

ESCUELA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL DE MADRID

Master en Energías Renovables y Mercado Energético.

Proyecto Fin de Master

SUMINISTRO DE ENERGÍA TÉRMICA EN LA INDUSTRIA CERVECERA, MEDIANTE UNA PLANTA TERMOSOLAR CON CCP

Tutor: *Eduardo Zarza Moya*

Autores:

Darío Hernández Velasco

Álvaro Escudero Muñoz

Ricardo Jaber Velázquez

Madrid, 2011

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	5
1.1. OBJETIVO	5
1.2. INTRODUCCIÓN	5
1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	6
1.4. CONTEXTO ENERGÉTICO	6
1.5. TECNOLOGÍA CCP	8
1.5.1. Reflector cilindroparabólico	11
1.5.2. El tubo absorbedor	13
1.5.3. Sistema de seguimiento del sol.....	14
1.6. FLUIDOS DE PROCESO	15
1.7. DEMANDA DE ENERGÍA TÉRMICA EN LA INDUSTRIA	15
1.8. “SOLAR INDUSTRIAL HEATING PROCESS” SIHP	17
1.9. USO DEL VAPOR EN LA INDUSTRIA	20
1.10. PROCESO GENERAL DE LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA	21
1.11. USO DEL VAPOR EN LA INDUSTRIA DE LA CERVEZA	27
1.12. CONSUMO ENERGÉTICO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA.....	32
CAPÍTULO 2: BASES DE DISEÑO	37
2.1. ESTUDIO Y SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	37
2.1.1. Superficie disponible.....	38
2.1.2. Análisis de la climatología.....	44
2.1.3. Características geológicas del emplazamiento.....	45
2.1.4. Proximidad a la red eléctrica de distribución	47
2.2. ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR.....	49
2.2.1. Descripción de las fuentes utilizadas	50
2.2.2. Análisis de los datos de irradiación	55
2.3. PUNTO DE DISEÑO.....	59
2.3.1. Datos del punto de diseño fijados por el Proceso Industrial	59
2.3.2. Datos del punto de diseño fijados por el Campo Solar	59
2.3.2.1. Datos del punto de diseño fijados por la meteorología y la geografía del emplazamiento	61
2.3.3. Características técnicas de los equipos	62
CAPÍTULO 3: INGENIERÍA DE PROCESO	63
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	63
3.2. ELECCIÓN DEL FLUIDO DE PROCESO	63
3.3. ELECCIÓN DE LOS CAPTADORES	67
3.4. ELECCIÓN DE LA ORIENTACION	70
3.4.1. La orientación del eje de giro de los captadores	70
3.4.2. La determinación de la posición solar	70
CAPÍTULO 4: INGENIERÍA DE PROYECTO	72
4.1. DIMENSIONADO DE CAMPO SOLAR.....	72
Calculo del número de filas en paralelo.....	77
4.2. OBRA CIVIL	78

4.2.1. Movimiento de tierras.....	78
4.2.2. Cimentación	78
4.2.3. Zanjas	80
4.3. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	80
4.3.1. Diseño del sistema de almacenamiento	81
4.4. DISEÑO DE LAS TUBERÍAS. CAIDA PRESIÓN	83
4.5. BOMBA DE ALIMENTACIÓN	89
4.6. GENERADOR DE VAPOR.....	92
4.6.1. Precalentador	92
4.6.2. Evaporador	92
4.6.3. Selección de equipo.....	93
4.7. BALANCE MATERIA Y ENERGÍA	94
CAPÍTULO 5: SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL: P&ID	96
5.1. OBJETIVO Y ESTRATEGIA DE CONTROL	96
5.2. CAMPO DE CAPTADORES	97
5.3. CONTROL DEL SISTEMA AGUA-ACEITE.....	98
5.3.1. Generación de Vapor.....	98
5.3.2. Circuito de aceite.	99
5.4. ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	100
CAPÍTULO 6: RESULTADOS	104
6.1. JUSTIFICACIÓN DEL PUNTO DE DISEÑO	105
CAPÍTULO 7: ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL.....	105
7.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL EsIA.....	105
7.2. NORMATIVA DE APLICACIÓN.....	106
9.1. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	113
9.2. MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS.....	118
9.3. VALORACIÓN DE IMPACTOS.....	120
9.4. MATRIZ DE SÍNTESIS.....	123
9.5. MEDIDAS CORRECTORAS	125
CAPÍTULO 10: ESTUDIO ECONÓMICO	129
10.1. ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN.....	129
10.1.1. Campo Solar	129
10.1.2. Planta Generación de Vapor	129
10.1.3. Tubería y Accesorios	130
10.1.4. Obra Civil	130
10.1.5. Control e Instrumentación	131
10.1.6. Gestión	131
10.1.7. Presupuesto Total	132
10.2. FINANCIACIÓN	133
10.3. ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD	133
10.4. FLUJO DE CAJA	135
10.5. PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	137
10.6. VALOR ACTUAL NETO.....	138
10.7. TASA INTERNA DE RETORNO.....	138
10.8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	139

CAPÍTULO 11: CONCLUSIONES	141
CAPÍTULO 12: BIBLIOGRAFÍA.....	143
CAPÍTULO 13: ANEXOS	145
ANEXO I - MAPA GEOLÓGICO MINERO DE ANDALUCÍA.....	145
ANEXO II - OCUPADOS Y PARADOS POR SEXO, TASAS DE ACTIVIDAD Y PARO. RESULTADOS POR COMUNIDADES AUTONOMAS Y PROVINCIAS DURANTE EL PRIMER TRIMESTRE DE 2011, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA	147
ANEXO III - LOCALIZACION DE LAS CENTRALES TERMOSOLARES EN ESPAÑA	150
ANEXO IV - PROPIEDADES DEL VAPOR SATURADO	152
ANEXO V - ALGORITMO DE CÁLCULO DE LA POSICIÓN SOLAR Y DEL CONTROL DE MOVIMIENTO DE LOS CAPTADORES.....	155
ANEXO VI - PROPIEDADES DEL THERMINOL 55	161
ANEXO VII - ISA-5.1-1984(R1992): NOMENCLATURA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	163

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO

El objeto del presente proyecto es el estudio de viabilidad, técnica y económica, de un campo solar de colectores cilindro parabólicos para suministrar con energía térmica en forma de vapor de agua a la fábrica de cerveza del Grupo Heineken en el municipio de Alcalá de Guadaíra en la provincia de Sevilla.

El proyecto tiene un fin estrictamente académico de dimensionar y describir las características principales del funcionamiento de la instalación, tanto del campo solar, como de la planta de generación de vapor.

El objetivo del proyecto es cubrir parte de la demanda energética de la fábrica de producción de cerveza con una energética fuente renovable y limpia, que reduzca el consumo y por tanto la dependencia de combustibles fósiles, lo que lleva a una reducción de emisiones de CO₂ y al ahorro en la factura de hidrocarburos.

1.2. INTRODUCCIÓN

El 27 de Diciembre de 2007 Grupo Heineken finalizó el proceso de trasladar la totalidad de la producción de la antigua fábrica de la Avenida de la Cruz Campo en el casco urbano de Sevilla a la nueva fábrica de Torreblanca ubicada a una distancia de 7 kilómetros, a las afueras de Sevilla. Con esto se daba por finalizado el proceso de integración de las nuevas instalaciones del Grupo Heineken, la inversión más importante del Grupo en una fábrica cervecera hasta ese momento, a la cual destinaron 320 millones de euros a lo largo de 4 años de construcción. Durante este periodo, el impacto productivo fruto de la inversión fue calculado en una actividad superior a los 520 millones de euros, más de 206 millones en rentas y la creación de 2.205 nuevos empleos, de ellos 140 indirectos y 1.642 inducidos.

Las instalaciones de la planta de Torreblanca ocupan 63 hectáreas y son de las más modernas de Europa, por su diseño y tecnología. La nueva fábrica se integra al portafolio de producción de Heineken España, actual líder del sector cervecero en la Península Ibérica, con un volumen de ventas superior a los 11 millones de hectolitros (1.100 millones de litros), y que cuenta actualmente con 4 otras fábricas situadas en Madrid, Valencia, Jaén y Arano (Navarra).

La planta, de 3,5 millones de hectolitros al año de capacidad se convirtió en la más importante de España al absorber la producción del mercado canario y se espera que

también absorba las producciones de las plantas de Madrid y Valencia, que fueron vendidas a otras empresas del sector, pero que siguen trabajando actualmente para la compañía.

El 22 de octubre de 2008 el Rey Don Juan Carlos inauguró las instalaciones en cuya ceremonia la compañía cervecera aprovechó para destacar los avances medioambientales de la nueva planta contando con todos los permisos necesarios y de un sistema de doble depuración a través de la empresa pública de aguas Emasesa.

Las instalaciones cuentan con un centro de recepción de visitantes el cual recibe alrededor de 70 personas al día para un total de 25.000 visitas en promedio al año gracias a un programa de invitación a los consumidores.

1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El objetivo fundamental del proyecto es el estudio de la viabilidad de la sustitución de calderas convencionales que aportan la energía térmica a los procesos productivos por una planta solar de tecnología CCP aplicado directamente a una fábrica de cerveza. Los objetivos que se han definido una vez se ha analizado la situación actual de la fábrica Heineken de Sevilla son mencionados a continuación:

- Dimensionado y evaluación técnica y económica de la viabilidad de brindar apoyo y eventual sustitución a las calderas convencionales mediante una central solar térmica con la tecnología cilindroparabólica que suministre las necesidades térmicas del proceso de producción de cerveza.
- Estudio de la cobertura solar que proporcionará la tecnología CCP en función de la necesidades térmicas de la planta.
- Elección del fluido térmico y estudio de la viabilidad de almacenamiento de energía para disminuir la carga térmica que proporcionará el sistema auxiliar sustentado por calderas de gas.

Una vez los objetivos definidos, el proyecto tiene como fin el dimensionamiento del campo solar asociado a las necesidades térmicas de la fábrica teniendo en cuenta que su volumen de trabajo abarca mayor número de horas que las que puede aportar la radiación solar, por lo que se hará un estudio de las necesidades de almacenamiento energético.

1.4. CONTEXTO ENERGÉTICO

Muchos son los factores de tipo social, político, técnico y económico que están modificando las pautas de consumo de energía, al tiempo que modifican sus formas de producción y

abastecimiento. La demanda de energía aumenta, ya que su evolución depende no sólo de la actividad económica y de las condiciones climáticas, sino también de la tendencia a satisfacer un mayor número de necesidades

Hasta la década de los 70, España tenía una estructura energética muy poco diversificada y con una enorme preponderancia de esa materia prima, de origen exterior prácticamente en su totalidad, con un peso cercano a las tres cuartas partes del consumo de energía primaria, mientras que en la actualidad el petróleo representa alrededor del 55% de nuestro consumo primario.

A pesar de la fuerte subida del precio del crudo en la primera mitad de los setenta, es el comienzo de los ochenta el que marca el punto de inflexión en la política de conservación y eficiencia energética en España.

La segunda crisis energética aceleró la necesidad de hacer frente a la subida de los precios del crudo, y desde finales de 1980 se empiezan a tomar medidas, tanto en el plano institucional como en el privado, de mejora de la eficiencia energética y reducción de la dependencia exterior. Así, la promulgación de la Ley 82/1980 de Conservación de la Energía, es el verdadero punto de partida en España ya que puso en marcha distintos programas de ámbito nacional, regional y, desde 1986, comunitario, que han promovido la eficiencia energética y la diversificación de fuentes.

Por otro lado, la concentración de las reservas probadas de petróleo en Oriente Medio y de las de gas natural en la antigua Unión Soviética y en Oriente Medio, hace a estos combustibles fósiles, especialmente al primero, muy sensibles ante posibles oscilaciones de precios.

Las energías renovables proponen distribuir recursos para crear una autonomía y seguridad energética ofreciendo un recurso gratis e inagotable que no este sujeto a políticas económicas eliminando así la incertidumbre en el precio del recurso.

La creciente preocupación nacional e internacional por preservar el medio ambiente y, en particular, la preocupación ante las posibles consecuencias ambientales, sociales y económicas del cambio climático, es otro factor que está empezando a introducir cambios en las formas de usar la energía y dándole cada vez más sustento a las fuentes energéticas renovables.

1.5. TECNOLOGÍA CCP

La tecnología termosolar está basada en el concepto de la concentración de la radiación solar para calentar aceite térmico o producir vapor que más tarde puede ser empleado por procesos que requieran energía térmica o en plantas eléctricas convencionales.

Un aspecto básico de la tecnología termosolar es que puede aprovechar solamente la radiación directa, ya que la difusa no puede ser concentrada. Existen dos métodos de concentración principales los cuales se distinguen por la forma y relación del concentrador y del receptor:

Puntual: Los sistemas de concentración puntual constan de colectores con seguimiento en dos ejes. Con este método se logran grandes concentraciones de radiación lo que se traduce en elevadas temperaturas de trabajo.

Lineal: Estos sistemas tienen un solo grado de libertad por lo tanto son más fáciles de instalar, sin embargo tienen la desventaja de tener un factor de concentración menor por lo tanto alcanzan menores temperaturas que la concentración puntual.

A la fecha se han desarrollado cuatro sistemas de aprovechamiento de la radiación solar que hacen uso de los métodos antes descritos para la producción de energía térmica:

Receptor central: Consisten en un campo de heliostatos que siguen la posición del sol en todo momento y orientan el rayo reflejado, concentrando la radiación solar, hacia un receptor situado en la parte superior de una torre.

Debido a los altos flujos de radiación incidente, se pueden alcanzar altas temperaturas e integrarse en ciclos de gran eficiencia de forma escalonada, alcanzando altos factores de capacidad.

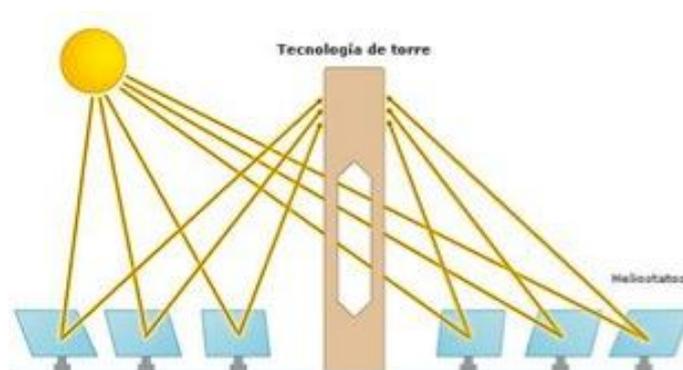


Figura 1: Receptor central en torre

A pesar de la demostrada viabilidad técnica de las centrales de torre con plantas experimentales y la maduración de la tecnología, su utilización comercial apenas empieza y sus costes permanecen elevados. No obstante, desde un punto de vista termodinámico, esta tecnología puede alcanzar eficiencias superiores a los Captadores Cilindro Parabólicos.

Disco parabólico: Son pequeñas unidades independientes que concentran la radiación solar en el foco de una paraboloides de revolución en donde se sitúa un receptor térmico, generalmente motores Stirling. Es el sistema que mayor eficiencia a demostrado en la conversión de radiación solar a energía eléctrica. La desventaja radica en la escasa experiencia operacional que se tiene y por lo tanto sus costes son altos para su explotación comercial.



Figura 2: Disco Stirling

Concentradores cilindroparábolicos: son concentradores de foco lineal con seguimiento en un solo eje en los que la radiación se concentra en un tubo receptor situado en la línea focal de una parábola cilíndrica reflectante.

La tecnología cilindroparábólica es una tecnología limpia, madura y con un extenso historial que demuestra estar preparada para la instalación a gran escala. Esta tecnología lleva siendo instalada a nivel comercial desde los años 80 con un excepcional comportamiento. Desde entonces, ha experimentado importantes mejoras a nivel de costes y rendimientos. Actualmente hay más de 1 GWe en operación, más de 800 MWe construcción y más de 2 GWe en promoción a nivel mundial.

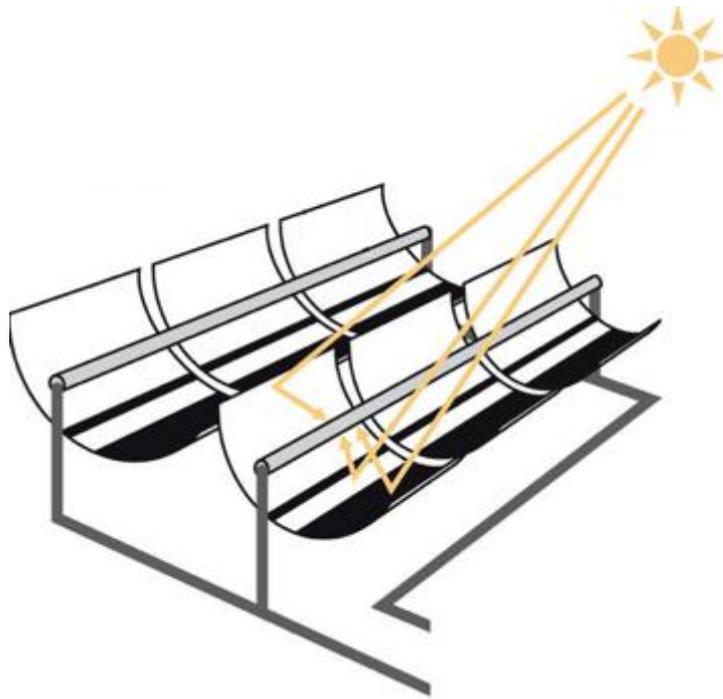


Figura 3: Captador Cilindro-Parabólico

Los concentradores lineales Fresnel son la cuarta tecnología que actualmente hay disponible para los sistemas solares de concentración. Son captadores de foco lineal, en los que largos reflectores que poseen ejes de giro independientes y paralelos reflejan la radiación solar directa sobre un tubo receptor situado sobre ellos. Es la es la tecnología más joven de las cuatro descritas, por lo que existen actualmente solo dos plantas comerciales en funcionamiento, con una potencia eléctrica total de 6,4 MWe.

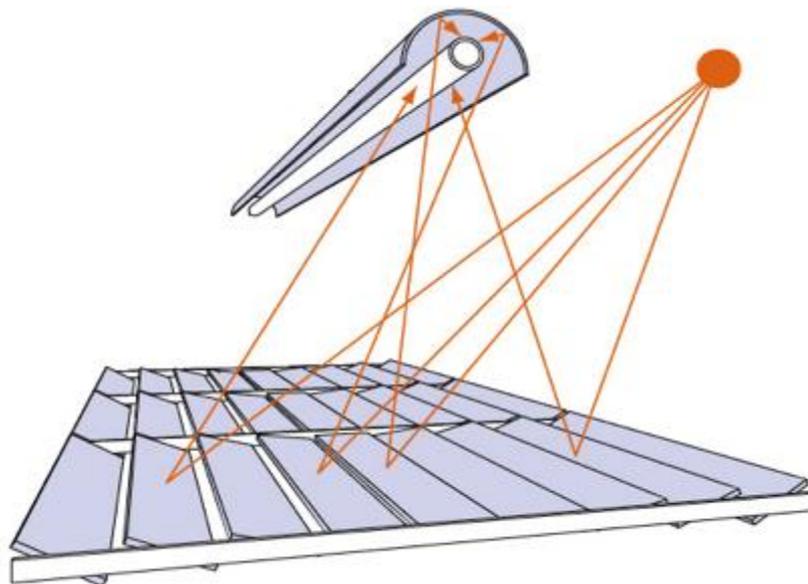


Figura 4: Concentrador Lineal Fresnel

Para este proyecto, analizamos la tecnología de Concentradores Cilindroparabólicos ó CCP la cual basa su funcionamiento en seguimiento solar y en la concentración de los rayos

solares en tubos receptores de alta eficiencia térmica localizados en la línea focal de parábolas cilíndricas. En estos tubos, un fluido transmisor de calor, tal como aceite sintético, es calentado a aproximadamente 400 °C por los rayos solares concentrados. Este aceite es luego bombeado a través de una serie de intercambiadores de calor para producir vapor sobrecalentado.

Los componentes principales del campo solar de la tecnología cilindroparábólica son:

1.5.1. Reflector cilindroparábólico

La misión del concentrador cilindroparábólico es reflejar y concentrar sobre el tubo absorbente la radiación solar directa que incide sobre su superficie. La superficie especular se consigue a través de películas de plata o aluminio depositadas sobre un soporte que le da la suficiente rigidez.



Figura 5: Reflector cilindro-parabólico

Actualmente los medios soporte más utilizados son:

Chapa metálica: Se fabrica de aluminio y se trata mediante procesos de pulido para darle una alta reflectividad. De esta forma el propio soporte actúa como elemento reflector, consiguiendo captadores de bajo precio. Como inconveniente se debe indicar la baja durabilidad, puesto que la reflectividad del aluminio se deteriora con rapidez cuando se expone a las condiciones de exterior. No se recomiendan para usos industriales que precisan una gran durabilidad

Soporte de vidrio: se asemejan en gran medida a un espejo convencional. Sobre la cara posterior del vidrio se deposita una fina película de plata que se protege con una capa de cobre y otra de pintura epoxi. En función del grosor del vidrio se distinguen dos métodos para dar al soporte la forma parabólica. Si el vidrio es grueso (espesor superior a 3 mm), éste debe ser trabajado en caliente, puesto que en frío no es suficientemente flexible. Para vidrio delgado (espesor inferior a 1,5 mm), son suficientemente flexibles como para pegarlos sobre chapas que le otorguen una curvatura adecuada.

Soporte de film plástico: son tratados con una capa de aluminio o plata. Estos soportes son similares al vidrio delgado y, por tanto, necesitan también un soporte más resistente que les dé la forma parabólica. Como en el primer caso, la durabilidad de estos captadores a la intemperie es reducida y, además, debido a las fuerzas electrostáticas entre el plástico y las partículas de polvo, se ha comprobado un mayor grado de ensuciamiento en comparación con el resto de reflectores.

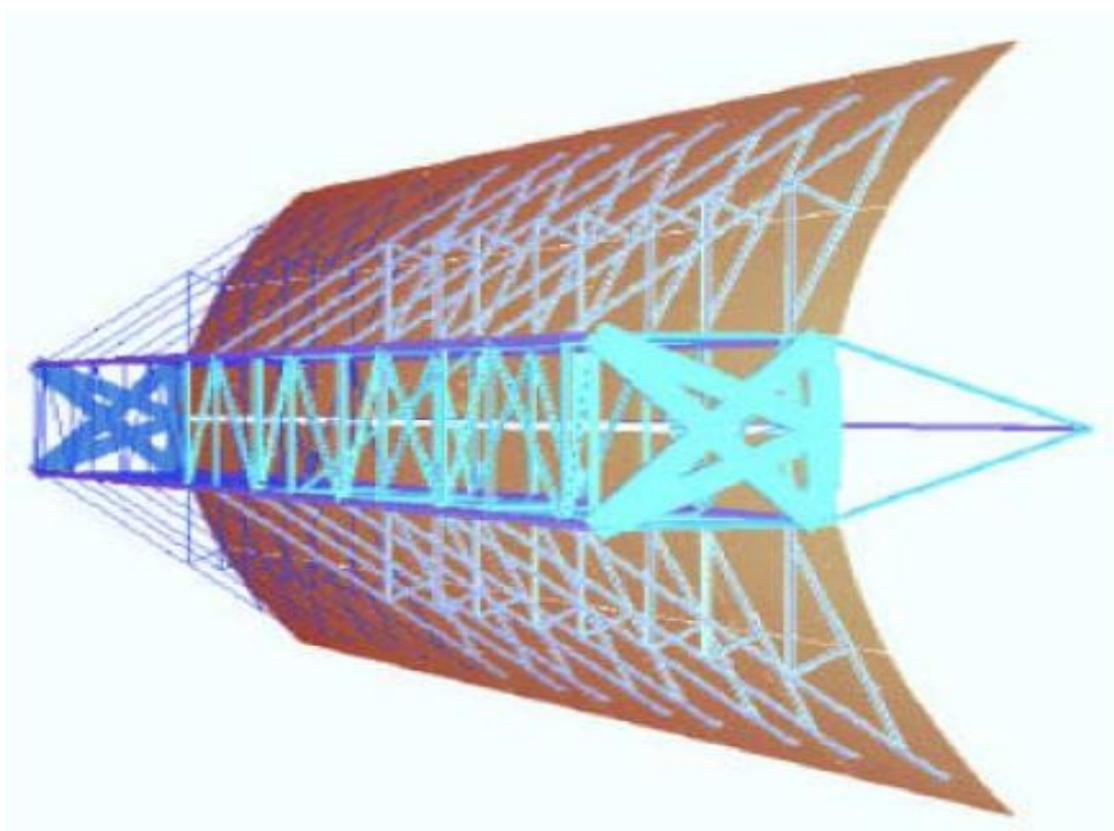


Figura 6: Estructura del captador

Al analizar los tipos de captadores, es evidente que los más adecuados para uso industrial son los de soporte de vidrio grueso por su resistencia en intemperie y con película de plata por su buena reflectividad.

1.5.2. El tubo absorbedor

El tubo absorbedor consta de dos tubos concéntricos separados por un espacio de vacío. El tubo interior, por el que circula el fluido calo-portador es metálico y el exterior es de cristal.

El tubo interior es tratado con un recubrimiento metálico selectivo, que puede consistir en una fina capa de cromo, níquel, cobalto o algún otro acabado logrado por Sputtering o Deposición Física de Vapor (PVD, por sus siglas en inglés). Dicho recubrimiento otorga al tubo sus propiedades útiles para éste uso, elevada absorptividad a lo largo de todo el espectro solar y una baja emisividad en el espectro infrarrojo, lo cual se traduce en un elevado rendimiento térmico.

El tubo exterior de vidrio cumple dos propósitos de igual importancia, el primero es proteger el recubrimiento selectivo del tubo interior y minimizar las pérdidas térmicas por convección. Para aumentar el rendimiento óptico del captador es común la utilización de un tratamiento antirreflexivo en ambas caras del tubo de vidrio que logra mejorar la transmisividad.

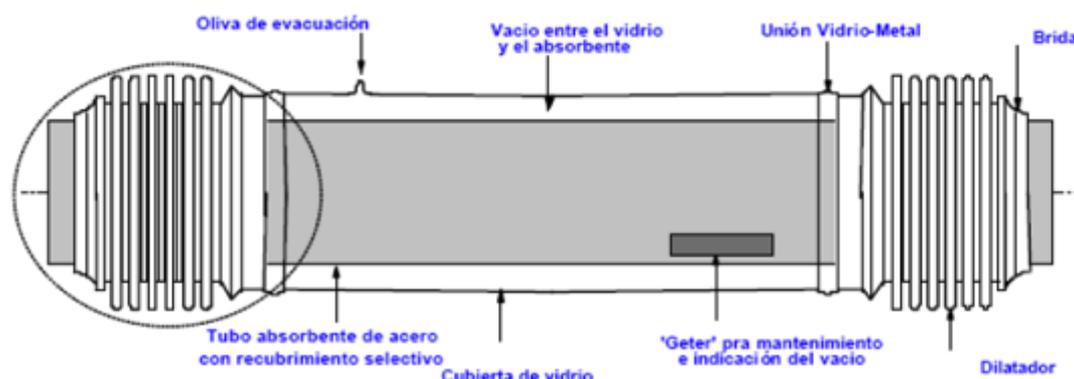


Figura 7: Diagrama del tubo absorbedor

Para lograr mantener el vacío necesario entre los dos tubos se suele soldar cada tubo, el de vidrio y el de metal, por separado a un fuelle metálico que soporta las diferentes dilataciones de cada material al variar la temperatura. Con esto se logra flexibilizar la unión entre los dos tubos evitando grietas por las que pudiera ingresar aire al vacío. Otro mecanismo que se utiliza para mantener el vacío son los llamados *getters* en inglés, que son colocados en el vacío debido a su propiedad de reaccionar químicamente o por absorción con cualquier molécula de gas que pudiera penetrar al espacio confinado, atrapándolo y así manteniendo el espacio libre de cualquier elemento.

1.5.3. Sistema de seguimiento del sol

Para aprovechar al máximo la radiación del sol a lo largo del día, es necesario orientar en la manera de lo posible los captadores en dirección al sol. Para lograr esto, las tecnologías de concentración solar utilizan los sistemas de seguimiento, mediante los cuales giran y se orientan para lograr un mayor flujo de radiación.

El seguimiento en los CCP se puede hacer mediante uno o dos ejes. El primero, más sencillo y de menor coste, es el más utilizado, debido a que el sistema de dos ejes, que si bien logra mayores índices de radiación, no compensa por sus altos costes de instalación, mantenimiento y de las pérdidas térmicas asociadas a tener campos de captadores más extendidos y con un mayor número de elementos pasivos.

