

Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería Química

Diseño Básico de un Sistema de Almacenamiento Térmico de Sales en una Planta Termosolar de 50MWh.

Autor:

Laura Cruz Camacho

Tutor:

Rafael Valenzuela García

Profesor asociado

Dep.de ingeniería de la construcción y proyectos de ingeniería

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

Resumen

El presente proyecto tiene por objeto realizar el diseño básico de un almacenamiento térmico de sales en una Planta Termosolar de Colectores Cilindro-Parabólicos.

La planta se encuentra ubicada en Qinghai, República Popular de China, en la cual se tienen aspectos continentales como sequía, gran cantidad de sol, elevada diferencia de temperatura entre el día y noche...

La planta consta de un campo solar formada por espejos reflectores en los cuales incide la luz solar y un tubo absorbedor que transforma dicha luz solar en energía térmica mediante un fluido HTF.

Un porcentaje de la energía térmica se almacena en un sistema de almacenamiento térmico formado por intercambiadores de calor, tuberías y por dos tanques de almacenamiento de sales.

El fluido refrigerante usado para tomar la energía térmica del HTF y almacenamiento (las sales) es una mezcla de nitrato de sodio y nitrato de potasio.

Uno de los tanques será de almacenamiento de sales caliente (380°C) y otro de sales frías (280°C).

El objetivo del sistema de almacenamiento es satisfacer a la planta de potencia en horas de no luz solar.

La realización del proyecto básico abarcará diferentes aspectos:

- Memoria descriptiva donde se explica la solución proyectada.
- Pliego de condiciones de los instrumentos y aparatos utilizados.
- Presupuesto del proyecto.
- Croquis y planos del sistema.
- Anexo, balance de proceso.

Índice

<i>Agradecimientos</i>	<i>ix</i>
<i>Resumen</i>	<i>xi</i>
<i>Abstract</i>	<i>xiii</i>
<i>Índice</i>	<i>xiv</i>
<i>Índice de Tablas</i>	<i>xvii</i>
<i>Índice de Figuras</i>	<i>xix</i>
<i>Notación</i>	<i>xxi</i>
1 Memoria	1
1.1 Objeto y antecedentes	1
1.2 Normativa	3
1.3 Descripción de la solución adoptada	5
1.3.1 Situación.....	5
1.3.2 Condiciones ambientales.....	5
1.3.3 Solución adoptada.....	7
1.3.4 Fluidos de transferencia térmica HTF y de almacenamiento térmico sales fundidas.....	12
1.3.4.1 Nitrato de potasio	13
1.3.4.2 Nitrato de sodio.....	14
1.3.5 Consideraciones sobre pruebas y puesta en marcha	15
1.3.5.1 Pruebas FAT	15
1.3.5.2 Pruebas en vacío.....	15
1.3.5.3 Precalentamiento	16
1.3.5.4 Puesta en servicio – Preliminar	16
1.3.5.4.1. Requisitos generales.....	16
1.3.5.4.2. Preparación previa a la puesta en marcha	16
1.3.5.4.3. Salida de operaciones.....	17
1.3.5.4.4. Pruebas hidrostáticas	17
1.3.5.4.5. Inspección final de los tanques.....	19
1.3.5.4.6. Lavado de líneas	19

1.3.5.4.7. Instrumentos y sistema de control	20
1.3.5.4.8. Inspecciones y ensayos eléctricos.	20
1.3.5.5 Puesta en servicio.	20
1.3.5.5.1. Precalentamiento de tanques.....	20
1.3.5.5.2. Primer llenado de sales fundidas.....	21
1.3.5.5.3. Sistema de cobertura.....	22
1.3.5.5.4. Primer llenado intercambiadores de calor.	23
1.3.5.5.5. Llenado de sales fundidas en tanque caliente.	23
1.3.5.5.6. Prueba de sistema y equipo.....	23
1.4 Cronograma de ingeniería	24
2 Pliego de condiciones	1
2.1 Tanque de almacenamiento térmico.	1
2.2 Bombas almacenamiento térmico	8
2.3 Intercambiadores de calor	16
3 Presupuesto.....	23
4 Croquis y planos.....	25
4.1 Balance de masa y energía.	25
4.2 Diagrama de bloques	55
4.3 P&ID sistema intercambiadores de calor sales fundidas	56
4.4 P&ID sistema almacenamiento de sales fundidas frías	57
4.5 P&ID sistema almacenamiento de sales fundidas calientes	58
5 Anexos:	60
5.1. Balance de proceso y cálculos	60
5.2. Estudio de riesgos.....	64
Referencias.....	67
Índice de Conceptos.....	68
Bibliografía	70

Índice de Tablas

- Tabla 1. Agentes metereológicos de la zona.
- Tabla 2. Propiedades de la sal a diferentes temperaturas.
- Tabla 3. Ciclo térmico tanque caliente.
- Tabla 4. Ciclo térmico tanque frío.
- Tabla 5. Hoja de datos tanque sales calientes.
- Tabla 6. Hoja de datos tanque sales fría.
- Tabla 7. Bombas almacenamiento.
- Tabla 8. Especificaciones bomba.
- Tabla 9. Especificaciones intercambiador de calor.
- Tabla 10. Presupuesto.
- Tabla 11. Valores balance 100% carga.
- Tabla 12. Valores balance 100% descarga.
- Tabla 13. Valores balance casos híbridos.
- Tabla 14: Estudio de riesgos.

Índice de Figuras

- Ilustración 1. Demanda energética mensual sin almacenamiento.
- Ilustración 2. Demanda energética mensual con almacenamiento.
- Ilustración 3. Mapa Qinghai.
- Ilustración 4. Central Termosolar CCP.
- Ilustración 5. Intercambiadores de calor.
- Ilustración 6. Torres de refrigeración.
- Ilustración 7. Diseño CCP.
- Ilustración 8. Espejos reflectores.
- Ilustración 9. Tubo absorbedor.
- Ilustración 10. Estructura conjunto.
- Ilustración 11. Intercambiador carcasa y tubo.

Notación

E	Energía
F _c	Factor de capacidad
H	Unidad en horizontal
Hz	Hertzios
Kg/cm ²	Kilogramo/centímetro cuadrado
kPa	Kilopascales
kV	Kilovoltio
kVA	Kilovoltio-amperio
kW	Kilovatio
m	metro
mkg	Metro por kilogramo (Par motor)
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
MVA _r	Megavoltio-Amperio reactiva
MW	Megavatio
m/s	Metro/segundo
P _n	Potencia nominal
ppm	Parte por millón
sen	Función seno
U.G.	Unidad geotécnica
V	Unidad en vertical

1 MEMORIA

“Quien controle los miedos, controla la mente”

- Jim Morrison

Objeto y antecedentes

La planta está situada en el Parque Industrial Solar a una latitud $37^{\circ} 22' N$ y una longitud de $97^{\circ} 22' E$.

La instalación consiste en una planta de energía solar térmica que genera energía a partir de un colector cilíndrico parabólico. Unos espejos parabólicos reflejan la luz solar hacia un absorbente y éste a su vez la transforma en energía térmica, siendo absorbida por un fluido de transferencia de calor. Este fluido se utiliza para generar vapor sobrecalentado y así conseguir 55 MW para la alimentación de la turbina.

Contaremos con un sistema de almacenamiento térmico que absorbe parte de la energía recogida por el colector para un uso en periodos sin luz solar.

La planta dispone de un 15 % de energía no renovable para el apoyo de la producción y requisitos de seguridad.

La planta estará preparada para su arranque y apagado todos los días, estando en horas nocturnas en standby para que cuando vuelva a existir radiación solar pueda funcionar rápidamente.

El sistema de almacenamiento está compuesto por dos tanques con una diferencia térmica entre ambos. El fluido refrigerante es nitrato de sodio y nitrato de potasio.

Emplear el sistema de almacenamiento nos proporciona aumentar en 9 horas diarias más la capacidad de la planta por lo que al año tendremos un aumento de 157.500 MW.

A continuación se muestra un gráfico dónde se representa la demanda energética mensual sin almacenamiento y con almacenamiento de sales.

Como se puede observar la cobertura es mucho mayor en los meses centrales del año y disminuye a lo largo de los meses de invierno.

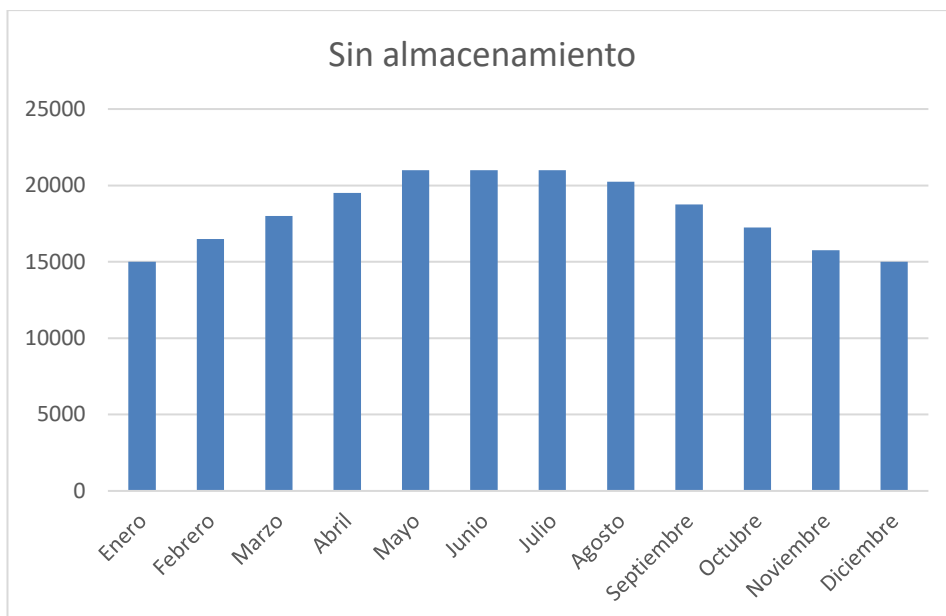


Ilustración 1. Demanda energética mensual sin almacenamiento.

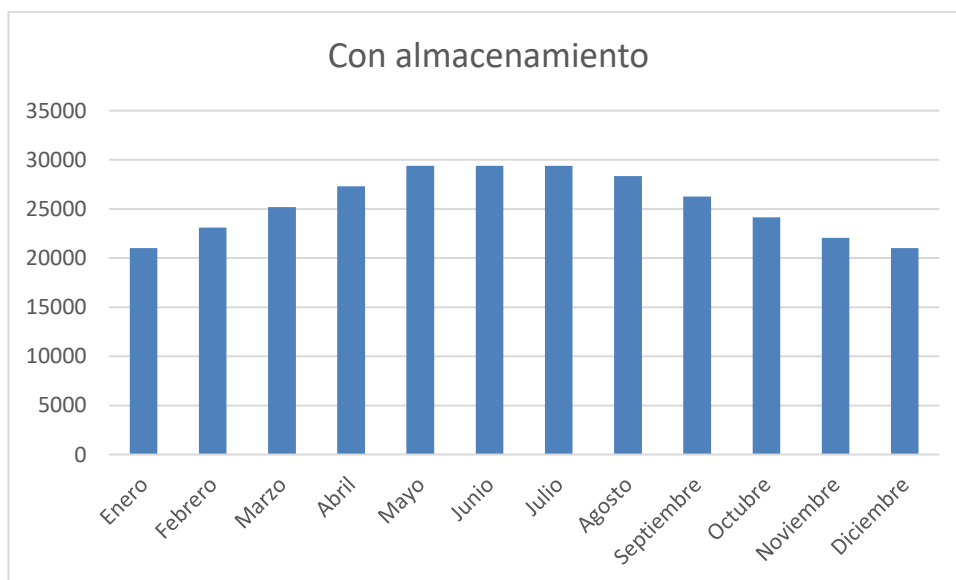


Ilustración 2. Demanda energética mensual con almacenamiento.

Normativa

En el desarrollo del proyecto se debe cumplir con todas las leyes, normas y reglamentos oficiales tales como el Técnico, Salud y Seguridad Ambiental... en su ámbito en la versión más reciente vigente.

- Normativa para control de calidad, medioambiente y prevención 9001, 14001, 18001.
- EHE hormigón.
- NBE-EA aceros en edificación.
- NBE-AE acciones en edificación.
- Para tanques de almacenamiento se usará API 650.
- Para construcciones de acero AISC.
- Para construcciones de hierro y acero AISI.
- Código ASME.
- Código ANSI.
- Bridas de tubería de acero ASME / ANSI B.16.5.
- Conexiones de acero forjado ASME / ANSI B.16.11.
- Extremos de soldadura ASME / ANSI B.16.25.
- Tuberías de proceso ASME / ANSI B.31.3.
- Diseño y fabricación de tuberías eléctricas ASME / ANSI B.31.1.
- Estructuras laminadas ASME A6M.
- Especificaciones para el examen ultrasónico de las placas de acero ASME A435.
- Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos ASNT.
- Sociedad Americana de Ensayos y Materiales ASTM.
- Sociedad Americana de Soldadura AWS.
- Recubrimientos especificación tubos de acero EN 10204.3.1.
- Normas de acero y hierro fundido EN10025.
- Organización Internacional de Normalización ISO.
- Agencia Nacional de Protección contra Incendios NFPA.
- Consejo de Pintura de Estructuras de Acero SSPC.
- Norma Española UNE.
- Normas para la construcción de recipientes a presión UNE 60670 (Instalaciones de gas tuberías a presión máxima de servicio (MOP) hasta 5bar.
- EN 746-1, Equipo de termo-contracción industrial- parte 1: Seguridad común requisitos para los equipos industriales de termo-procesamiento.
- EN 746-2, Equipo de termo-tratamiento industrial- parte 2: Requisitos de seguridad para combustión y sistemas de manejo de combustible.
- EN 746-5, Equipo de termo-tratamiento industrial- parte 5: Seguridad particular, requisitos para equipos de termo-procesamiento de baño de sal.
- EN 161, válvulas de cierre automático para quemadores de gas y aparatos de gas.
- EN 298, sistemas automáticos de control de quemadores.
- EN ISO 12100, seguridad de la maquinaria. Conceptos básicos, generales y principios para el diseño.
- EN ISO 13857:2008, seguridad de las maquinas. Distancias de seguridad para evitar las zonas peligrosas.
- EN 60204, seguridad de las maquinas. Equipo eléctrico de las maquinas. Parte 1: generalidades.
- Máquinas Directiva 2006/42/CE.
- Reglamento Electrotécnico para alta tensión e instrucciones técnicas complementarias (ITC).
- Reglamento Electrotécnico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias (ITC).
- Estructura CTE en su documento básico Seguridad Estructural (DB- SE).
- Ley General de Sanidad, 14/1986.

- Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995.
- Ley 67/548/CEE y adaptaciones, “Clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias”.
- Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR).
- Ley 2008/68/CE, “Transporte terrestre de mercancías peligrosas”.

Descripción de la solución adoptada

1.1.1 Situación

La planta se sitúa en el Parque Industrial Solar en una zona de latitud media.

Las coordenadas son:

- Latitud $37^{\circ} 22' N$
- Longitud $97^{\circ} 22' E$
- Altura sobre el nivel del mar 2981.5 m.

1.1.2 Condiciones ambientales

La ciudad de Delingha se encuentra en la parte noroeste de Qaidam en la cual se tienen aspectos continentales de la meseta tales como sequía, baja temperatura, una elevada diferencia de temperatura entre el día y la noche, gran cantidad de sol, viento elevado, poco escarche.



Ilustración 3. Mapa Qinghai.

A continuación se muestra una tabla con los principales agentes meteorológicos de la zona.

Elemento meteorológico	Unidad	Valor	Observaciones
Temperatura promedio	°C	4	
Temperatura más alta	°C	34,7	23 Julio 2.000
Temperatura más baja	°C	-27,9	27 Diciembre 1.991
Tª promedio de los meses más calurosos	°C	16,4	
Tª promedio de los meses más fríos	°C	-10,9	
Precipitación media anual	mm	182,3	
Precipitación máxima anual	mm	326,6	2.009
Precipitación mínima anual	mm	122,1	1.978
Lluvia continua máxima	mm	44	22 Julio 2.003
Máximo días de lluvia continua	D	2	11-12 Agosto 1.996
Máximo lluvia al día	mm	84	1 Agosto 1.997
Tamaño máximo granizo observado	mm	10	
Duración granizo	min	43	
Velocidad viento máxima	m/s	26,9	

Tabla 1. Agentes metereológicos de la zona.

