Flujo de caja	Flujo acumulado
0	0	0	0	0	977.250	-977.250	-977.250
1	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	-889.956
2	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	-802.661
3	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	-715.367
4	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	-628.072
5	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	-540.778
6	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	-453.483
7	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	-366.189
8	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	-278.894
9	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	-191.600
10	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	-104.305
11	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	-17.011
12	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	70.284
13	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	157.579
14	45.312,00	0	64.400	22.417,50	171.750	-84.455,50	-98.627
15	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	-11.333
16	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	75.962
17	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	163.257
18	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	250.551
19	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	337.846
20	45.312,00	0	64.400	22.417,50	0	87.294,50	425.140

Para el flujo de caja se ha considerado el ahorro energético, y por lo tanto económico, producido en la almazara. El precio medio de compra del kW para la almazara es de 13 céntimos/kW, por lo tanto si las necesidades energéticas son cubiertas plenamente se produce un ahorro económico de:

$$250kW * \frac{16 \text{ horas}}{\text{día}} * \frac{120 \text{ días}}{\text{temporada}} = 480.000kW$$

$$480.000kW * \frac{0,13 \text{ euros}}{kW} = 62.400 \text{ euros}$$

Por otra parte, la venta del kW producido en la planta tiene un valor de 8 céntimos/kW, por lo tanto:

$$295kW * \frac{16 \text{ horas}}{\text{día}} * \frac{120 \text{ días}}{\text{temporada}} = 566.400kW$$

$$566.400kW * \frac{0,08 \text{ euros}}{kW} = 45.312 \text{ euros}$$

Análisis de rentabilidad:

Se tienen en cuenta los siguientes criterios:

A: Desembolso inicial.

Qs: Flujo de caja del momento s.

n: Número de años que dura la inversión.

r: TIR

i: Rentabilidad mínima que exigimos a la inversión.

- **VAN:**

$$VAN = -A + \frac{Q1}{(1+i)^1} + \frac{Q2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Qn}{(1+i)^n}$$

Indica la ganancia o la rentabilidad neta generada en el proyecto. Se define como la diferencia entre lo que el inversor da a la inversión y lo que la inversión devuelve al inversor.

Cuando un proyecto tiene un VAN>0 se dice que para el interés elegido resulta viable financieramente.

Aplicando la fórmula con una rentabilidad mínima esperada del 3% se obtiene un **VAN=207.932,18**

- **TIR:**

$$0 = -A + \frac{Q1}{(1+r)^1} + \frac{Q2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Qn}{(1+r)^n}$$

Es el tipo de interés que devuelve la inversión al inversor, es decir, el interés que hace que el VAN sea cero. Se compara con el interés bancario y si el TIR es mayor, entonces la inversión interesa.

Aplicando la fórmula se obtiene un **TIR=4,54%**

- **Plazo de recuperación (payback): 12 años.**

Es el número de años que transcurren entre el inicio del proyecto hasta que la suma de los cobros actualizados se hace igual a la suma de los pagos actualizados, es decir, cuando el flujo acumulado se hace positivo.

BIBLIOGRAFÍA

- PERRY ROBERT H. ; *Perry Manual del ingeniero químico*. Mc Graw Hill. México. 1980.
- COSTA LÓPEZ J. CERVERA MARCH S. CUNILL GARCÍA F. ; *Curso de ingeniería química. Introducción a los procesos , las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte*. Reverte. Barcelona. 2002.
- J.M. SMITH, H.C. VAN NESS, M.M. ABBOTT; *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química*. Mc Graw Hill. México. 2017.
- COULSON J.M. : *Ingeniería Química*. Reverte. Barcelona. 1980.
- FOGLER, H. SCOTT; *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas*. Pearson Education. México. 2001.
- L.A. BILURBINA; *Diseño de equipos e instalaciones*. Edicions UP. Barcelona. 2002.