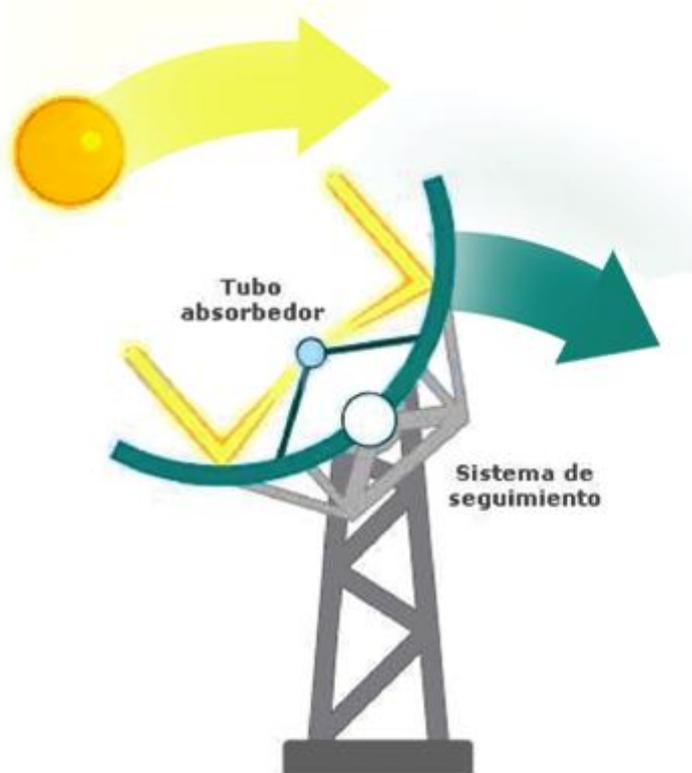


Figura 8: Sistema de seguimiento

En los sistemas de un solo eje existen dos tipos de mecanismos que transmiten el movimiento de giro al captador:

- El primero es un motor eléctrico acoplado a una reductora montado directamente al eje de rotación del captador; este mecanismo se utiliza para captadores pequeños o medianos.
- Los mecanismos hidráulicos, se utilizan para mover grandes colectores que requieren un mayor par de giro.

Ambos mecanismos de accionamiento requieren de un control electrónico para lograr un correcto seguimiento del sol. Por lo general para detectar la ubicación del sol se utilizan sensores solares, normalmente formados por dos fotocélulas independientes separadas por una delgada pared llamada banda de sombra. Este sensor detecta que está bien orientado al sol cuando la delgada lámina intermedia no proyecta ninguna sombra sobre alguna de las dos fotocélulas. Cuando comienza a haber un desequilibrio entre la salida eléctrica de ambas fotocélulas, debido a una sombra, significa que el sol ya no se encuentra normal al plano. El desequilibrio eléctrico es analizado electrónicamente por un comparador y dependiendo de la magnitud, el mecanismo de accionamiento mueve el captador.

Existe otro método más complejo, que evita el uso de las fotocélulas, que consiste en calcular la posición del sol mediante complejos algoritmos matemáticos, la cual es continuamente comparada mediante un microprocesador a la posición del captador, y de haber una discrepancia entre las dos, el mecanismo de accionamiento gira el captador hasta lograr la posición adecuada.

1.6. FLUIDOS DE PROCESO

El fluido de trabajo que circula por el tubo interior es diferente según la tecnología. Para bajas temperaturas ($< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) se suele utilizar agua desmineralizada con Etileno-Glicol mientras que para mayores temperaturas ($200^{\circ}\text{C} < T < 450\text{ }^{\circ}\text{C}$) se utiliza aceite sintético. Por encima de estas temperaturas el rendimiento se reduce debido al incremento de pérdidas térmicas. Para temperaturas inferiores existen otros modelos de colectores más adecuados. Es importante considerar que el sistema de tuberías debe estar a una presión superior a la presión de saturación del fluido para evitar que se evapore. Sin embargo las últimas tecnologías permiten la generación directa de vapor sometiendo a alta presión a los tubos y la utilización de sales como fluido transportador de calor.

1.7. DEMANDA DE ENERGÍA TÉRMICA EN LA INDUSTRIA

En España alrededor del 50% del consumo total de energía final se realiza dentro del ámbito industrial. El sector residencial y servicios representan un 20% del total y el transporte casi un 30%. Dentro del sector industrial entre los años 1990 y 2005 se ha asistido a un crecimiento medio anual del 3,03% directamente relacionado con un crecimiento económico proporcional, solo frenado por la actual crisis económica.

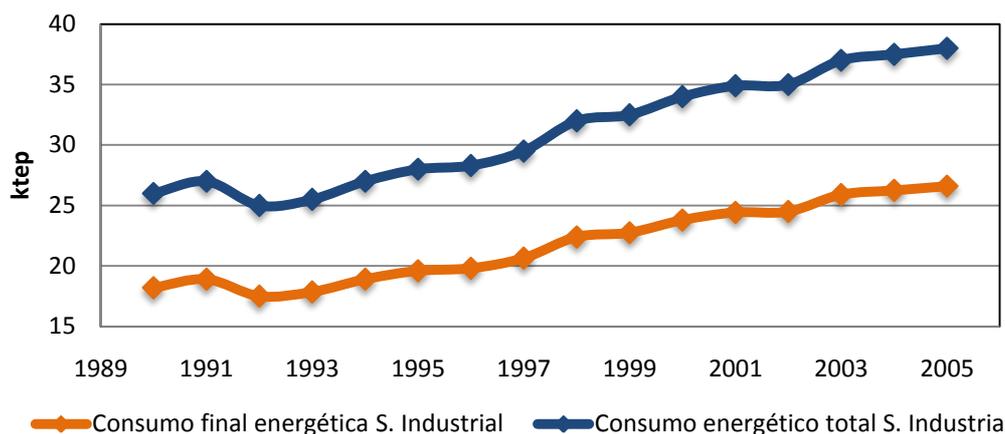


Figura 9: Evolución del consumo energético total y final en la industria en España

El uso térmico de energía final es casi el doble del consumo eléctrico, representando un éste último un 33% frente al 60,9% de los usos térmicos.

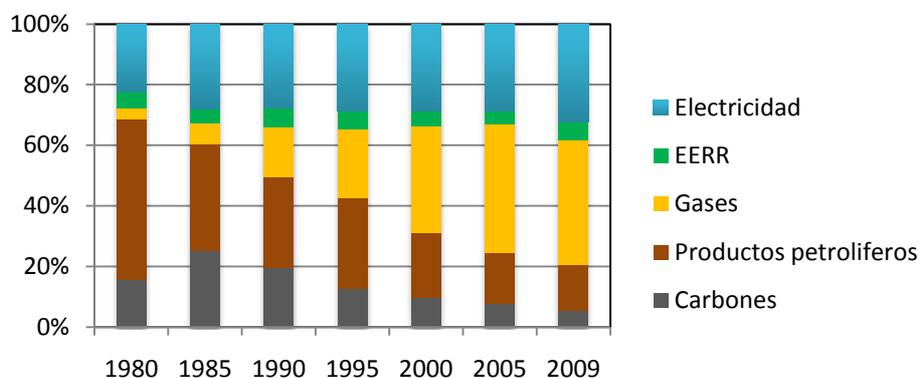


Figura 10: Evolución en el mix energético en la industria

Como se puede observar la proporción del uso de energía eléctrica en los usos finales respecto a energía térmica se ha mantenido casi constante en los últimos 30 años. A pesar de que nuestro modelo de producción industrial ha pasado del uso de carbón y productos petrolíferos a una apuesta muy marcada por el uso de GLPs y gas natural, lo que ha llevado a una ligera mejora de la eficiencia energética de nuestro sector industrial, la dependencia energética del exterior se mantiene constante.

Como se puede observar además la presencia de las energías renovables en este sector es todavía muy reducida, representada básicamente en procesos de secado, calefacción/refrigeración solar o recuperación de biogás en la industria de la fermentación.

Esta dependencia energética de combustibles fósiles supone una penalización en la productividad del tejido industrial español ya que también el precio del gas está indexado al precio del barril de petróleo.

Dentro del sector industrial, existen una serie de procesos y sectores más intensivos en energía, que son aquellos con un mayor consumo energético por unidad producida. Estos sectores en España se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 1: Sectores y procesos intensivos en energía en España

	Consumo de energía final (Ktep)	Peso %
Alimentación, bebidas y tabaco	2185	8.39%
Pasta, Papel e Impresión	2290	8,8%
Química	4381	16,83%
Minerales No Metálicos	5900	22,67%
Siderurgia y fundición	3710	14,25%

	Sector intensivo
	Proceso intensivo

1.8. “SOLAR INDUSTRIAL HEATING PROCESS” SIHP

Los procesos en los cuales se aplica energía solar para proceso se conocen como “solar industrial heating process” (SIHP), se trata de una tecnología que podría generar por lo tanto, un enorme rango de aplicaciones. Esta tecnología ha pasado desde el nivel de la investigación y el desarrollo a niveles comerciales. En España, la industria es la mayor usuaria de energía (más del 50% del total de la demanda) y el 35% de la demanda energética tiene lugar en el rango de media temperatura (80-300°C), para la cual los CCPs resultan muy apropiados

El sector industrial en Estados Unidos consume del orden del 40% del total de la demanda energética de ese país. De este 40%, aproximadamente la mitad (alrededor de 20% del consumo energético total) implica procesos térmicos industriales adecuados para aplicaciones de energía solar con CCPs.

Las tecnologías basadas en SIHP se encuentran en un momento de fuerte desarrollo gracias a diferentes factores como son:

- Existencia instalaciones que emplean captadores solares de concentración para la generación de vapor para sus procesos rompiendo la barrera inicial hacia la inversión.

- Las tecnologías de almacenamiento disponible eliminan las barreras existentes hasta ahora, según las cuales el proceso vendría interrumpido durante la ausencia de energía solar.
- Costes de inversión iniciales se han visto disminuidos debido a una mayor oferta, y se espera su disminución en un futuro, debido al desarrollo de nuevos materiales.
- Evolución del precio de combustible. La mayor parte de las calderas de producción de vapor en la industria consumen gasóleo de calefacción aunque en los últimos años se está evolucionando hacia calderas de gas natural. En cualquier caso, el precio de los combustibles fósiles pese a no tener una variación lineal, sí presenta una tendencia de precios alcista. La tendencia de los últimos años es de una subida anual del **4,8%**.
- Incremento de la experiencia y de personal cualificado en el área.
- Incentivos por parte de algunas administraciones.

Las dos grandes aplicaciones industriales de los captadores solares cilindroparabólicos son la alimentación energética de procesos industriales térmicos que consumen energía térmica en el rango de temperaturas entre 125°C y 400°C (industria alimentaria, industria petroquímica, etc.) y la generación de electricidad. A pesar de que el mercado potencial para aplicaciones SIHP es importante, pues existe un elevado número de procesos industriales térmicos que trabajan en el rango de 125°C - 400°C (ver tabla 2), la aplicación comercial más extendida actualmente es la generación de electricidad.

Tabla 2: Mercado potencial para SIHP

Comida y bebidas	Secado	30-90
	Lavado	40-80
	pasteurización	80-110
	Ebullición	95-105
	Esterilización	140-150
Industria textil	Tratamiento térmico	40-60
	Lavado	40-80
	Blanqueamiento	60-100
Industria Química	Tinte	100-160
	Ebullición	95-105
	Destilación	110-300
Otros sectores	Otros procesos químicos	120-180
	Pre calentamiento agua alimento	30-100
	Calefacción	30-80

En el año 2000 la demanda de energía térmica para procesos industriales en torno a los 250°C fue de 300TWh. Las instalaciones para SIHP existentes actualmente se resumen en la siguiente gráfica.

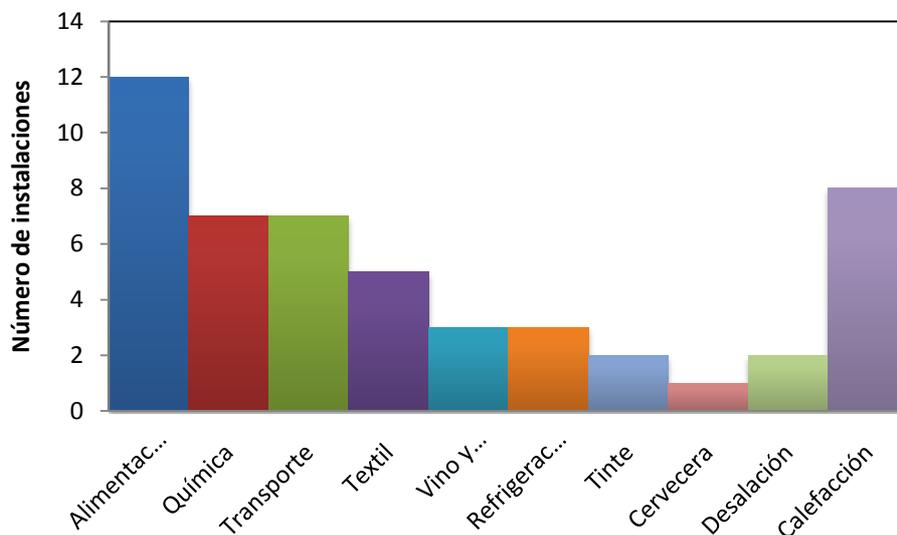


Figura 11: Instalaciones existentes para SIHP en el Mundo



Figura 12: NASR química farmacéutica. Egipto. Capacidad instalada: 1,33 MWth. Fuente: Fichtner Solar GmbH. Alemania

El uso de la energía solar para alimentar energéticamente procesos industriales térmicos presenta dos ventajas importantes frente a las aplicaciones residenciales o domésticas de la energía solar:

- Las cargas industriales son generalmente más constantes a lo largo del año.

- Las plantas industriales normalmente tienen personal propio que podría atender el mantenimiento de un sistema solar.

1.9. USO DEL VAPOR EN LA INDUSTRIA

Puesto que el vapor es el medio de transferencia de calor más común en la industria para temperaturas inferiores a los 250°C, las industrias han ganado gran experiencia en el uso del vapor. Los generadores compactos de vapor han demostrado ser altamente fiables y eficientes. La instalación de un sistema solar con CCPs para producir vapor para un proceso industrial dado, requiere la implementación de una interfase entre el sistema solar y el proceso industrial. Es importante para favorecer la viabilidad de la instalación solar que dicha interfase debe poderse implementar sin realizar grandes cambios en la instalación existente.

El vapor a media temperatura se puede aportar con CCPs en tres formas básicas:

1. Utilizando en los captadores solares un fluido de trabajo que, una vez calentado en ellos, transfiera la energía térmica a una caldera sin llama (intercambiador de calor) donde se produce el vapor que alimenta al proceso industrial. El aceite es un fluido de trabajo muy común para este tipo de sistemas, ya que se comporta como un buen medio de transferencia de calor.
2. Circulando agua presurizada en los captadores y convirtiéndola rápidamente a vapor en un tanque de expansión súbita (flashing). Hasta ahora, este método se ha venido usando solamente para temperaturas no demasiado altas (menos de 200°C), debido a la alta presión necesaria en los tubos absorbentes de los captadores solares y en las tuberías.
3. Evaporando agua directamente en los captadores. Esto es lo que se conoce como proceso DSG (Direct Steam Generation). El principal problema que presenta esta opción es también la alta presión de trabajo que conlleva y posibles inestabilidades en el flujo bifásico agua-vapor.

Las ventajas que han encontrado las empresas en el uso de vapor como suministro térmico en la industria, son:

- No necesita bombas para ser transportado de un lugar a otro (se realiza desde la misma caldera), que es el corazón de la red).
- No tiene peligro de incendio.

- Mediante dos válvulas en el circuito de vapor, podemos controlar fácilmente la presión y la temperatura de nuestra instalación.
- El vapor tiene un elevado poder calorífico por unidad de masa. Eso significa que nos permite transportar una buena cantidad de energía de un lugar a otro por cada unidad de masa.
- Se puede conseguir un excelente coeficiente de transferencia térmica (2,3 a 2,9 kW/m² °C). O sea, resulta fácil que el vapor “suelte” el calor que transporta en un punto más frío.
- Ese potencial energético puede ser utilizado para producir trabajo en turbinas (producir energía eléctrica) o bombas (producir energía mecánica).

Mediante los equipos necesarios también puede ser utilizado para producir vacío.



Figura 13: Tipo de vapor empleado en la industria

1.10. PROCESO GENERAL DE LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA

En este apartado se muestra de forma simplificada el proceso de producción de la cerveza, poniendo especial atención a los procesos intensivos energéticos que son objeto de este trabajo. Será importante conocer especialmente las unidades con un consumo energético en forma de vapor para su posterior análisis y cuantificación de cara al dimensionamiento de la planta.

El proceso de fabricación se divide en la fabricación de la malta y en la producción de cerveza a partir de dicha malta.

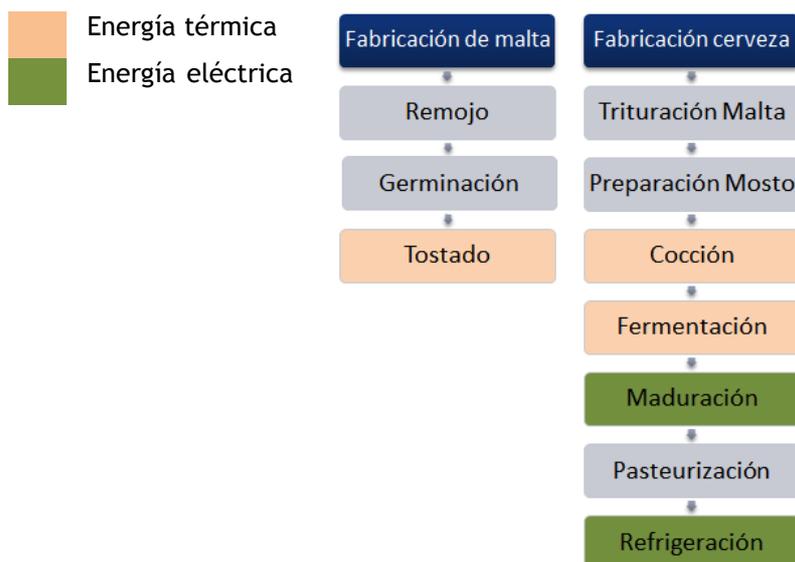


Figura 14: Etapas de producción de cerveza

Fijándose en la planta de producción de cerveza el esquema de las unidades básicas se detalla a continuación describiendo su actividad en los siguientes apartados.

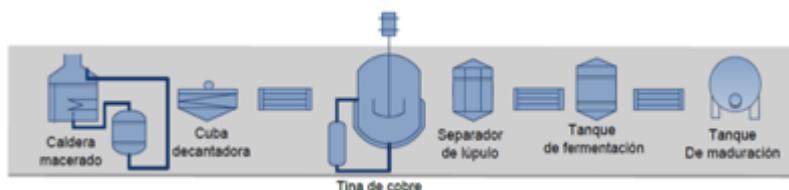


Figura 15: Operaciones básicas en la industria cervecera

1.10.1. Almacenamiento y secado de la cebada

Al almacenar la cebada es necesario tener en cuenta que ésta es más estable seca y mantenida a baja temperatura. En una operación de secado típica de dos horas de duración, el aire utilizado para la desecación debe hallarse inicialmente a 54°C e ir elevando su temperatura hasta los 66°C, pero la temperatura del grano nunca debe sobrepasar 52°C. Es habitual reducir después la temperatura a 15°C, mientras se efectúan las operaciones de limpieza y clasificación de los granos por tamaño. Si el grano está húmedo es fácilmente atacado por los insectos y los hongos causantes de su deterioro, especialmente si la temperatura supera los 15°C, por lo cual es conveniente tener en cada silo varios elementos termosensibles para detectar cualquier subida significativa de temperatura.

1.10.2. Malteado

Esta etapa consiste en la mezcla en seco de los diversos granos, malteados o no, que intervienen en la receta. La proporción de los constituyentes define el perfil del grano, el color y la transparencia de la cerveza.

El malteo consta de tres etapas claves:

- Etapa 1ª.- Remojo: tiene lugar en agua a una temperatura de 67 °C.
- Etapa 2ª.- Germinación: la cebada remojada se desarrolla bajo condiciones controladas.
- Etapa 3.- Secado: la cebada germinada es secada mediante una corriente de aire caliente y se detiene su desarrollo. En todas estas etapas resulta necesario un control completo de la temperatura, de la humedad y del flujo de aire.

1.10.3. Maceración.

El objetivo de la maceración es cambiar la estructura química, a través de la acción enzimática simultánea de algunas de las sustancias constituyentes, de una manera planificada y predecible.

Es necesario someter la mezcla anterior a una serie de operaciones destinadas a activar diversas enzimas que reducen las cadenas largas de azúcares en otras más simples y fermentables. Principalmente, se trata de hacer pasar la mezcla por diversas etapas más o menos largas de temperatura, cada etapa siendo óptima para enzimas diferentes.

La harina de malta se mezcla con agua y se vierte en cubas, donde se produce la maceración. Un aumento de la temperatura a una velocidad apropiada con adecuados periodos de estabilización coloca a los enzimas en condiciones favorables para transformar el almidón en azúcares fermentables y las proteína en péptidos y aminoácidos, que constituirán la fuente nitrogenada necesaria para la fermentación posterior. La maltosa es el sustrato para la levadura, y los péptidos contribuyen al cuerpo, paladar y sabor de la cerveza. Para acelerar y homogeneizar la producción del mosto se añaden enzimas (alfa y beta amilasas, proteasas y glucanasas) directamente. En esta fase también se pueden añadir los adjuntos (previamente acondicionados), a fin de aumentar el porcentaje de almidón. Al final del proceso, la mezcla se somete a filtración.

Aunque se usan otros métodos de maceración, los principios básicos de la maceración son similares en unos y otros sistema.

Esta etapa es uno de los principales consumos de vapor dentro de la industria cervecera suponiendo en torno al 50% del consumo total.

En primer lugar, se debe realizar la maceración (formación de pasta) en agua caliente de una pequeña cantidad de malta triturada, dentro del cocedor de cereales. La carga típica de malta para el cereal sería del 5% al 10% del cereal utilizado.

La temperatura del agua de la masa (agua de base) está en función de la naturaleza de la masa y del ciclo total del cocedor. La temperatura típica de maceración es entre 38°C y 50°C. La relación entre agua y malta debe aproximarse a 1hl/38.66 kg.

Durante el inicio de la transferencia de adjuntos dentro del cocedor de cereales, se aplica calor a la masa para iniciar una elevación gradual hasta la temperatura de ebullición. En presencia de las enzimas de la malta, particularmente la alfa amilasa hace que los gránulos de almidón hinchados de agua revientan, y las moléculas de almidón se dispersan a través de la masa, esta acción ocurre a unos 85°C.

A continuación la temperatura es elevada al punto de ebullición y se hierve la masa durante entre una y dos horas según los adjuntos empleados.

Aproximadamente cuando se están agregando los adjuntos a la masa de éstos, se está macerando la masa de malta en agua caliente para preparar un reposo de peptonización. La temperatura seleccionada para el reposo de peptonización de la masa de malta estará dentro del mismo margen, 38°C-50°C, que no será necesariamente la temperatura idéntica a la de peptonización escogida para la masa de adjuntos.

La masa de adjuntos es transferida por gravedad o por bombeo dentro de la masa de malta con una mezcla constante y con una fijación precisa de tiempos.

Durante la transferencia y durante el lapso inmediatamente siguiente, las enzimas de la malta, y amilasa, encuentran sus temperaturas más favorables para la conversión de los almidones de los cereales, amilosa y amilopectina, en azúcares fermentables, principalmente maltosa, en algunos azúcares no fermentables y en las moléculas algo mayores de dextrinas no fermentables. El tiempo utilizado en la combinación de las masas y la temperatura última de la masa combinada (temperatura de conversión o sacarificación) determina la proporción de maltosa y dextrinas que se producen.

Esta proporción, a su vez, determina el grado de fermentabilidad del mosto.

A la terminación de la conversión se eleva el calor de la masa a la temperatura final de maceración, de 75-77°C a 167-170°C. A esta temperatura, las enzimas que se utilizaron durante las etapas anteriores de la maceración se hallan por encima de su punto óptimo y

en su mayoría están inactivas. La masa está entonces lista para la filtración o clarificación. Por último se lleva la mezcla a unos 82 °C, lo que destruye todas las enzimas.

1.10.4. Filtrado.

Es preciso retirar el grano de la mezcla. Esto se hace por filtración. El resultado es por un lado el mosto, un líquido que contiene todo aquello que el elaborador ha extraído del grano y que se encuentra disuelto en agua, y de otro el grano sobrante o bagazo que normalmente se utiliza en alimentación animal.

La filtración se realiza en cuba filtro o filtro prensa, contribuyendo la propia cascarilla de la malta a formar un lecho filtrante. El mosto se recircula hasta que sale claro, lo que indica que ya se ha formado la capa filtrante.

En esta etapa se separa el mosto del bagazo (restos sólidos de la maceración).

La temperatura final de maceración se puede considerar como una conveniencia, ya que a esta temperatura, la viscosidad del mosto favorece una pronta y completa separación por lo tanto desde el punto de vista térmico se considera nulo el aporte o pérdida de energía, siendo realizada esta operación a 82°C.

1.10.5. Cocción y adiciones de lúpulo.

Se somete el mosto a una cocción hasta dos horas. Esta cocción sirve principalmente para destruir todos los microorganismos que hayan podido introducirse en el mosto. Tiene también otras funciones técnicas como el control del pH del mosto. Durante esta etapa se introducen los lúpulos que frenan los procesos enzimáticos anteriores y proporcionar un aroma característico. Acabada esta operación, se procede a retirar los restos de lúpulo. En este momento, el mosto es un caldo de cultivo que podría infectarse rápidamente y debe pasar a fermentación.

1.10.6. Refrigeración.

Al no poderse inocular la levadura a temperaturas más altas que 35 °C, y para evitar que cualquier otro microorganismo entre en el mosto, se enfría lo más rápidamente posible. El mosto hervido con lúpulo y que ya ha sido separado del residuo del lúpulo y del turbo caliente, se enfría antes de ser introducido en los tanques de fermentación.

El mosto se encuentra aproximadamente a unos 98°C y éste se debe enfriar hasta unos 8°C en un intercambiador de placas que utiliza agua como refrigerante.

La temperatura final del mosto enfriado variará de acuerdo con el tipo de cerveza que deseamos producir, es decir con la temperatura necesitada en la fermentación posterior y, concretamente, para el estilo de cerveza, es el caso de las cervezas estilo: *Lager*, los mostos pasan al fermentador a 10-15°C, *Ales*, se necesitan temperaturas entre 16-20°C.

1.10.7. Fermentación.

Cuando se acaba el oxígeno, la levadura empieza a consumir el azúcar y lo transforma en alcohol y anhídrido carbónico. Estas etapas pueden durar entre una y tres semanas. Al final de este tiempo las cervezas Lager (de baja fermentación) industriales son filtradas, pasteurizadas, envasadas con un añadido de CO₂ y distribuidas.

La transformación del mosto en cerveza se realiza mediante la fermentación, afinándose la cerveza posteriormente durante su estancia en las bodegas de guarda.

El mosto frío se introduce en grandes depósitos donde se le añaden las levaduras, previamente preparadas, que crecen hasta agotar el oxígeno y fermentar los azúcares transformándolos en alcohol y anhídrido carbónico (CO₂) de manera natural. Dado que esta reacción es exotérmica, los depósitos de fermentación se refrigeran para mantener una temperatura entre 9 a 13°C, según el tipo de cerveza.



Segundas fermentaciones: Las cervezas más artesanas son envasadas con adiciones de azúcar (o de mosto) y de levadura fresca. Esto provoca una segunda fermentación en la botella, responsable de la efervescencia de la cerveza.

1.10.8. Acondicionado:

Cuando la cerveza ha madurado se lleva a cabo el filtrado, donde se eliminan las partículas en suspensión así quedará brillante y apta para su envasado.

1.10.9. Embotellado

Normalmente existe una bodega refrigerada grande ya sea en el Departamento de Envasado o en el Departamento de Producción de la Cervecería, la cual tiene varios tanques, que se usan para guardar la cerveza terminada antes del envasado. La cerveza no debe dejarse en esos tanques por más de tres o cuatro días. La temperatura en esta sala debe mantenerse en 0-1°C.

1.10.10. Lavado de botellas retornables

La mayoría de las cervecerías reciben sus recipientes vacíos en palets.

Las botellas que se devuelven son limpiadas mediante la inserción de éstas dentro de los transportadores de la lavadora. Los compartimientos son llenados con una solución para el lavado de botellas que consiste en agua, sosa cáustica (NaOH), un agente quelante tal como el gluconato de sodio y un agente humedecedor. La causticidad total de la solución en todos los compartimientos, salvo los últimos dos, debe ser de 4,5 a 5%.

Los controladores de temperatura en los compartimientos deben regularse de manera que las botellas alcancen una temperatura máxima de 85°C tan pronto como sea posible, pero a la vez que nunca experimenten un cambio de temperatura que sea mayor de 30°C; esto significa, por ejemplo, que si la temperatura de la botella antes de entrar al enjuagador es de 20°C, la temperatura en el primer compartimiento no puede ser mayor de 50°C.

1.11. USO DEL VAPOR EN LA INDUSTRIA DE LA CERVEZA

Como se ha visto en el apartado 1.9 se emplea vapor en procesos industriales como un eficiente portador de calor. Se produce en la caldera y se transmite a las instalaciones cerveceras mediante un sistema de distribución de tuberías. Durante el proceso, el vapor pierde calor y se condensa.