1.1.3 Solución adoptada

Las centrales solares termoeléctricas basadas en la tecnología CCP suponen más del 95% de la potencia de generación termosolar en el mundo.

El presente proyecto consiste en la ingeniería básica de un sistema de almacenamiento térmico de sales con tecnología colector cilíndrico parabólico CCP.

La misión principal es generar energía eléctrica a partir de energía térmica.

La planta se divide en:

- Campo solar y sistema de sales.
 - Isla de potencia formada por:
 - Caldera.
 - Conjunto de intercambiadores.
 - Turbina – Condensador.
 - Torres de refrigeración.
 - Generador.
- Instalaciones auxiliares:
 - Planta de tratamiento de agua.
 - Planta de tratamiento de efluentes.
- Conjunto de edificios de producción, mantenimiento, vivienda de personal...

A continuación entramos a definir algunas partes en más detalle.

1. Campo solar:

Está formado por los espejos reflectores en los cuales incide la luz solar de forma perpendicular y la reflejan hacia un tubo absorbente que transforma la radiación captada en energía térmica mediante un fluido de transferencia de calor HTF que se calienta a alta temperatura, unos 400°C.

La principal función del HTF es transportar el calor captado por los concentradores parabólicos hasta el ciclo agua-vapor para generar vapor con el cual accionar la turbina.

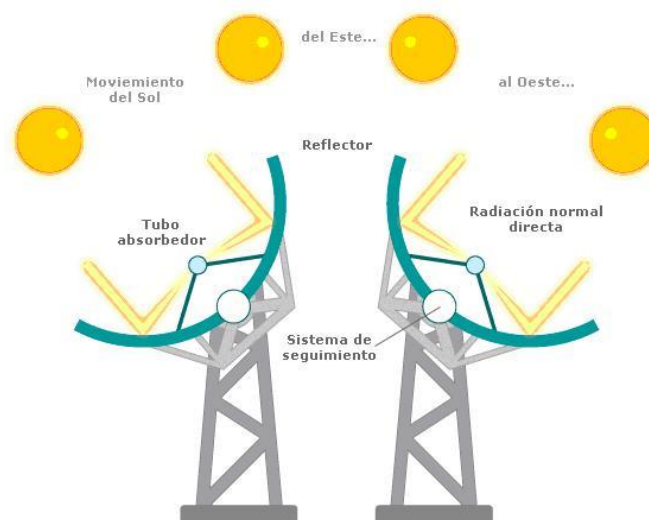


Ilustración 4. Central Termosolar CCP.

El HTF es bombeado a través del sistema de tuberías al generador de vapor donde se vaporiza el agua. El vapor de agua producido a alta presión se encarga de mover una turbina que se encuentra conectada a un alternador que genera energía eléctrica.

El vapor de baja presión que sale de la turbina se condensa transformándose en agua que se incorpora de nuevo al ciclo. Las torres de refrigeración proporcionan el enfriamiento necesario para la condensación del vapor de la turbina.

2. Tanque de sales:

Es el lugar donde se almacena la energía térmica para ser usada en las horas de baja o nula radiación solar. Existen dos tanques: uno de almacenamiento de sales frías y otro de sales calientes.

En este mismo punto se incluyen los intercambiadores de calor para sales fundidas. El tren de intercambio de calor está dispuesto en serie desde el tanque frío al caliente para así calentar las sales. El HTF circula por los tubos mientras que las sales lo hacen por la carcasa. Las tuberías llevan traceado eléctrico para evitar la congelación de las sales.

3. Caldera auxiliar:

Es la encargada de mantener la temperatura del HTF en los valores correctos para que el sistema siga funcionando cuando por cualquier circunstancia los espejos reflectores no suministren suficiente energía. Dicha caldera se suele alimentar de gas natural.

4. Intercambiadores de calor:

El calor absorbido por el HTF es transferido a un circuito de agua para generar vapor. El agua, anteriormente ha pasado por un proceso de presurización en una bomba centrífuga multietapa hasta presiones comprendidas entre 50 – 100 bar, se vaporiza y se sobrecalienta hasta alrededor de 380°C enfriándose el HTF hasta 290°C. A esa temperatura el HTF se devuelve al campo solar para que siga transportando la energía que se capta en dicho campo.

El intercambio de calor entre el HTF y el agua se realiza mediante intercambiadores de calor de tipo carcasa y tubo.



Ilustración 5. Intercambiadores de calor.

5. Turbina de vapor:

El vapor generado se lleva hasta la turbina donde se produce una nueva transformación energética. La energía contenida en el vapor en forma de presión se transforma en energía mecánica.

6. Condensación:

El vapor que sale de la turbina no tiene capacidad para realizar trabajo. Para ello se vuelve a condensar el agua usada volviéndola líquida para volver a reutilizarla de nuevo en el ciclo.

Para poder condensar hay que introducir un nuevo fluido en el sistema al que el vapor pueda cederle su calor latente. Se pueden introducir agua como fluido frío o aire.

7. Torres de refrigeración:

Es el lugar donde se obtiene el agua para nueva condensación. El agua fría de esta torre se conduce hasta el condensador, que no es más que un intercambiador de carcasa y tubo. El agua captará el calor de condensación y lo transferirá al ambiente con la ayuda de la torre.



Ilustración 6. Torres de refrigeración.

8. Generador:

La energía mecánica requiere una última transformación en energía eléctrica.

9. Sistema auxiliar de tratamiento:

Consiste en un recipiente de drenaje para vaciar las tuberías y los intercambiadores de calor para evitar que solidifiquen. También incluye una bomba de drenaje para devolver las sales al tanque frío.

Por último incluye un sistema de detección de fugas y condensador de HTF el cual detecta el fallo, separa el HTF del circuito de sal e identifica el punto exacto de la fuga.

El campo de colectores está formado por una gran cantidad de tuberías recubiertas de aislante y con una superficie final galvanizada. Sólo una parte de las tuberías están traceadas. El traceado es un sistema de calefacción eléctrico diseñado para controlar y mantener la temperatura del producto que fluye.

Las tuberías están sometidas a fuertes variaciones de temperatura por lo cual se producen dilataciones y tensiones térmicas. Para absorber las dilataciones se necesitan juntas que se colocan más o menos una cada 70 metros. También se necesitan juntas de dilataciones en determinados puntos.

El sistema de seguimiento solar más común consiste en un dispositivo que gira los CCP. La rotación del colector se realiza mediante un mecanismo eléctrico o hidráulico que mueve el colector de acuerdo con la posición del sol.

La elección de un mecanismo u otro depende del tamaño del captador. Al mecanismo de accionamiento del captador hay que decirle cuándo y en qué dirección debe mover al captador para que esté enfocado hacia el sol. Dichas órdenes son dadas por un control electrónico basado en un sensor solar que detecta la luz solar.

Una central termosolar requiere varias bombas para el manejo del HTF:

- Bombas principales, encargadas del movimiento del fluido durante el funcionamiento normal de la central.

- Bombas de caldera auxiliar, de menor caudal y presión que las anteriores. Son las encargadas de hacer circular el fluido a través del bloque de potencia y no del campo solar. Debe atravesar las calderas y los intercambiadores de calor.
- Bombas de recirculación, mueven el fluido para evitar su congelación y homogeneizar la temperatura a lo largo del circuito.
- Bombas de circulación de los tanques de expansión, son de pequeño tamaño y se encargan de la circulación del fluido entre los tanques.
- Bombas de trasiego, usadas en los momentos de trasvase del HTF desde el camión cisterna al tanque. Suelen estar duplicadas para garantizar la disponibilidad del sistema.
- Bombas del sistema de depuración, garantizan el retorno de HTF depurado.

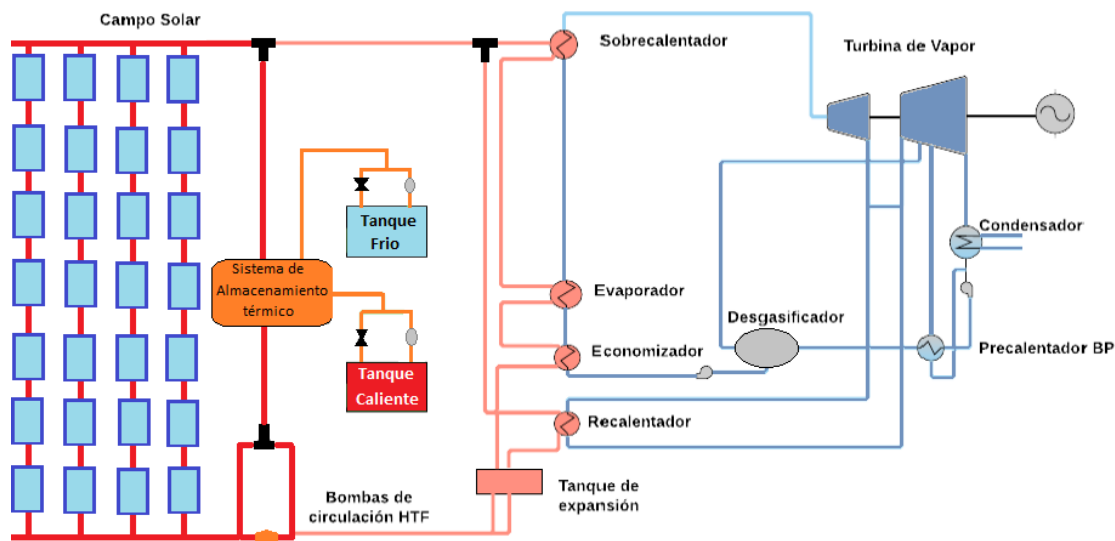


Ilustración 7. Diseño CCP.

Los módulos captadores constan de tres partes, cada una de ellas con una medida, forma definida y responsable de una función.

- El espejo reflector es el responsable de reflejar la radiación que incide y concentrarla sobre el tubo absorbente. La superficie especular se consigue a través de películas de plata o aluminio depositadas sobre un soporte que le da suficiente rigidez. En la actualidad los medios soportes más utilizados son la chapa metálica, el vidrio o el plástico.



Ilustración 8. Espejos reflectores.

- El tubo absorbedor se encarga de transformar la radiación captada en energía térmica. Consta de dos tubos concéntricos separados por una capa de vacío. El interior es metálico y el exterior de cristal.



Ilustración 9. Tubo absorbedor.

- La estructura que da al conjunto su forma y sirve de sujeción para los elementos que forman el módulo.



Ilustración 10. Estructura conjunto.

Los módulos se agrupan en colectores que se mueven en conjunto para que la radiación solar incida en un plano lo más perpendicular posible a la superficie de los módulos. Se unen varios colectores en serie para formar lazos, que componen la unidad productiva mínima. En cada uno de estos lazos se produce el aumento de temperatura del fluido HTF.

1.1.4 Fluidos de transferencia térmica HTF y de almacenamiento térmico sales fundidas

Los CCP utilizan un fluido de calor que cuando circula por el tubo receptor, absorbe en energía térmica la energía radiante que procede del sol y la transporta hasta el bloque de potencia.

Según el tipo de fluido calo-portador que usemos trabajaremos en un rango de temperaturas de operación que determina el rendimiento máximo que puede obtenerse.

Hoy en día se trabaja en un rango de temperaturas de 150°C – 400°C, aunque se están desarrollando componentes para trabajar a temperaturas superiores, lo que implicaría unas pérdidas térmicas mayores y menor rendimiento.

Si las temperaturas que se desean alcanzar son moderadas (<175°C), la utilización de agua desmineralizada como fluido caloportador no conlleva grandes problemas, ya que la presión de trabajo no es excesiva. En cambio, se utilizan fluidos sintéticos en aquellas aplicaciones donde se desean temperaturas más altas (200°C – 400°C).

Nuestras temperaturas de trabajo oscilan entre 200°C- 400°C por lo que se usan fluidos sintéticos. La razón de usar estos fluidos y no agua es que para altas temperaturas las tuberías se someten a altas presiones si es agua, porque para evitar que el fluido cambie de estado es necesaria mantenerla en todo momento a una presión superior a la de saturación. Con el HTF, las presiones son muchos menores, puesto que su presión de vapor a una temperatura dada es bastante menor que la del agua.

Trabajar a menor presión posibilita usar materiales más económicos para las tuberías y simplifica la instalación y las medidas de seguridad.

El fluido usado es una sal binaria con un 60 % en peso de nitrato sódico (NaNO_3) y un 40% en peso de nitrato de potasio (KNO_3). La sal usada no es el eutéctico que es una mezcla de 50% en mol de NaNO_3 y otro 50% en mol de KNO_3 .

La mezcla salina puede encontrarse en un intervalo de temperatura desde 260°C hasta 621°C.

Una especificación de sales debe incluir los siguientes elementos:

- Concentración mínima de nitrato del 99% en peso.
- Concentración total máxima de iones cloruro de todas las fuentes de 0,1 % en peso.
- La contaminación máxima de todas las fuentes será en peso de:
 - ✓ Nitrito < 1%.
 - ✓ Carbonato < 0,10 %.
 - ✓ Sulfato < 0,75 %.
 - ✓ Hidroxil alcalinidad < 0,20 %.
 - ✓ Perclorato < 0,25%.
 - ✓ Magnesio < 0,05%.
 - ✓ Humedad < 0,1%.
 - ✓ Sustancias sin fundir < 0,05%.

A continuación se muestra una tabla con las principales propiedades de la sal en función de la temperatura:

T (°C)	Densidad (Kg/m ³)	Calor específico (J/Kg °C)	Viscosidad (mPa s)	Conductividad térmica (W/m°C)
280	1912	1491,2	3,76	0,975
300	1899	1467,6	3,26	1,01
320	1887	1498	2,84	1,05
340	1874	1501,5	2,48	1,09
360	1861	1505	2,19	1,13
380	1848	1508,4	1,96	1,16
400	1836	1512	1,77	1,2

Tabla 2. Propiedades de la sal a diferentes temperaturas.

Condiciones de operación que hay que tener en cuenta:

- Al enfriarse, la mezcla de sal comenzará a cristalizar a una temperatura no superior a 238°C.
- Al enfriarse, la mezcla de sal será sólida completamente a una temperatura no superior a 221°C.

La sal puede suministrarse de dos formas:

1. El nitrato de sodio se entrega en bolsas separadas del nitrato de potasio.
2. Se mezclan los componentes, se funde la mezcla, solidifica el líquido en una torta y se entrega al lugar de trabajo.

La opción 1 es más barata y la opción 2 puede producir reacciones de descomposición al fundir los componentes de sal y es probable que varíe la composición final deseada de 60% – 40%.

La proporción de sales de fusión no será inferior a 600 toneladas /día.

La preparación de las sales consiste en mezclar, triturar, moler y cualquier otro proceso necesario hasta conseguir una sal óptima que asegure un alto rendimiento de las bombas de sal fundida.

La sal binaria preparada se almacena en una zona temporal de sales hasta que su uso sea necesario.

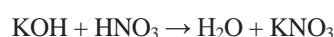
La planta de fusión deberá incluir al menos los siguientes componentes:

- Dos líneas de entrada de sal desde el área de preparación hasta el horno.
- Horno para la fusión de sales.
- Tanque de amortiguación con bombas de sal.
- Calentamiento para tanque de amortiguación.
- Aislamiento térmico para tanque de amortiguación.

1.1.4.1 Nitrato de potasio

La fórmula química del nitrato de potasio es KNO₃.

Se obtiene por neutralización de compuestos básicos como el hidróxido potásico (KOH) y el ácido nítrico (HNO₃). La reacción que tiene lugar es:



Su apariencia es de cristal blanco. Aproximadamente el 75 % del nitrato de potasio se suministra con una pureza del 90 % para su uso como fertilizante. La ausencia de cloro es una ventaja para las plantaciones de frutas cítricas y tabaco, también se usa en la producción de fertilizantes líquidos y es un importante constituyente de los fertilizantes multinutrientes.

- Especificaciones químicas:

- ✓ KNO_3 % 99.3 min
- ✓ Cl % 0.1 max.
- ✓ SO_4 % 0.02 max.
- ✓ NO_2 % 0.02 max.
- ✓ Mg % 0.02 max.
- ✓ Fe ppm <5 max.
- ✓ Cu ppm <1 max.
- ✓ Cr ppm <1 max.
- ✓ Pb ppm <5 max.
- ✓ Como ppm <0.1 max.
- ✓ Insolubles % 0.02 max.

- Propiedades físicas:

- ✓ Punto de fusión 333°C .
- ✓ Ángulo de reposo 34° .
- ✓ Densidad aparente $1,14 \text{ ton/m}^3$.