Una propiedad muy importante del vapor saturado es que su temperatura está directamente relacionada con su presión, como puede verse en la figura 16. Por lo tanto, la temperatura de los distintos procesos puede ser controlada de forma muy precisa si controlamos la presión del vapor.

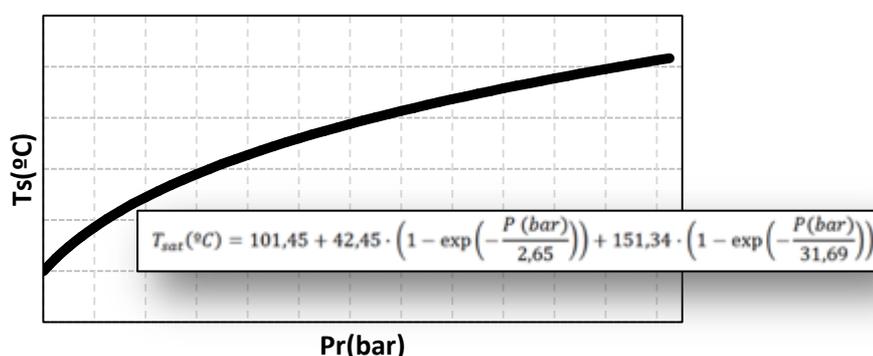


Figura 16: Relación entre la temperatura de saturación y la presión relativa del vapor de agua

La gran mayoría de compañías cerveceras, distribuirán el vapor a una presión entre 7 y 10 bar. La presión se irá reduciendo en cada uno de los procesos hasta llegar a su nivel óptimo. Para que las temperaturas puedan ser controladas de forma más precisa es esencial que se suministre vapor saturado seco de alta calidad y a su correcta presión durante el proceso.

Cualquier rastro de humedad o de gases incondensables en el vapor podría hacer bajar su temperatura o dañar la transferencia del calor. Esto dificultará un control más exacto y a veces puede no ser posible alcanzar las temperaturas de producción deseadas minimizando el riesgo de daños en las tuberías a causa de golpes de ariete.

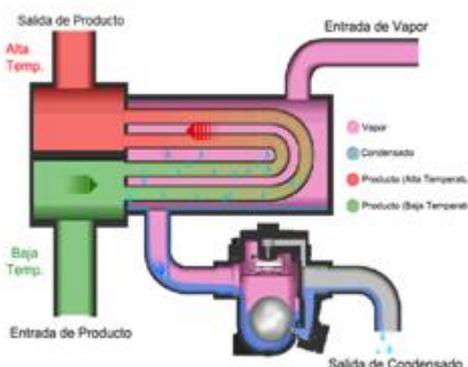


Figura 17: Esquema del uso vapor en la industria

Cuando el vapor sale de la sala de calderas debe contener tan poca humedad y gases incondensables como sea posible. Esto asegurará disponer de la máxima cantidad de calor

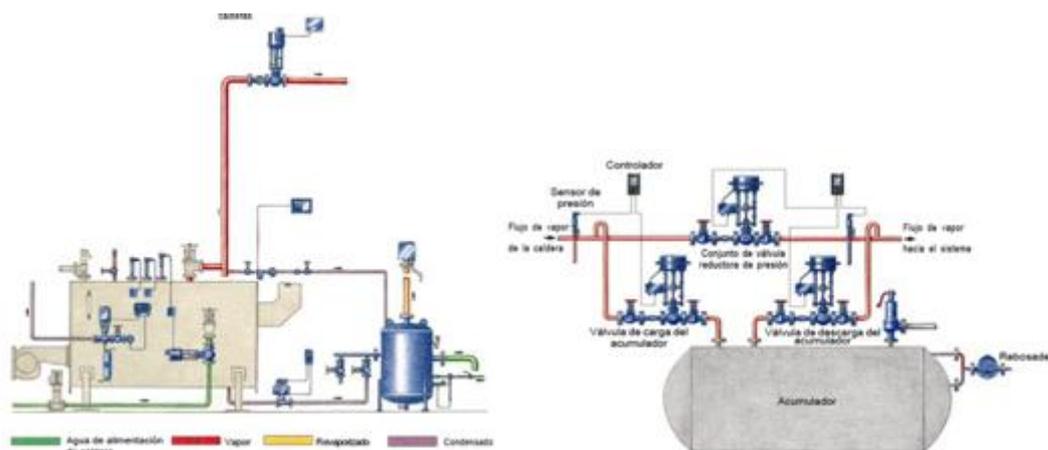


Figura 18: Caldera de generación de vapor y acumulador

1.11.1. Calidad del vapor

Los repentinos picos de demanda de vapor que se dan en la industria cervecera pueden provocar arrastre en las calderas, con un vapor muy húmedo pasando a través del sistema de circulación. Son varios los métodos disponibles para minimizar los daños que estas repentinas subidas de la demanda pueden causar en el funcionamiento general del proceso de elaboración.

El almacenamiento térmico puede ser incrementado usando una caldera más grande de lo normal o introduciendo un acumulador de vapor. El acumulador de vapor almacena energía térmica cuando la demanda no es demasiado elevada e incrementa el caudal durante los aumentos bruscos de demanda. Este sistema protegerá las calderas de los efectos de una

excesiva demanda, permitiendo a la vez la transmisión a las tuberías de cantidades normales y que las altas demandas de vapor que puedan surgir sean cubiertas.

El uso de válvulas de excedente para restringir el caudal de vapor a un máximo que resulte seguro o cerrar el suministro a los usos menos prioritarios durante las demandas excesivas pueden ser también otros caminos posibles para proteger todo el sistema.

Para asegurar que las pérdidas por radiación se mantienen mínimas, se debe aislar térmicamente el sistema de distribución de vapor. Incluso cuando está aislado habrá algunas pérdidas por radiación y convección, condensando algo de vapor y formando condensado en la tubería. Es importante sacar el condensado para que el vapor que llega a los procesos sea tan seco como sea posible. La eliminación del condensado de las líneas de distribución es también necesaria para evitar daños causados por golpes de ariete. Éstos ocurren cuando bolsas de condensado son impulsadas a lo largo de las tuberías a la velocidad del vapor.

El condensado se puede desalojar por medio de un separador como se muestra en la figura 19 de una estación de medición de vapor, y en caso de largos recorridos de distribución, debe instalarse un punto de purga intermedio. Debe hacerse previsión también para eliminar el aire y los gases incondensables del sistema de distribución de vapor mediante eliminadores termostáticos de aire estratégicamente colocados.

El condensado se forma a causa de las pérdidas por radiación y convección en la tubería. Si no se desaloja, una bolsa de condensado puede desarrollarse y verse arrastrada por la tubería a la velocidad del vapor.



Figura 19: Unidad de intercambio de calor y sistema de control

1.11.2. Control de presión del vapor

El vapor saturado es usado durante el proceso de elaboración de la cerveza a distintas presiones dependiendo de las necesidades especiales de cada uno de los distintos procesos. Las necesidades de presión de estos procesos pueden variar desde 1 bar a 5 bar. El vapor debería generarse a la máxima presión posible y después reducirse para cumplir las

necesidades específicas del proceso. Esto ayudaría con el problema de los aumentos de demanda repentinos y de paso mantendría el tamaño de las tuberías de distribución lo más pequeño posible.

1.11.3. Usos del vapor en la industria cervecera

Una gran proporción de vapor producido en una industria cervecera se usa para la extracción de azúcar y aromas en el proceso de macerado y para la ebullición del mosto, momento en el cual la cerveza es esterilizada y estabilizada. Solo estos dos momentos acumulan más del 50% de la demanda de vapor. El vapor se usa para proporcionar calor necesario en:

- Pasteurización
- Producción de licor caliente
- Limpieza de botellas
- Sistemas de limpieza in situ (CIP)

Además de ser necesario en todos estos procesos, el vapor será necesario también para el sistema de calefacción o de aire acondicionado dentro de las instalaciones.

1.11.4. Intercambiadores de calor de placas

Los intercambiadores de calor de placa se usan en la elaboración de la cerveza para una gran variedad de procesos caloríficos y refrigerantes.

Para las aplicaciones de calentamiento se suele utilizar el vapor como medio primario. Se controla con facilidad y sus excelentes cualidades para transportar calor permiten dimensionar al mínimo las tuberías y el intercambiador.

Una válvula de control de temperatura ajusta constantemente el caudal y presión del vapor primario para compensar las fluctuaciones de caudal y temperatura en la entrada de líquido secundario. Así se asegura que el producto que sale del intercambiador está siempre a la temperatura correcta. Cuando el vapor cede su calor, se condensa y este condensado debe desalojarse inmediatamente para permitir al vapor que siga entrando en el intercambiador y siga con el proceso. Si se permite que el condensado permanezca en el intercambiador, el resultado sería un control pobre de temperatura y aumentarían las posibilidades de daños por golpes de ariete.

Si se selecciona el tipo correcto de purgador, y siempre que la presión en el espacio del vapor del intercambiador sea superior a la presión en el sistema de retorno de condensado, el condensado se desalojará tan pronto como se haya formado.

De todos modos, la presión en el espacio ocupado por el vapor de un intercambiador de placas nunca es constante y puede caer incluso hasta una condición de vacío con cargas bajas. Cuando la presión en el sistema de retorno de condensado es superior a la presión en el espacio vapor del intercambiador, se dice que el intercambiador está en una condición de interrupción de flujo ("stall"). Bajo estas condiciones el condensado no puede ser desalojado del intercambiador. Una solución efectiva para este problema consiste en instalar una unidad bomba/purgador. De esta manera se asegurará que el condensado se desaloje del intercambiador bajo condiciones de trabajo normales y en condiciones "stall".

1.11.5. Recuperación del revaporizado

El revaporizado se libera del condensado si la presión disminuye. Generalmente esto ocurre cuando pasa por el proceso a través de un purgador a un sistema de retorno de condensado a baja presión. El condensado a baja de presión tiene un contenido de calor sensiblemente menor que el condensado de alta presión, y este excesivo contenido de calor puede dar lugar a la formación de vapor a una presión más baja. La recuperación del revaporizado puede ser un complemento en el suministro de vapor para aplicaciones que necesiten vapor a baja presión, como es el caso del proceso objeto de este proyecto.

1.11.6. Retorno del condensado

La última etapa en el manejo de condensado es retornar lo antes posible el máximo de condensado caliente a la sala de calderas. Incluso una vez recuperado el revaporizado, el condensado a baja presión contiene una buena cantidad de calor - más de 400 kJ/kg a presión atmosférica - además, no necesitará tratamiento del agua antes de volver a entrar a la caldera.

Sistemas para retornar el condensado pueden incluir sistemas de retorno por gravedad, sistemas de bombas eléctricas o sistemas que incluyen la versátil bomba accionada por presión.

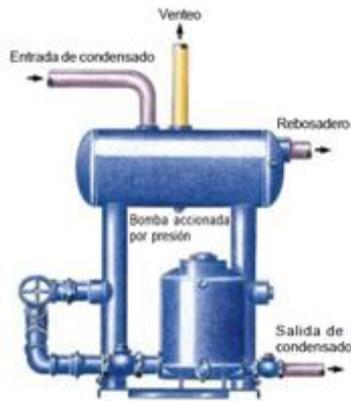


Figura 20: Sistema de retorno del condensado

1.12. CONSUMO ENERGÉTICO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA

En este apartado se analiza el consumo energético, tanto en intensidad como su variación a lo largo del tiempo de la planta de estudio, clave para el dimensionado de la instalación solar.

Sería recomendable de cara a incrementar la precisión del estudio un análisis *bottom-up* que consiste en obtener los datos de la fuente en cada uno de los equipos e integrarlos para toda la planta. Sin embargo, el cálculo del consumo energético de una planta de estas características es especialmente complicado ya que se trata de un sector muy cerrado a la divulgación de los datos de operación. Por lo tanto se procede a un análisis *top-down* empleando el siguiente esquema:



Figura 21: Analisis "top down" de la industria cervecera

Para ello se emplearán datos bibliográficos de la industria de la cerveza así como estudios del sector.

1.12.1. Actividad

La industria alimentaria consumió en el año 2000 el 7% del total de la energía primaria de industria de fabricación. En concreto las fábricas de producción de cerveza consumen el 40% del total de la energía primaria en el sector de las bebidas.

La actividad de la cerveza en España cuenta con 21 instalaciones trabajando al 91% de su capacidad productiva media y con un volumen de producción mostrado en la siguiente tabla.

Tabla 3: Consumo energético en la industria cervecera en España

Año	Producción hl	Petrolíferos energéticos kte	Gases energéticos ktep	Renovables ktep	calor y otros ktep	Electricidad ktep
2002	28.255.056	15.332	51.340	0,46	0,37	23.317
2003	28.820.396	14.935	52.618	0,46	0,38	23.550
2004	29.397.701	7.572	59.392	0,47	0,38	23.288
2005	29.983.980	5.090	61.224	0,88	0,38	23.112
2006	30.585.215	5.089	62.372	1,13	0,39	23.513
2007	31.195.424	5.119	62.320	1,15	0,40	23.466
2008	31.820.598	5.196	61.983	1,17	0,41	23.342
2009	32.457.718	5.214	62.438	1,20	0,42	23.453
2010	33.106.813	5.232	62.799	1,22	0,43	23.565
2011	33.767.872	5.310	63.093	1,24	0,43	23.737
2012	34.443.888	5.328	63.393	1,26	0,41	23.870

En el periodo considerado 2002-2012 en la fabricación de cerveza se observa la tendencia hacia un aumento en el consumo de gas natural y de energías renovables frente al consumo de fuelóleo ya que las primeras resultan menos contaminantes. Sin embargo, en el consumo de energía eléctrica no se muestra apenas variaciones entre los distintos años.

En los años venideros se prevé la sustitución de fuelóleo por gas natural ya que este último es más eficiente energéticamente. El crecimiento en el consumo de gas natural es claro, el aumento supondría un 14% entre 2002 y el 2012 en la utilización de este tipo de combustible. Por el contrario, en este periodo analizado la reducción en la utilización de fuelóleo se estima en un 15%.

Tabla 4: Evolución del consumo de fuentes energéticas en la industria cervecera en España

consumo de combustibles	2002		2012	
	tep	%	tep	%
fuelóleo	15332	22,71%	5328	7,57%
gas natural	51340	76,06%	63393	90,06%
renovables (biogás)	460	0,68%	1260	1,79%
calor y otros	370	0,55%	410	0,58%
total	67502	100,00%	70391	100,00%

Sin embargo, en la fabricación de malta se estima que la producción va a estar en torno a 400.000-450000 toneladas aumentando la capacidad productiva de las 9 malterías actuales que ya ha alcanzado alrededor del 100%. Respecto a la distribución del tipo de combustibles se prevé que en los próximos años se llegue a sustituir el fuelóleo por gas natural ya que las zonas en las que están ubicadas estas, ya estén prácticamente gasificadas en su totalidad.

En el año 2001 el porcentaje de fuelóleo alcanzó el 20% del combustible total, mientras que en el 2002 se estima que este porcentaje disminuya hasta el 7% aumentando el de gas natural hasta el 93%.

1.12.2. Unidades industriales

En este apartado se detalla el consume de la planta objeto del proyecto. Se trata de la planta de Heineken en Sevilla con una producción de 350 MM de litros anuales.

Si bien es cierto que esta planta ha realizado un progreso muy importante en la reducción del consumo energético unitario como se puede observar en la figura 22 el consumo todavía supone (restando la parte correspondiente al biogás recuperado de las unidades de fermentación unos 60 MJ/hl producido).

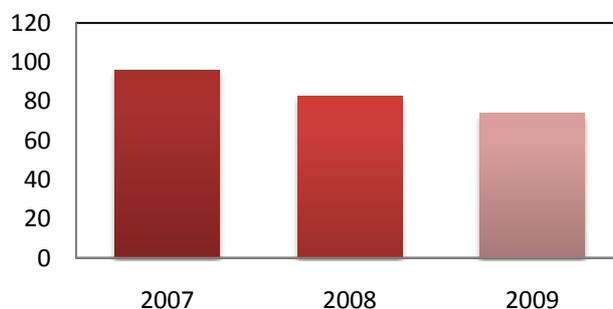


Figura 22 Consumo específico (MJ/hl) en la planta de Heineken de Sevilla

Esto supone un consumo anual de más de 53 GWh anuales en combustibles sólidos.

Las emisiones de CO₂ asociadas a esta unidad de producción se sitúan en los 7,29 kg/hl que anualmente se traducen en 2,5MM toneladas de CO₂.

1.12.3. Proceso y equipos

La distribución de consumo energético por proceso se resume en la siguiente tabla:

Tabla 5: Consumo energético por en cada uno de los procesos

térmica	Fermentación	60%	3,18E+07
	Embotellado	30%	1,59E+07
	Calefacción	2%	1,06E+06
	Otros	8%	4,24E+06
		100%	5,30E+07
eléctrica	Refrigeración	35%	9,80E+06
	Embotellado	20%	5,60E+06
	Aire comprimido	10%	2,80E+06
	Fermentación	8%	2,24E+06
	Caldera	5%	1,40E+06
	Luz	3%	8,40E+05
	otros	19%	5,32E+06
		100%	2,80E+07

A partir de los datos bibliográficos sobre temperatura y duración de cada uno de los procesos se tiene la siguiente gráfica:

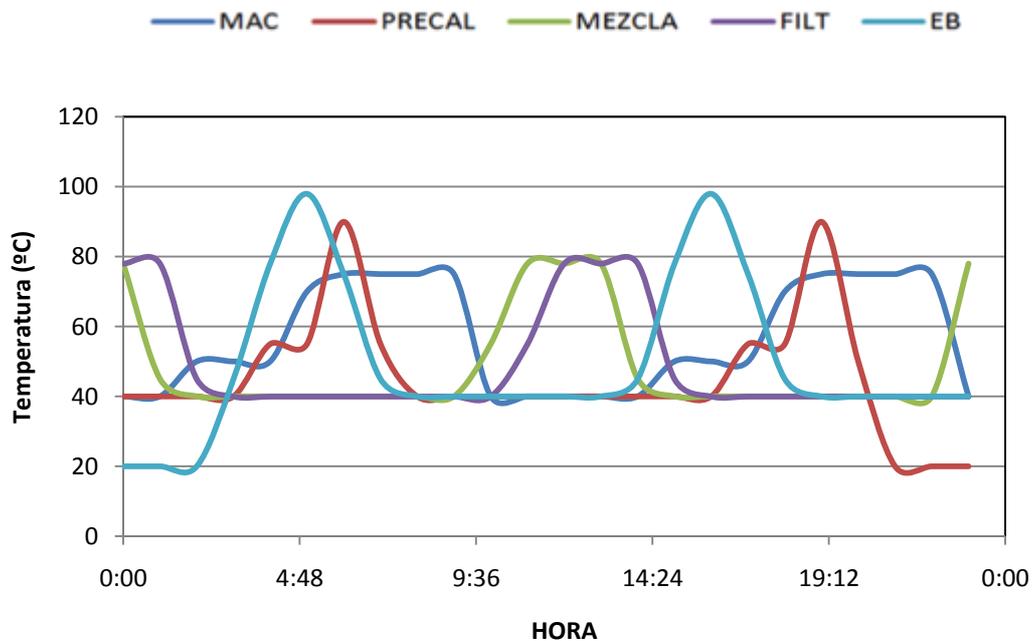


Figura 23: Perfil de temperatura de los procesos térmicos

A partir de los datos de la tabla 5 y la gráfica 23 se calcula el consumo energético para cada una de las horas según la intensidad requerida en cada caso. El resultado se muestra en la siguiente gráfica:

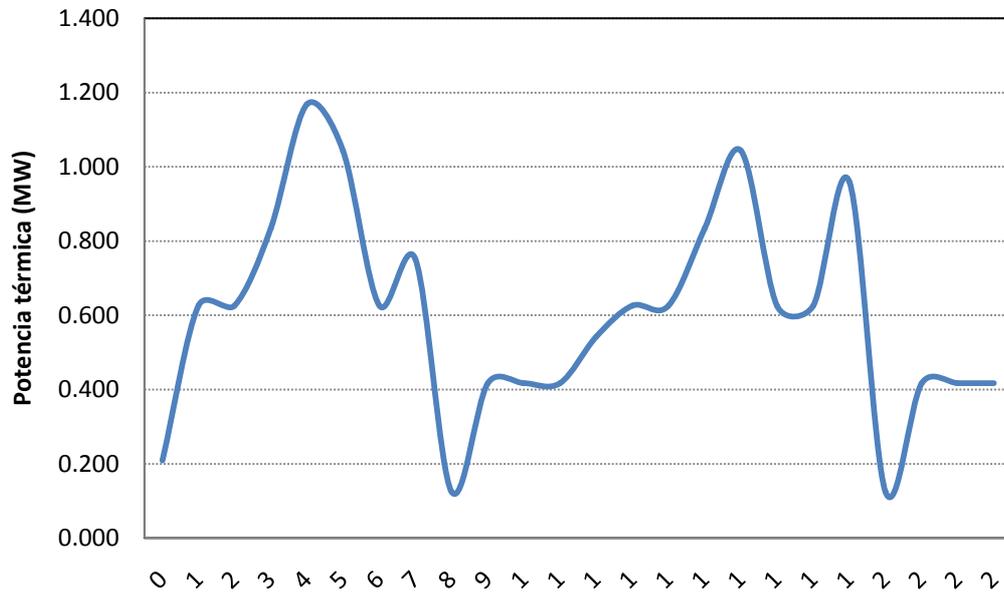


Figura 24: : Perfil de consumo energético horario

CAPÍTULO 2: BASES DE DISEÑO

2.1. ESTUDIO Y SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

La fábrica de cerveza de Heineken sobre la que se ha planteado este proyecto se encuentra en la llamada Hacienda de la Solaica, en Alcalá de Guadaíra, municipio perteneciente a la provincia de Sevilla en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Situado a tan solo 15 kilómetros al Este de la capital de provincia, es la tercera ciudad de la región tras ésta y la vecina Dos Hermanas.



Figura 25: Localización de la Fábrica de Heineken

Las coordenadas exactas del lugar donde se sitúa la fábrica de Heineken son:

Tabla 6: Coordenadas de la fábrica de Heineken

Coordenadas Geográficas	Latitud	37°23'30,88" N
	Longitud	5°1'48,17" W
	Elevación	37 metros
Coordenadas UTM	X	322.037,810
	Y	4.096.742,059
	Zona	30

El recinto que ocupa tiene una superficie total de 736.678 m², de los cuales 226.492 m² están construidos. Se trata de una finca catalogada como Parcela con un único inmueble, y el suelo sobre el que se levanta es de uso general industrial, dividiéndose la parte construida en:

Tabla 7: Usos del suelo en la finca que ocupa la Fábrica de Heineken

Uso	Superficie catastral
Industrial	65.876 m ²
Oficina	2.474 m ²
Hotelero	534 m ²
Sanidad	318 m ²
tOtros usos	2.847 m ²
Obr Urb Int	154.443 m ²
TOTAL	226.492 m²

La superficie de terreno necesaria para la instalación de la planta de concentradores cilindroparábólicos dependerá de la demanda de energía térmica en forma de vapor de agua de la fábrica de cerveza, y del porcentaje de la misma que se quiera cubrir.

2.1.1. Superficie disponible

Es evidente que para minimizar las pérdidas en el transporte del fluido caloportador la distancia desde el campo solar hasta los diferentes procesos industriales demandantes de calor deberá ser lo menor posible. Es por eso que interesa hacer un análisis de las fincas adyacentes a la ocupada por la fábrica de Heineken, con el objeto de presentar los potenciales emplazamientos de la instalación. Se ha analizado el área situada en un radio de 1.500 metros desde el centro de la finca ocupada por la Fábrica de Heineken.



Figura 26: Mapa de posición de los emplazamientos analizados

La superficie 01 se encuentra situada al Oeste de la fábrica de Heineken, a una distancia en su punto más cercano de 350 metros y en su punto más lejano de 1150 metros. Con una elevación similar a la cota del terreno de la fábrica, tiene una superficie de terreno potencialmente disponible de 31.662 metros.



Figura 27: Vista de la Superficie 01

En la estimación del terreno disponible se han tenido en cuenta diferentes factores:

Primero, usando la herramienta SIGPAC (Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas) se ha delimitado la parcela según el registro del catastro. En el caso de la superficie 01, pertenece a la finca con referencia catastral número 41900A01800001, cuya silueta se puede apreciar en la siguiente imagen.



Figura 28: Finca con referencia catastral 41900A01800001

A continuación se ha mejorado el nivel de detalle, distinguiéndose las diferentes parcelas que componen esa referencia catastral:

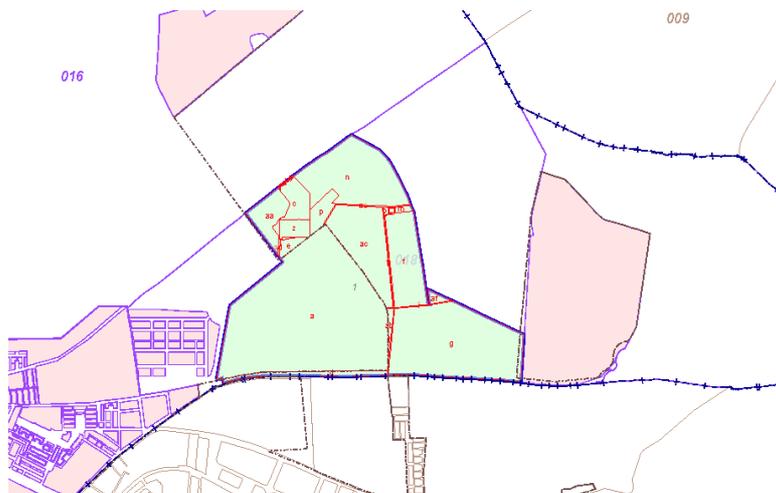


Figura 29: Parcelas que componen la finca con número de referencia catastral 41900A01800001

Finalmente se ha comprobado que la subparcela g, según datos del Ministerio de Economía y Hacienda, está registrada como clase de suelo rústico, de tipo agrario, con una clase de cultivo Improductivo y una superficie de 31,6624 hectáreas. La subparcela a, sin embargo, aparece registrada como terreno con cultivo de olivos por lo que se descarta su posible arrendamiento o compra por parte de Heineken para la instalación del campo solar.

Otra posibilidad se encuentra en el terreno colindante, el registrado catastralmente con la referencia número 41900A01800003.



Figura 30: Finca con referencia catastral 41900A01800003

De nuevo usando la herramienta SIGPAC y cruzando los resultados con los encontrados en la Dirección General del Catastro se obtiene la siguiente descomposición en subparcelas:

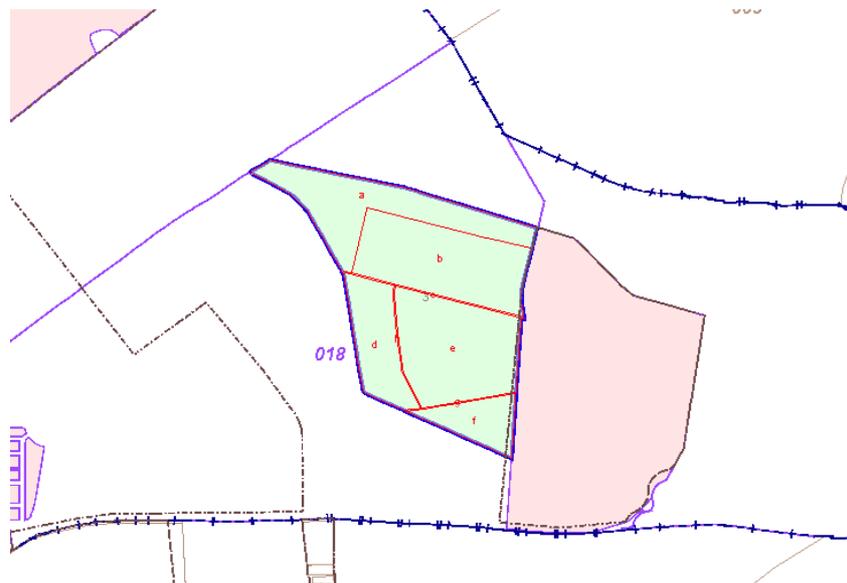


Figura 31: Parcelas que componen la finca con número de referencia catastral 41900A01800003

De donde las subparcelas e y f están consideradas como terreno rústico agrario destinado a la labor o al labradío mediante regadío y suman una superficie conjuntamente de 24.703 metros cuadrados, nombrándose de ahora en adelante en este proyecto “superficie 02”. Estos terrenos, colindantes con el recinto de la fábrica de cerveza, se encuentran a 950 metros en su punto más alejado y a 300 metros en su punto más cercano.



Figura 32: Vista de la Superficie 02

Al Este del recinto ocupado por la fábrica de Heineken existen otros dos terrenos potencialmente aptos para la instalación del campo solar, las superficies 03 y 04.

La superficie 03 se encuentra contenida dentro de la finca cuyo número de registro catastral es el 41900A01900005. Localizada a una distancia de la fábrica de 300 metros en su punto más cercano y de 950 metros en el más alejado, ofrece una superficie aproximada de 22,2 hectáreas disponibles para la instalación de los concentradores.



Figura 33: Vista de la Superficie 03

Finalmente la superficie 04, contenida dentro de la finca registrada con el número 41900A01900004, tiene un área disponible para el campo solar de aproximadamente 16,7 hectáreas, aunque tiene la desventaja de contar con una zona en su interior (subparcela b) de pastos que podría dificultar el diseño del mismo. La distancia mínima a la fábrica es de 200 metros y la máxima de 600 metros.

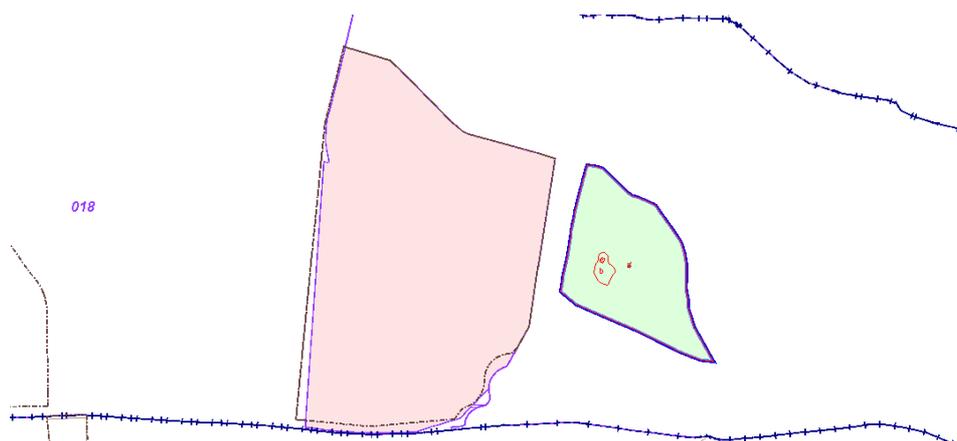


Figura 34: Parcelas que componen la finca con número de referencia catastral 41900A01900004



Figura 35: Vista de la Superficie 04

Un resumen de la información expuesta anteriormente se puede ver en la tabla siguiente:

Tabla 8: Resumen de las superficies disponibles

Nombre	Superficie disponible (Ha)	Distancia mínima (m)	Distancia máxima (m)	Referencia catastral
Superficie 01	31,6	350	1.150	41900A01800001
Superficie 02	24,7	300	950	41900A01800003
Superficie 03	22,2	300	950	41900A01900005
Superficie 04	16,7	200	600	41900A01900004

La elección de uno u otro emplazamiento vendrá marcado por las necesidades del proceso, que requerirán un mayor o menor tamaño del campo solar y, por lo tanto, una finca lo suficientemente extensa como para permitir su ubicación.

De la información expuesta anteriormente se puede concluir:

- Existen cuatro emplazamientos potenciales, tanto al Este como al Oeste de la fábrica de Heineken con una superficie conjunta disponible de 95,2 hectáreas.
- Las parcelas que contienen a los emplazamientos propuestos pertenecen todos al término municipal de Sevilla.
- A la hora de llevar a cabo la tramitación de los permisos de la instalación será necesario por lo tanto realizar las solicitudes correspondientes (licencia de obra, licencia de actividad y licencia ambiental) al Ayuntamiento de Sevilla.

A la hora de tomar la decisión final sobre cuál es la parcela más idónea deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones adicionales:

- Del dimensionamiento del sistema solar que se necesita para la fábrica de cerveza se obtiene que será necesaria una parcela de unas dimensiones aproximadas de 500

m en la dirección N-S y de unos 250 m en la dirección E-O, por lo que cualquier parcela que tenga al menos estas dimensiones resultaría, en primera aproximación, de tamaño suficiente y con una orientación adecuada para ubicar el sistema solar objeto de este proyecto.

- La parcela 04 no parece un buen candidato, pues entre dicha parcela y la fábrica se interpone una carretera y esta circunstancia aumentaría de forma importante el coste de la interconexión entre el campo solar y la fábrica y la tramitación de los permisos asociados (p.e. servidumbre de paso).

Resumiendo, el emplazamiento elegido para albergar la Planta Termosolar es la llamada Superficie 02, situada al Oeste de la Fábrica de cerveza de Heineken, colindante con la parcela que ocupa y con una superficie disponible de 24,7 hectáreas. De la misma, serán necesarias 15 hectáreas para dar cabida al campo solar y al resto de sistemas principales de la instalación.

2.1.2. Análisis de la climatología

La región se caracteriza por poseer un clima mediterráneo levemente continentalizado, con inviernos suaves y veranos secos muy cálidos. La temperatura media anual en los últimos diez años (usando datos desde el 1 de enero de 2001 hasta el 31 de diciembre de 2010) ha sido de 17,6°C, siendo la media de temperaturas máximas 30,8°C y la media de temperaturas mínimas 5,8°C. Las mínimas temperaturas se alcanzan en el mes de enero, llegándose a valores negativos. Las máximas se alcanzan en julio superándose de media los 41°C en dicho mes.

La media anual de precipitaciones es de 578 milímetros, distribuyéndose principalmente entre los meses de octubre a mayo (92,7% del total anual), siendo diciembre el mes más lluvioso (98,36mm) y julio el más seco (0,58mm).

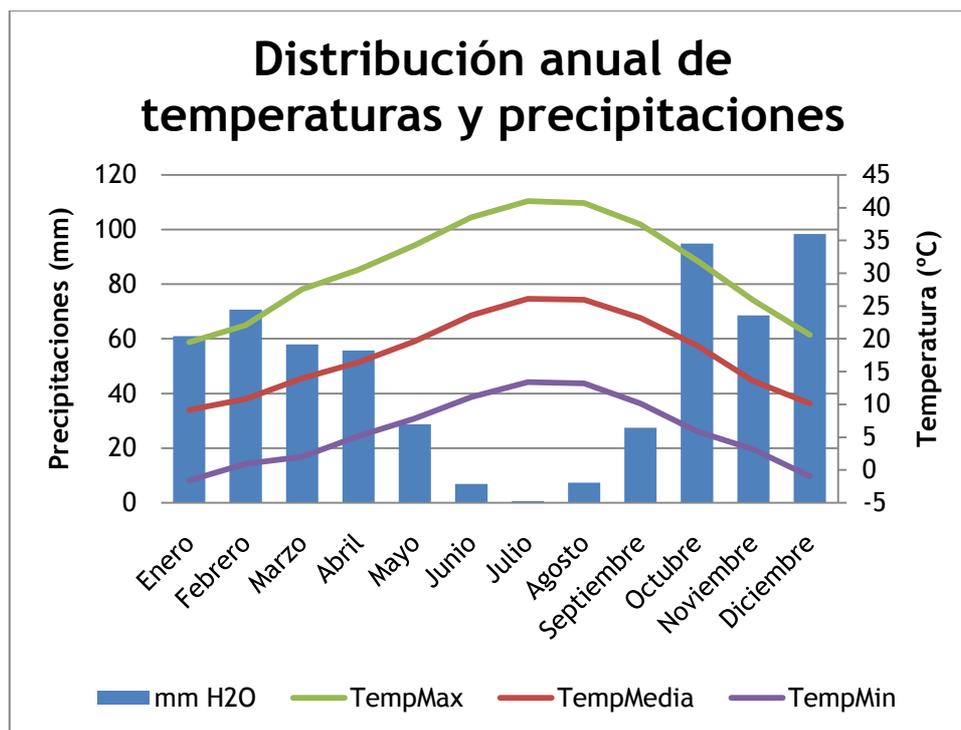


Figura 36: Distribución anual de temperaturas y precipitaciones

2.1.3. Características geológicas del emplazamiento

En cuanto a los aspectos geológicos, usando como base la hoja número 984 del Mapa Geológico-Minero de Andalucía escala 1:50.000, publicado en el año 1975, y su memoria explicativa publicada en el año 1999 por el Instituto Geológico y Minero de España, el emplazamiento se caracteriza tener un relieve prácticamente llano (<3%), a excepción de una pequeña porción limítrofe con la plataforma de Carmona, de pendiente algo más elevada (3-10%).

Enmarcado en plena Depresión del Guadalquivir, se encuentra situado entre el Macizo Herpérico al Norte y las Cordilleras Béticas al Sur, hundiéndose bajo las aguas del Océano Atlántico hacia el suroeste, en el Golfo de Cádiz. Además la estructura del terreno muestra como sedimentos más representativos los del Terciario y el Cuaternario, predominando litológicamente las margas, arenas, calcarenitas, limos arenosos y arcillas, de origen marino. De hecho la misma memoria citada en el párrafo anterior se describe los siguientes muros de tramo a techo en una sección estratigráfica junto a la localidad de Alcalá de Guadaíra, distante 3,5 kilómetros de la fábrica de Heineken (cita textual de dicha memoria):

- 10 m de arenas y calcarenitas muy alteradas y coluvionadas.
- 2,5 m de calcarenita estratificada en cuerpos tabulares con laminación paralela, que alternan con niveles de arenas de tamaño medio. Las calcarenitas se

encuentran muy bioturbadas por callianasa (estructura ophiomorfa), con desarrollo de burrows horizontales muy alterados.

- 7,5 m de alternancia de arenas calcáreas de color amarillento y calcarenitas muy karstificadas.
- 7,5 m de calcarenita masiva. En los análisis petrológicos realizados en dicha sección (dos muestras) se observan: cuarzo con extinción recta y ondulante, lamelibranchios, gasterópodos, briozoos, microforaminíferos y algas rodoíceas; matriz micrítica, cemento fibroso, bladed y drusy; porosidad móldica.

Tanto la parcela donde se erige la fábrica de Heineken como los terrenos limítrofes en los cuales se plantea la instalación del campo solar se encuentran alejados de áreas de protección medioambiental preferente, como son los LIC (Lugares de Importancia Comunitaria) y las ZEPA (Zonas de Especial Protección para las Aves). La situación de los mismos se puede observar en los siguientes mapas, para todo el territorio nacional y para la Comunidad Autónoma de Andalucía, donde la estrella representa la posición de la fábrica de Heineken.



Figura 37: Localización de los lugares protegidos incluidos en la Red Natura 2000

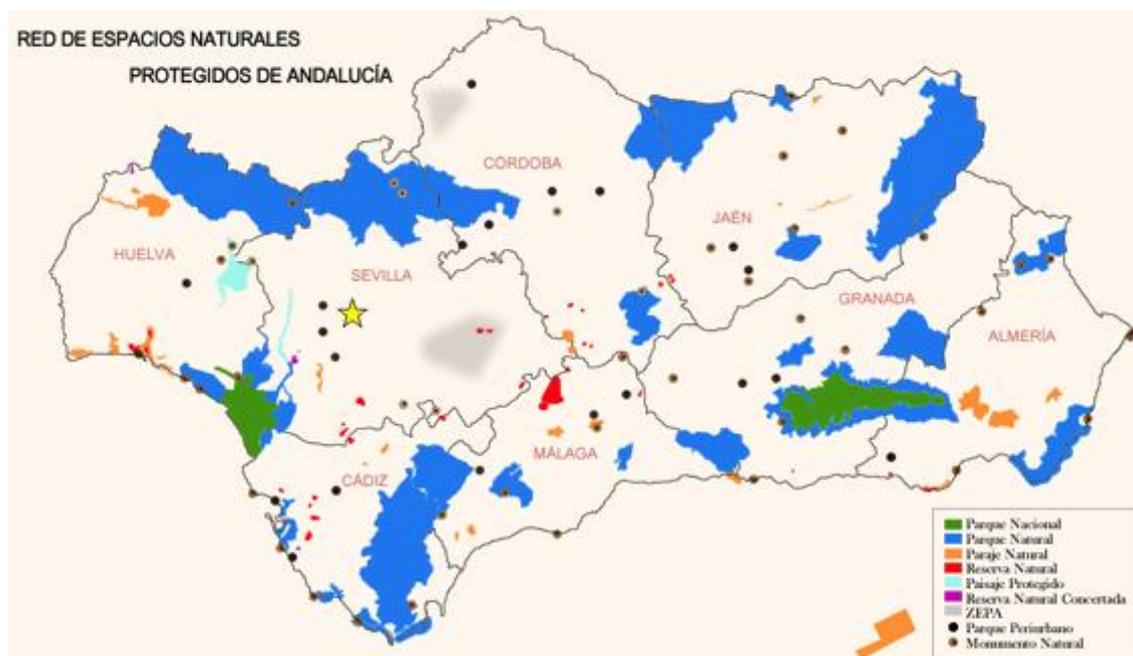


Figura 38: Localización de los espacios naturales protegidos de la Comunidad Autónoma de Andalucía

2.1.4. Proximidad a la red eléctrica de distribución

Finalmente es preciso conocer la disponibilidad y la cercanía de la red eléctrica para alimentar todos los equipos electromecánicos de la instalación, tratándose en cualquier caso de evitar grandes distancias para minimizar los costes de generación. Según el documento anexo, emitido por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa y publicado en el Boletín Oficial de la Provincia de Sevilla con fecha 27 de agosto de 2009, existe una subestación eléctrica perteneciente a Ferrovial Agroman en la Hacienda La Solaica, tensión de servicio 15-20kV, centro de transformación interior de 50kVA, relación de transformación 15(20)kV/400V, con finalidad se suministro para el alumbrado de la autovía, así como de la transmisión de la misma a una empresa distribuidora de energía eléctrica.

Existe además un Plan General de Ordenación Urbanística para el municipio de Sevilla, aprobado por Acuerdo Plenario del Ayuntamiento de Sevilla con fecha 14 de junio de 2006, del cual se anexa el apartado 2.3-La Modernización y Ampliación de la Infraestructura de Energía Eléctrica, contenido en el capítulo VIII con las Propuestas Sobre las Infraestructuras Urbanas Básicas. En este documento se enumeran las nuevas subestaciones a construir para el suministro a los sectores urbanizables de la zona Este de Sevilla para alimentar a los nuevos crecimientos de la ciudad, de los que conviene destacar los siguientes, localizados dentro de la Hacienda la Solaica:

- Subestación Solaica, a construir dentro del sector SUS-DE-10 66kVA
- Subestación Solaica, 220/132 privada al servicio de la factoría Heineken.

Queda claro que a priori no deberá existir ningún problema con el suministro de energía eléctrica al campo solar, al existir al menos dos subestaciones eléctricas de 50kVA y 66kVA, y una tercera privada para uso de la factoría Heineken con relación de transformación 220/132. Puesto que el consumo eléctrico total del campo solar que se ha diseñado en este proyecto no excede los 100 kVA, es muy probable que la opción que finalmente elija la propiedad sea alimentar desde el propio centro de distribución del que actualmente se alimenta la fábrica de cerveza, pues la potencia eléctrica requerida es pequeña.

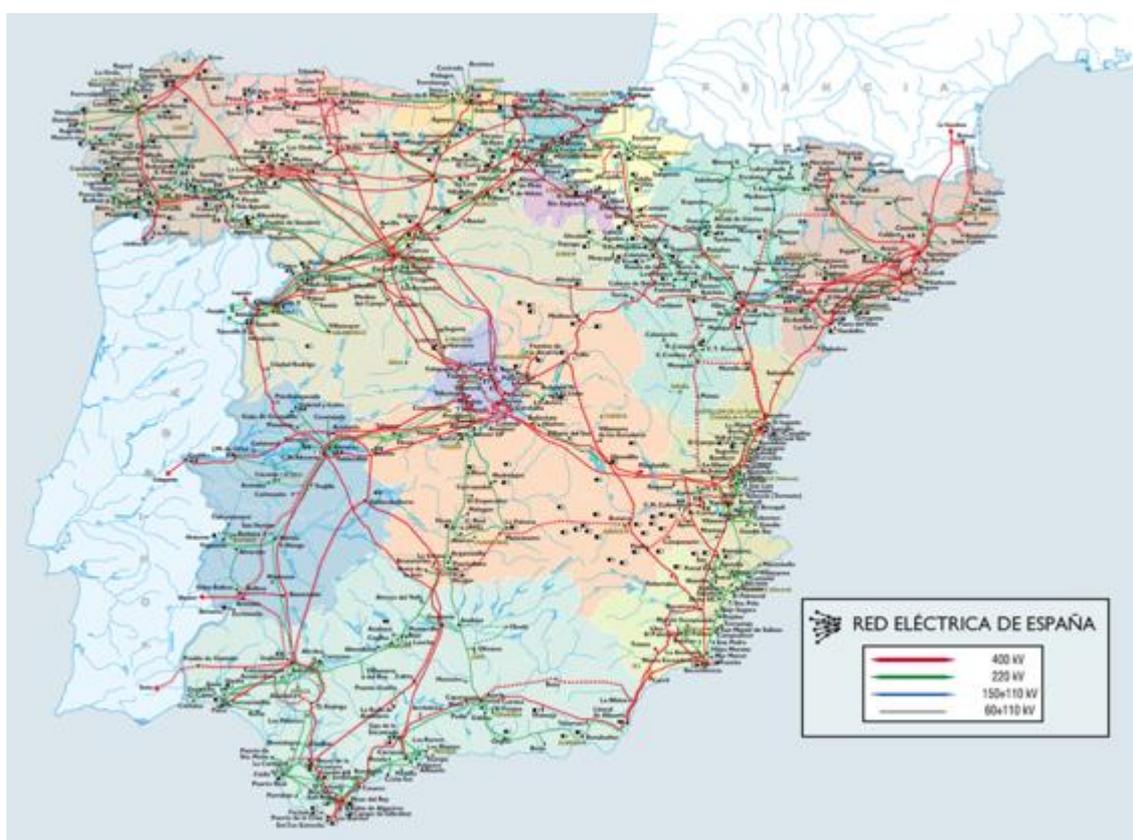


Figura 39: Situación de las redes eléctricas de transporte y distribución



Figura 40: Detalle de la situación de las redes eléctricas de transporte y distribución en los alrededores de la Planta

2.2. ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR

En este apartado se realizará la evaluación del recurso solar disponible en el emplazamiento analizado. El estudio del potencial solar en el emplazamiento consiste en el análisis de los datos de radiación disponibles, el tratamiento de los mismos, la estimación de las variabilidades asociadas y el cálculo de la producción una vez consideradas todas las pérdidas.

A la hora de evaluar el recurso solar, y a falta de una medida precisa y específica en el propio emplazamiento, se ha recurrido a diversas fuentes para la obtención de datos de radiación, con el fin de realizar un ajuste estadístico de los mismos y minimizar los errores asociados a ellos.

Las fuentes utilizadas han sido las siguientes:

- NASA: National Aeronautics and Space Administration
(<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>)
- S.I.A.R.: Sistema de Información Agroclimática para el Regadío
(<http://mapa.es/siar/Informacion.asp>)

- PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>)
- Meteonorm 6.0 (<http://www.meteotest.ch>)
- P.S.A.: Plataforma Solar de Almería (<http://www.psa.es/webesp/index.php>)
- SODA: Solar radiation Data (<http://www.soda-is.com/eng/index.html>)

2.2.1. Descripción de las fuentes utilizadas

NASA

Basándose en observaciones tanto terrestres como satelitales, la NASA (Agencia Aeroespacial Norteamericana) ha desarrollado un sistema de información geográfica capaz de proporcionar valores estimados de irradiación para una posición geográfica y una inclinación de la superficie captadora determinadas, dividiendo la superficie terrestre en una malla con una precisión de un grado de longitud por un grado de latitud (formándose 64.800 regiones, con clústeres de aproximadamente 100km por 100km). Posteriormente los datos de energía solar son generados usando el algoritmo de onda corta de Pinker/Laszlo, teniendo en cuenta los datos de nubosidad medidos por el ISCCP-DX (International Satellite Cloud Climatology Project DX, <http://isccp.giss.nasa.gov/>).



Figura 2 - Cuadrícula empleada por la NASA

S.I.A.R.

A lo largo del territorio nacional existen multitud de estaciones agroclimáticas mantenidas por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino que se encargan de registrar, con intervalos de diez minutos, variables meteorológicas como temperatura, irradiación, velocidad y dirección del viento, precipitaciones, humedad relativa, etc.

En la imagen a continuación se puede observar la localización de las estaciones agroclimáticas de la red S.I.A.R. más cercanas al emplazamiento analizado.



Figura 41: Localización de las estaciones agroclimáticas de la red SIAR más cercanas al emplazamiento analizado

PVGIS

El Sistema de información Geográfica Fotovoltaica fue creado por la Comisión Europea a través del programa SOLAREC para el desarrollo de las Energías Renovables. Usando el modelo *r.sun*, implementado dentro del proyecto GRASS (Geographic Resources Analysis Support System, <http://grass.fbk.eu/>) de la fundación OSSEO (Open Source Geospatial Foundation, <http://www.osgeo.org/>), y diversas técnicas de interpolación, el algoritmo es capaz de estimar las componentes directa, difusa y reflejada de la irradiación solar tanto sobre superficies planas como inclinadas, así como el índice de claridad atmosférica y el ratio radiación difusa-total. Para ello sigue los siguientes pasos:

1. Cálculo de la irradiación global sobre una superficie horizontal, asumiendo un cielo despejado. La precisión de cada clúster es de 1km por 1km.

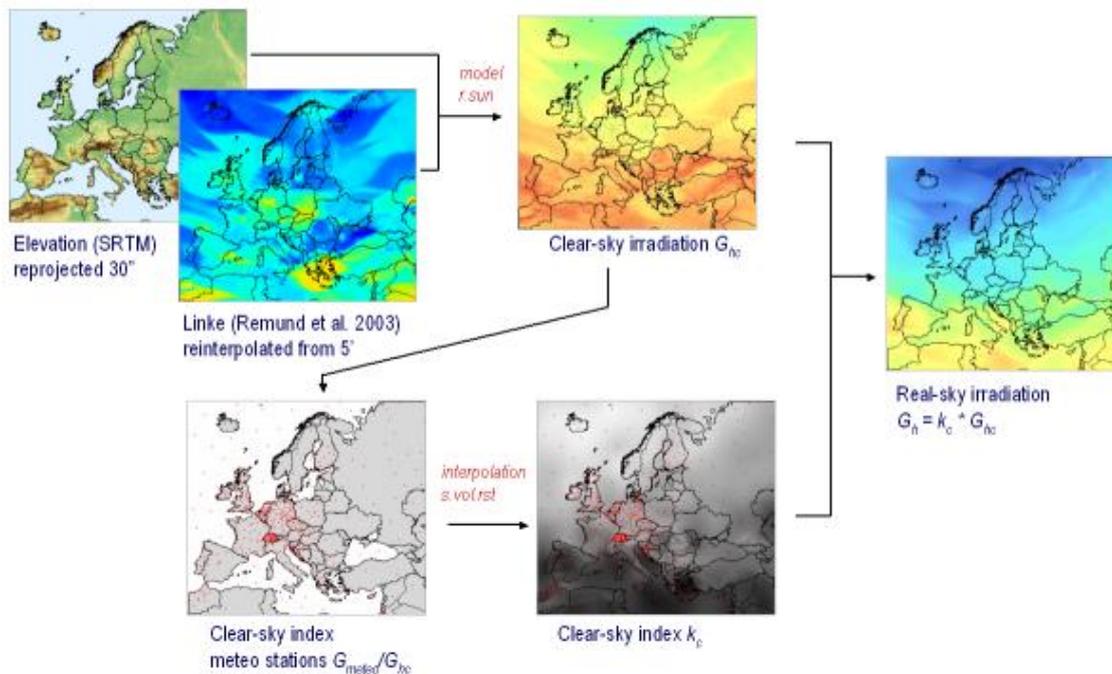


Figura 42: Esquema de cálculo de la Irradiación Horizontal

2. Cálculo del índice de claridad atmosférica y computación del mapa rasterizado de la radiación global sobre superficies horizontales

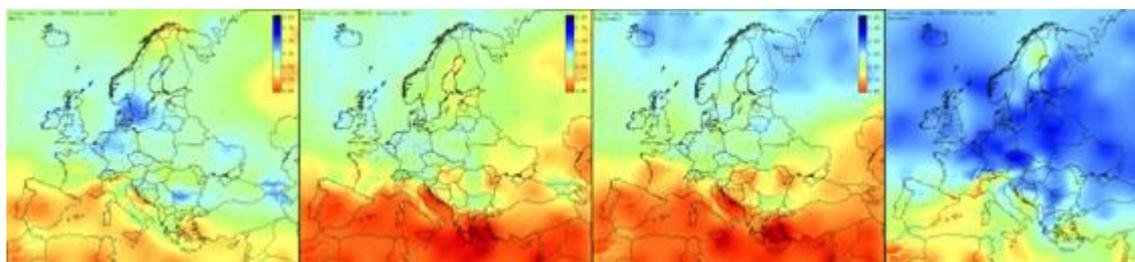


Figura 43: Valores medios mensuales del índice de claridad

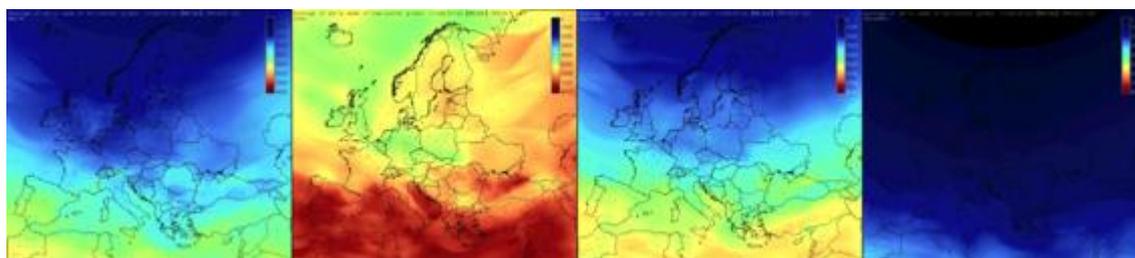


Figura 44: Valores mensuales de la irradiación global diaria

3. Cálculo de las componentes difusa y directa y computación del mapa rasterizado de la radiación global sobre superficies inclinadas

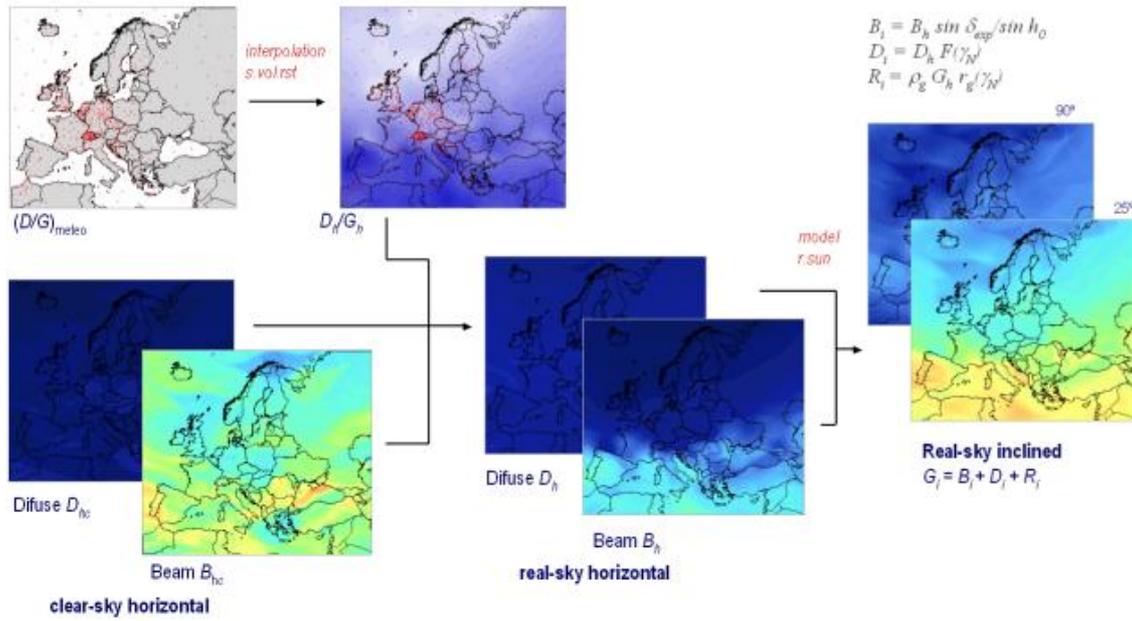


Figura 45: Esquema del cálculo de la radiación sobre una superficie inclinada

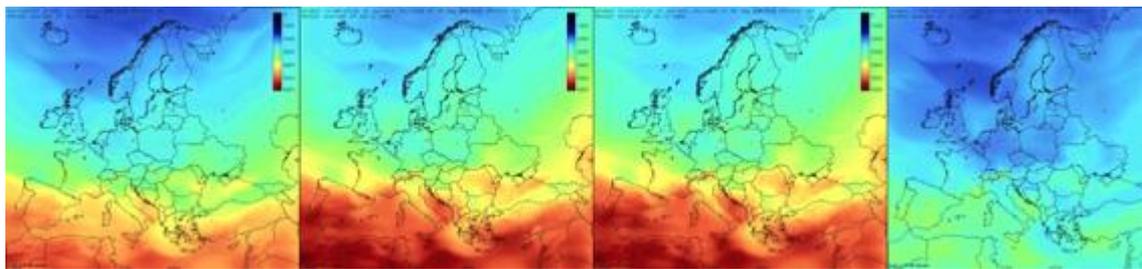


Figura 46: Valores medios anuales de la irradiación global diaria para superficies inclinadas 0°, 25°, 40° y 90°

4. Evaluación de la precisión y comparación con datos reales extraídos de la base de datos del ESRA (European Solar Radiation Atlas), iniciativa desarrollada por la Comisión Europea bajo el programa Joule II - DG XII.