1.1.4.2 Nitrato de sodio

Su fórmula química es NaNO_3 . Su apariencia también es un cristal blanco como el nitrato de potasio.

Se trata de una sustancia incolora, inodora y muy oxidante. Si se mezcla con sustancias orgánicas puede provocar explosiones. Es ligeramente tóxico.

Se usa como fertilizante ya que contiene nitrógeno, como aditivo para el cemento y es uno de los ingredientes en mayor proporción de ciertos tipos de pólvora.

- Especificaciones químicas:

- ✓ NaNO_3 % 99 min.
- ✓ Mg % 0.03 max.
- ✓ Cl % 0.1 max.
- ✓ SO_4 % 0.15 max.
- ✓ NO_2 % 0.02 max.
- ✓ ClO_4 % 0.1 – 0.3 max.
- ✓ K % 1.35 max.
- ✓ Fe ppm <5 max.
- ✓ Cu ppm <1 max.
- ✓ Cr ppm <1 max.
- ✓ Pb ppm <5 max.
- ✓ Como ppm <0.1 max.
- ✓ Insolubles % 0.1 max.
- ✓ Humedad % 0.1 max.

- Propiedades físicas:
 - ✓ Punto de fusión 308°C.
 - ✓ Ángulo de reposo 44°.
 - ✓ Densidad aparente 1,19ton/m³.

1.1.5 Consideraciones sobre pruebas y puesta en marcha

A continuación se muestran las pruebas necesarias que se deben realizar y la puesta en marcha antes del funcionamiento de la planta.

1.1.5.1 Pruebas FAT

Se establecerán las pruebas de aceptación en fábrica FAT , un programa de puntos de inspección durante la construcción y montaje PPI , con sus correspondientes puntos de parada PdP para el control de calidad durante la ejecución de la obra , cuyo alcance será :

- Cimentación de silos.
- Fabricación de silos. Piezas especiales.
- Montaje de silos, soldadura, revestimiento, suelo refrigerado, aislamiento.
- Racks, cimentación, estructura, apoyos, revestimiento y pintura.
- Tuberías, aislamiento y traceado. Piezas especiales, bridas y soldaduras. Fabricación e instalación.
- Bombas verticales. Fabricación e instalación.
- Intercambiadores de carcasa y tubos. Fabricación e instalación.
- Electricidad. Instrumentación. Control.

1.1.5.2 Pruebas en vacío

Posteriormente al hito de construcción, resueltas las no conformidades y aceptado el conjunto al 100%, se establecerán las pruebas en vacío antes de la carga de sales que incluirán:

- Verificación general óptica del conjunto de la instalación.
- Verificación de características constructivas importantes:
 1. Cimentación de tanques.
 2. Aislamiento del fondo del tanque.
 3. Tuberías de refrigeración del fondo de los tanques.
- Verificación del 3D e isométricas de tuberías y equipos.
- Pruebas de presión y estanqueidad de bombas, tuberías, intercambiadores, piezas especiales y sus uniones.
- Verificación de espesores y calidad de revestimientos y pinturas.
- Simulación de pruebas de temperatura en revestimiento de aislamiento.
- Pruebas eléctricas de potencia, instrumentación y control. Local manual. Local automático. Remoto automático.
- Pruebas de ruido de equipos principales: bombas.

Para estas pruebas se establecen condiciones según se describe en el siguiente apartado (pre commissioning).

1.1.5.3 Precalentamiento

Se dispone de dos tanques de sal, uno frío y otro caliente. El precalentamiento se realizará para ambos. El tiempo máximo de calentamiento para cada tanque será de 220 horas.

La misión principal será el seguimiento de los cambios de temperatura de control en los tanques.

La diferencia de temperatura máxima entre los puntos de temperatura de control contiguo será de 25°C y la de control más alejado será de 45°C.

El equipo de precalentamiento deberá cumplir los siguientes requisitos:

- El combustible usado será gas natural a una presión mínima de 0,25MPa.
- Paso y potencia de calefacción modulada.
- Flujo de aire de modulación: 2.000 – 30.000 m³/h.
- Temperatura de salida del aire caliente: 70°C – 600°C.
- Ubicación exterior, fácil movilidad e instalación en el nivel de las bombas de sal fundida.
- Herramientas comunes y repuestos.
- Sistema de ahorro de energía.
- Válvula de seguridad para evitar daños en el equipo en caso de falta de alimentación.

Se debe limpiar y desarmar todo el precalentamiento, preparación de sal y el equipo de fusión para poder transportarlo.

Hay que tener en cuenta la gestión y eliminación de los contenedores de desagüe y los residuos generales.

1.1.5.4 Puesta en servicio – Preliminar

1.3.5.4.1. Requisitos generales

La puesta en servicio se iniciará desde el momento en el que se adopten las medidas de presión y temperatura de funcionamiento. Se entenderá que la puesta en marcha ha sido satisfactoria cuando la instalación esté funcionando a la capacidad y condiciones de diseño.

Una vez finalizadas las pruebas, los tanques, equipos y tuberías deben ventilarse y drenarse.

Antes de realizar la puesta en marcha, cada equipo debe tener su nombre y número impreso en las especificaciones técnicas.

1.3.5.4.2. Preparación previa a la puesta en marcha

La puesta en marcha se iniciará una vez construida la unidad y antes de su primer uso. Dicha puesta en marcha deberá repetirse si en la planta se origina cualquier reparación, alteración o sustitución de equipos.

Las fases de preparación para la puesta en marcha inicial se realizan en las siguientes etapas:

- Listas de comprobaciones operativas.
- Pruebas hidrostáticas.
- Inspección final de los tanques.
- Enjuague de las líneas.
- Instrumentos y sistema de control.
- Sistema eléctrico.

1.3.5.4.3. Salida de operaciones

Se muestran a continuación los pasos a seguir:

1. Comprobar línea a línea junto a los diagramas de flujo y P&ID todos los elementos.
2. Identificar la ubicación de los elementos.
3. Indique la ubicación de todas las válvulas críticas incluyendo las del respiradero y drenaje.
4. Revise las válvulas de control y las de globo para asegurarse de que están situadas con respecto al flujo a través de sus respectivas líneas.
5. Revisar todas las conexiones de tubería y de instrumentos.
6. Comprobar que se han instalado las siguientes instalaciones para poder llevar a cabo la puesta en marcha:
 - Líneas de derivación de puesta en marcha.
 - Drenajes.
 - Persianas.
 - Revisar válvulas.
 - Etc.
7. Revisar las bombas para el arranque.
8. Comprobar los intercambiadores de calor para la puesta en marcha.
9. Comprobar los calentadores para la puesta en marcha.
10. Comprobar si el sistema de alcantarillado funciona.
11. Comprobar los sistemas de purga.

1.3.5.4.4. Pruebas hidrostáticas

La prueba de presión hidrostática en la planta se realizará para probar los materiales y la integridad de la soldadura después de la terminación de la construcción.

Para el ensayo hidrostático se usa agua fresca que contiene un inhibidor de corrosión. Después del ensayo, el sistema debe secarse con aire caliente. Hay que tener especial cuidado en aquellos puntos donde el agua pueda quedar atrapada como las válvulas o puntos bajos.

Si por alguna razón no se puede realizar una prueba hidrostática se sustituirá por una prueba neumática o parcialmente neumática.

Cuando se pruebe el equipo y tuberías, el contenido de ión cloruro del fluido de ensayo deberá reunir las siguientes condiciones:

- Si la temperatura de metal de la tubería y del equipo nunca supera los 50°C durante la puesta en marcha se usa agua que contenga hasta 30 ppm en masa de cloruros. Podría incrementarse el contenido de iones cloruros hasta 150 ppm (en masa) si el equipo o tubería se lava con agua que contenga menos de 30 ppm (en masa) de iones cloruros.
- Si la temperatura del metal de la tubería y del equipo supera los 50°C durante la puesta en servicio, se usará agua condensada, desmineralizada o aceite con punto de inflamación mínimo de 50°C.

El medio de prueba no debe afectar negativamente al material del equipo o cualquier fluido de proceso para el cual haya sido diseñado. Las referencias deben ser los códigos aplicables en el caso de recipientes a presión para determinar las temperaturas mínimas ambientales y fluidas a las que se pueden realizar las pruebas.

Para ensayos de recipientes, cisternas o tuberías a temperaturas inferiores a 16°C, existe riesgo de fractura frágil en los aceros al carbono y la aleación ferrítica a menos que los materiales tengan propiedades de ductilidad adecuadas.

Para los equipos o tuberías no debe usarse agua para prueba cuando la temperatura ambiente es inferior a 5 °C. Las pruebas hidrostáticas con temperaturas inferiores a 5 °C se realizan con gasóleo, queroseno o anticongelante con una resistencia adecuada. Cuando se usen este tipo de líquidos inflamables las medidas de seguridad deben ser respetadas y tener un permiso de trabajo requerido.

No se usará agua de mar.

Durante la prueba de presión hidrostática con agua, la pérdida del sistema no puede exceder el 2% de la presión de ensayo por hora. Si el sistema falla en la prueba se observará si existen áreas de fuga en válvulas, bridas, etc... Todas las soldaduras y tuberías se inspeccionarán para buscar humedad y manchas.

Si la tubería se ensaya neumáticamente, la presión de prueba será del 110% de la de diseño.

Todas las juntas soldadas, bridas o atornilladas se limpiarán con una solución de jabón durante estas pruebas.

Se abrirán respiraderos u otras conexiones para eliminar el aire de las líneas. Se purgarán a fondo antes de que se aplique la presión de prueba. Los respiraderos deben estar abiertos cuando los sistemas estén en efecto de vacío.

Las válvulas de alivio deben ser cegadas antes de las pruebas hidrostáticas.

Una vez finalizadas las pruebas hidrostáticas todos los espacios temporales y todas las líneas deben ser drenadas. Los equipos que hayan sido retirados deberán ser reinstalados con juntas para no dañarlos en su lugar. Después de haber drenado las líneas con respiraderos abiertos, se retirarán los soportes de tuberías para que el aislamiento y tubería queden terminados.

Las pruebas de campo de los tubos exhaladores de calor, normalmente fabricados en campo, deben ser hidrostáticas. Si es posible las tuberías y los tubos del calentador se deberán probar juntos. Los tubos del calentador tienen una presión de prueba recomendada por el fabricante.

Los tanques construidos de conformidad con la Sección VIII del código ASME no tendrán pruebas individuales de presión en el sitio excepto en los siguientes casos:

- Los tanques cuya condición resultante del transporte, almacenamiento, manipulación u otra causa es sospechada por la empresa.
- Los tanques que hayan tenido alguna modificación del sitio y que, a juicio de la empresa necesita una prueba de presión en el sitio.

A excepción de las válvulas de alivio, todas las válvulas y accesorios deben ser montados en los tanques e incluirlos en las pruebas. Las válvulas de alivio deben ser aisladas. Cuando se complete satisfactoriamente un ensayo de presión, el recipiente se debe drenar completamente, se retirarán las persianas insertadas para fines de prueba.

Al final de la prueba el sistema debe ser drenado. Las bombas deben ser drenadas y rellenadas con aceite para evitar la formación de óxido en los sellos. Si se incluyen columnas de fraccionamiento, el agua debe desplazarse con gas dulce, nitrógeno o con una atmósfera inerte en lugar de aire para evitar la corrosión y pegado de las válvulas en las bandejas de fraccionamiento.

Siempre que los certificados de prueba de los fabricantes estén disponibles, se aplicarán las presiones indicadas. Los ensayos deben realizarse en intercambiadores de calor. En el caso de carcasa y tubo en el lado de los tubos con los casquetes atornillados quitados.

Para intercambiadores de carcasa y tubo no debe ser inferior a la presión máxima de funcionamiento en los tubos.

Antes de la puesta en marcha el equipo debe ser drenado a fondo y si es necesario secado. Al finalizar la prueba, las cubiertas deben ser reemplazadas.

Todos los tanques deberán tener fondos, cascaras y techos de acuerdo con la norma API 650. Los depósitos se probarán llenando los tanques de agua. Se realizarán pruebas de vacío para todos los fondos y techos de los tanques.

La presión de ajuste y reajuste de todas las válvulas de alivio deben ajustarse. Se fijará un sello a cada válvula. En caso de que la válvula escape a una presión, el lado aguas abajo debe ser probado a una presión igual a la presión del sistema de salida.

Los equipos que no tengan presión de prueba estarán aislados de la prueba.

Ciertos tipos de instrumentos y sus tuberías tienen la misma presión que sus tuberías principales o el equipo al que están conectados. Se incluyen los siguientes tipos:

- Instrumentos de nivel tipo desplazador.
- Gafas graduadas.

- Rotámetros.
- Válvulas de control.
- Vasijas de medidor de flujo.

Los demás tipos de instrumentos no deberán ensayarse a la presión de línea. Se debe tener cuidado de que el equipo esté protegido por desmonte y ventilar los instrumentos. Se incluyen:

- Analizadores.
- Diafragma de nivel.
- Diferencias de presiones.
- Interruptores de flujo en línea.
- Indicadores de nivel tipo flotador abierto e interruptores de alarma.
- Medidores de flujo tipo desplazamiento positivo.
- Indicadores de presión registradores y transmisores.
- Interruptores de presión.
- Válvulas de control de equilibrio de presión.
- Medidores de presión.
- Sensores de flujo tipo turbina.

Se tomarán precauciones especiales para asegurar que los instrumentos y las líneas se ventilan y llenan completamente antes de la prueba, y al terminarla se drenan a fondo.

1.3.5.4.5. Inspección final de los tanques

Antes de atornillar las placas de la cubierta y los pozos de inspección, los interiores de los tanques deben ser inspeccionados para limpieza, integridad y la instalación apropiada del equipo interno.

La lista de inspección debe incluir al menos los siguientes puntos:

- Instalación de la bandeja, pruebas satisfactorias (cuando sea necesario).
- Tubería de drenaje interno.
- Soportes de skinpoints.
- Distribuidores internos.
- Ubicación y longitud de thermowell.
- Instrumentos de nivel, ubicación y alcance, flotador interno, desplazamiento externo y tipo de presión diferencial.
- Revestimiento interno de cemento.

1.3.5.4.6. Lavado de líneas

Todos los equipos de manipulación de fluidos, especialmente las tuberías, deben ser limpiados para eliminar los residuos internos que se acumulan durante la construcción.

La limpieza se puede realizar soplando o lavando con aire, vapor, agua o cualquier otro medio adecuado.

Algunos métodos como agua y vapor de alta presión, pueden limpiar satisfactoriamente introduciéndolos por el canal. Otros sistemas deben ser enjuagados a través de mangueras temporales o conexiones de tuberías.

La mejor manera de limpiar un sistema es vaciar el suministro principal de la fuente final y hacer una salida final rompiendo una brida o accesorio, si fuese necesario, que limpie cada lado de la cabecera de la misma manera. Finalmente se enjuaga la rama de las cabeceras.

En algunos casos, si fuera necesario, el tapón de soldadura del extremo de cada cabezal podría cortarse y volverse a soldar al acabar de enjuagar la línea.

1.3.5.4.7. Instrumentos y sistema de control

El objetivo es verificar y garantizar que el sistema cumple las especificaciones de los requisitos de seguridad. Se realizan los ensayos siguientes:

- Prueba de aceptación de fábrica (FAT). Pruebas del operador lógico e interfase con el operador. La prueba se realiza en la fábrica antes del transporte.

Las pruebas realizadas normalmente son:

- ✓ Hardware lógico del sistema, incluyendo módulo E/S, terminales de entrada y salida, cables internos, etc...
- ✓ Redundancia.
- ✓ Operación y software de aplicación.

Una vez que la instalación ha finalizado y antes del SAT, es necesario realizar una comprobación de la instalación. Dicha comprobación verifica si la instalación se ha realizado según la ingeniería de detalle y estará lista para el SAT.

- Prueba de aceptación del sitio (SAT). Consiste en pruebas de todo el sistema (sensores, actuadores, servicios...) en obra según IEC-62381.

Para la puesta en marcha se verifica que los instrumentos, bucles de control e instrumentos de seguridad estén instalados correctamente y que sean adecuados para el servicio.

Todas las placas serán verificadas según las últimas especificaciones (material, módulo, accesorios...). Se realiza una inspección visual para verificar que no hay piezas dañadas o incorrectas.