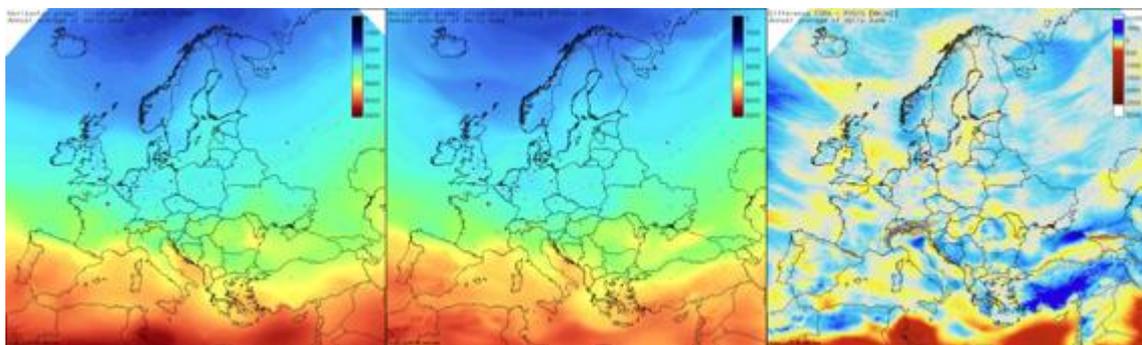


Figura 47: Comparativa entre los valores medios anuales de la irradiación global horizontal diaria calculada mediante ESRA y PVGIS, y la diferencia entre ambas

Meteonorm 6.0

Meteonorm, un software comercial de amplia difusión a nivel internacional, permite obtener datos de irradiación media horaria, temperatura ambiente, intensidad del viento, etc. empleando para ello una red de estaciones de medida localizadas en aproximadamente 7.700 emplazamientos, además de datos meteorológicos obtenidos por satélite. Además permite alcanzar una gran precisión en las estimaciones, empleando análisis estadísticos para extrapolar los resultados, con la idea de incluir la orografía, distancias e incluso algunos efectos meteorológicos locales y regionales.

Para el presente apartado se han analizado los datos de irradiación media horizontal con periodicidad horaria para un año tipo proporcionado por Meteonorm, con información de radiación para el periodo comprendido entre el año 1981 y el 2000.

SODA

SODA (Solar radiation Data) ofrece una amplia base de datos relativa a la radiación solar y su uso. Desarrollado por el Centre Energétique et Procédés (CEP), perteneciente a la Escuela de Ingenieros Mines ParisTECH y a ARMINES, una estructura creada en el año 1967 para promocionar la investigación en Francia y que a día de hoy cuenta con más de 600 empleados, entre científicos, ingenieros, doctores, postgraduados, etc.).

Recientemente ha liberado la base de datos HelioClim-1 con 21 años de información sobre radiación solar, cubriendo el continente africano, la cuenca del mediterráneo y el centro del Océano Atlántico. Actualmente se encuentra desarrollando un servicio que combina HelioClim-1 con la base de datos de la NASA SSE (Surface meteorology and Solar Energy) descrita anteriormente.

PSA

Finalmente se han tenido en cuenta los datos ofrecidos por los investigadores de la Plataforma Solar de Almería, tomados para una localidad de la provincia de Sevilla situada a unos 30 kilómetros del emplazamiento analizado, y con características meteorológicas muy similares a las del emplazamiento de la fábrica de Heineken. Los datos aportados por la PSA aportan información en intervalos de 15 minutos sobre las radiaciones global y directa sobre un plano horizontal, la temperatura ambiente, la dirección e intensidad del viento, etc. En el análisis del recurso solar se le ha dado una importancia especial a esta fuente de datos, ya que se trata de datos reales medidos mediante una estación meteorológica adecuadamente mantenida para que los datos resultasen de total fiabilidad.

2.2.2. Análisis de los datos de irradiación

No todas las bases de datos aportan la misma información:

- Los datos ofrecidos por la PSA incluyen valores quinceminutales de un gran número de variables (radiaciones global, directa y difusa, temperatura, precipitaciones, etc.) a lo largo de un año. Son datos tomados in situ mediante el uso de un pirheliómetro por lo que se pueden aceptar a priori como muy cercanos a la realidad del emplazamiento analizado.
- El software Meteonorm ofrece los valores mensuales de radiación global, directa y difusa, iterando con 3 estaciones meteorológicas cercanas con una ventana temporal de 19 años (1981-2000).
- La estación agroclimática ubicada en La Rinconada ofrece datos de temperaturas, precipitaciones y humedades relativas, sin embargo sólo da valores diarios de irradiancia global sobre el plano horizontal.
- PVGIS ofrece el promedio mensual de la radiación global media sobre el plano horizontal, así como el factor de difusa, por lo que se puede calcular la radiación directa usando las ecuaciones de la radiación fácilmente localizables en la literatura (en este informe se han usado las ecuaciones que vienen descritas en el capítulo 3 - Radiación Solar, del libro Energía Solar Fotovoltaica, Perpiñán Lamigueiro, Oscar, versión de Abril de 2010)
- La NASA estima valores para el promedio mensual de la radiación diaria para sus componentes global, difusa y directa.
- Finalmente la base de datos SODA ofrece valores mensuales para la radiación global.

Los valores obtenidos mediante todas las bases de datos para el promedio mensual de la radiación global sobre el plano horizontal se encuentran en la tabla siguiente:

Tabla 9: Radiación Global sobre plano horizontal mensual, obtenida mediante diferentes fuentes, Total Anual, Promedio y Dispersión de los datos

Mes	Radiación Global Horizontal (kWh/m ² /mes)						Promedio	Dispersión
	Meteonorm	SIAR	PVGIS	PSA	SODA	NASA		
Enero	78	78	81	61	80	79	76	7%
Febrero	92	93	94	92	97	98	94	2%
Marzo	146	135	151	127	146	147	142	5%
Abril	161	178	179	191	170	171	175	4%

Mayo	205	217	220	200	201	203	208	3%
Junio	216	232	239	237	231	225	230	3%
Julio	235	247	253	238	231	242	241	3%
Agosto	202	219	226	217	217	214	216	2%
Septiembre	161	163	162	164	158	160	161	1%
Octubre	120	117	122	127	114	113	119	3%
Noviembre	75	86	92	73	85	79	82	7%
Diciembre	67	69	73	50	70	67	66	8%
TOTAL	1758	1832	1891	1777	1801	1797	1809	2%

Gráficamente la distribución anual de la radiación para las distintas fuentes es:

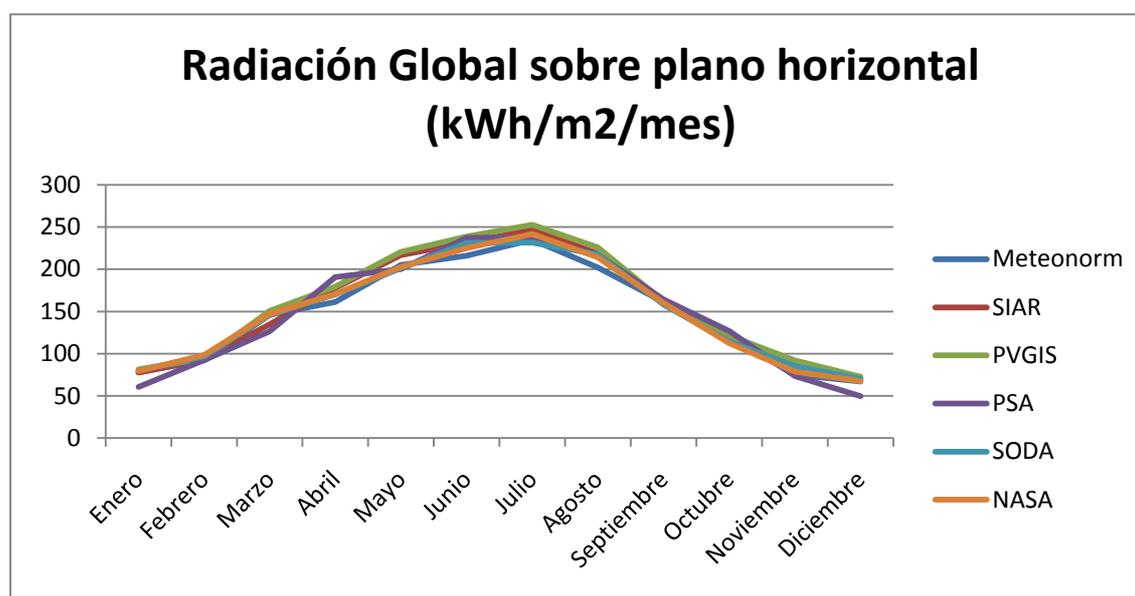


Figura 48: Radiación Global sobre plano horizontal

A la hora de estimar la radiación directa no se pueden usar todas las bases de datos descritas anteriormente, al no ser trivial el cálculo de la radiación directa a partir de datos de radiación global. Se muestran por lo tanto a continuación los datos obtenidos mediante las bases de datos de la NASA y la PSA.

Tabla 10: Radiación Directa mensual, obtenida mediante diferentes fuentes, Total Anual, Promedio y Dispersión de los datos

Radiación Directa (kWh/m2/mes)				
Mes	PSA	NASA	Promedio	Dispersión
Enero	81	143	112	28%
Febrero	110	149	130	15%
Marzo	123	190	156	21%
Abril	220	187	203	8%
Mayo	187	210	199	6%

Junio	266	249	257	3%
Julio	270	286	278	3%
Agosto	249	261	255	2%
Septiembre	190	202	196	3%
Octubre	165	152	159	4%
Noviembre	91	127	109	17%
Diciembre	61	122	91	33%
TOTAL	2014	2278	2146	6%

De nuevo se puede visualizar gráficamente la distribución a lo largo del año de la radiación directa a partir de los valores mostrados en la tabla anterior:

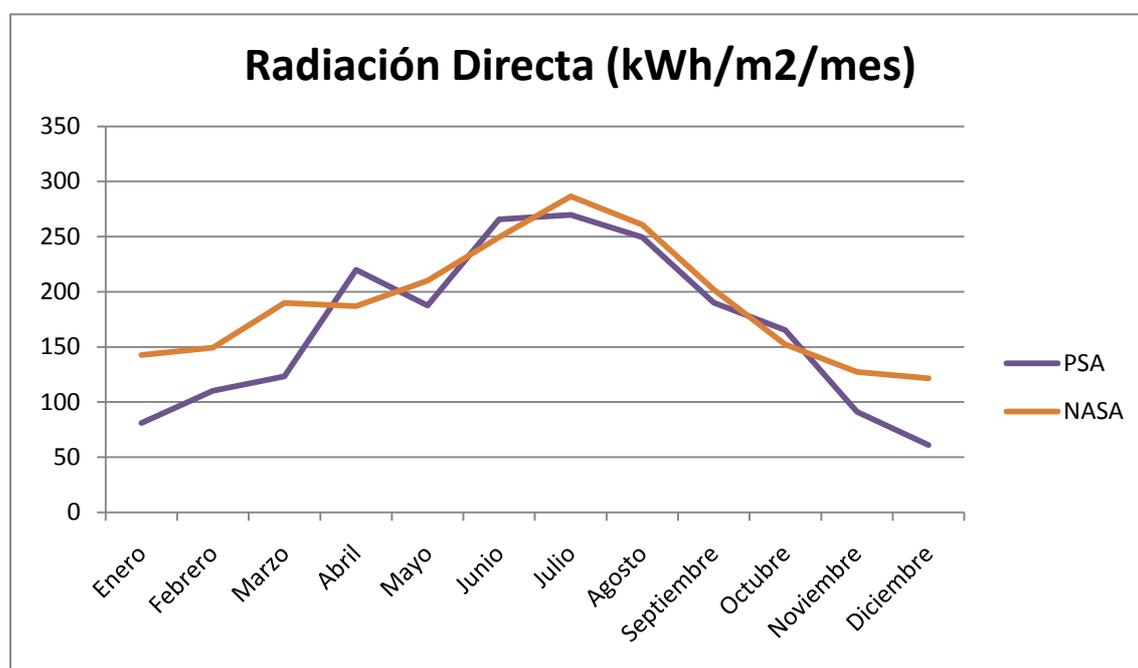


Figura 49: Radiación Directa

Como se puede observar existe una dispersión de los datos que es mucho más evidente en el caso de la radiación directa, con una dispersión respecto de la media anual del 6% (frente al 2% para los de la radiación global) con picos mensuales del 33% para el caso de usar sólo los datos de la NASA y de la PSA. La explicación de este hecho puede ser que como se ha comentado anteriormente la NASA extrapola los datos de radiación en base a un mallado con celdas de 100km x 100km, considerándose por lo tanto válidos para el análisis del recurso solar en este emplazamiento los datos ofrecidos por la PSA. En la gráfica que se muestra a continuación puede verse la dispersión de los datos, para el caso de radiación global y para el caso de radiación directa.

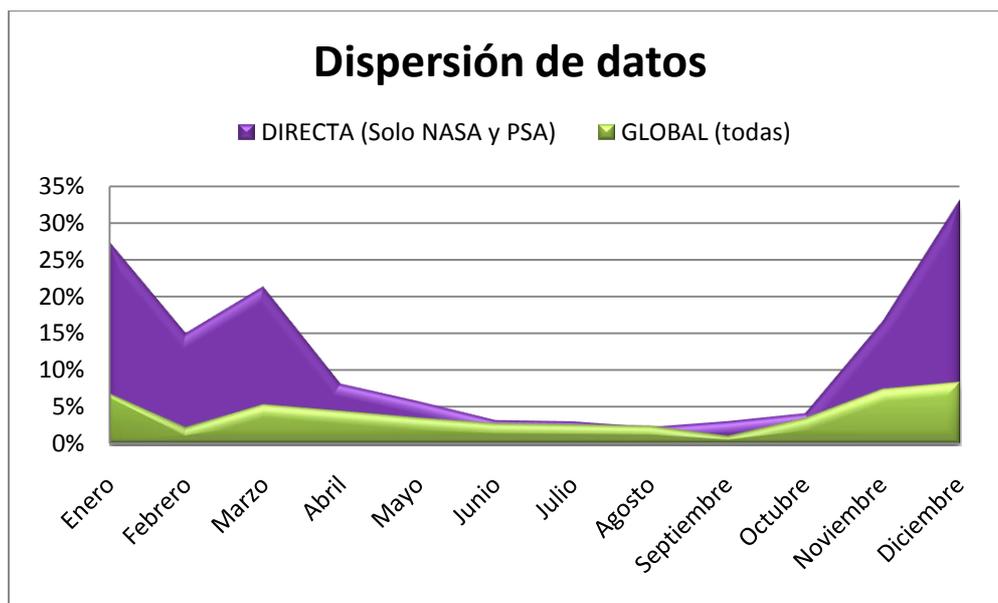


Figura 50: Visualización de la dispersión de los datos empleados respecto al promedio de los mismos, para la Radiación Directa (usando solo datos de la NASA y de la PSA), y la Radiación Global sobre el plano horizontal

Finalmente se resumen a continuación los valores utilizados para el dimensionamiento del campo de colectores de las variables meteorológicas y de radiación del emplazamiento analizado:

Tabla 11: Datos meteorológicos y de radiación del emplazamiento analizado

MES	Temperatura Ambiente, °C	Humedad relativa, %	Irradiación Global Horizontal, W/m2/día	Irradiación Normal, W/m2/día	Velocidad Viento, m/s	Dirección viento, grados
Ene	12,02	86,58	81,68	108,87	1,68	204
Feb	13,19	74,49	136,33	162,73	1,82	161
Mar	16,34	78,77	170,09	165,49	1,99	205
Abr	18,75	52,90	264,94	305,34	1,86	189
May	21,00	65,54	269,00	251,81	1,68	189
Jun	26,34	45,85	329,57	368,87	2,13	194
Jul	27,44	47,09	319,80	362,63	1,85	200
Ago	27,99	43,81	291,80	335,09	1,70	194
Sep	24,77	55,68	227,93	263,97	1,66	204
Oct	19,47	62,51	170,35	222,07	1,29	197
Nov	14,37	77,62	101,94	126,42	1,39	191
Dic	12,46	86,84	66,79	82,04	1,38	177
TOTAL	19,55	64,80	202,75	229,76	1,70	192

2.3. PUNTO DE DISEÑO

El punto de diseño del campo solar fija las condiciones de partida para el dimensionado del sistema. Es imprescindible que los datos de partida se ajusten lo máximo posible a la realidad, pues serán los valores de partida sobre los que se diseñará todo el sistema.

Los datos necesarios para definir el punto de diseño provienen tanto del proceso industrial al que se acoplará la planta, como de las características meteorológicas del emplazamiento, así como de los factores definidos por el propio campo solar. Se pueden resumir como se muestra a continuación:

2.3.1. Datos del punto de diseño fijados por el Proceso Industrial

- Energía demandada al campo solar: El proceso industrial demanda al campo solar una energía de $145,221 \text{ MWh}/\text{dia}$, según el perfil analizado en el apartado 1.12. Consumo energético en la fabricación de cerveza.
- Temperatura del fluido a la entrada del campo solar: Tal y como se explicará con más detalle en el apartado 4.1. Dimensionado del campo solar, se ha elegido un valor para la temperatura de entrada al campo solar de 180°C .
- Temperatura del fluido a la salida del campo solar: Se ha elegido la temperatura máxima que admite el Therminol 55, 295°C .

2.3.2. Datos del punto de diseño fijados por el Campo Solar

- Tipo de captador y especificaciones técnicas: El captador usado es el modelo EUROTROUGH 100, cuyas características técnicas serán analizadas más adelante en el apartado 3.3. Elección de los captadores.
- Aceite térmico y propiedades termo-físico-químicas: El aceite utilizado es el Therminol 55, cuyas propiedades más importantes se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 12: Propiedades del aceite Therminol 55

THERMINOL 55	
Composición	Hidrocarburo sintético líquido
Apariencia	Líquido color amarillo claro
Punto de cristalización	-40°C
Punto de flash	177°C
Punto de ignición	210°C

Temperatura máxima (Max. bulk temp.)	288 °C
Rango de ebullición 10%	335 °C
Rango de ebullición 90%	390 °C
Temperatura de autoignición	357 °C
Coefficiente de expansión térmica	9,72E-4 °C ⁻¹
Peso medio molecular	318
Temperatura pseudocrítica	507 °C
Presión pseudocrítica	15,2 bar
Densidad pseudocrítica	277 kg/m ³
Calor de vaporización	232 J/g

- Flujo másico por cada fila de colectores: Debe ser tal que permita alcanzar números de Reynolds en las tuberías de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 13: Régimen de flujo según el mes de diseño

Re = 2·10 ⁵	Re = 3·10 ⁵	Re = 4·10 ⁵
Enero	Marzo	Mayo
Febrero	Abril	Junio
Noviembre	Septiembre	Julio
Diciembre	Octubre	Agosto

El procedimiento seguido para el cálculo del flujo másico se realizará en el apartado 4.1. Dimensionado del campo solar

- Orientación del eje del captador o de las filas del campo: En esta instalación se ha optado por la configuración Norte-Sur para maximizar la energía térmica aportada a la planta. En el apartado 3.4. Elección de la orientación se explicará con más detalle la razón de dicha elección.
- Configuración de las tuberías de alimentación: Las tuberías se han diseñado como una alimentación central, tal y como viene explicado en el apartado 4.4. Diseño de tuberías.

2.3.2.1. Datos del punto de diseño fijados por la meteorología y la geografía del emplazamiento

- Coordenadas geográficas del emplazamiento:

Tabla 14: Coordenadas geográficas y UTM del emplazamiento

Coordenadas Geográficas	Latitud	37°23'30,88" N
	Longitud	5°1'48,17" W
	Elevación	37 metros
Coordenadas UTM	X	322.037,81
	Y	4.096.742,06
	Zona	30

- Día y hora con mayor radiación: Analizando los datos de radiación disponibles se ha localizado el día del año característico con mayor radiación solar, que en este caso es el día 11 de junio. Como hora para el punto de diseño se toma el medio día solar, que es el momento del día en el que la radiación directa se mantiene con menos variación antes y después de dicha hora. Debido a la diferencia entre hora local y solar, la hora local correspondiente al medio día solar a mediados del mes de junio es de unas dos horas (12:00 hora solar ↔ 14:00 hora local, aprox.).
- Radiación solar directa: En el momento del año característico definido en el punto anterior, el valor de la radiación solar directa es $954,89 \text{ W/m}^2$
- Temperatura ambiente: En el punto de diseño la temperatura ambiente es de $26,38^\circ\text{C}$. Sin embargo los cálculos se realizarán teniendo en cuenta los valores disponibles de temperatura, radiación, etc. para cada día, medidos en intervalos de 15 minutos.

Tabla 15: Temperaturas medias mensuales, en grados Celsius

Mes	Temperatura media
Enero	12,02
Febrero	13,19
Marzo	16,34
Abril	18,75
Mayo	21,00
Junio	26,33
Julio	27,44
Agosto	27,99
Septiembre	24,77

Octubre	19,47
Noviembre	14,37
Diciembre	12,46
AÑO	19,55

2.3.3. Características técnicas de los equipos

- Modelo de captador: EUROROUGH 100
- Longitud del captador: 98,7 metros
- Ancho de apertura: 5,76 metros
- Área de apertura: 548,3 m²
- Diámetro exterior del tubo absorbente: 0,07 metros
- Diámetro interior del tubo absorbente: 0,065 metros
- Rendimiento óptico pico: 75,5%
- Rugosidad relativa del absorbente: 20 micrómetros

CAPÍTULO 3: INGENIERÍA DE PROCESO

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

El objetivo de este proyecto es diseñar una planta Termosolar con tecnología de concentración cilindroparábólica acoplada a un proceso industrial que permita la sustitución de las calderas convencionales que actualmente aportan energía térmica en forma de vapor de agua al proceso.

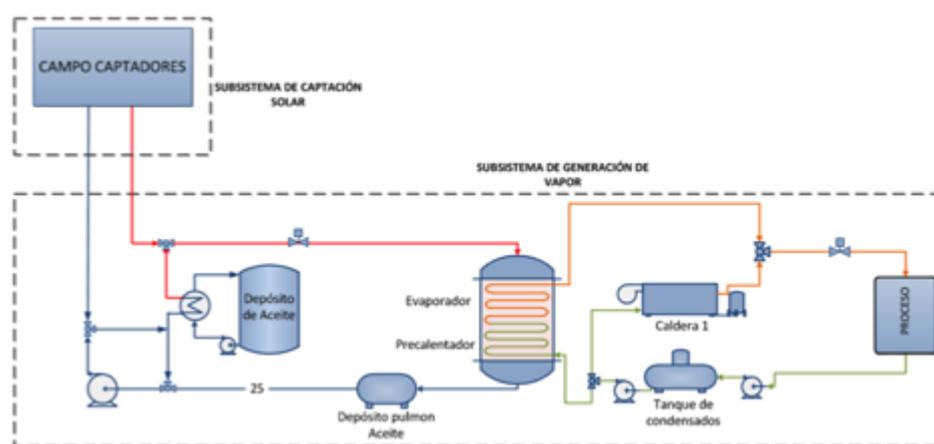


Figura 51: Esquema básico de la instalación

La radiación solar directa es utilizada en el campo de captadores para aumentar la temperatura de un fluido térmico (en este proyecto el Therminol 55) que circula por las tuberías situadas en el foco longitudinal de los captadores, que a su vez cede su energía en el intercambiador de calor para producir vapor de agua con el que alimentar al proceso industrial.

En los momentos del día en los que el nivel de radiación no es lo suficientemente alto como para producir vapor en el intercambiador el sistema usa como fuente de energía la contenida en el depósito del aceite caliente hasta agotar la energía almacenada en el mismo, momento en el que pone en marcha una caldera para alimentar directamente al proceso industrial. El aceite contenido en el depósito de almacenamiento es calentado en los periodos en los que dicho proceso industrial no requiere un aporte elevado de energía térmica y parte de la energía aportada por el campo solar puede almacenarse.

3.2. ELECCIÓN DEL FLUIDO DE PROCESO

En la elección del fluido térmico a utilizar influyen varios factores, destacándose el precio y las características fisicoquímicas del mismo como las variables con más importancia. En la práctica existen varias posibilidades, dependiendo de la potencia de la instalación y del

rango de temperaturas en el que se desee trabajar. Para temperaturas de hasta 170°C se puede utilizar agua desmineralizada sin que esto genere a priori problemas técnicos, al operar con una presión de trabajo moderada. Sin embargo en el caso de instalaciones en las cuales se desee operar a temperaturas más elevadas (dentro del rango 170-400°C) será necesario recurrir al uso de aceites sintéticos, ya que en el caso de usar agua, y para evitar su evaporación, habría de mantenerla a una presión de trabajo superior a la de saturación.

En esta Planta el fluido de proceso abandona el campo de colectores a aproximadamente 270°C. Para esa temperatura la presión de saturación del agua es de aproximadamente 6 MPa (60 bares) por lo que habría que mantener el circuito a una presión superior. Sin embargo la presión de vapor de un aceite mineral a esa temperatura es mucho menor, lo que implica mayores ahorros en los materiales de las tuberías, en los sistemas de impulsión, aislamiento, seguridad, etc.

Los aceites térmicos se caracterizan por tener:

- Buena capacidad de transferencia de calor
- Buena resistencia a la oxidación
- Buenas propiedades antiespumantes
- Estabilidad química
- Larga vida útil
- Débil tensión de vapor
- Baja volatilidad
- Baja viscosidad
- Bajo punto de fusión
- Bajo poder oxidante (evita la corrosión de tuberías)
- Baja o nula toxicidad
- Precio competitivo

Comercialmente, para la temperatura de trabajo de 270°C existen varias posibilidades entre las que destacan dos aceites sintéticos:

Therminol 55

El Therminol 55 es un HTF (Heat transfer Fluid, o fluido caloportador, o fluido térmico) de origen sintético, barato y muy usado en multitud de aplicaciones a temperaturas de operación moderadas. Trabaja en un rango de temperaturas amplio (-18°C a 316°C), ofreciendo buenas características fisicoquímicas de viscosidad, conductividad térmica y calor específico.

Sin embargo el aceite Therminol 55 no está clasificado como un fluido térmico resistente al fuego, por lo que el uso de sistemas de protección es necesario para minimizar el riesgo de incendio. Además requiere de una atmosfera inerte para minimizar su oxidación.

Tabla 1: Propiedades del aceite Therminol 55

THERMINOL 55	
Composición	Hidrocarburo sintético líquido
Apariencia	Líquido color amarillo claro
Punto de cristalización	-40 °C
Punto de flash	177 °C
Punto de ignición	210 °C
Temperatura máxima (Max. bulk temp.)	288 °C
Rango de ebullición 10%	335 °C
Rango de ebullición 90%	390 °C
Temperatura de autoignición	357 °C
Coefficiente de expansión térmica	9,72E-4 °C ⁻¹
Peso medio molecular	318
Temperatura pseudocrítica	507 °C
Presión pseudocrítica	15,2 bar
Densidad pseudocrítica	277 kg/m ³
Calor de vaporización	232 J/g

Therminol VP-1

El Therminol VP-1 es una mezcla eutéctica formada por un 73,5% de óxido difenil y un 26,5% de bifenil usado como fluido de trabajo en instalaciones hasta 399 °C. Miscible e intercambiable fácilmente con otros fluidos de composición similar.

Tiene una baja viscosidad en el rango de temperaturas que va desde su punto de fusión hasta el de ebullición, pero su punto de cristalización es de +12 °C por lo que en lugares con climatología tal que el fluido se vea expuesto a temperaturas fuera del rango, todo el sistema de tuberías deberá contar con calentamiento eléctrico o disponer de una caldera auxiliar que mantenga a la temperatura del aceite en todo momento por encima de los 15°C.

Tabla 16: Propiedades del aceite Therminol VP-1

THERMINOL VP-1	
Composición	Oxido de difenil y bifenil
Apariencia	Líquido claro, color blanco acuoso
Punto de cristalización	12 °C
Punto de flash	124 °C
Punto de ignición	127 °C
Temperatura máxima (Max. bulk temp.)	399 °C
Punto de ebullición normal	257 °C
Temperatura de autoignición	621 °C
Coefficiente de expansión térmica	7,96E-4 °C ⁻¹
Peso medio molecular	166
Temperatura pseudocrítica	499 °C
Presión pseudocrítica	33,4 bar
Densidad pseudocrítica	327 kg/m ³
Calor de vaporización	207 J/g
Calor de fusión	23 cal/g
Resistividad específica	6,4E11 ohm-cm

En el diseño de esta planta se han tenido en cuenta tanto las características fisicoquímicas de ambos aceites como la vertiente económica. Y es que el aceite VP-1 tiene un coste muy superior al Therminol 55, aproximadamente el doble.

Teniendo en cuenta que se necesitarán aproximadamente 1.000 toneladas de fluido térmico, y que los costes aproximados para ambos aceites son de 1\$/kg, para el Therminol 55, y de 2,7\$/kg para el VP-1 (siempre que se adquieran grandes cantidades), la elección de uno o de otro deberá ser analizada cuidadosamente.

Finalmente se ha decidido usar en la planta el aceite Therminol 55, quien con una presión de vapor a la temperatura máxima de operación de 0,17 bar y un rango de temperaturas desde los -18°C hasta los 316°C se adapta mejor a la necesidades de la instalación que el

aceite Therminol VP-1, con presión a la temperatura máxima de trabajo de 1,33bar y una temperatura máxima aceptada de casi 400°C.

3.3. ELECCIÓN DE LOS CAPTADORES

Los captadores solares del tipo cilindroparábolico (CCP) son concentradores solares con un foco lineal, que convierte la radiación del sol en energía térmica. El principio elemental de funcionamiento de los CCP se basa en el seguimiento del Sol desde el alba hasta el ocaso, permitiendo ratios de concentración de la radiación directa sobre el tubo receptor mucho mayores que si no existiese tal seguimiento (en torno a veinte veces mayor). Dicho tubo receptor se sitúa en la línea focal de la parábola que forma el captador y por él circula el fluido de trabajo descrito en el apartado anterior, en el caso de esta instalación el aceite sintético Therminol 55.

Los captadores solares usados en este proyecto son del tipo Eurotrough 100, con una longitud de 100 metros, y en cada lazo hay dispuestos en serie 4 captadores. La elección de un modelo con 100 metros de longitud en lugar de otros diseños se ha realizado teniendo en cuenta el hecho de que las cargas más importantes a las que tiene que hacer frente el captador son debidas al viento y al efecto vela que produce sobre las estructuras. Cuando la tecnología de concentración cilindroparábolica comenzó su andadura, en la década de los 80's con las plantas SEGS en California (USA) se probaron captadores cuya longitud máxima era de 100 metros. Sin embargo captadores con longitudes mayores (como el modelo Eurotrough II, de 150 metros) se están instalando ya comercialmente, pero no han llegado a ser testeados desde el punto de vista estructural durante un periodo de tiempo superior a los 5 años, por lo que de cara a una futura financiación bancaria se ha preferido optar por una solución más conservadora, al tener conocimiento de que algunos bancos en sus informes técnicos identifican este hecho como un riesgo del proyecto (los captadores de 150 metros presentan un mayor riesgo de pérdidas ópticas por la torsión de la estructura que los de 100 metros), dificultando la financiación en algunos casos.



Figura 52: Prototipo de captador EUROTROUGH, en la Plataforma Solar de Almería (fuente: Development of a Low Cost European Parabolic Trough Collector - EUROTrough, Research funded in part by the European Comission, in the framework of the Non Nuclear Energy Programme JOULE III)

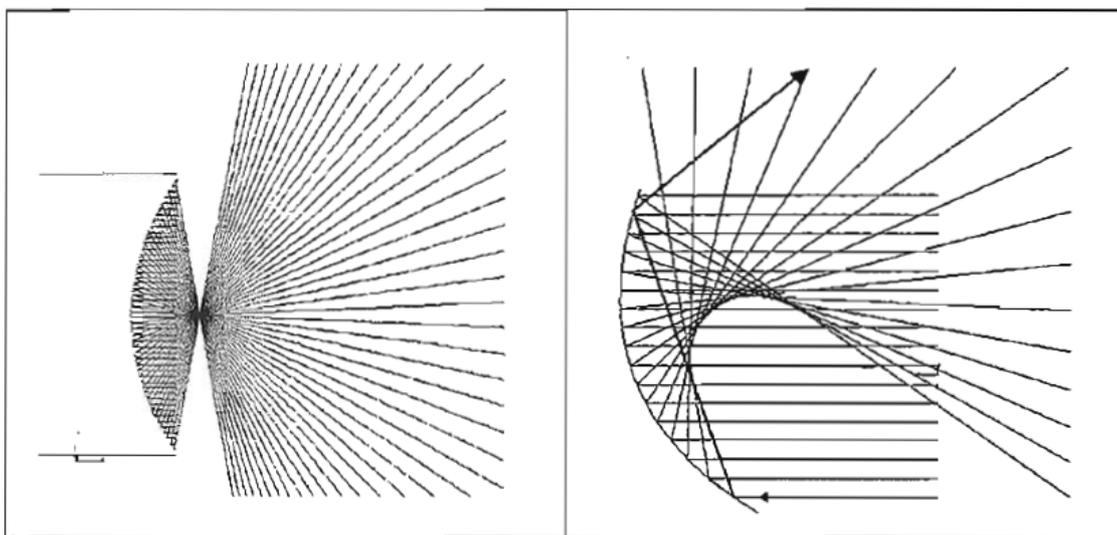


Figura 53: Imágenes de rayos reflejados en una parábola enfocada y desenfocada (Fuente: Curso sobre Sistemas Solares Térmicos de Concentración, CIEMAT, Unidad de Formación en Energía y Medio Ambiente, Madrid, 3 al 14 de Noviembre de 2008)

El captador usado en este proyecto es, por lo tanto, el modelo EUROTROUGH 100, con un reflector formado por una capa de soporte de vidrio grueso (espesor > 3mm) sobre la que se deposita en su cara posterior una fina película de plata protegida por una película de cobre y otra de pintura epoxi. La ventaja de éste diseño frente a usar simplemente una fina chapa metálica de aluminio pulido de alta reflectividad es que la reflectividad de la plata es sensiblemente mayor que la del aluminio (93% para la plata, 87% para el aluminio) aunque el coste de fabricación sea similar.

Tabla 17: Características del captador EUROTROUGH

Configuration	Parabolic trough collector
Support structure	Steel frame work, pre-galvanized,
Collector length	12 m per element; 100- 150m collector length
Drive	Hydraulic drive
Max. Wind speed	Operation: 14 m/s - Stow: 40 m/s
Tracking control	Clock + Sun sensor, < 2 mrad
Parabola	Equation: $y = x^2/4f$, with $f = 1,71 m$
Aperture width	5,76 m
Reflector	284 glass facets per module
Absorber tube	Evacuated glass envelope, UVAC® or other, application dependent
Fluid	Oil, steam, application dependent
Cost	≈ 225 euro/m ² (for large solar fields only)



Figura 54: Vista de la estructura soporte de un captador EUROTROUGH, tomada durante la fase de montaje del espejo. (fuente: “Eurothrough design issues and prototype testing at PSA”, Eckhard Lupfert, M.G., Wolfgang S., Esteban, A., Osuna, R., Zarza, E. and Nava, P. - Proceedings of Solar Forum 2001 Solar Energy: The Power to Choose, April 21-25, 2001, Washington, DC.)

3.4. ELECCIÓN DE LA ORIENTACION

Los captadores solares cilindroparábolicos se diseñan para adaptarse al movimiento aparente del sol a lo largo del día, para lo cual suelen incorporar uno o dos ejes de giro. Los sistemas con doble eje de giro aprovechan mejor la radiación solar directa, pero los costes asociados a la operación y mantenimiento de los actuadores son tan elevados que disminuyen su rentabilidad, haciendo que los sistemas con un solo eje de giro sean a día de hoy los más utilizados.

3.4.1. La orientación del eje de giro de los captadores

Los captadores cilindroparábolicos suelen estar instalados en los campos solares de tal manera que sus ejes de rotación queden orientados bien Norte-Sur, o bien Este-Oeste. Con la configuración Este-Oeste las variaciones estacionales suelen ser pequeñas, permitiendo tener un aporte térmico más estable durante el año a costa de perder parte de la energía anual disponible. Con la configuración Norte-Sur esa energía anual suministrada es optimizada al máximo, con el punto en contra de tener variaciones estacionales mucho mayores que con la configuración Este-Oeste, que en ocasiones y dependiendo de la latitud y de las condiciones atmosféricas del emplazamiento, pueden suponer relaciones de 3 a 1, entre verano e invierno. En el caso de la planta Termosolar acoplada al proceso de producción de cerveza de la Fábrica de Heineken en Sevilla se ha realizado el diseño atendiendo al criterio de maximización del aporte energético anual, por lo que la configuración elegida es la Norte-Sur.

Para que la radiación captada en la superficie de los módulos sea máxima, es necesario que dicha superficie de captación sea perpendicular a la dirección en la que inciden los rayos solares. Esto supone que el campo solar debe disponer de dos sistemas: el primero, que debe determinar con exactitud donde se encuentra el Sol en cada momento, y el segundo, que debe posicionar el captador en posición adecuada para que la normal a su plano de apertura y el vector solar se encuentren en todo momento en el plano bisectriz de la parábola cilíndrica.

3.4.2. La determinación de la posición solar

Para determinar con la mayor exactitud la posición del Sol se suelen usar dos metodologías diferentes: La física, mediante el uso del llamado “sensor solar”, y la matemática, que usa algoritmos. El primero está formado por dos células fotosensibles separadas por una fina capa intermedia llamada banda de sombra. Cuando el sensor está bien enfocado y se encuentra en posición perpendicular al sol, la banda no proyecta ninguna sombra sobre ninguna de las fotocélulas, de manera que el captador permanece inmóvil. En el momento en que alguno de los fotosensores detecta la sombra de la banda se produce un

desequilibrio que es analizado por la célula, y en función de su valor el sistema de giro es ordenado actuar en un sentido o en otro. El segundo método se basa en el hecho de que es posible conocer la posición solar en cualquier momento, basándose en cálculos astronómicos. Ambos métodos son complementarios, y para validarlos se suele recurrir a estaciones meteorológicas cercanas para ver si hay desviaciones respecto a la previsión.

CAPÍTULO 4: INGENIERÍA DE PROYECTO

4.1. DIMENSIONADO DE CAMPO SOLAR

Para el dimensionado del campo solar se parte de los siguientes datos aportados en apartados anteriores:

- Datos climatológicos de la zona.
- Punto de diseño
- Tipo de aceite empleado.
- Tipo y características de captador empleado
- Perfil de consumo del proceso

En primer lugar se calcula el ángulo de incidencia del Sol para cada una de las horas del año. Para ello se emplea la expresión dada a continuación. Esta expresión representa el ángulo de incidencia para un sistema solar con eje de seguimiento N-S.

$$\cos(\theta_s) = \cos(\delta) \sqrt{\sin^2(w) + (\cos(w) \cdot \cos(\phi) + \tan(\delta) \cdot \sin(\phi))^2}$$

Donde:

δ :Declinación

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot (d_n + 284)}{365}\right)$$

Siendo d_n el día del año.

ϕ :Latitud

w = hora solar en radianes.

$$w = \arccos(-\tan(\lambda) \cdot \tan(\delta))$$

Las pérdidas térmicas del captador elegido (Eurotrough-100) se pueden calcular según la siguiente ecuación:

$$Q_l = 0,00154 \cdot \Delta T^2 + 0,2021 \cdot \Delta T - 24,899 + [(0,00036 \cdot \Delta T^2 + 0,2029 \cdot \Delta T + 24,899) \cdot (E_d / 900) \cdot \cos(\varphi)]$$

Siendo el ΔT el incremento de temperatura entre la temperatura media alcanzada por el fluido de trabajo (aceite Therminol 55) en el interior del tubo absorbedor y la temperatura ambiente.

E_d es la radiación directa en el plano normal en W/m².

$\cos(\varphi)$: Es el coseno del ángulo de incidencia. Siendo este factor el que representa las pérdidas por ángulo de inclinación.

La potencia solar radiante disponible para el captador se puede calcular como:

$$P_{sol - colector} = A_n \cdot E_d \cdot \cos(\varphi)$$

La potencia térmica que llega al tubo receptor viene dada por la expresión:

$$P_{sol \rightarrow captador} = A_n \cdot E_d \cdot \cos(\varphi) \cdot \eta_{opt,0} \cdot K(\varphi) \cdot F_e$$

Siendo:

$\eta_{opt,0}$: Rendimiento óptico picop del captador

$K(\varphi)$: el modificador por ángulo de incidencia del captador

F_e : el factor de ensuciamiento medio de los captadores

Por su parte la potencia térmica útil transmitida al fluido igual a la potencia que llega al tubo receptor del captador menos las pérdidas por temperatura.

$$P_{Q,captador \rightarrow fluido} = A_c \cdot E_d \cdot \cos(\varphi) \cdot \eta_{opt,0} \cdot K(\varphi) \cdot F_e - Q_l$$

El hecho de situar captadores en serie supondría alcanzar temperaturas más altas dentro del fluido, si bien es cierto que a mayor temperatura, mayores son las pérdidas por lo que los últimos captadores dentro de una misma fila tendrán un peor rendimiento que los primeros.

De este modo la idea será la de calcular cual es el incremento de temperatura necesario en el punto de diseño y conocida la potencia aportada se podrá estimar el número de captadores necesarios.

El dimensionado de la instalación se trata de un cálculo iterativo que sigue el siguiente esquema:

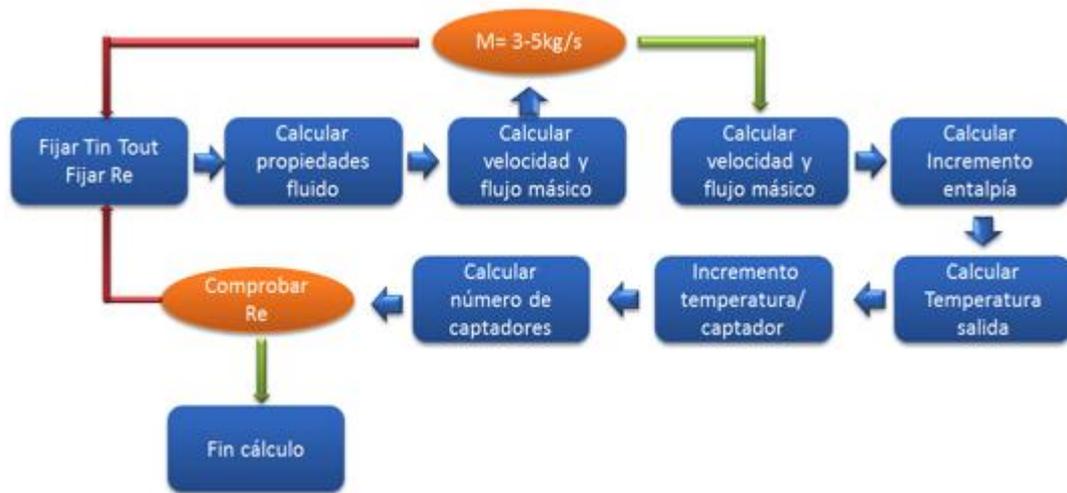


Figura 3: Esquema del cálculo iterativo para el cálculo del número de captadores por fila

A continuación se detalla el cálculo para cada uno de los pasos expuestos en el esquema:

Fijar Tin, Tout y número de Reynolds: Se fija como temperatura de salida de las filas de captadores (entrada al generador de vapor) la máxima temperatura que admite el Therminol 55, en este caso se trata de 295°C. Como temperatura de entrada a cada fila (salida del generador de vapor) se fija un valor de 180°C. Para establecerlo se tienen en cuenta que la temperatura de saturación del vapor a 8bar (presión de producción en caldera) es de 175,60°C. Tomando un margen de 5°C en el intercambiador de calor para evitar entrecruzamiento, se tendría por tanto el valor de salida como se muestra en la siguiente figura:

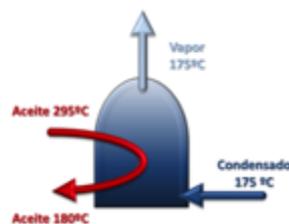


Figura 4: Balance térmico en el generador de vapor.

El valor de Reynolds para la latitud en la que se encuentra el proyecto es conocido en función de la experiencia que se tiene en este tipo de plantas y oscila en función de la época del año según la siguiente tabla.

Tabla 18: Régimen de flujo según el mes de diseño

		Número de Reynolds		
		$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$
Mes de diseño	Enero	Marzo	Mayo	
	Febrero	Abril	Junio	
	Noviembre	Septiembre	Julio	
	Diciembre	Octubre	Agosto	

En realidad lo que se pretende fijando este valor de Reynolds es asegurar que el régimen de circulación del aceite por el interior de los tubos receptores será suficientemente turbulento, durante todo el año, con el fin de asegurar que los tubos estarán suficientemente refrigerados en todo momento del año. Puesto que se adopta un valor mínimo de $2 \cdot 10^5$ para el Re, y el valor mínimo se alcanzará en los meses de invierno, es necesario adoptar un número de Re mayor para el resto del año, con el fin de que cuando se disminuya el caudal de aceite en los meses invernales porque la radiación solar disponible es menor, se siga manteniendo un valor de Re de al menos $2 \cdot 10^5$.

Propiedades del fluido

A partir de los datos anteriores se pueden expresar las propiedades en función de la temperatura mediante regresión lineal según las siguientes expresiones:

$$d(\text{kg/m}^3) = -0.757 \cdot T(^{\circ}\text{C}) + 913,48; R^2 = 0,999$$

$$c_p(\text{kJ/kg} \cdot \text{K}) = 2,52 \cdot T(^{\circ}\text{C}) + 2035,5; R^2 = 0,996$$

$$\mu(\text{Pa} \cdot \text{s}) = -5 \cdot 10^{-6} \cdot T(^{\circ}\text{C}) + 0,0018; R^2 = 0,968$$

$$\gamma(\text{W/mK}) = -1 \cdot 10^{-4} \cdot T(^{\circ}\text{C}) + 0,1355; R^2 = 0,996$$

A partir de las ecuaciones anteriores se pueden determinar los parámetros del aceite a la temperatura media en el campo solar ($180+295/2 = 237,79^{\circ}\text{C}$). Teniendo en cuenta estos valores y despejando de la ecuación del número de Reynolds, es posible obtener la velocidad como:

$$v = \frac{Re \cdot \mu}{\rho \cdot D_{in}}$$

Resultando de esta operación un valor de 1,679 m/s. Siendo por lo tanto el caudal másico igual a:

$$\dot{m} = v \cdot S \cdot \rho = 4,08 \text{ kg/s}$$

Para este caudal el incremento de entalpía que tendrá que sufrir el fluido será calculable como la potencia total transmitida al fluido en el punto de diseño entre el caudal másico. Según esta expresión se tiene:

$$\Delta H = \frac{P_{col-fluido}}{\dot{m}} = \frac{358,66kW}{4,08kg/s} = 87,82kJ/kg$$

A partir de la expresión general del calor específico de una sustancia

$$dc_p = a + b \cdot dT$$

Si se integra entre las temperaturas de trabajo, se obtiene por lo tanto:

$$\Delta H = a \cdot (T_{out} - T_{in}) + 1/2 \cdot b \cdot (T_{out}^2 - T_{in}^2)$$

En la ecuación anterior se tiene $a=2035,5$ y $b= 2,52$ por lo que si se fija la temperatura de entrada del captador como la temperatura media del aceite y se despeja la temperatura de salida se obtiene un valor de $T_{out} = 270,68$.

Siendo de este modo el incremento de temperatura que se obtiene en un captador igual a:

$$270,68 - 237,79 = 32,88$$

El incremento necesario en el campo de captadores ha sido fijado al inicio del proceso de cálculo entre 180 y 295°C lo que supone un incremento de temperatura de 115°C.

Finalmente se puede obtener el número de captadores en serie como el incremento de temperatura necesario en el campo de captadores entre el incremento que se producirá en cada uno de ellos.

$$n^{\circ} \text{ captadores serie} = \frac{115}{32,88} = 3,5 \text{ captadores}$$

A partir de este resultado se puede fijar un valor de 3 o de 4 captadores en serie. En estos casos es recomendable buscar un número par de captadores ya que de este modo se podrá optar por una alimentación central dejando el mismo número de captadores a cada lado para que los circuitos queden equilibrados.

El hecho de pasar de 3,5 a 4 captadores influye sobre el valor de Reynolds y flujo en el punto de diseño por lo que habrá que recalcularlo.

$$\dot{m} = 4,08 \text{ kg/s} \cdot (4/3,5) = 4,66 \text{ kg/s}$$

$$Re = 4,57 \cdot 10^5$$

Los valores se mantienen dentro del rango recomendado por lo tanto se adopta la configuración de 4 captadores en serie.

Calculo del número de filas en paralelo.

El número de filas en paralelo permitirá aumentar el caudal de aceite total incrementando por lo tanto la cantidad de energía que es posible producir para cubrir la demanda del proceso.

Teniendo en cuenta la energía necesaria en un día y la energía que aporta una fila en el punto de diseño es posible dimensionar el campo de captadores de modo que la cobertura el día de diseño sea del 100%.

El perfil de consumo del proceso se mostraba en el apartado 1.12 de modo que la suma de la energía necesaria en un día es de 145 MWh.

La potencia térmica útil aportada por una fila en el punto de diseño se calcula a partir de la potencia útil del captador al fluido calculado en el apartado anterior.

$$P_{util\ 1\ fila} = P_{util\ 1\ captador} \cdot n^{\circ}\ de\ captadores$$

$$P_{util\ 1\ fila} = 346kW \cdot 4 = 1384,01$$

La energía aportada por el campo a lo largo del punto de diseño es la suma de cada uno de los valores de potencia multiplicado por el incremento del tiempo de los datos tomados. De este modo se obtiene un valor de energía aportada por una fila del campo solar de 15,80MWh.

De este modo, el número de filas necesarias será calculable como:

$$N^{\circ}\ filas\ serie = \frac{145MWh}{15,80MWh} = 9,19\ filas$$

Como primera aproximación para la latitud y las dimensiones de la planta se estiman las pérdidas globales en tuberías en un 10% por lo que el número de filas total será igual a 10. Posteriormente una vez dimensionado el circuito de tuberías se comprobará esta suposición realizando los ajustes necesarios.

Para conseguir la cobertura del 100% en el punto de diseño es necesario almacenar la energía excedentaria durante los momentos de menor demanda por parte de la fábrica. La

energía enviada a almacén se calcula como el aporte solar menos la demanda de proceso siempre que el aporte solar sea superior a la energía requerida por el proceso.

En la siguiente figura se muestra el perfil de aporte solar:

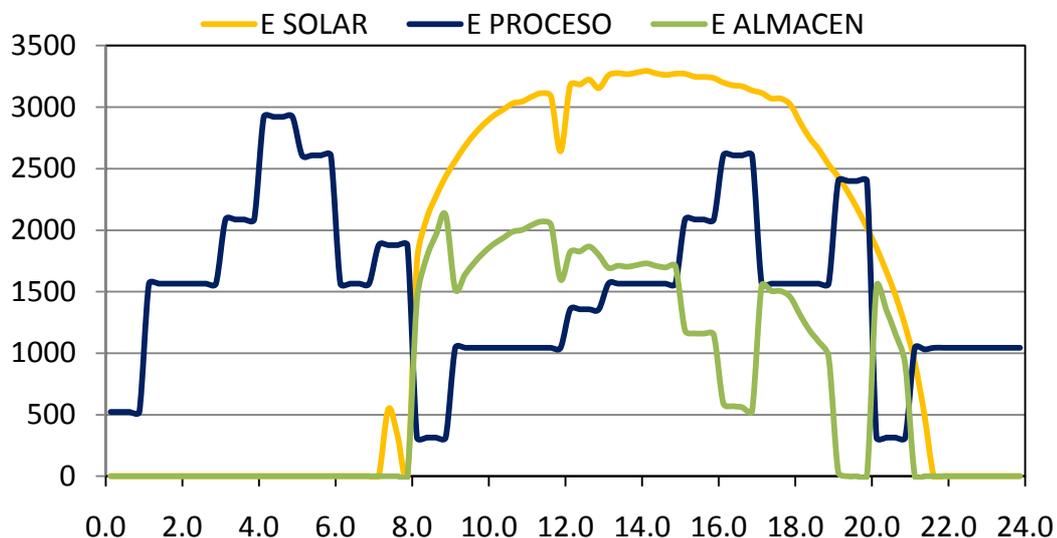


Figura 55: Perfil de consumo energético del proceso y aporte del campo solar

4.2. OBRA CIVIL

Debido a las características físicas del emplazamiento elegido para ubicar el campo solar, los trabajos necesarios para la construcción del mismo son los siguientes:

4.2.1. Movimiento de tierras

El relleno y la compactación del terreno son los movimientos de tierra a realizar para uniformar el terreno donde se va a instalar el campo solar y el equipo de almacenamiento, generación de vapor y auxiliares. Se requiere eliminar la vegetación y la capa de tierra superior sin eliminar más de 15 cm de la capa superior de tierra vegetal.

La superficie del campo solar se nivela en sentido Norte - Sur. Las pendientes Este - Oeste se busca que sean iguales o inferiores a 1% para proporcionar capacidad de drenaje.

4.2.2. Cimentación

Para la correcta fijación de los captadores que componen el campo solar se deben tomar en cuenta los esfuerzos y cargas que debe soportar la cimentación al haber velocidades de

viento de 120 km/h en la dirección más desfavorable para el captador, con un coeficiente de seguridad de 1,3.

Esta fuerza del viento es traducida en las siguientes cargas:

Apoyos intermedios y finales:

- Esfuerzo horizontal: 80 kN
- Esfuerzo vertical: ± 35 kN
- Momento 230 kN-m

Apoyos centrales:

- Esfuerzo horizontal: 80 kN
- Esfuerzo vertical: ± 35 kN
- Momento 310 kN-m

Cada captador Eurotrough consta de un apoyo central que es donde se instala la unidad de seguimiento, 6 apoyos intermedios y 2 apoyos finales. Los apoyos van sujetos a la cimentación mediante cuatro pernos, con las separaciones que se indican en la figura siguiente:

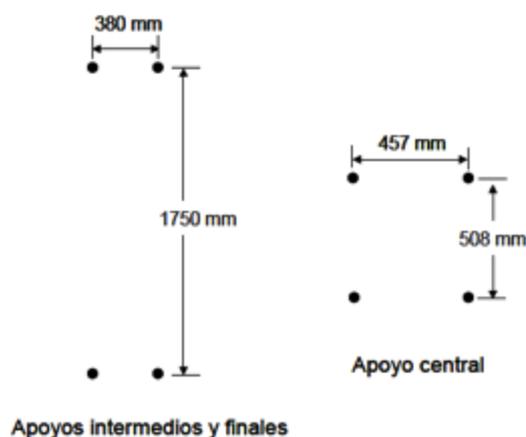


Figura 56: Distancia entre pernos para los diferentes apoyos

La cimentación a la que los apoyos van anclados consta de dados prefabricados de hormigón armado de dimensiones 1,30x2,30 m de base por una altura de 1 m del cual 60 cm

permanecen bajo el terreno y los restantes 40 cm sobresalientes a la superficie. Dichos dados aportan suficiente estabilidad y fuerza para soportar las cargas del viento.

4.2.3. Zanjas

El campo solar debe disponer de un sistema de zanjas enterradas en el cual por medio de una tubería el cableado de alimentación y control y las diferentes cajas de conexiones es distribuido por todo el área de captadores.

Para la puesta a tierra de los apoyos se entierra una malla de cables de cobre a lo largo del campo solar debido a la necesidad de acuerdo a la norma vigente de poner todas las masas metálicas de la instalación a tierra.

4.3. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

En la industria de la fabricación de la cerveza el proceso es continuo durante las 24 horas del día de modo que la demanda térmica de vapor lo es en la misma medida. Como se observaba en la figura 55, gran parte de la demanda se realiza fuera de las horas de radiación solar, incluso por la noche. Esta circunstancia implica la necesidad de un sistema de almacenamiento de energía para ser usado en los momentos en los que no exista radiación solar.

En este apartado se dimensiona el depósito de almacenamiento para el punto de diseño, de modo que se consiga una cobertura de la demanda energética de la fábrica del 100%.

Para ello en primer lugar se calcula la cantidad de energía que será necesaria almacenar. Este dato no es más que la energía aportada por nuestro campo solar menos la energía requerida por el proceso durante las horas de radiación solar.

En la figura 55 se representa mediante una línea verde el perfil energético enviado al tanque de almacenamiento.

La cantidad de energía almacenada es en este caso de 73907,13 kWh \leftrightarrow $2,66 \cdot 10^8$ kJ. La temperatura de trabajo se fija según los siguientes criterios:

- Temperatura mínima: Temperatura mínima a la que el aceite puede producir vapor en el generador igual a 468K.
- Temperatura máxima: Mayor temperatura alcanzable sin producir degradación del aceite igual a 568K.