Se verifican todos los rangos y el cero será ajustado, así como los valores de span y de salida. También se verifica la linealidad del transmisor y del receptor, ajustar todos los instrumentos de seguridad a los puntos de consigna.

La verificación incluirá todos los interruptores, unidades de alarma, válvulas selenoides y líneas de transmisión.

Durante la instalación se realizan las pruebas de preajuste y calibración.

1.3.5.4.8. Inspecciones y ensayos eléctricos.

Se analizarán los siguientes elementos:

- Cajas de conexiones.
- Bandejas de cables.
- Cables y multi-cables.

Los ensayos eléctricos finales deben realizarse para verificar y garantizar que el instrumento y el sistema eléctrico están listo para que la planta realice el arranque.

1.1.5.5 Puesta en servicio.

1.3.5.5.1. Precalentamiento de tanques.

Antes de realizar las operaciones necesarias, todo el equipo debe ser verificado, calibrado y listo para las condiciones de servicio necesarias.

- Tanque de sales fundidas en frío:

Antes de realizar el proceso de fusión de las sales, las paredes y el fondo del tanque se deben precalentar hasta alcanzar una temperatura de unos 320°C. Para poder alcanzar esta temperatura se usará un quemador de gas natural, sistema de precalentamiento, junto con el sistema de almacenamiento, por lo que los gases de combustión que salen del quemador se introducirán en el tanque de sales frías.

La inyección del sistema de gas caliente garantiza la mezcla dentro del tanque y un tiempo de residencia óptimo.

Todas las válvulas instaladas en el lado de descarga de las bombas y N_2 se deben cerrar para evitar la salida de gases.

Para evitar la introducción de gases calientes a excesiva temperatura se tiene un sistema de control de temperatura mediante la regulación del quemador y de la inyección de un caudal determinado de aire de proceso.

El sistema permite un control de la temperatura en el rango de 200 – 400°C, ya que al principio el tanque debe calentarse con un gas de combustión a una temperatura más baja.

El tiempo de calentamiento del tanque, teniendo en cuenta el límite de temperatura y gradientes térmicos dentro del tanque, es aproximadamente 180 horas.

Los gases de combustión serán ventilados a la atmósfera a través de una chimenea instalada en el tanque que será desmontada una vez realizado satisfactoriamente el precalentamiento.

El sistema de control programará los bucles de control de protección del tanque a través de unos transmisores de presión. Un operario será el encargado de vigilar y evitará que exista una sobrepresión en el tanque (2×10^{-3} MPa).

Durante el calentamiento se probará el sistema de ajuste de las válvulas. Si fuese necesario el precalentamiento seguirá durante el proceso de carga de sales.

- Tanque de sales fundidas en caliente:

El tanque de sales calientes debe ser calentado antes de la instalación de la planta.

Como el tanque de sales frías tiene un tiempo de precalentamiento conocido, el precalentamiento del tanque caliente comenzará durante el periodo final del llenado de sales en el tanque frío.

Las válvulas de las sales y del N_2 deben ser instaladas y cerradas para evitar el escape de gases. El operador controlará y evitará la sobrepresión en el tanque.

Durante el calentamiento se probará el punto de ajuste de las válvulas de alivio.

1.3.5.5.2. Primer llenado de sales fundidas.

Una vez precalentado el tanque de sales frías nos encontramos en disposición de poder recibir las sales fundidas.

Se indicará al sistema, mediante un selector, que se encuentra en modo fusión inicial.

Todas las válvulas y bombas estarán en modo manual y no en carga o descarga térmica.

Una vez alcanzadas las condiciones iniciales y el sistema de fusión se encuentre disponible, las sales serán enviadas desde la unidad de fusión al tanque de sales frías. La entrada se realizará a través de la distribución anillo.

Durante el llenado del tanque de sales frías deben ser verificadas las siguientes fases:

- Sub-emergencia de calentadores eléctricos:

El tanque está provisto de 8 calentadores eléctricos. La primera fase de llenada es crítica, para ello es necesario garantizar que las resistencias están completamente sumergidas ya que si no se alcanzará el nivel máximo inmediatamente. Los sensores de temperatura se deben encontrar operativos.

El nivel mínimo para esta fase es 100mm. En un nivel inferior, para evitar la congelación de las sales, se puede usar el quemador de gas para compensar las pérdidas térmicas.

Una vez se ha completado el llenado de sales en el tanque frío, los calentadores se activan.

- Nivel mínimo de puesta en marcha de las bombas.

Para que se pueda proceder al arranque de las bombas se debe alcanzar un nivel mínimo de 1500mm. Una vez alcanzado este nivel, se recirculan las sales por una o dos de las bombas de sales fundidas al tanque.

- Llenado completo.

Una vez que se funde toda alimentación de sales se carga en el tanque de sales frías y el proceso de fusión y

llenado se da por completado.

El proceso de carga de sales fundidas puede estimarse aproximadamente en dos meses.

1.3.5.5.3. Sistema de cobertura.

Para evitar que se produzca la atmósfera explosiva en el caso del HTF, en presencia de oxígeno, en cualquiera de ambos tanques debido a una ruptura de un tubo de los transformadores de calor se cubren con nitrógeno, antes de la alimentación de HTF al sistema, los tanques de frío y caliente, los transformadores de calor y el sistema de tubo.

1. Cubierta del tanque de sales frías.

El taque de sales frías se cargará con sales fundidas para evitar un consumo excesivo de N_2 , por lo que se llevará a cabo una vez que el proceso de fusión se haya completado.

Las válvulas instaladas en la entrada del tanque deben estar cerradas. Se producirá un barrido de N_2 diferente a través de la parte superior del tanque.

Por debajo de las condiciones de sobrepresión, se deberá ventilar a la atmósfera hasta un valor de presión superior a la presión atmosférica para evitar la entrada de aire al depósito (0,071MPa).

Se medirá que no hay presencia de O_2 a través de un respiradero.

2. Intercambiadores de calor.

Los intercambiadores de calor deben ser recubiertos antes de llenar con sales fundidas y el HTF. Al igual que anteriormente, las válvulas de entrada de línea deben estar cerradas. La cobertura irá desde el fondo hasta la parte superior.

La alimentación de N_2 se puede apoyar en la línea de suministro de N_2 sobre el lado superior de los lazos de transformadores de calor o por los rebordes instalados en los lazos de los transformadores de calor.

El aire que se contiene en los intercambiadores de calor se ventilará al tanque de sales calientes. Para ello debe verificarse la ausencia de O_2 en la línea de ventilación y ya podremos confirmar que el proceso se ha completado. La operación anterior recubre los intercambiadores de calor y se presurizan con N_2 para el arranque del sistema.

3. Revestimiento del tanque de sales calientes.

Antes de realizar el revestimiento debemos asegurarnos que el proceso de llenado y precalentado ha sido completado para evitar un consumo excesivo de N_2 .

Las sales fundidas del tanque frío se envían al tanque caliente a través de los intercambiadores de calor y así ya podemos decir que hay HTF en el sistema.

El llenado de este tanque se realizará de igual manera que el tanque de sales frías y de intercambiadores.

El volumen de aire que está ocupado por el volumen de sales se ventilará a la atmósfera.

Es necesario suministrar el N_2 necesario en el tanque de sales frías después de la extracción de las sales, para evitar así una disminución de la presión en el tanque que pueda hacer que la válvula de vacío se abra y entre aire al tanque.

Una vez llenado el tanque de sales calientes, los barridos se realizarán de la misma manera que para el tanque de sales frías.

4. Finalización de la cobertura del sistema.

Una vez que el sistema de almacenamiento de sales se ha cubierto y se verifica que hay ausencia de O_2 en el sistema, se puede proceder a conectar la línea de equilibrado de N_2 entre ambos tanques. De esta manera los tanques están conectados y las presiones equilibradas.

1.3.5.5.4. Primer llenado intercambiadores de calor.

Antes de proceder al llenado de las sales es necesario precalentar las líneas y los intercambiadores de calor.

El precalentamiento debe realizarse con mucho cuidado evitando que se produzcan tensiones debidas a la diferencia de alta temperatura entre la carcasa y el interior. Debe realizarse desde la parte interior, a través de la circulación del HTF a baja temperatura y activando el calor por el lado exterior.

Se recomienda comenzar el precalentamiento a baja temperatura (50 – 100°C).

Una vez que las temperaturas interiores y exteriores sean iguales y estables, se va aumentando la temperatura en saltos de 50°C hasta que logremos en el equipo una temperatura alrededor de 300°C.

Cuando los intercambiadores de calor han sido precalentados, la operación de llenado de sales puede empezar sin riesgo de congelación y estrés térmico. Durante ese llenado se deben controlar la velocidad de las bombas, el consumo de energía y el flujo de descarga y presión para verificar que la bomba siempre trabaje en el punto de operación deseado.

Durante el llenado de las válvulas de control de recirculación, intercambiadores de calor de drenaje, caliente y frío, las válvulas de recirculación y de descarga deben estar cerradas. Al contrario, las válvulas de ventilación deben estar abiertas.

Las bombas se ponen en marcha con el caudal mínimo y cuando los sensores de temperatura verifican la temperatura, se cierran para evitar que las sales entren en el tanque de sales calientes.

1.3.5.5.5. Llenado de sales fundidas en tanque caliente.

Una vez precalentado el tanque caliente y los intercambiadores de calor estén llenos, el tanque de sales calientes se llena bombeando las sales fundidas desde el tanque de sales frías.

Las pérdidas térmicas se pueden compensar con resistencias eléctricas situadas en la parte inferior.

1.3.5.5.6. Prueba de sistema y equipo.

Una vez que se ha terminado la puesta en marcha, deben realizarse las pruebas necesarias. Un parámetro muy importante a lo largo del proceso es el rendimiento térmico.

Las principales pruebas de rendimiento están relacionadas con:

- Prueba de rendimiento de los intercambiadores de calor.
- Prueba de rendimiento de las bombas de sales fundidas.
- Pruebas de rendimiento térmico y tensión térmica de los tanques de almacenamiento durante el calentamiento inicial y fase de fusión.
- Pruebas de pérdida de calor y eficiencia.

Durante el periodo de evaluación es imposible que se alcancen las condiciones de funcionamiento exactas, por lo tanto, se usan curvas de corrección.

1.4 Cronograma de ingeniería

2 PLIEGO DE CONDICIONES

Tanque de almacenamiento térmico

Se estiman 9 horas de operación en la planta lo que supone un total de 1.500 MWt. (9h*50 MW/0,3)

Al mismo tiempo se tienen

$$1026 \frac{kg}{s} * 1460,2 \frac{kJ}{kg} = 1498,17 MW$$

Como hemos dicho anteriormente nuestra planta tiene estimada una producción de 9 horas diarias lo que supone que tendremos 166,46 MWth.

Para obtener el volumen de los tanques de almacenamiento suponemos una densidad de las sales de 1848,32 kg/m³ con un caudal de 1026 kg/s y una operación de 9 horas al día lo que esto se traduce en:

$$\frac{9 h * 1026 \frac{kg}{s} * 3600 \frac{s}{h}}{1848,32 \frac{kg}{m^3}} = 17.985 m^3$$

Para ese volumen calculado debemos obtener un diámetro y una altura para nuestro tanque de almacenamiento por lo tanto suponemos un diámetro de 42 metros y una altura de 12 metros.

Se deben cumplir todas las leyes, normas y reglamentos oficiales obligatorios (Técnico, Salud y seguridad, medio ambiente, etc.), tanto a nivel europeo como nacional, regional o local, así como aquellos que estén expresamente indicados siempre en su versión más reciente.

A continuación se exponen los códigos aplicados:

- API 650
- AISC - Instituto Americano de la Construcción en Acero
- AISI - Instituto Americano del Hierro y el Acero
- ANSI - Instituto Estadounidense de Estándares Nacionales
- ASME / ANSI B.16.5: bridas de tubería de acero y accesorios bridados
- ASME / ANSI B.16.11: Soldadura de zócalos de accesorios de acero forjado y roscados
- ASME / ANSI B.16.25: Termina la soldadura a tope
- ASME / ANSI B.31.3: tuberías de proceso
- ASME / ANSI B31.1: diseño y fabricación de tuberías de potencia

- ASME - Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos

Código de caldera y recipiente a presión:

- Sección II: Especificaciones del material
- Sección V: examen no destructivo
- Sección VIII Div 1 y 2: Reglas para la construcción de recipientes a presión y reglas alternativas para la construcción de recipientes a presión
- Sección IX: Norma de calificación para procedimientos de soldadura y soldadura fuerte, soldadores, braseros y operadores de soldadura fuerte.
- ASME A6M: especificación estándar para requisitos generales para laminado acero estructural, barras, formas y tablestacas
- ASME A435: especificación estándar para el examen ultrasónico de haz recto
- de placas de acero
- ASNT - Sociedad Americana para Pruebas No Destructivas
- ASTM - Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
- AWS - Sociedad Americana de Soldadura
- EN - Normas europeas
- EN 10204.3.1: revestimientos protectores internos / externos para la especificación de tubos de acero para recubrimientos galvanizados por inmersión. Certificado de inspección de suministro.
- EN 10025: normas de acero y hierro fundido (grados / números de acero).
- ISO - Organización Internacional de Normalización
- NFPA - Agencia Nacional de Protección contra Incendios
- SSPC - Steel Structures Painting Council
- UNE Una Norma Española
- 36-080 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general.

Se usa una sal fundida binaria de una mezcla de nitrato de sodio y nitrato potásico. La temperatura de dicha mezcla se encuentra en el intervalo 260°C – 621°C.

Las condiciones de diseño serán:

- Presión de diseño $-4 \cdot 10^{-4} / 20 \cdot 10^{-4}$ MPa.
- Temperatura de diseño de ambos tanques 400°C.

La siguiente tabla muestra el ciclo térmico para el tanque frío y caliente.

Ciclo Termal Tanque Caliente			
Tipo ciclo	Número de años	Temperatura del metal	
	25	Comienzo	Final
Operación diaria			
Puesta en marcha	10.000	379	286
Apagado	10.000	386	379
Interrupción equipo			
CASE I			
Puesta en marcha	2.700	351	386
Apagado	2.700	386	351
Mantenimiento anual			
Puesta en marcha	25	265	386
Apagado	25	386	265

Tabla 3. Ciclo térmico tanque caliente.

Ciclo Termal Tanque Frío			
Tipo ciclo	Número de años	Temperatura del metal	
	25	Comienzo	Final
Operación diaria			
Puesta en marcha	10.000	284	286
Apagado	10.000	286	284
Interrupción equipo			
CASE I			
Puesta en marcha	2.700	276	286
Apagado	2.700	286	276
Mantenimiento anual			
Puesta en marcha	25	265	286
Apagado	25	286	265

Tabla 4. Ciclo térmico tanque frío.

El techo será de tipo autoportante con una estructura de soporte interna.

Los tanques se diseñarán con un anillo de rociado de recirculación situado en la parte inferior y un anillo de distribución mayor para distribuir el fluido dentro del depósito.

Los tanques estarán inertizados. Deben estar diseñados para una vida mínima de 25 años.

El diseño de los tanques deberá resistir la presión interna o externa, las cargas mecánicas, contenidos, terremotos, viento y otros factores.

Se realizará un análisis de fatiga sobre cargas térmicas, presión, viento, nieve, carga y descarga.

El espesor mínimo requerido de la placa y otros elementos estructurales será aquel necesario para satisfacer las condiciones de diseño.