De este modo es posible expresar la energía almacenada según la siguiente expresión:

$$Q = m \int_{T_0}^{T_f} C_p \cdot dT =$$

$$= m \int_{468}^{568} (2,035 + 0,0025) \cdot dT = 2,66 \cdot 10^8 kJ$$

$$m = 1004777,9 \text{ kg}$$

Teniendo en cuenta la densidad media entre ambas temperaturas igual a 733 kg/m³ y un sobredimensionamiento del 10% para evitar exceso de presión y compensar expansión por sobretemperatura, se obtiene un volumen de depósito de 1198m³ ≈ 1200 m³.

4.3.1. Diseño del sistema de almacenamiento

En el capítulo 1 se hizo una referencia a los sistemas de almacenamiento. En este caso dado que se ha empleado Therminol 55 como fluido de proceso, se empleará el mismo como fluido caloportador. Este sistema presenta una serie de ventajas respecto a los de medio dual.

Se trata de un solo tanque de aceite en el que se busca la estratificación de las diferentes capas térmicas debido a las diferencias de densidad existentes entre el fluido a diferentes temperaturas. En el apartado 4.7. Balance de Materia y Energía, se muestra un esquema de como el aceite puede ser introducido en el tanque de almacenamiento a través de las válvulas de 3 vías.

Se trata de tanques que cuentan con una relación altura diámetro, de entre 3 y 4 para conseguir la estratificación del fluido de modo que la entrada del fluido caliente por la parte superior y la del fluido frío por la parte baja. Es posible tener varias entradas y salidas en función de la temperatura de la corriente para maximizar el rendimiento. Lo que se pretende es evitar turbulencias dentro del mismo, de modo que se mantengan los diferentes estratos. Con este sistema se obtienen rendimientos superiores al 90%.

Para el dimensionado del tanque se toma una relación de altura/diámetro de 3,5 de modo que a partir del volumen calculado en el apartado anterior se obtienen los siguientes resultados:

Diámetro= 7,58 m

Altura= 26,53 m

Además el tanque debe contar con los siguientes elementos

- Sistema de inertización del aceite: se trata de nitrógeno a una sobrepresión de unos 0,5 kg/cm². La misión del nitrógeno es por un lado evitar la existencia de aire en el interior del tanque, lo que podría provocar explosiones. Por otro lado, mantiene la presión en todo el circuito de aceite eliminando la posibilidad de que penetre aire o agua. Por lo tanto será necesario tener en cuenta una serie de bombonas de N₂ que llenen el espacio restante con una presión de relativa de 0,5 kg/cm².

El volumen sobrante es de 12 Nm³. A una presión de 1,5kg/cm² supone un volumen de nitrógeno de 18 m³. Será necesario tener una serie de bombonas de nitrógeno para prever las variaciones en el volumen de aceite dentro del tanque. También es posible instalar una nitrogenera para producir el nitrógeno in situ, a partir del aire.

Teniendo en cuenta que la variación de densidad entre 195°C y los 295°C, es de hasta un 10%, la variación en la masa de aceite dentro del tanque será proporcional. Por lo tanto el nivel más bajo de aceite llenará 970 m³ de tanque, lo que se traduce en un volumen de nitrógeno necesario de 345m³ a una presión relativa de 0,5 kg/m³.

Se dimensiona el sistema de botellas de nitrógeno como $230Nm^3 - 12Nm^3 = 218Nm^3$

- Válvula de venteo. Esta válvula se abrirá cuando la presión en el interior del tanque sea superior a 0,7kg/cm².
- Disco de ruptura. Para rápidas sobrepresiones provocadas por incendios que generen un aumento de volátiles en el interior, daño o golpeo del tanque que pueda provocar una explosión, se dispone de un disco de ruptura que libera el tanque a presiones mayores de 1,02kg/cm². Esta medida es de emergencia, ya que una vez roto el disco debe ser rellenado el tanque y repuesto el disco.
- Tanque de incondensables es un tanque pequeño que tiene por finalidad evacuar los volátiles que se desprenden del aceite. Estos volátiles están compuestos por gasolinas e hidrocarburos altamente inflamables.
- Sistema contra incendios. Se trata de agua y un gel espumoso que es vertido sobre el tanque en caso de incendio
- Piscina de recogida de aceite-
- Reposición del aceite 1-3% anual.

Como dispositivo de protección contra incendios, el tanque de almacenamiento estará dotado de una planta automática contraincendios, basado en agua y gel espumoso. Normalmente los tanques de almacenamiento que contienen aceite en su interior se encuentran rodeados por aros de surtidores situados a diferentes niveles, que entran automáticamente en funcionamiento cuando dos de los sensores de temperatura que rodean los tanques detectan simultáneamente que se ha producido un incendio.

4.4. DISEÑO DE LAS TUBERÍAS. CAIDA PRESIÓN

Con el campo solar dimensionado, el número de captadores en serie y paralelo, los caudales de trabajo y el layout podemos calcular la caída de presión a lo largo de las tuberías como primer paso para conocer las características principales que la bomba de alimentación de aceite deberá tener para poder impulsar el fluido térmico de intercambio a través de todo el circuito.

En una red de tuberías, los parámetros que rigen la caída de presión son las propiedades del fluido, como su densidad y viscosidad así como las características propias de los diferentes tramos de tubería que componen el circuito como las longitudes, diámetros, rugosidad de las paredes y elementos discretos que lo conforman.

Al momento de dimensionar un circuito de tuberías se debe tener en cuenta el compromiso entre dos criterios de diseño, uno es el económico y el otro el funcional:

- El criterio económico dicta que para minimizar el coste de la tubería, se tiene que seleccionar el menor diámetro.
- El otro criterio señala que el fluido debe tener como máximo una velocidad de 3 m/s con lo cual se evitan pérdidas de carga elevadas, esto marca el límite inferior del diámetro de la tubería. El otro extremo del rango sugerido para instalaciones industriales es una velocidad mínima de 1 m/s con lo cual el fluido permanece en régimen turbulento.

Por lo tanto, al diseñar cada tramo de tubería se le asigna el menor diámetro posible teniendo en cuenta el segundo criterio, es decir, la velocidad no supere los 3 m/s, sin embargo para calcular la velocidad de un fluido se tiene que tomar en consideración también la densidad que depende de la temperatura.

Para los cálculos de caída de presión se utilizó la correlación lineal mencionada en el anterior capítulo, en el apartado propiedades del fluido:

$$\text{Densidad: } \rho(\text{kg/m}^3) = -0.757 \cdot T(^{\circ}\text{C}) + 913,48; R^2 = 0,999$$

Una vez que se tiene la densidad correspondiente para la temperatura en cada tramo de tubería y el caudal que circula, se calcula la velocidad del líquido en todas las secciones con la siguiente ecuación:

$$v \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{q_m \cdot 4}{\pi \cdot D_{int}^2 \cdot \rho}$$

Donde:

$$q_m = \text{caudal másico} \left(\frac{kg}{s} \right)$$

$$D_{int} = \text{diámetro interno de la tubería} (m)$$

Obtenida la velocidad del fluido es posible realizar el cálculo del número de Reynolds en el cual utilizaremos otra correlación lineal para una propiedad del fluido térmico:

$$\text{Viscosidad: } \mu (Pa \cdot s) = -5 \cdot 10^{-6} \cdot T(^{\circ}C) + 0,0018; R^2 = 0,968$$

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

Continuando con el proceso de cálculo de pérdidas de presión a lo largo de una red de tuberías, utilizamos la simplificación de la ecuación de Bernoulli utilizada comúnmente en este tipo de planteamientos la cual establece que la caída de presión en cada uno de los tramos viene dada por la caída de presión debido a los tramos rectos y a la caída de presión ocasionada por los elementos discretos que lo componen o que se encuentran en el paso del fluido como pueden ser codos, válvulas, ensanchamientos, etc.:

$$\Delta P_i = \frac{f}{2} \cdot \rho_i \cdot v_i^2 \cdot \frac{L_{recto,i} + L_{equi,i}}{D_{int,i}}$$

donde:

$$\Delta P_i = \text{caída de presión en tramo } i (Pa)$$

$$f = \text{factor de fricción de Moody en tramo } i$$

$$\rho_i = \text{densidad del fluido en tramo } i \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$v_i = \text{velocidad del fluido en tramo } i \left(\frac{m}{s} \right)$$

$D_{int,i}$ = diámetro interior de tubería en tramo i (m)

$L_{recto,i}$ = longitud de tubería en tramo i (m)

$L_{equi,i}$ = longitud hidráulica equivalente elementos discretos en tramo i (m)

Siguiendo con la ecuación de Bernoulli , se tiene que la suma de las caídas de presión de cada tramo individual conforman la caída de presión del circuito de tuberías en su totalidad:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta P_i$$

Para obtener la caída de presión de cada tramo es necesario calcular previamente el factor de fricción de Moody, el cual puede ser determinado mediante dos métodos, el gráfico con el ábaco de Moody o con la formula de Chen, por razones de practicidad y facilidad de utilización de la hoja de cálculo, optamos por el segundo método:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left\{ \frac{1}{3,7065} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D} \right) - \frac{5,0452}{Re} \cdot \log \left[\frac{1}{2,8257} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{1,1098} + \frac{5,8506}{Re^{0,8981}} \right] \right\}$$

Donde:

ε = altura de grano de la tubería (m)

La altura de grano es una propiedad del metal que compone la tubería. Tomamos el valor convencional de 50 μm del acero al carbono, material utilizado a lo largo de todo el circuito de tuberías excepto dentro de los captadores, donde el tubo es de acero inoxidable, con una altura de grano de 20 μm .

La bomba debe ser capaz de darle el impulso necesario al fluido térmico por el camino más demandante, por lo que para su dimensionamiento se analiza el circuito donde la caída de presión sea mayor, en este caso, el más largo:

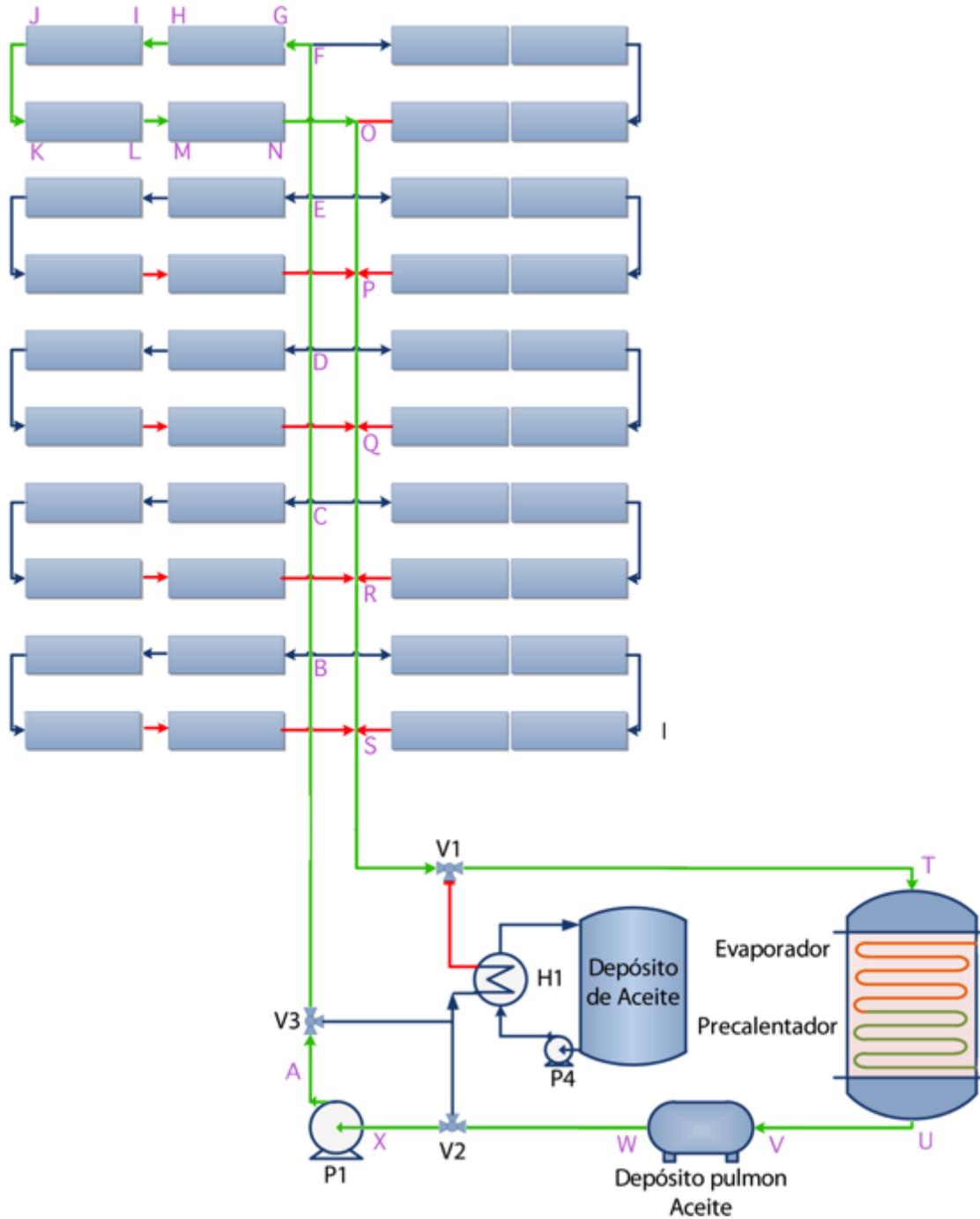


Figura 57: Circuito crítico de caída de presión en color verde

Una de las zonas críticas en cuanto a caída de presión debido a la cantidad de elementos discretos que la componen es el lazo de captadores en serie, ya que sus conexiones entre sí son complejas para permitir el movimiento de seguimiento de los captadores, así como su conexión con la red de distribución que debe permitirles este grado de libertad, por lo que analizamos con mayor detenimiento esta zona:

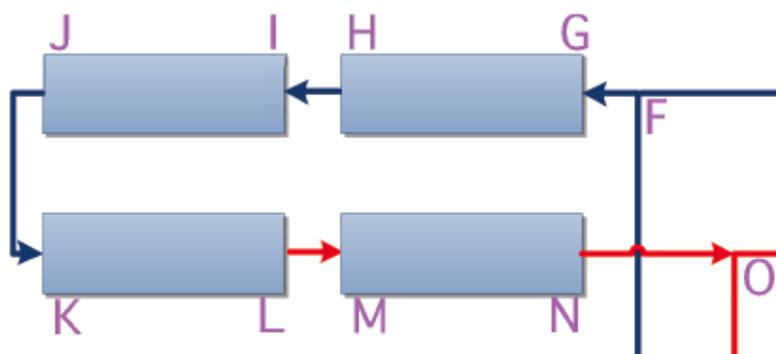


Figura 58: Lazo de captadores es en serie

Tabla 19: Elementos discretos en el lazo de colectores

Tramo	Codos radio pequeño	Juntas Rotativas	Válvulas Asiento
F – G	6	3	1
G – H	0	0	0
H – I	4	4	0
I – J	0	0	0
J – K	12	6	0
K – L	0	0	0
L – M	4	4	0
M – N	0	0	0
N – O	6	3	1

Cada elemento discreto, como es mencionado anteriormente, tiene una longitud hidráulica equivalente expresada en metros, en la tabla siguiente destacamos aquellas utilizadas en el circuito solar:

Tabla 20: Equivalencia de elementos discretos

Elemento Discreto	Longitud Equivalente (m)
Codo de 90° Radio pequeño	1,5
Contracción Brusca 4:1	0,9
Contracción Brusca 2:1	0,7
Contracción Brusca 4:3	0,5
Ensanchamiento Brusco 1:4	1,6
Ensanchamiento Brusco 3:4	0,5
Derivación en T	2,2
Válvula de Asiento Abierta	5
Válvula 3 Vías	2,5

Una vez teniendo identificados todos los elementos necesarios para la utilización de las ecuaciones mencionadas anteriormente, se calcula finalmente la caída de presión del sistema en su totalidad:

Tabla 21: Cálculo de caída de presión

Tramo	Longitud Recta (m)	Temperatura (°C)	Caudal (kg/s)	Diametro (mm)	Viscosidad (Pa-s)	Densidad del Fluido (kg/m ³)	Altura de Grano (m)	Velocidad Fluido (m/s)
A -- B	30.00	180.00	46.6	200	0.0009	777.22	5.00E-05	1.91
B -- C	34.56	180.00	37.28	150	0.0009	777.22	5.00E-05	2.71
C -- D	34.56	180.00	27.96	150	0.0009	777.22	5.00E-05	2.04
D -- E	34.56	180.00	18.64	150	0.0009	777.22	5.00E-05	1.36
E -- F	34.56	180.00	9.32	100	0.0009	777.22	5.00E-05	1.53
F -- G	6.00	180.00	4.66	62.7	0.0009	777.22	5.00E-05	1.94
G -- H	98.7	194.37	4.66	65	0.0008	766.33	2.00E-05	1.83
H -- I	5.00	208.75	4.66	62.7	0.0007	755.45	5.00E-05	2.00
I -- J	98.7	223.12	4.66	65	0.0006	744.57	2.00E-05	1.89
J --K	26.00	237.50	4.66	62.7	0.0006	733.69	5.00E-05	2.06
K -- L	98.7	251.87	4.66	65	0.0005	722.81	2.00E-05	1.94
L-- M	5.00	266.25	4.66	62.7	0.0004	711.92	5.00E-05	2.12
M -- N	98.7	280.62	4.66	65	0.0003	701.04	2.00E-05	2.00
N -- O	6.00	295.00	4.66	62.7	0.0003	690.16	5.00E-05	2.19
O -- P	34.56	295.00	9.32	100	0.0003	690.16	5.00E-05	1.72
P -- Q	34.56	295.00	18.64	150	0.0003	690.16	5.00E-05	1.53
Q -- R	34.56	295.00	27.96	150	0.0003	690.16	5.00E-05	2.29
R -- S	34.56	295.00	37.28	200	0.0003	690.16	5.00E-05	1.72
S -- T	50.00	295.00	46.6	200	0.0003	690.16	5.00E-05	2.15
T -- U	5.00	237.50	46.6	200	0.0006	733.69	5.00E-05	2.02
U -- V	20.00	180.00	46.6	200	0.0009	777.22	5.00E-05	1.91
V -- W	5.00	180.00	46.6	200	0.0009	777.22	5.00E-05	1.91
W -- X	25.00	180.00	46.6	200	0.0009	777.22	5.00E-05	1.91

Tabla 22: Continuación calculo de caída de presión

Tramo	Reynolds	Moody	Equivalencia elementos discretos (m)	Longitud Equivalente (m)	Caída de Presión (Pa)
A -- B	3,30E+05	0,0165	6,70	36,70	4,29E+03
B -- C	3,52E+05	0,0170	2,20	36,76	1,19E+04
C -- D	2,64E+05	0,0175	2,20	36,76	6,89E+03
D -- E	1,76E+05	0,0182	2,70	37,26	3,24E+03
E -- F	1,32E+05	0,0197	2,90	37,46	6,69E+03
F -- G	1,05E+05	0,0214	18,50	24,50	1,23E+04
G -- H	1,10E+05	0,0193	0,00	98,70	3,77E+04
H -- I	1,25E+05	0,0211	12,00	17,00	8,61E+03
I -- J	1,33E+05	0,0188	0,00	98,70	3,77E+04
J --K	1,54E+05	0,0207	27,00	53,00	2,71E+04
K -- L	1,69E+05	0,0182	0,00	98,70	3,77E+04
L-- M	2,02E+05	0,0202	12,00	17,00	8,78E+03
M -- N	2,30E+05	0,0175	0,00	98,70	3,75E+04
N -- O	2,91E+05	0,0198	18,50	24,50	1,28E+04
O -- P	3,65E+05	0,0180	2,70	37,26	6,85E+03
P -- Q	4,87E+05	0,0166	2,70	37,26	3,32E+03
Q -- R	7,30E+05	0,0162	2,70	37,26	7,30E+03
R -- S	7,30E+05	0,0155	2,20	36,76	2,91E+03
S -- T	9,13E+05	0,0153	6,20	56,20	6,85E+03
T -- U	4,84E+05	0,0160	0,00	5,00	2,00E+05
U -- V	3,30E+05	0,0165	1,50	21,50	2,51E+03
V -- W	3,30E+05	0,0165	0,00	5,00	5,84E+02
W -- X	3,30E+05	0,0165	5,50	30,50	3,57E+03
Caída de Presión Total					4,87E+05

Para el calculo de caída de presión se tomó la suposición que la perdida de presión a lo largo del generador de vapor es de 2 bar.

El cálculo arroja que la perdida de presión en el camino más largo y demandante del campo solar es de 4,87 bar:

$$\Delta P = 487\,023\text{ Pa}$$

4.5. BOMBA DE ALIMENTACIÓN

Para el dimensionado de una bomba hidráulica los dos criterios a tomar en cuenta son el caudal que debe impulsar y la presión que la bomba debe agregar al fluido, normalmente

expresada en metros de columna de agua (m.c.a.), que es la presión que ejerce un metro de agua pura sobre una superficie y comúnmente conocido como altura H:

$$H(m.c.a) = \frac{487\,023\,Pa}{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{9,81\,m}{s^2}} = 49,65\,mca$$

Debido a que la presión de vapor del aceite térmico a la máxima temperatura de trabajo en el sistema, 295 °C, es menor que la presión atmosférica, no es necesario presurizar el sistema para evitar vaporización.

El otro parámetro de diseño es el caudal volumétrico a impulsar, el cual hay que calcular a partir del caudal másico y de la densidad del fluido. En el caso de este proyecto, el bombeo se realiza cuando el aceite térmico está en su temperatura más baja, es decir, 180 °C y como resultado su densidad también es la menos elevado de todo el circuito con 777,22 kg/m³. De la sección de dimensionado del campo solar sabemos que el caudal másico del circuito que la bomba debe de presurizar es de 46,6 kg/s:

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{q_m \left(\frac{kg}{s} \right)}{\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)}$$

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{46,6 \left(\frac{kg}{s} \right)}{777,22 \left(\frac{kg}{m^3} \right)} = 0,0599 \frac{m^3}{s}$$

$$Q \left(\frac{m^3}{h} \right) = 0,0599 \frac{m^3}{s} \cdot \frac{3\,600\,s}{1\,h} = 215,85 \frac{m^3}{h}$$

Con el caudal volumétrico y la presión que la bomba debe de suministrar al fluido podemos calcular la potencia eléctrica que el conjunto de la bomba y el motor eléctrico que acciona su eje va demandar durante su funcionamiento:

$$P_e(W) = \frac{\Delta P (Pa) \cdot Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{\eta_b \cdot \eta_e}$$

Donde:

P_e : Potencia eléctrica que demanda el conjunto (W)

η_b : rendimiento mecánico de la bomba

η_e : rendimiento eléctrico del motor que impulsa la bomba

Se considera que un rendimiento conjunto $\eta_e \cdot \eta_b$ sea igual a 0,75 como común en la industria, es decir que 75% de la potencia eléctrica que demanda el motor, es potencia hidráulica que la bomba cede al fluido.

$$P_e(W) = \frac{487\,023 \text{ (Pa)} \cdot 0,0599 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{75\%} = 38\,897 \text{ W}$$

Para este proyecto, la bomba principal demandará una potencia eléctrica de 38,9 kW.

Para la selección de un fabricante y un modelo de bomba en particular, es necesario tener en cuenta además de las necesidades propias del sistema, que el fluido térmico es bombeado a una temperatura elevada por lo que se eligió la línea de bombas ZTDN del fabricante americano SIHI que según sus datos:

“La línea especial de bombas ZTDN está diseñada específicamente para manejar fluidos térmicos calientes. Los diseños de SIHI están concebidos para limitar la transferencia de calor a lo largo del eje al mismo tiempo que bombean el fluido a más de 345 °C permitiendo la refrigeración con aire fresco del ambiente. Ofrecen seguridad y eficiencia eliminando cualquier necesidad de un líquido de refrigeración a lo largo de su rango de operación”

Características Línea ZTDN:

- Auto refrigeración
- Sello único de eje
- Diseño que permite sacar por la parte trasera la bomba

Datos Técnicos:

- Capacidad: 9,85 m³/min
- Altura total: 90 m
- Temperatura Máxima: 350 °C
- Material: Hierro Dúctil

Al cruzar en el gráfico que caracteriza los modelos de bomba la altura necesaria con el caudal del sistema, obtenemos que el modelo que más se adecua a las necesidades de bombeo del proyecto es la: SIHI ZTDN 080-160

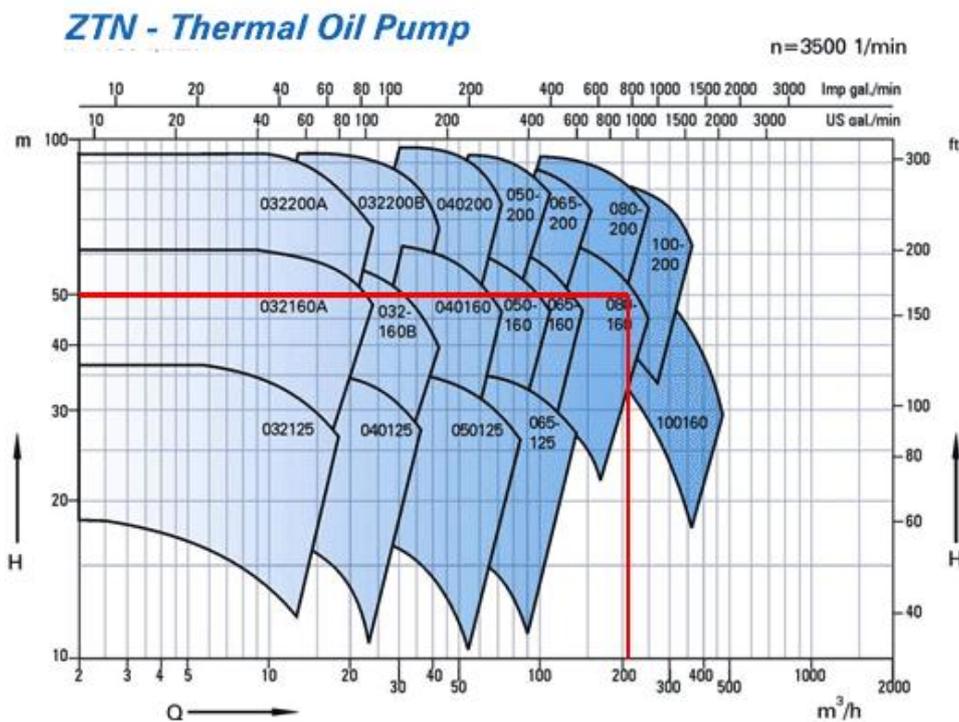


Figura 59: Características modelos de bombas línea ZTN

4.6. GENERADOR DE VAPOR

El generador de vapor es la parte del circuito solar donde el aceite térmico procedente del campo solar cede su energía térmica al agua para generar vapor de agua que posteriormente es enviado a proceso.

El generador de vapor consta de 2 etapas que van elevando la temperatura del agua de alimentación por las cuales el flujo de aceite desciende de una temperatura de 295°C a 180°C al pasar por los elementos de intercambio térmico.

4.6.1. Precalentador

Es la etapa donde mediante un intercambiador de calor el agua es precalentada hasta la temperatura próxima a la evaporación, lo cual la satura y aumenta el rendimiento térmico de la instalación y elimina las contracciones térmicas que provocaría la entrada de agua a diferentes temperaturas en el evaporador.

4.6.2. Evaporador

En esta fase, donde el agua finalmente se evapora, consta de un intercambiador de calor donde los tubos de intercambio entre aceite y agua están conectados a dos cabezales verticales:

- El cabezal inferior suministra de agua saturada a los tubos.
- En los tubos el agua esta se evapora y por convección natural debido a la disminución de densidad por la temperatura, asciende.
- En el cabezal superior, la mezcla de liquido-vapor formada se recoge y es enviada al calderín de mezcla.

El calderín es el espacio de mezcla en el que se encuentra en equilibrio de fase líquida y la fase de vapor, por lo que la temperatura es la de saturación para la presión de operación. Además, el calderín constituye una reserva de agua que puede contrarrestar en cierta medida cualquier variación brusca de producción de vapor.