Hoja de datos de tanque de sal caliente		
Descripción	Unidades	Requerida
Condiciones lugar		
Temperatura (max. / min.)	°C	34,7 / 27,9
Temperatura de diseño	°C	4
Presión	Mpa a	0,071
Humedad relativa	%	38
Altura	M	2981,5
Max. Velocidad viento	m/s	26,9
General		
Servicio		
Fabricante		
KKS / Tag		
no. Req'd		1
Localización	I/E	Exterior
Condiciones de operación		
Fluido		60% NaNO ₃ , 40% KNO ₃
Presión tanque de operación	Mpa g	1,8·10 ⁻³ /-0,3·10 ⁻³
Presión tanque de diseño	Mpa g	2·10 ⁻³ /-0,4·10 ⁻³
Temperatura operación	°C	386
Densidad(temperatura operación)	kg/m ³	1844,5
Viscosidad(temperatura operación)	cP	1,9
Temperatura de diseño	°C	400
Densidad(temperatura diseño)	kg/m ³	1835,6
Viscosidad(temperatura diseño)	cP	1,78

Construcción		
Layout		Vertical
Altura tanque	m	14
Diámetro tanque	m	42
Volumen util almacenamiento	m ³	17598
Espesor placa tanque	mm	
Tolerancia corrosión	mm	
Código		API 650
Tipo de cabeza		
Materiales de construcción		
Carcasa		SA-516-Gr70
Cabeza		SA-516-Gr70
Interior		A 106-GrC
Boquilla		A-105
Material aislamiento		Lana de roca
Espesor aislamiento	mm	300
Peso		
Peso(vacio/operando)	kg	
Boquilla		
Descripción		DN/Tipo/Ratio
Entrada sal C1		600mm/RF/300#
Bomba sal fundida C2,C3,C4		350mm/RF/300#
Repuesto C5		Xmm/RF/300#
Entrada nitrógeno C6		50mm/RF/150#
Alivio de presión y válvulas de vacio		Xmm/RF/150#
Desagües y abertura de sales fundidas		
Indicador temperatura C9A,C9B,C9C,C9D,C9E,C9F		
Indicador presión C10A,C10B,C10C		150mm/RF/150#
Transmisor de nivel C11A,C11B,C11C		100mm/RF/150#
Calentadores eléctricos C12-C19		Xmm/RTJ/300#
Agujero de hombre C20		API 650
Precalentador C21		Xmm/RTJ/300#
Apertura techo C22		900x1800mm
Línea de equilibrio C23		Xmm/RF/150#
Repuestos C24,C25,C26,C27		Xmm/RF/300#

Tabla 5. Hoja de datos tanque sales calientes.

Hoja de datos de tanque de sal fría		
Descripción	Unidades	Requerida
Condiciones lugar		
Temperatura (max. / min.)	°C	34,7 / 27,9
Temperatura de diseño	°C	4
Presión	Mpa a	0,071
Humedad relativa	%	38
Altura	M	2981,5
Max. Velocidad viento	m/s	26,9
General		
Servicio		
Fabricante		
KKS / Tag		
no. Req'd		1
Localización	I/E	Exterior
Condiciones de operación		
Fluido		60% NaNO ₃ , 40% KNO ₃
Presión tanque de operación	Mpa g	1,8·10 ⁻³ /-0,3·10 ⁻³
Presión tanque de diseño	Mpa g	2·10 ⁻³ /-0,4·10 ⁻³
Temperatura operación	°C	286
Densidad(temperatura operación)	kg/m ³	1908,1
Viscosidad(temperatura operación)	cP	3,6
Temperatura de diseño	°C	400
Densidad(temperatura diseño)	kg/m ³	1835,6
Viscosidad(temperatura diseño)	cP	1,78
Construcción		
Layout		Vertical
Altura tanque	m	14
Diámetro tanque	m	42
Volumen util almacenamiento	m ³	17035
Espesor placa tanque	mm	
Tolerancia corrosión	mm	
Código		API 650
Tipo de cabeza		

Materiales de construcción		
Carcasa		SA-516-Gr70
Cabeza		SA-516-Gr70
Interior		A 106-GrC
Boquilla		A-105
Material aislamiento		Lana de roca
Espesor aislamiento	mm	300
Peso		
Peso(vacio/operando)	kg	
Boquilla		
Descripción		DN/Tipo/Ratio
Entrada sal C1		600mm/RF/300#
Bomba sal fundida C2,C3,C4		350mm/RF/300#
Repuesto C5		Xmm/RF/300#
Entrada nitrógeno C6		50mm/RF/150#
Alivio de presión y válvulas de vacio		Xmm/RF/150#
Desagües y abertura de sales fundidas		
Indicador temperatura C9A,C9B,C9C,C9D,C9E,C9F		
Indicador presión C10A,C10B,C10C		150mm/RF/150#
Transmisor de nivel C11A,C11B,C11C		100mm/RF/150#
Calentadores eléctricos C12-C19		Xmm/RTJ/300#
Agujero de hombre C20		API 650
Precalentador C21		Xmm/RTJ/300#
Apertura techo C22		900x1800mm
Línea de equilibrio C23		Xmm/RF/150#
Repuestos C24,C25,C26,C27		Xmm/RF/300#

Tabla 6. Hoja de datos tanque sales fría.

Bombas almacenamiento térmico

El equipo será diseñado de acuerdo con los siguientes valores:

Sistema	Voltaje	Fases	Frecuencia
Sistema transmisión	110 kV	3P/TN	50 Hz
Sistema auxiliares	35 kV	3P/TN	50 Hz
Energía general	10,5 kV	3P/IT	50 Hz
Alto voltaje	10.5 kV	3P/IT	50 Hz
Bajo voltaje	400 V	3P/TN	50 Hz
Bajo voltaje	230 V	1P/TN-C-S	50 Hz
Poder suministro ininterrumpico	400 V	·P/TN	50 Hz
Poder suministro ininterrumpico	230 V	1P/TN-S	50 Hz
DC Power	220 Vdc	-	-
<u>Control Voltaje</u>			
Interruptor HV	220 Vdc	-	-
LV distribucion	220 Vdc	-	-
Centro control motor	230 V	P + N	50 Hz
Otros paneles auxiliares	230 V	P +N	50 Hz

Tabla 7. Bombas almacenamiento.

Los códigos usados son:

- ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)
Código de caldera y recipiente a presión
- Sección I: calderas de potencia
- Sección II Especificaciones del material
- Sección VIII Recipientes a presión sin combustión
- Calificaciones de soldadura de la Sección IX
- Tubería de alimentación B31.1
- B31.3 Tubería de proceso
- ANSI (Instituto Nacional de Estándares Americanos)
- B.1.1 Hilos de rosca unificados

- B.16.1 Bridas de tubería de hierro fundido y accesorios bridados
- B.16.3 Accesorios de hierro maleable 150 LB y 300 LB
- B.16.5 Bridas de tuberías de acero y accesorios bridados
- B.16.9 Accesorios de soldadura de acero forjado fabricados en fábrica
- B.16.10 Dimensiones cara a cara y de extremo a extremo de las válvulas
- B.16.11 Accesorios de acero forjado Socket Welding and Threaded
- B.16.20 Juntas metálicas para bridas de tubería: junta anular, enrollada en espiral y con camisa
- B.16.21 Juntas no metálicas para bridas de tuberías
- Tubo de aleación de cobre fundido B16.24, bridas y fottings bridados
- B.16.25 Extremos de soldadura a tope
- B.16.28 Codos de radios cortos de soldadura a tope de acero forjado y devoluciones
- B.16.34 Válvulas con bridas, roscados y extremos de soldadura
- B.16.36 Bridas de orificio
- B.16.47 Bridas de acero de gran diámetro
- B.18.2.1 Pernos y tornillos cuadrados y hexagonales
- B.18.2.2 Tuercas hexagonales y cuadradas
- B1.20.1 Hilos de tubería, propósito general
- B.36.10 Tubería de acero forjado y hierro forjado
- B.36.19 Tubería de acero inoxidable
- B46.1 texturas superficiales
- ASTM (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales)
- Especificaciones del material.
- AWS (Sociedad Americana de Soldadura)
- MSS (Sociedad de Estandarización de Fabricantes para la Industria de Válvulas y Accesorios)
- SP-6 Acabado estándar para caras de contacto de bridas de tubería y bridas de extremo de conexión de válvulas y accesorios
- Sistema de marcado estándar SP-25 para válvulas, bridas de accesorios y uniones.
- Accesorios de soldadura de acero inoxidable SP-43.
- SP-45 By-pass y estándar de conexión de desagüe.
- Accesorios de soldadura a tope de acero SP-48 (26 pulgadas y más grandes).
- SP-58 Suspensiones de tuberías y materiales y diseño de soportes.
- Válvulas de mariposa SP-67
- Soportes y soportes para tuberías SP-69. Selección y aplicación
- Válvulas de compuerta de hierro fundido SP-70, extremos bridados y roscados
- SP-71 Válvulas de retención de oscilación de hierro gris, con bridas y roscadas
- Válvulas de bola SP-72 con extremos bridados o de soldadura a tope para servicio general
- SP-80 Puerta de bronce, globo, ángulo y válvulas de retención

- SP-85 Válvulas de globo y ángulo de hierro fundido, extremos bridados y roscados
- Válvulas de diafragma SP-88
- SP-110 Válvulas de bola con rosca, soldadura de socket, junta de soldadura, ranuras y extremos acampanados
- API (Instituto Americano del Petróleo)
- 6FA Especificación para válvulas de prueba de fuego
- 6D Especificación para válvulas de tubería
- Válvula de alivio de presión de acero con brida 526
- 527 Asiento de las válvulas de alivio de presión
- 598 Inspección y prueba de válvulas
- 600 Válvulas de compuerta de acero con bonete atornillado para las industrias del petróleo y el gas natural
- 601 Juntas de espiral para heridas.
- Válvulas de compuerta de acero al carbono 602 de diseño compacto.
- Válvulas de cuerpo extendido 606 macho
- 609 válvulas de mariposa Lug y Wafer
- Bombas centrífugas 610 para petróleo, productos químicos pesados y la industria del gas.
- 611 turbinas de vapor de propósito general para la industria del petróleo, química y gas
- 612 Turbinas de vapor de propósito especial para la industria petrolera, química y del gas
- 613 reductores de velocidad para el servicio de refinería.
- 614 Lubricación, ejes y sello en el sistema de control de aceite.

Las bombas están equipadas con una placa característica de acero inoxidable o aleación níquel-core. Debe estar unida al motor con remaches del mismo material y debe contener la siguiente información.

- Nombre del Fabricante
- Número de serie
- Energía eléctrica en HP y kW
- Voltaje (V)
- Número de fases
- Factor de potencia
- Eficiencia
- Frecuencia Hz o ciclo / seg.
- Intensidad
- RPM
- Factor de servicio
- Tipo de recinto
- Año de fabricación
- Peso del motor (kg)

Las bombas están equipadas con una placa de acero inoxidable fácilmente legible, que contiene al menos la siguiente información:

- Código de equipo
- Fabricante
- Tipo
- Número de serie
- Flujo de salida (kg / s)
- Altura (m)
- Densidad de fluido bombeado (kg / m³)
- Velocidad (rpm)
- Peso (kg)
- Año de fabricación
- Presión máxima de funcionamiento (m)
- Temperatura de diseño (° C o K)
- viscosidad del fluido bombeado (cP)
- NPSH requerido (m)
- Estándar aplicado
- Fecha de prueba hidráulica
- Materiales usados
- Toda la fecha requerida por la legislación vigente

Los límites de batería se enumeran a continuación:

- Bridas para todas las conexiones
- Terminales eléctricos (tres fases)
- Bridas de entrada y salida para refrigeración por agua (si es necesario)
- Bridas de entrada y salida para nitrógeno (si es necesario)
- Bridas de puesta a tierra en la base del equipo

Las bombas deben suministrarse de acuerdo con el alcance especificado en la norma técnica de especificación y cumplir con la normativa vigente.

El tipo de bomba usado será centrífugo vertical. Aquellas bombas que funcionen en paralelo tendrán las mismas curvas características.

La bomba se seleccionará de modo que el punto de funcionamiento normal esté lo más cerca posible del punto de rendimiento óptimo. Ningún punto de operación debe estar por debajo del 70% o superar el 120% del mejor punto de eficiencia (BEP) y no menor que el flujo estable mínimo.

La relación entre el NPSH requerido y el disponible no debe ser mayor a 0.66, en operación normal. De lo contrario, deberá indicarse.

Este valor puede excederse en caso de operación no normal, mientras se mantiene un margen de seguridad aceptable.

La presión de diseño del cuerpo de las bombas será, como mínimo, igual a la máxima presión de descarga

cuando la válvula está cerrada y cuando la presión de succión y la velocidad de la bomba es la máxima posible.

El cuerpo estará diseñado para resistir, continuamente, la presión de descarga máxima eso puede ocurrir bajo todas las condiciones de operación. También estará diseñado para adaptarse a rápidos cambios en la temperatura y para resistir los efectos de la fatiga mecánica y térmica debido a los ciclos de funcionamiento esperados a lo largo de la vida útil esperada del equipo. Se considerará un choque térmico rápido cuando se ensamble la bomba o desmontado durante las actividades de operación y mantenimiento.

La bomba estará diseñada para resistir una velocidad inversa igual o superior al 125% de la velocidad de funcionamiento normal.

Las bombas se diseñarán, a menos que se especifique lo contrario, para el funcionamiento al aire libre.

El nivel de vibración será, como mínimo, en la zona "aceptable" de ISO 10816-7 especificación o estándar equivalente. También podrán soportar cambios bruscos en temperatura.

Todos los elementos de la bomba serán de un tamaño y resistencia adecuada para resistir las fuerzas desde la puesta en marcha y todas las condiciones de funcionamiento a las que están sujetas las bombas.

Con referencia a los esfuerzos, los jets se diseñarán de acuerdo con API 610.

Los ejes estarán equipados con mangas en las áreas de desgaste. Las mangas se adjuntarán al eje de manera estanca para evitar fugas debajo de ellos y su diseño será tal que permanecen estrechamente unidos a lo mismo.

En los mismos términos, los conductores y / o cuerpos deben estar equipados con anillos de desgaste. Los anillos de desgaste deben estar hechos de materiales adecuados, no afectados por el líquido bombeado y arreglado para ser fácilmente intercambiable.

Todas las partes internas y superficies sujetas a desgaste serán de fácil acceso y reemplazables sin que las tuberías de succión y descarga se vean afectadas durante el mantenimiento.

Todos los componentes giratorios de la bomba se equilibrarán de acuerdo con Hydraulic Estándares del Instituto (HIS) en conformidad con los límites establecidos en ISO 1940 (indicando la clase asignado a la bomba: Clase I, II, III o IV), asegurando el correcto funcionamiento de la bomba en cualquier operación.

La velocidad de succión específica será lo más baja posible.

El impulsor se construirá de una sola pieza.

El diámetro del impulsor elegido estará lo suficientemente lejos del máximo y mínimo para el modelo de bomba impulsor seleccionado.

Todos los impulsores seleccionados pueden ser reemplazados por otros de un diámetro externo a un 5% más. Como la bomba opera con inversor, se debe verificar que haya un margen de 5% de altura para aumentar entre la curva de operación máxima y la curva de velocidad máxima para el impulsor seleccionado.

Todos los impulsores se equilibran individualmente de forma estática y dinámica antes del montaje en el eje. Después del ensamblaje, todo el sistema se equilibrará estática y dinámicamente de nuevo. Cualquier cambio en un impulsor después de equilibrar requerirá un reequilibrio. El equilibrio de los impulsores se llevará a cabo de acuerdo con ISO1940 grado G2.5.

La vida útil continua de los rodamientos en las condiciones de diseño exigidas para la bomba no deberá en ningún caso ser menos de 25,000 horas de servicio.

Los cojinetes radiales y de empuje (axiales) que se instalarán serán adecuados para mantener cargas mecánicas e hidráulicas en cualquier punto de la curva de operación.

Los soportes de los rodamientos estarán sellados adecuadamente para evitar la entrada de partículas al interior.

Los cojinetes serán fácilmente accesibles para mantenimiento y reemplazo.

La placa base se diseñará para minimizar posibles desalineaciones y vibraciones causadas por tensión de la tubería o choques hidráulicos.

La placa base tendrá suficientes placas de anclaje para transmitir a la losa de hormigón las cargas causadas por la operación de la unidad de bombeo y las aceleraciones sísmicas en el sitio.

Todas las partes de la bomba serán resistentes a la corrosión.

Los materiales serán seleccionados de acuerdo con el estándar ASTM u otro internacional equivalente reconocido. En todos los casos, el material cumplirá con UNE 9-310-92.

No está permitido reparar defectos en hierro fundido o ejes forjados.

Todos los equipos tendrán un acabado limpio y estarán libres de rebabas y protuberancias. Las piezas de fundición estarán libre de poros, discontinuidades superficiales y cavidades.

Descripción	Unidades	Requerida
Condiciones lugar		
Temperatura (max./min.)	°C	34,7 / 27,9
Temperatura de diseño	°C	4
Presión	Mpa a	0,071
Humedad relativa	%	38
	M	2981,5
General		
Servicio		Sales fundidas
Fabricante		
KKS / Tag		WSH10BB001/WSH10A P002/WSH10AP003
no. Req'd		3
Localización	I/E	Exterior
Condiciones de operación		
Especificaciones aplicables		API 610
Líquido Bombeado		60% NaNO ₃ , 40% KNO ₃
NPSH disponible	mcl	3,97
Modo de operación	discontinuo/continuo	discontinuo
Temperatura de diseño	°C	400
Densidad(temperatura diseño)	kg/m ³	1835,6
Viscosidad(temperatura diseño)	cP	1,776
Temperatura de operación	°C	386
Densidad	kg/m ³	1844,5
Viscosidad	cP	1,902
Min.temperatura operación	°C	265

Condiciones de carga Nominal		
Capacidad (100% de flujo de masa nominal)	Kg/s	234,4
Capacidad (100% caudal volum)	M3/s	0,13
TDH (caso de carga al 100%)	Mcl	44,5
Condiciones de carga de diseño		
Capacidad (120% flujo masa de diseño)	Kg/s	281,3
Capacidad (120% volum diseño carga)	M3/s	0,15
TDH (120% caso de carga)	Mcl	46,3
Presión mínima de succión	Mpa a	Por proveedor
Máxima presión de descarga	Mpa	Por proveedor
Máxima presión diferencial	%	Por proveedor
Eficiencia	HP	Por proveedor
BHP	mcl	Por proveedor
NPSH Requerido		
Condiciones de run out	m3/h	> 120% caudal nominal
Capacidad	mcl	Por proveedor
TDH	Mpa	Por proveedor
Presión de succión	kW	Por proveedor
Potencia nominal de ruptura	mcl	Por proveedor
NPSH Requerido		
Min. Condición de flujo	m3/h	Capacidad nominal del 25%
MIN. Flujo requerido	mcl	Por proveedor
TDH	mcl	Por proveedor
Presión de cierre	MIN.	Por proveedor
Máx. Tiempo de funcionamiento @ flujo cero		
Características técnicas		API Vertical Suspendido
Tipo de bomba		

Modelo		Por proveedor
No. Etapas		Por proveedor
Acoplamiento		Por proveedor
Cojinetes (radiales)		Por proveedor
Cojinetes (empuje)		
Lubricación		Por proveedor
Sellado		Aceite Lubricante
Cojinete Radial		Aceite Lubricante
Cojinete de empuje	m3/h /°C	Por proveedor
Agua de refrigeración		
Materiales		
Placa base		Por proveedor
Impulsor		Por proveedor
Shatf		
Accesorios		
Motor		
Fabricante	kW	Por proveedor
Potencia eléctrica	%	> 10%
Margen > 10%	rpm	Por proveedor
Velocidad	kV / - / Hz	10,5kV ± 10% / 3F / 50
Voltaje / Fases / Frecuencia		Continuo
Servicio	Años	25
Ciclo de vida		S1
Clase		> 1,5
Factor de servicio (SF)		Por proveedor
Tipo de rotor		Directo
Inicio		230 V ac
Tensión de los calentadores		IP65
Protección de la carcasa		
Variador de frecuencia	kW	xx

Tabla 8. Especificaciones bomba.

Intercambiadores de calor

Se dispondrán 6 intercambiadores de calor de HTF dispuestos en serie. Tendrán un juego de boquillas para conectar tubos e instrumentos para cada uno de los intercambiadores. Las terminaciones de los tubos deben estar cubiertas con tapas de plástico.

Deben tener la placa de identificación y otros accesorios necesarios para el correcto funcionamiento del sistema así como las piezas de repuesto y fungibles necesarios para la puesta en servicio.

El equipo debe estar preparado para evitar la corrosión para lo cual se necesitan accesorios para el aislamiento.

Se debe proporcionar conexiones adecuadas para el grifo de la tubería para todas las boquillas, siendo como acoplamiento estándar mínimo 6000 psi o equivalente.

Se proveerá de las ventilaciones necesarias así como de desagües.

Para la parte eléctrica y de instrumentación y control se necesitará una protección catódica cuando se requiera. También será opcional el uso de un termopar K para los puntos de temperatura. Se usarán transmisores de temperatura de 4-20 mA con protocolo de transmisión HART.

Para la ingeniería nos centraremos en:

- Ingeniería de detalle y cálculos de instalación.
- Diseño térmico y mecánico.
- Cálculo de las cargas máximas permisibles.
- Determinación de las cargas transmitidas.
- Revisión del diseño de tuberías de interconexión.

Se deberán cumplir todas las leyes, normas y reglamentos oficiales siempre en la versión más vigente.

- ASME B16.25 extremos de soldadura a tope.
- ASME B16.20 Juntas metálicas para bridas de tubería.
- B31.1 Tubería de alimentación.
- B31.3 Tubería de proceso.
- ANSI / ASME B16.5 Bridas de tuberías de acero y accesorios bridados.
- ASME B16.10 Dimensiones cara a cara y de extremo a extremo de las válvulas.
- ASME B16.34 Válvulas con bridas, rosca y extremos de soldadura.
- B46.1 Textura de la superficie.
- Inspección y prueba de la válvula API 598.

Código de caldera y recipiente a presión

- Sección I: calderas de potencia.
- Sección II Especificaciones del material.
- Sección V Examen no destructivo.
- Sección VIII Recipientes a presión sin combustión.

El intercambiador debe estar diseñado para la instalación en el exterior, en una posición horizontal capaz de soportar las cargas inducidas por la presión interna, el propio peso, el viento, carga sísmica y las demás condiciones de operación.

Las tuberías serán de acero al carbono.

Durante el funcionamiento de la planta el nivel de presión acústica emitido por el equipo no debe superar los 85 dB, medidos a una altura de 1,5 metros sobre el nivel del suelo y a una distancia de 1 metro sobre la superficie del equipo o sistema de insonorización. Los niveles de presión deben ajustarse de acuerdo a las normas vigentes.

El intercambiador está equipado con una placa de acero inoxidable fácilmente legible que contiene:

- Código de equipo.
- Fabricante.
- Tipo y número de serie.
- Flujo másico del lado frío / caliente (kg/s).
- Intercambio de calor (KW).
- Peso (kg) y año de fabricación.
- Presión (Mpa) y temperatura de diseño (°C o K).
- Estándar aplicado.
- Fecha de prueba hidráulica.
- Materiales usados.

Debido a que la diferencia de temperatura de entrada de los fluidos es en torno a 100°C se ha decidido emplear tubos en U para hacer frente a las fuertes tensiones térmicas de expansión ya que pueden contraerse y dilatarse con libertad. Para conseguir mayor efectividad en el intercambio de calor los flujos se dispondrán en contracorriente, lo cual también ayuda a reducir las tensiones mecánicas.

Es recomendable que el fluido asignado a circular por el interior de los tubos sea:

- El más corrosivo y el de más presión: es más económico reforzar los tubos que la carcasa.
- El más sucio: la limpieza de los tubos es más fácil que la de la carcasa.
- El menos viscoso: para reducir al mínimo las pérdidas de carga en los tubos, que es por lo general donde se producirá la mayor pérdida de carga.

En nuestro caso las sales fundidas son muchos más corrosivas que el HTF pero sabemos que el HTF es menos viscoso y el más sucio. También cabe destacar que el HTF estará a mayor presión, por tanto el HTF circulará por los tubos del intercambiador y las sales por la carcasa.

Disponer los flujos en contracorriente y emplear tubos en U implica que el intercambiador deberá tener dos pasos por carcasa y dos pasos por tubos.

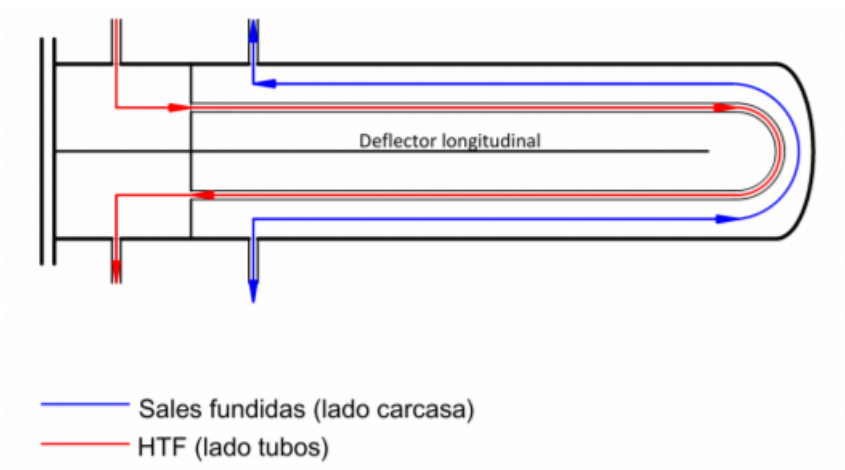


Ilustración 11. Intercambiador carcasa y tubo.

A continuación se muestra la hoja de datos de los intercambiadores de calor.

Descripción	Ud	Requerido	
Condiciones del sitio			
Temperatura(max/min)	°C	34,7/-27,9	
Temperatura diseño	°C	4	
Presión	MPa	0,071	
Humedad relativa	%	38	
Altura	m	2981,5	
Max.velocidad viento	m/s	26,9	
General			
Servicio		HTF	
KKS/Tag		-	
Nº intercambiadores		6 en serie	
Interior/exterior		Exterior	
Posición		Horizontal	
Condiciones operación			
		Carcasa	Tubo
Tipo de fluido		60%NaNO3 40%	HTF

		KNO ₃			
100% carga		In	Out	In	Out
Flujo de masa	kg/s	1026,13		629,42	
Temperatura	°C	286	386	392	292
Presión entrada	MPa	0,85		1,8	
Viscosidad	mPa.s	3,6	1,9	0,13	0,22
Densidad	Kg/m ³	1908,1	1844,5	694,68	817,98
Entalpia	kJ/kg	419,73	569,81	805,38	559,49
Calor intercambiado	MWth	154			
100% descarga		In	Out	In	Out
Flujo de masa	kg/s	703,13		433,3	
Temperatura	°C	386	286	280	380
Presión entrada	MPa	0,46		1,9	
Viscosidad	mPa.s	1,9	3,6	0,24	0,14
Densidad	Kg/m ³	1844,5	1908,1	830,66	711,8
Entalpia	kJ/kg	569,81	419,73	531,96	774,3
Calor intercambiado	MWth	105			
Híbrido 1		In	Out	In	Out
Flujo de masa	kg/s	592,64		365,2	
Temperatura	°C	386	286	280	380
Presión entrada	MPa	0,35		1,8	
Viscosidad	mPa.s	1,9	3,6	0,24	0,14
Densidad	Kg/m ³	1844,5	1908,1	830,66	711,8
Entalpia	kJ/kg	569,81	419,73	531,96	774,3
Calor intercambiado	MWth	88,5			
Híbrido 2		In	Out	In	Out
Flujo de masa	kg/s	482,14		297,12	
Temperatura	°C	386	286	280	380

Presión entrada	MPa	0,26		1,7	
Viscosidad	mPa.s	1,9	3,6	0,24	0,14
Densidad	Kg/m ³	1844,5	1908,1	830,66	711,8
Entalpia	kJ/kg	569,81	419,73	531,96	774,3
Calor intercambiado	MWth	72			

Tabla 9. Especificaciones intercambiador de calor.

3 . PRESUPUESTO

A continuación se muestra el presupuesto por capítulos para el desarrollo de la planta termosolar.

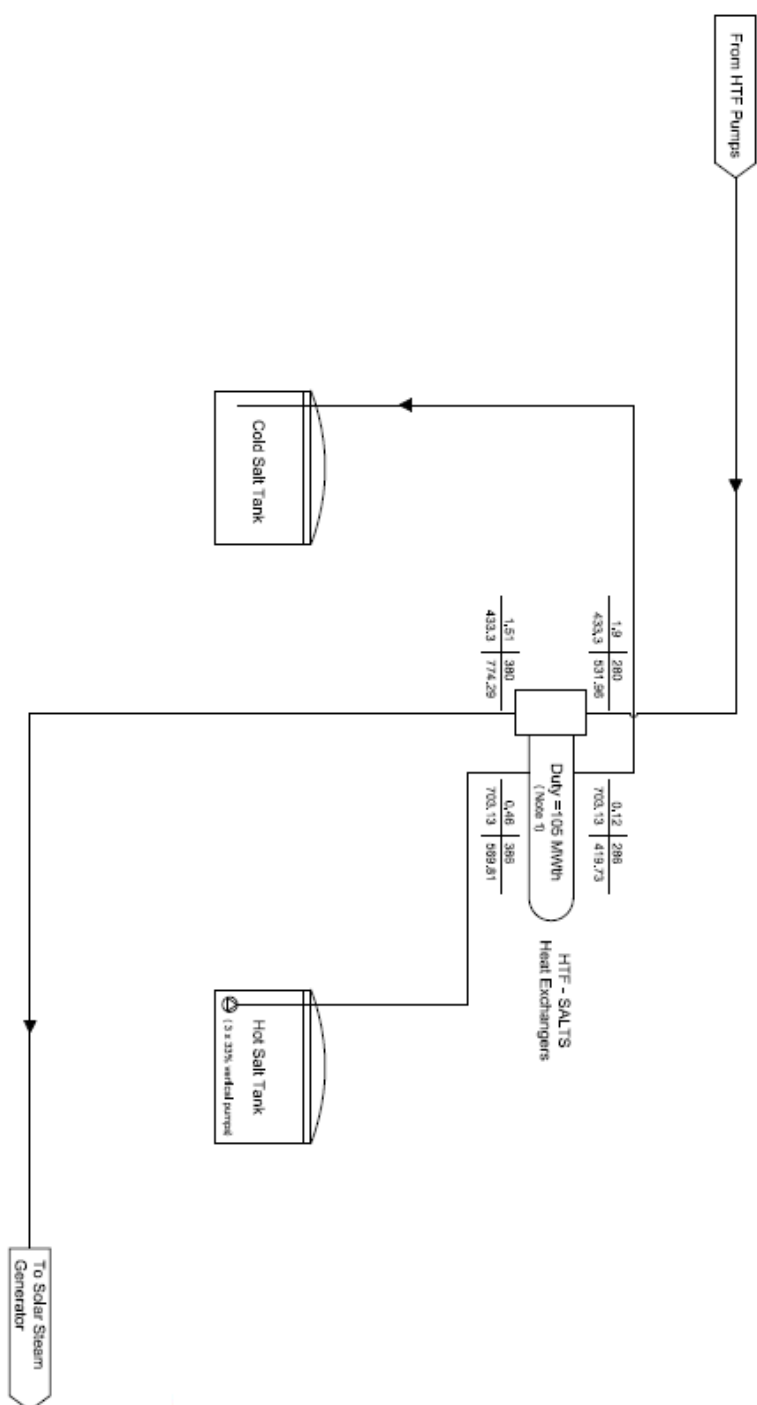
	Importe €
PRESUPUESTO	
OBRA CIVIL	
Movimiento de tierra	1500,00
Cimentaciones y estructuras	23008,00
Racks	15000,00
TANQUES	
Sistema almacenamiento	
Tanques sales frías	1097830,07
Tanques sales calientes	852996,78
Aislamiento tanques	42,85
Bombas de tornillo	645427,20
Sal	4500,00
Intercambiadores	
Intercambiador carcasa y tubo 1	33583,42
Intercambiador carcasa y tubo 2	326365,85
Intercambiador carcasa y tubo 3	324856,82
Bombas	
Bombas tornillo	3045427,2
Bombas	401903,59
Sistema HTF	
Bombas HTF	55000,00
Tuberías	300,21
Válvulas	5410,01
ELECTRICIDAD, I&C	
Sistema AT/BT	
Sistema AT/BT	909602,48
Sistema BT (0,4 KV)	67895,65
TOTAL	7810650,13

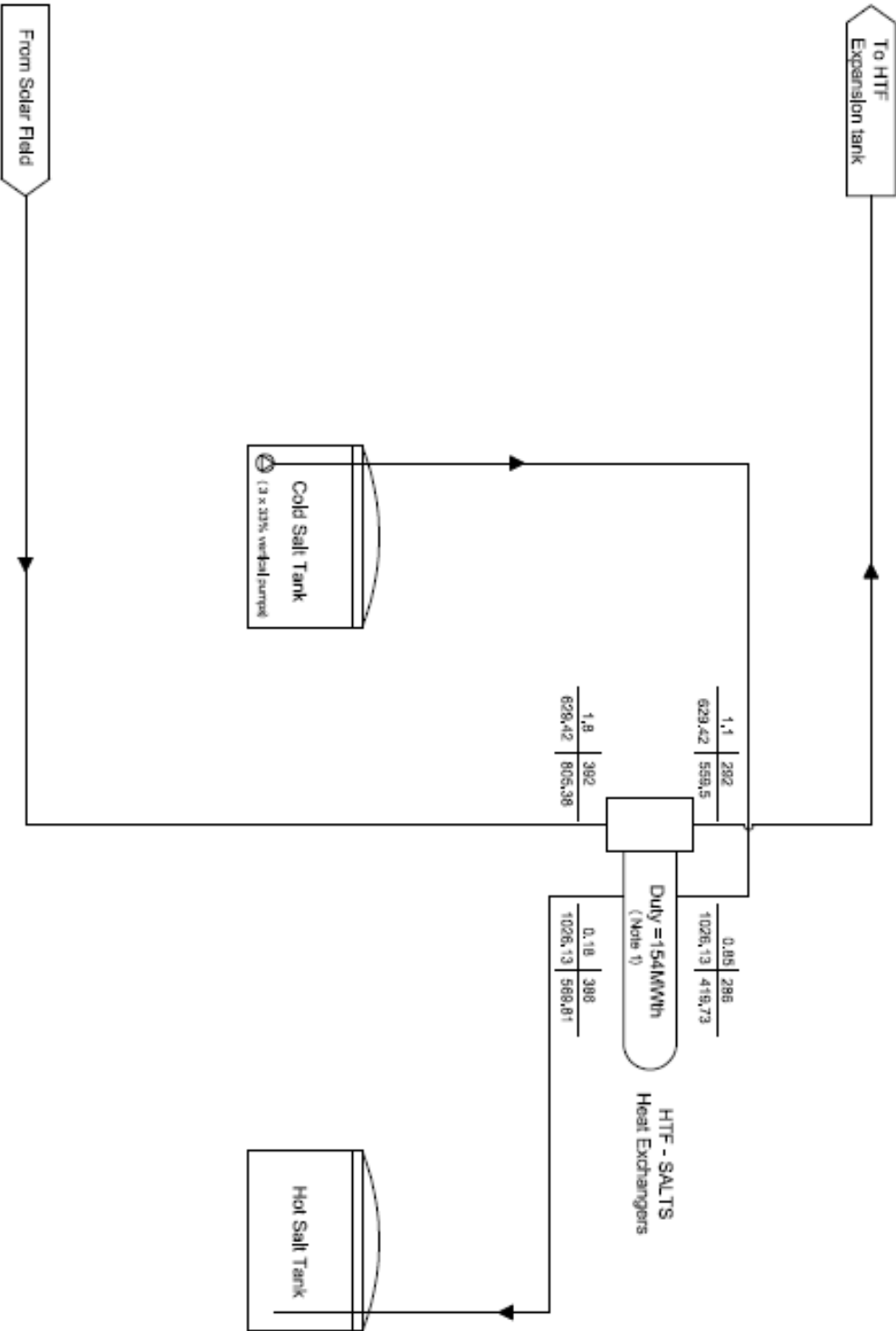
Tabla 10. Presupuesto.

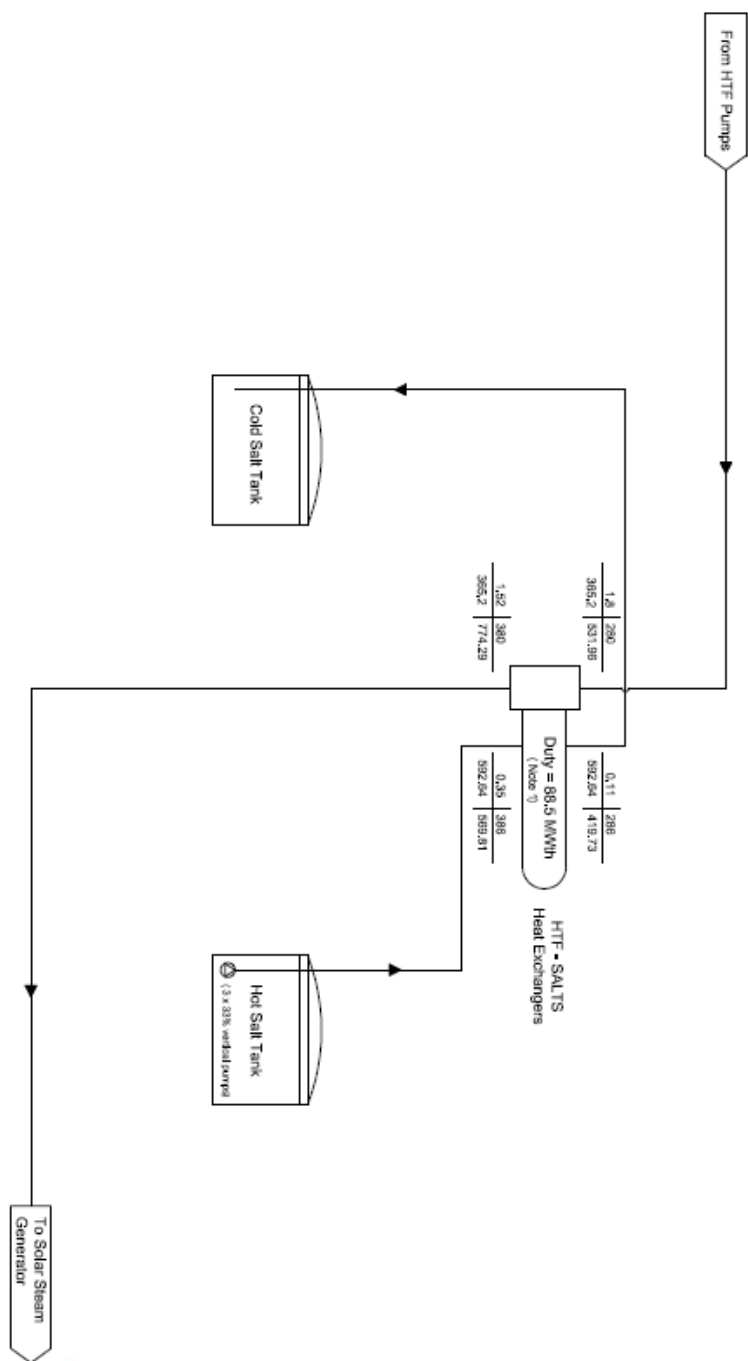
4 . CROQUIS Y PLANOS

A continuación se muestran los planos de los diferentes balances

Balance de masa y energía.







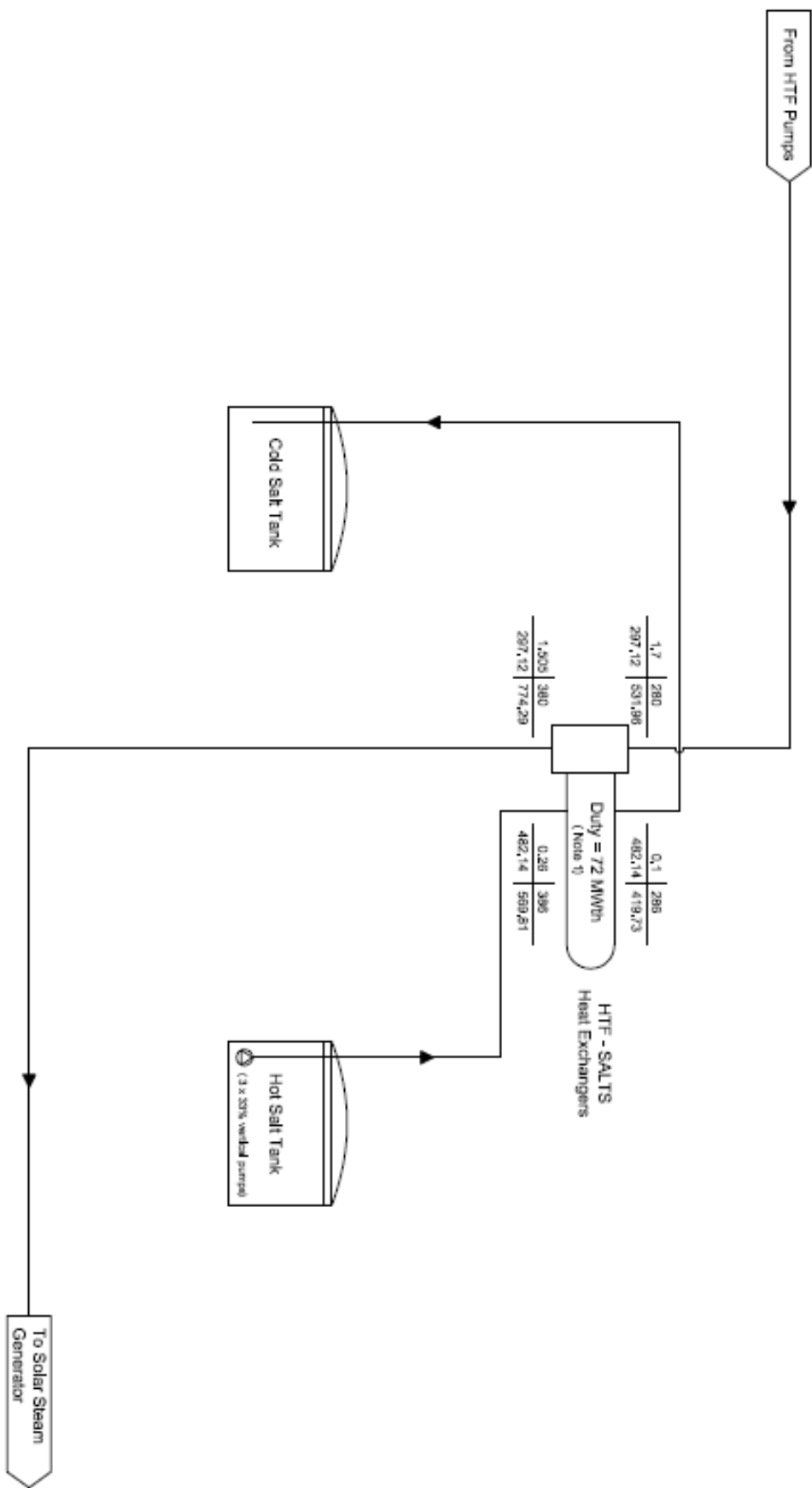
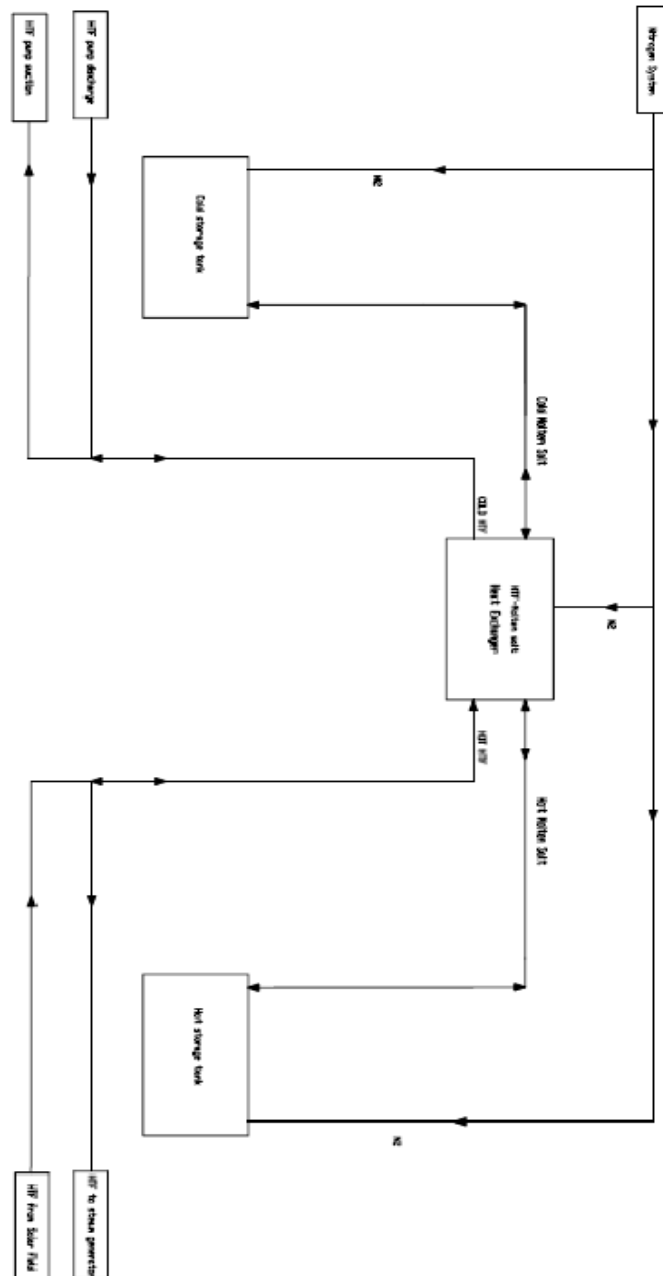
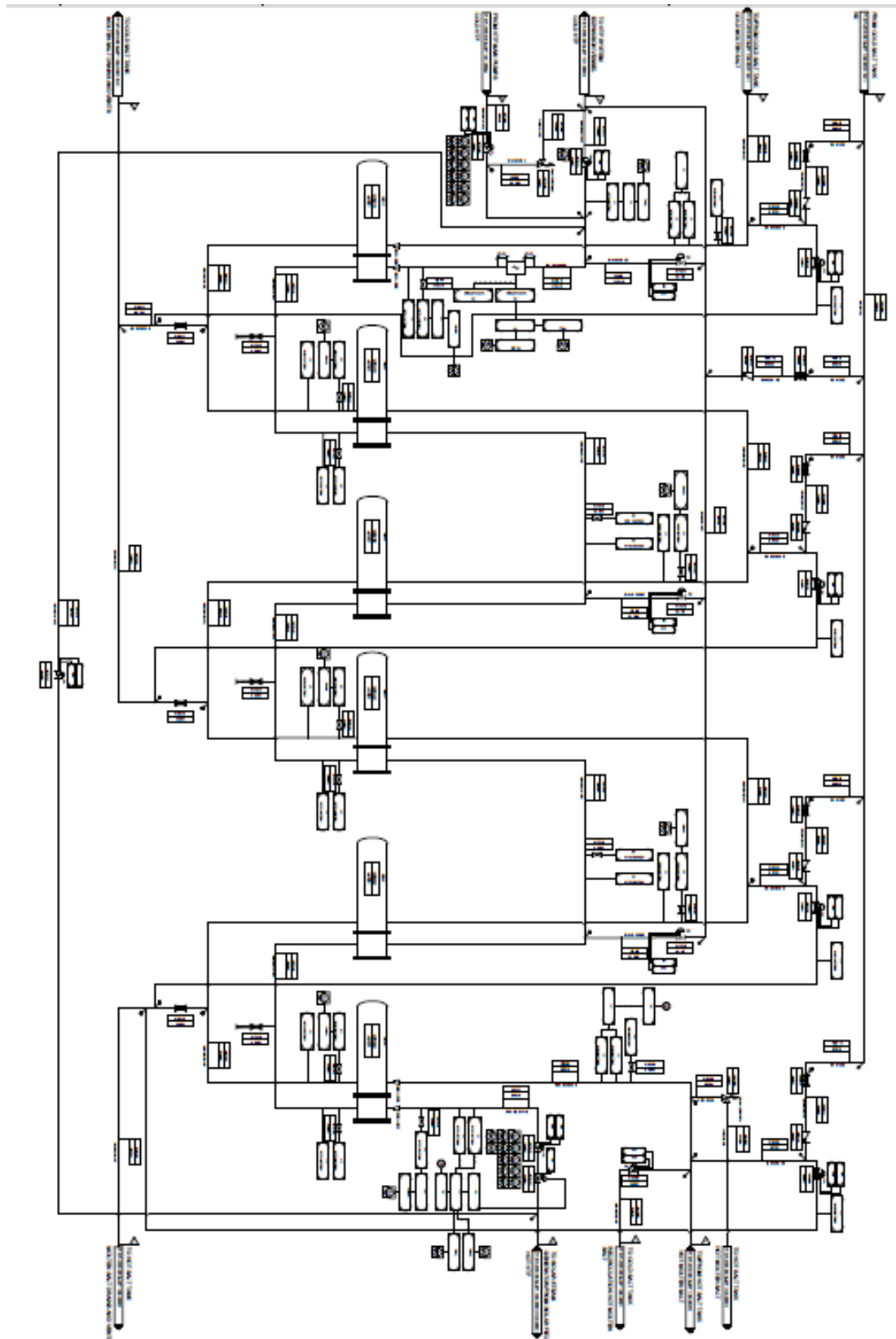


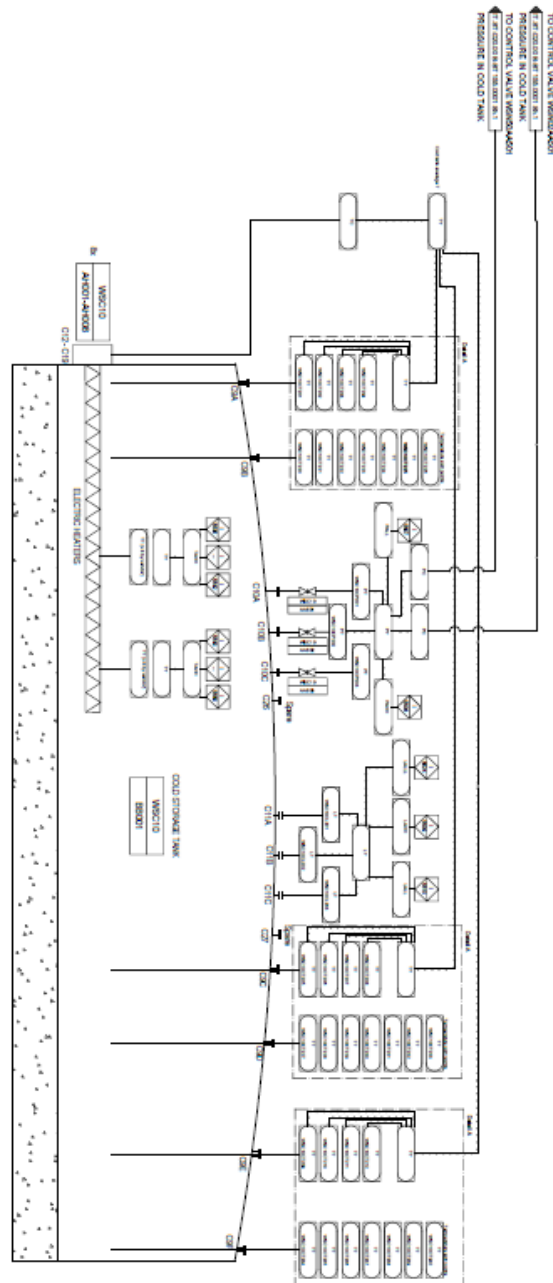
diagrama de bloques



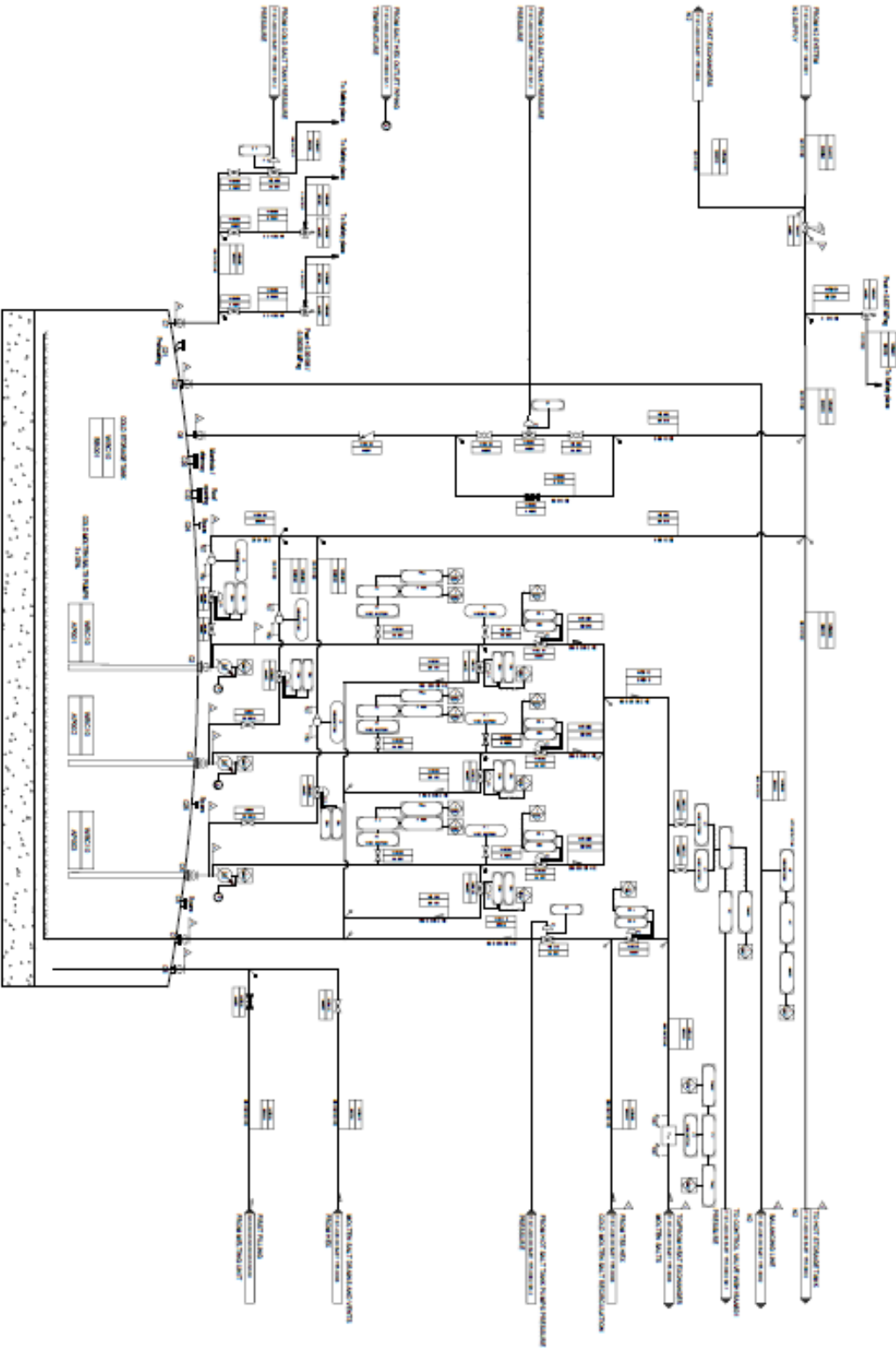
P&ID sistema intercambiadores de calor sales fundidas



P&ID sistema almacenamiento de sales fundidas frías



P&ID sistema almacenamiento de sales fundidas calientes



5. Anexos:

5.1. Balance de proceso y cálculos:

A continuación se estudiarán cuatro casos particulares sobre balances en intercambiadores. Se ha supuesto un total de tres intercambiadores de carcasa y tubo en serie, con un paso por carcasa y dos por tubos.

Se recomienda un diámetro de los tubos entre 16 y 50mm. Por temas económicos es mejor que sean pequeños pero por temas de limpieza es conveniente que sean mayores. También hay que considerar la velocidad del fluido en los tubos.

- Caso 1: Carga 100% calentando las sales.

En este caso el fluido caliente será el HTF y el frío las sales. Tendremos un caudal de HTF de 629,42 kg/s y de sales de 1026,12 kg/s. Suponiendo una entalpía media de cada componente de valor para sales 569,81 kJ/kg y de 559,49 kJ/kg para el HTF. El incremento de temperatura de ambas especies será de 100°C.

Entrada:

HTF: 392°C

Sales 286°C

Salida:

HTF: 292°C

Sales: 386°C

Con todos estos datos obtenemos:

HTF: 154,77 MWth.

Sales: 154 MWth.

- Caso 2: Descarga 100% calentando el HTF.

En este caso el fluido caliente serán las sales y el frío el HTF. Ahora el caudal de HTF es de 433,30 kg/s y de sales de 703,13 kg/s. Suponiendo una entalpía media de cada componente de valor para sales 489,05 kJ/kg y de 641,78 kJ/kg para el HTF. El incremento de temperatura de ambas especies será de 100°C.

Entrada:

HTF: 280°C

Sales 386°C

Salida:

HTF: 380°C

Sales: 286°C

Con todos estos datos obtenemos:

HTF: 105 MWth.

Sales: 105,525 MWth.

- Caso 3: Híbrido 1.

El fluido caliente serán las sales y el frío el HTF. Tendremos un caudal de HTF 365,21 kg/s y de sales de 592,64 kg/s. Suponiendo una entalpía media de cada componente de valor para sales 486,05 kJ/kg y de 641,78 kJ/kg para el HTF. El incremento de temperatura de ambas especies será de 100°C.

Entrada:

HTF: 280°C

Sales 386°C

Salida:

HTF: 380°C

Sales: 286°C

Con todos estos datos obtenemos:

HTF: 88,5 MWth.

Sales: 88,94 MWth.

- Caso 4: Híbrido 2.

En este caso el fluido caliente serán las sales y el frío el HTF. Tendremos un caudal de HTF de 297,12 kg/s y de sales de 482,15 kg/s. Suponiendo una entalpía media de cada componente de valor para sales 489,05 kJ/kg y de 641,78 kJ/kg para el HTF. El incremento de temperatura de ambas especies será de 100°C.

Entrada:

HTF: 280°C

Sales 386°C

Salida:

HTF: 380°C

Sales: 286°C

Con todos estos datos obtenemos:

HTF: 72 MWth.

Sales: 72,36 MWth.

A continuación se muestran los valores en tablas:

100% CARGA	carcasa: SALES		tubos: HTF	
	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
m (Kg/s)	1026,12487	1026,12487	629,422639	629,422639
T (°C)	286	386	392	292,001
H (KJ/Kg)	419,732456	569,811656	805,381502	559,489488
ΔP (bar)		6,70		7,00
P (bara)	8,517	1,82	18	11,00

Tabla 11. Valores balance 100% carga.

100% DESCARGA	carcasa: SALES		tubos: HTF	
	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
m (Kg/s)	703,128748	703,128748	433,294708	433,294708
T (°C)	386	286	280	379,999
H (KJ/Kg)	569,811656	419,732456	531,956657	774,28595
ΔP (bar)		3,45		3,90
P (bara)	4,685	1,24	19	15,10

Tabla 12. Valores balance 100% descarga.

DESCARGA HÍBRIDO 1	carcasa: SALES		tubos: HTF	
	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
m (Kg/s)	592,637088	592,637088	365,20554	365,20554
T (°C)	386	286	280	379,999
H (KJ/Kg)	569,811656	419,732456	531,956657	774,28595
ΔP (bar)		2,45		2,80
P (bara)	3,566	1,12	18	15,20

DESCARGA HÍBRIDO 2	carcasa: SALES		tubos: HTF	
	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
m (Kg/s)	482,145427	482,145427	297,116371	297,116371
T (°C)	386	286	280	379,999
H (KJ/Kg)	569,811656	419,732456	531,956657	774,28595
ΔP (bar)		1,64		1,95
P (bara)	2,653	1,01	17	15,05

Tabla 13. Valores balance casos híbridos.

5.2. Estudio de riesgos

El análisis de riesgos determinará cuáles son los factores de riesgos que potencialmente tendrían un mayor efecto sobre nuestro proyecto, y por lo tanto, debemos tener especial atención en ellos.

A continuación se proyecta una tabla con el análisis de riesgos correspondiente a nuestro proyecto.

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5	Columna6	Columna7	Columna8	Columna9	Columna10	Columna11	Columna12
item	NATURE OF RISK								item	RESPUESTA AL RIESGO	
	Descripción del riesgo	Categoría del riesgo	Planificación afectada	Causa [c]	Probabilidad [P]	Impacto [I] [Amenaza, si I < 0 Oportunidad, si I > 0]	Valor del riesgo [VR]	Nivel del riesgo		Estrategias de respuesta al riesgo	Actividades de respuesta plan
1	Datos iniciales del proyecto erróneos	Riesgo técnicos	Todo el proyecto	Tomas iniciales de datos erróneas	0,1	-0,80	0,08		1	Mitigar	Cambiar hoja de
2	Cambio en normativa a mitad del proyecto	Riesgo del proyecto	Todo el proyecto	Cambio de normativa vigente	0,3	-0,20	0,06		2	Mitigar	Reestablecer los debido a la n normativ
3	Cliente cambia sus condiciones del proyecto	Riesgo de dirección	Todo el proyecto	Cliente requiere otros objetivos	0,1	-0,20	0,02		3	Mitigar	Reestructuració cliente
4	Falta de comunicación entre cliente y proveedor	Riesgos del proyecto	Todo el proyecto	Insuficiente comunicación	0,3	-0,20	0,06		4	Mitigar	Mejora de la com mediante reur correos y llan
5	Falta de definición de roles y responsabilidades dentro del proyecto	Riesgos del proyecto	Todo el proyecto	Falta de jerarquía en el proyecto	0,1	-0,80	0,08		5	Mitigar	Creación de pirán responsabilidad
6	Pérdida de información de trabajo	Riesgos técnicos	Todo el proyecto	Demasiada información	0,9	-0,40	0,36		6	Mitigar	Creación de pue dicha funci
7	Retrasos en la finalización del proyecto	Riesgos de construcción	Todo el proyecto	Se retrasan los plazos debido a una mala planificación	0,9	-0,20	0,18		7	Mitigar	Introducir e planificación may en las etap
8	Aparición de sobrecostos en el proyecto	Riesgo de presupuesto	Todo el proyecto	Mala previsión del departamento económico	0,5	-0,10	0,05		10	Mitigar	Ampliación de pre
9	Abandono de la empresa constructora en mitad del proceso	Riesgo de construcción	Todo el proyecto	Empresa constructora en quiebra	0,1	-0,80	0,08		11	Mitigar	Estudio y previsi empresa a cor
10	Deslizamiento o desprendimientos de tierras	Riesgo de construcción	Todo el proyecto	Desprendimiento del terreno	0,3	-0,40	0,12		13	Mitigar	Mayor segurida zonas que pued desprendimie
11	Hundimiento, rotura o reventón de encofrados	Riesgo de construcción	Todo el proyecto	Coefficiente de seguridad muy pequeño	0,3	-0,20	0,06		14	Mitigar	Aumentar el coef seguridad

Tabla 14. Estudio de riesgos.

REFERENCIAS

Base de costes de la construcción de Andalucía. Precios Unitarios 2013. [En línea]

Ghenova.

Sistema HTF en centrales termosolares. RENOVETEC.

Índice de Conceptos

A

ABC: Administradora boliviana de carreteras, 3
API: Montaje y construcción tanques, 2
AISC: Construcciones de acero, 2
AISI: Construcciones de hierro, 2
ASME: Sociedad Americana Ingenieros Mecánicos, 2
ACI: Instituto Americano del Concreto, 2
AE: Autoridad de electricidad, 3
ANSI: Instituto nacional estadounidense de estándares, 2
ASNT: Sociedad Americana de Ensayos No Destructivo, 2
ASTM: Sociedad Americana de Ensayos y Materiales, 2
AWS: Sociedad Americana de Soldadura, 2
ADR: Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera, 3

B

BOE: Boletín oficial del estado, 46

C

CCP: Colector cilíndrico parabólico, 25
CTE: Código técnico de edificación, 3

E

EHE: Instrucción española del hormigón estructural, 2
EN: Normativa europea, 2

F

FAT: Prueba de aceptación de fábrica, 15

G

Gamesa: multinacional española de nuevas tecnologías, 10

H

HTF: Fluido calo-portante, 6
HM: Hormigón en masa, 49

I

ISO: Organización Internacional de Normalización, 2
IEEE: Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, 25
ITC: Instrucción técnica complementaria (Reglamento de baja tensión), 2

M

MW: Mega Vatio,1

N

NBE: Norma básica de edificación, 2

NFPA: Agencia Nacional de Protección contra Incendios, 2

P

PG: Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes del ministerio de fomento, 46

P&ID: Diagrama de flujos e instrumentos, 15

S

SAT: Prueba aceptación del sitio, 15

SSPC: Steel Structures Painting ,26

T

Trafo: Abreviatura para transformador, 43

U

UNE: Una norma española, 2

Bibliografía

<https://www ghenova.com/es/>

http://oa.upm.es/37760/1/PFC_Diego_Larrain_Harm.pdf

file:///C:/Users/Laura/Downloads/zarza_sesiones_9_y_10.pdf

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70237/fichero/4.+CAPITULO+2.+INTRODUCCI%C3%93N.pdf>

http://opex-energy.com/termosolares/sistema_hf_termosolar.html

<file:///C:/Users/Laura/Downloads/componente78795.pdf>

<https://renovablesconsaburum.files.wordpress.com/2015/12/centrales-ccp.pdf>

[//es.wikipedia.org](https://es.wikipedia.org)

Sistema HTF en centrales termosolares. RENOVETEC.