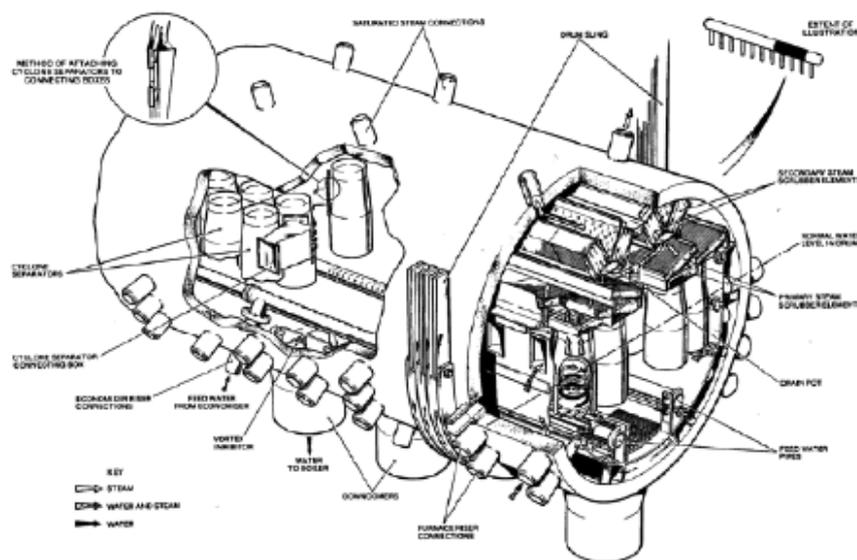


Figura 60: Esquema interno del calderín

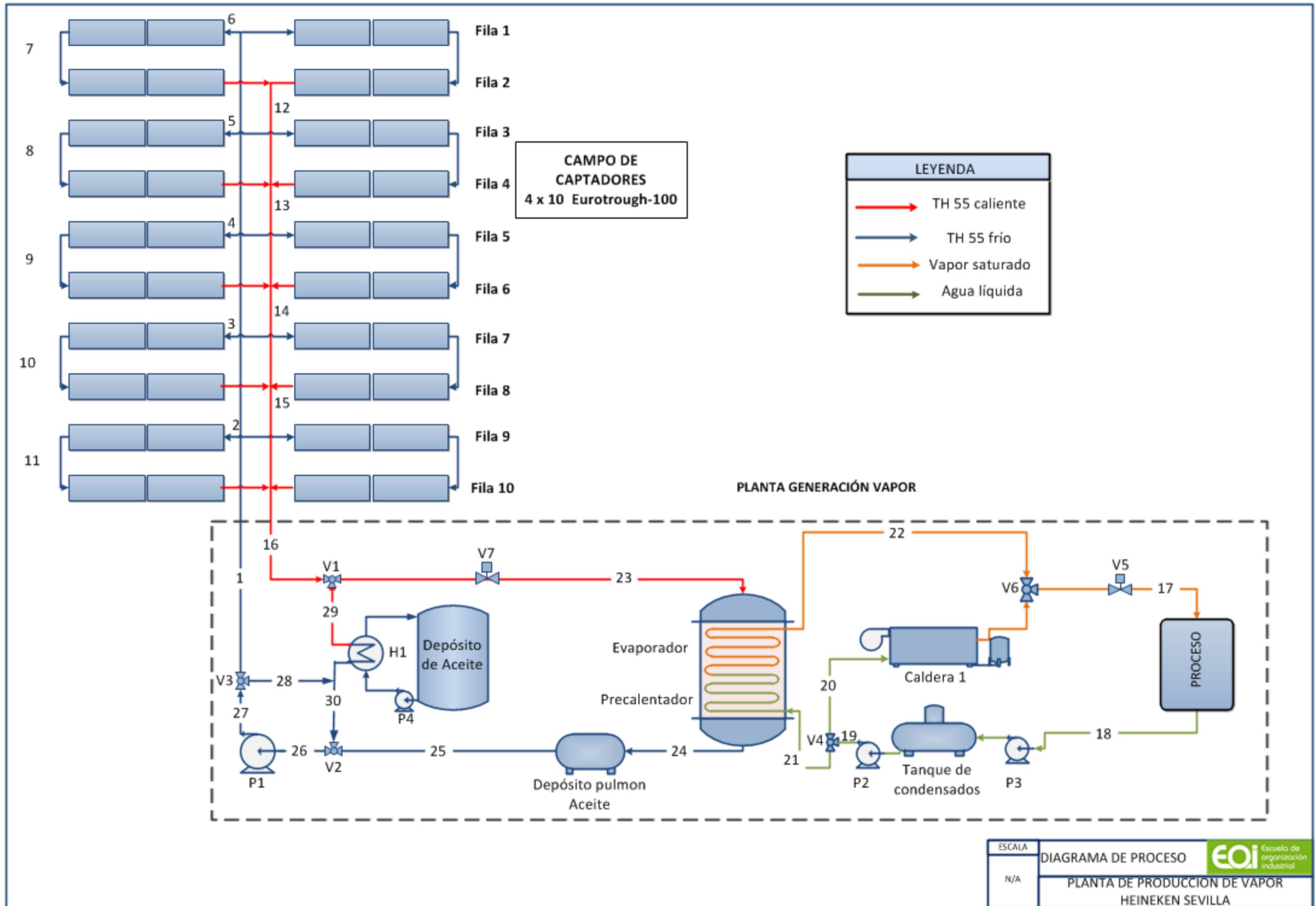
4.6.3. Selección de equipo

Como sabemos de la sección 1.12 Consumo Energético del Proceso de Fabricación de Cerveza, la planta requiere una potencia térmica de 1,17 MW, por lo que es necesario un generador de vapor que cumpla con este mínimo para los casos en que el campo solar este suministrando el 100% de la potencia térmica demandada por el proceso.

4.7. BALANCE MATERIA Y ENERGÍA

El balance de Materia y energía de la instalación se resume en la tabla siguiente, tomando como referencia la figura que le sigue.

BALANCE MATERIA Y ENERGÍA									
Corriente	Q (kg/s)	T (°C)	h(kJ/kg)	tipo fluido	Corriente	Q (kg/s)	T (°C)	h(kJ/kg)	tipo fluido
1	46,60	180	1125,93	TH 55	16	46,60	295	1575,06	TH 55
2	4,66	180	1125,93	TH 55	17	2,91	175,6	2781,00	Vapor saturado
3	4,66	180	1125,93	TH 55	18	2,91	175,6	551,00	Agua
4	4,66	180	1125,93	TH 55	19	2,91	175,6	551,00	Agua
5	4,66	180	1125,93	TH 55	20	2,91	175,6	551,00	Agua
6	4,66	180	1125,93	TH 55	21	2,91	175,6	551,00	Agua
7	4,66	238	1344,56	TH 55	22	2,91	175,6	2781,00	Vapor saturado
8	4,66	238	1344,56	TH 55	23	46,60	295	1575,06	TH 55
9	4,66	238	1344,56	TH 55	24	46,60	180	1125,93	TH 55
10	4,66	238	1344,56	TH 55	25	46,60	180	1125,93	TH 55
11	4,66	238	1344,56	TH 55	26	46,60	180	1125,93	TH 55
12	9,32	295	1575,06	TH 55	27	46,60	180	1125,93	TH 55
13	18,64	295	1575,06	TH 55	28	-	-	-	TH 55
14	27,96	295	1575,06	TH 55	29	-	-	-	TH 55
15	37,28	295	1575,06	TH 55	30	-	-	-	TH 55



CAPÍTULO 5: SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL: P&ID

5.1. OBJETIVO Y ESTRATEGIA DE CONTROL

En este apartado se define la estrategia de control a seguir en función de los requerimientos de la planta y los elementos que formarán parte del sistema de control: sensores, transmisores, convertidores, actuadores y controladores. Además se representa la posición de estos en el plano y su interconexión.

Para la representación de los equipos, líneas e instrumentación y control el proceso existen varias normas, pero la más utilizada es la norma ISA (*“International Society for Measurement and Control”*), que es la que se utilizará en el presente proyecto. Para la representación del control e instrumentación se ha seguido la norma ANSI/ISA-5.1-1984 (R1992).

El objetivo principal, que debe cumplir el sistema de control de la instalación propuesta es garantizar una respuesta rápida, a los cambios producidos a las demandas de vapor que vengan por parte de la planta. Además es importante la estabilidad y la exactitud de la respuesta. Esto se logra, con una buena calibración del sistema de control y de sus parámetros. Además de la estrategia de control, se define el tipo de acción que realizará el controlador en cada uno de los casos.

Se definen tres sistemas interconectados:

- Control del campo solar: Sistema encargado del control y monitorización de la posición de los paneles del campo solar, así como de la temperatura del fluido utilizado en el interior de los tubos receptores para transferencia del calor generador (aceite).
- Control del sistema agua/vapor: Sistema de control de la planta de generación de vapor y del circuito de aceite, encargado de la monitorización y del ajuste de las variables de proceso.
- Estación meteorológica.

Ambos sistemas se monitorizan en una sala de control centralizado. A continuación se detallan los lazos de control de las diferentes zonas:

5.2. CAMPO DE CAPTADORES

En el campo de captadores, el objetivo es que la normal al plano de apertura esté en todo momento en el plano bisectriz de la parábola cilíndrica junto con el vector solar. Para ello se emplea un sistema de control abierto en el que se calcula la posición del Sol en cada momento mediante un algoritmo, y se calcula la posición del captador. Este sistema tiene la ventaja de que no se desconecta por nubes o aumento de la radiación difusa. Tiene la desventaja de que tiene que ser reajustado periódicamente para corregir desajustes que se producen con el tiempo.

Para medir la posición del captador se emplea un codificador angular acoplado al eje de giro (figura 61) Si la posición del captador dada por el codificador angular no se corresponde con la que debería de ser para que, de acuerdo con la posición del Sol calculada por el algoritmo, un micro-procesador da la orden al mecanismo de accionamiento para que mueva el captador hasta que la posición de su eje de giro sea la que debe ser.



Figura 61: Codificador de ángulo



Figura 62: Detalle de los accionamientos hidráulicos

Para el cálculo de la posición solar se emplea el sistema de Blanco, Muriel, Alarcón. Se trata de un algoritmo desarrollado por el CIEMAT en la PSA de Almería que consigue una precisión mayor que la de los disponibles hasta ahora por Spencer, Pitman and Vant-Hull, Walraven, Michalsky. Las mejoras son de hasta un 15% en el azimut y un 22% en el cenit de media y cuenta con un error medio del vector solar de 0,0136 mrad.

El código completo en C+ se muestra en el ANEXO V: Algoritmo de cálculo de la posición solar y del control de movimiento de los captadores.

Existe 1 sistema de accionamiento por cada captador, estando cada captador formado por 8 módulos conectados en serie y rígidamente unidos. Por lo tanto para 40 captadores se tiene un total de 40 unidades de accionamiento, 40 codificadores de ángulo y 40 centralitas.

Cada uno de ellos además monitoriza condiciones de alarma como alta o baja temperatura en el receptor. El control local se comunica con el ordenador supervisor en la planta de control de potencia. Este ordenador envía comandos al control local diciendo cuando empezar el seguimiento del Sol o cuando parar al final del día.

Cada captador opera independiente del adyacente. Para ello se instalan varias juntas rotativas entre captadores adyacentes y en la entrada y salida de cada lazo para unir la entrada del primer captador y la salida del último con las tuberías fijas del campo solar que llevan el aceite de alimentación y recogen el aceite caliente. Al tener 20 juntas rotativas en cada fila, se requieren un total de 200 juntas rotativas para todo el campo solar.

Además los captadores cuentan con una sonda de temperatura conectada a la alarma por exceso de temperatura cuando esta sea superior a 300°C. Por otro lado si la temperatura baja de 20°C, se produce el accionamiento de la bomba para homogeneizar la temperatura y viscosidad del fluido a lo largo de toda la planta.

En caso de que los captadores se muevan más de 1° cuando los solenoides están parados (no debería existir movimiento) se presenta una alarma por movimiento excesivo de los captadores.

5.3. CONTROL DEL SISTEMA AGUA-ACEITE

5.3.1. Generación de Vapor

El circuito de vapor se regula a partir de las necesidades del proceso. En este apartado se explica el modo de operación en los momentos de demanda ya que se entiende que esta se produce 24 horas al día durante todo el año y solo se para en caso de mantenimiento o fallo del sistema.

De modo que en el proceso se requieren diferentes temperaturas en cada una de las unidades según la consigna de temperatura programada para cada operación. Comparando la temperatura actual con la consigna se establece la necesidad de vapor para cada unidad que se obtiene mediante la apertura de la válvula V5.

Teniendo en cuenta que el proceso requiere vapor saturado a la presión de 8 bar la temperatura permanece constante en 175 °C siendo el caudal en la corriente 17 la variable que indica la variación en la demanda de calor del proceso.

Este vapor se puede generar mediante caldera de gas natural (sistema convencional) o mediante generación a través del fluido del campo de captadores en el intercambiador de calor. Se establece un sistema de prioridad en el que prevalece la opción de emplear la energía solar para alimentar el proceso. Así pues se miden caudal y temperatura de la corriente 16 (salida de campo de captadores) y se calcula la energía extraíble mediante:

$$P_{solar}(kW) = m \cdot c_p \cdot (T_{16} - 195)$$

Siendo

$$m = Q_{16} \cdot \rho$$

$$\rho(\text{kg}/\text{m}^3) = -0.757 \cdot T(^{\circ}\text{C}) + 913,48$$

$$c_p(\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}) = 2,52 \cdot T(^{\circ}\text{C}) + 2035,5$$

T17: Temperatura de la corriente 16

Q17: Caudal de la corriente 16

La energía necesaria se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_{proceso}(kW) = \frac{Q_{17}(\text{m}^3/\text{h}) \cdot 0,5965(\text{kWh}/\text{kg})}{0,2219(\text{m}^3/\text{kg})}$$

Si la potencia del campo solar es mayor que la del proceso entonces, se envían señales de actuación a las válvulas de tres vías, 1,2,3,4 y 6.

5.3.2. Circuito de aceite.

El circuito de aceite se controla en función del circuito de vapor y permite cuatro modos de operación.

Generación de vapor desde captadores:

Acumulación de energía en depósito:

Extracción de energía del depósito:

Parada (Stand by).

Cada uno de los modos de operación se representa en la página 104. Además en la página 103 se muestra la instrumentación necesaria para el funcionamiento de los diferentes modos así como los elementos de seguridad pertinentes.

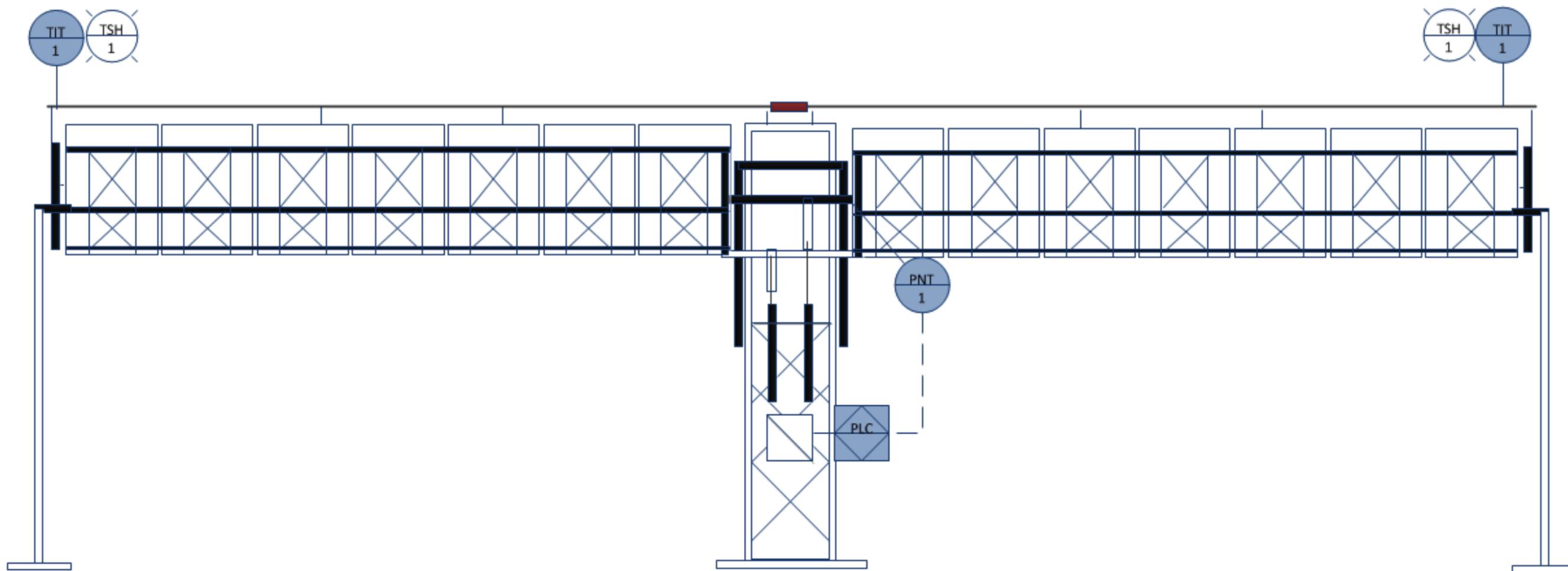
5.4. ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Se instalará una estación meteorológica sobre el tejado del edificio de control. Los sensores se montan sobre soportes de acero individuales, protegidos de la sombra y libre de la sombra del penacho de vapor de la torre de refrigeración. El sensor de viento se monta sobre un poste de acero de 20 m para situarlo fuera de interferencias del suelo. La estación meteorológica comprende los siguientes sensores:

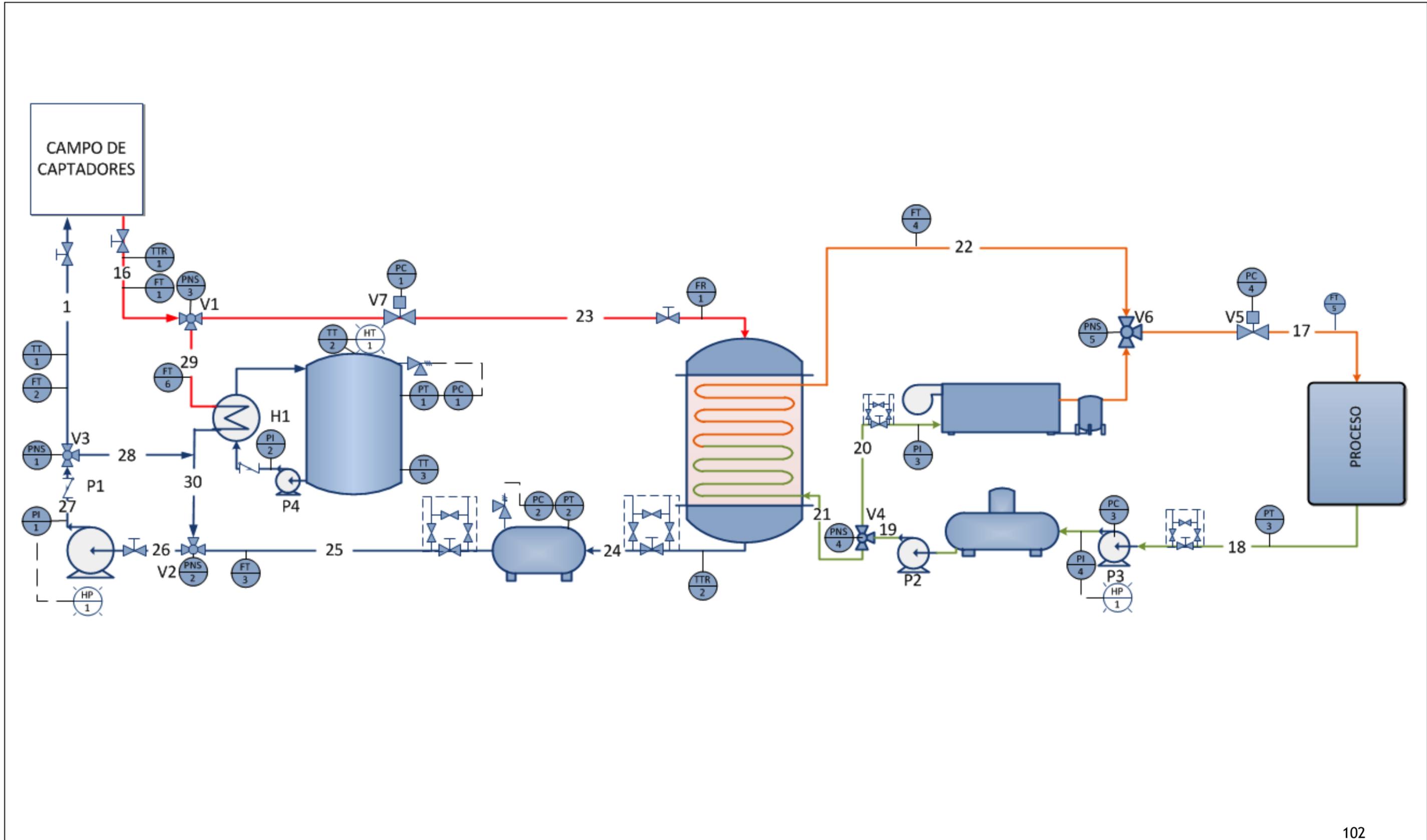
- Sensor de radiación directa (pirheliómetro): 1 unidad
- Transmisor de datos de radiación:1 unidad
- Sensor de radiación global (piranómetro): 1 unidad
- Transmisor de datos de radiación global:1 unidad
- Sensor de dirección de viento: 1 unidad
- Sensor de velocidad de viento: 1 unidad
- Transmisor de datos de velocidad de viento: 1 unidad
- Sensor de dirección de viento (veleta): 1 unidad
- Transmisor de datos dirección de viento: 1 unidad
- Sensor de temperatura ambiental: 1 unidad

Los datos recibidos de la estación meteorológica se transmiten mediante el controlador central al sistema distribuido de control, que calcula la media de las lecturas de la radiación directa y calcula valores apropiados del flujo del fluido térmico HTF. Se procesan la velocidad y dirección del viento para determinar cuándo se ha alcanzado la carga máxima de viento de los captadores. En caso de condiciones de alarma el controlador central FSC pone a los captadores en posición de reposo.

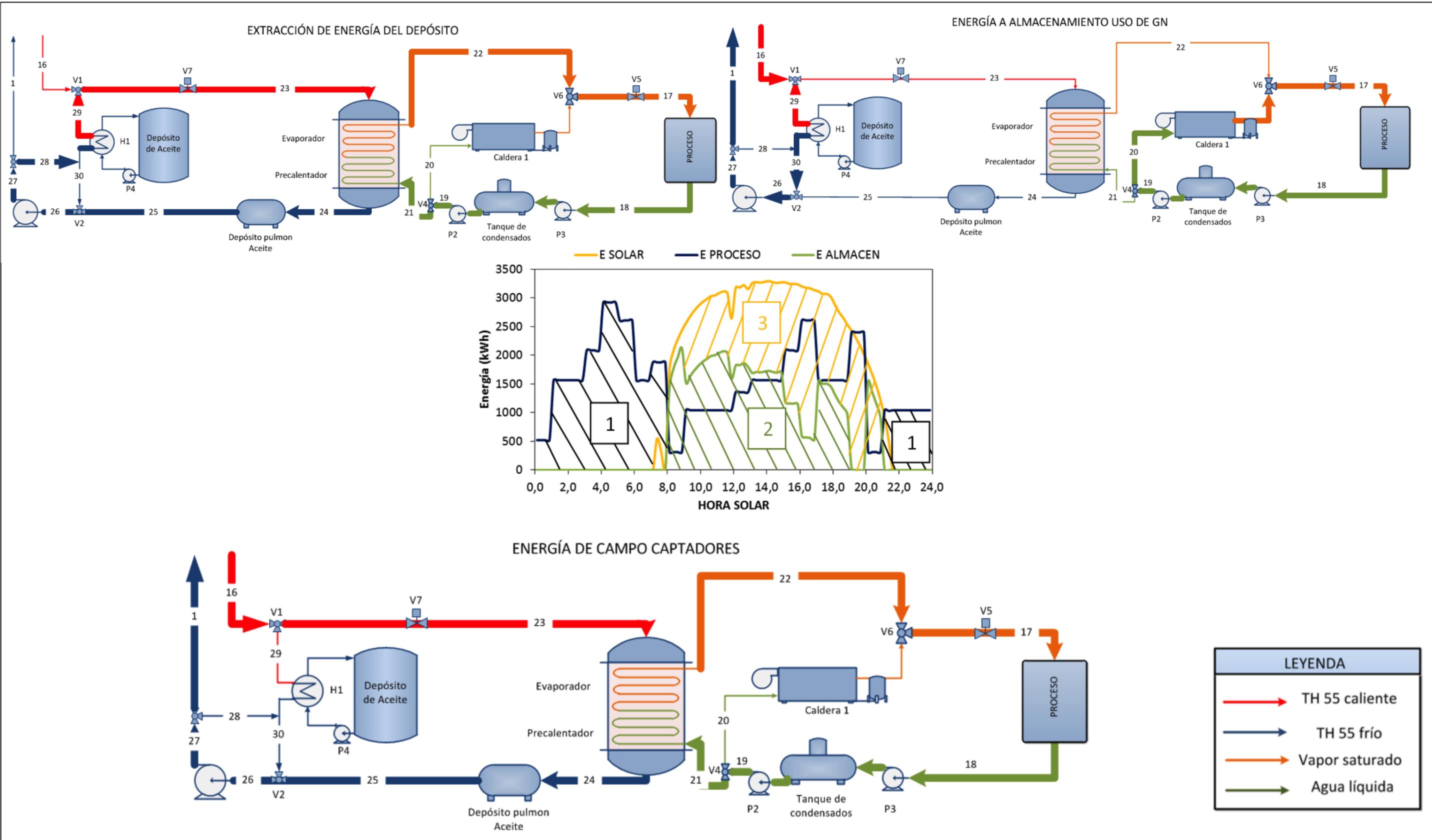
P&ID: CAPTADOR EUROTROUGH-100



P&ID: PLANTA DE GENERACIÓN DE VAPOR



MODOS DE OPERACIÓN



CAPÍTULO 6: RESULTADOS

En este apartado se resumen los resultados obtenidos del proyecto. En la tabla 23 y en la figura 63 se reflejan los resultados mensuales obtenidos para la energía solar producida, la demandada por el proceso y la fracción de solar enviada al almacenamiento. Además se obtiene la cobertura mensual dividiendo la energía aportada por el campo de captadores entre la energía requerida por el proceso como se muestra en la gráfica 63.

Tabla 23: Cobertura y producción anual

MES	cobertura	E SOLAR (MWh)	E PROCESO (MWh)	E ALMACEN (MWh)
ENERO	12,7%	569,67	4501,15	110,39
FEBRERO	25,0%	1017,75	4066,22	210,32
MARZO	31,8%	1430,01	4502,46	499,57
ABRIL	65,1%	2838,55	4357,16	1216,53
MAYO	53,5%	2406,37	4501,83	947,60
JUNIO	79,9%	3482,65	4356,22	1524,15
JULIO	79,0%	3557,94	4501,65	1523,05
AGOSTO	73,0%	3288,61	4502,29	1289,83
SEPTIEMBRE	54,2%	2360,66	4356,88	754,17
OCTUBRE	39,1%	1761,90	4502,28	389,86
NOVIEMBRE	17,1%	743,30	4356,25	113,08
DICIEMBRE	8,3%	374,78	4501,44	59,32
SUMA	44,96%	23832,19	53005,84	8637,88

Se puede ver, como era de esperar, que la cobertura es mucho mayor los meses centrales del año y disminuye a lo largo de los meses de invierno.

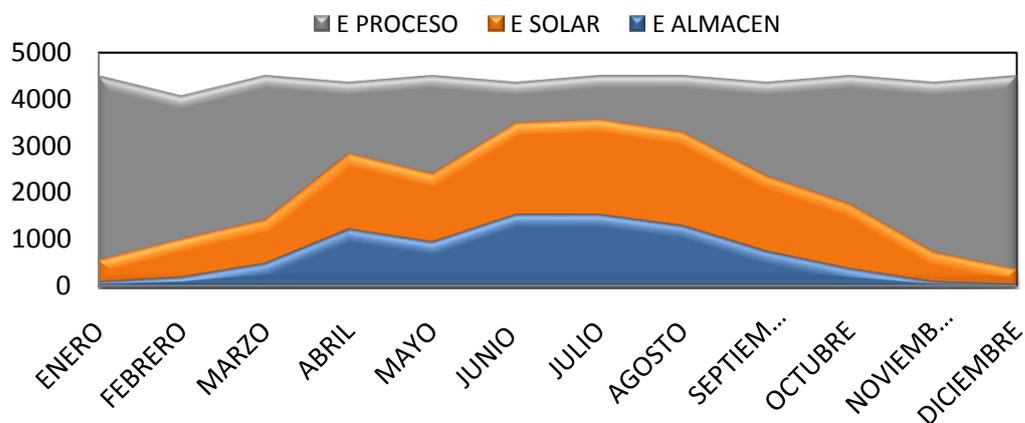


Figura 63: Evolución anual de la energía requerida por el proceso y de la energía entregada por el campo solar

La cobertura anual obtenida es del 44,96 % lo que implicará un ahorro proporcional en el consumo de combustible anual.

6.1. JUSTIFICACIÓN DEL PUNTO DE DISEÑO

En el punto de diseño se definió el día de mayor radiación directa del año como punto de diseño. Como se comentaba en este capítulo 2, se ha dimensionado la planta de manera que se produzca un máximo aprovechamiento en el punto de mayor radiación.

Una vez realizado el dimensionado es posible cambiando el punto de diseño observar cuantos captadores hubieran sido necesario desenfocar en caso de haber elegido un punto de peor radiación con el fin de maximizar la cobertura anual.

Situando el punto de diseño en el 15 de enero, serían necesarias un total de 24 filas, de 4 captadores en serie por lo que sería necesario desenfocar 56 captadores en el punto de verano de máxima radiación ya que la energía aportada por el campo sería 2,4 veces superior a la requerida por el proceso.

Esto supondría realizar una inversión muy elevada para después mantener parada el 58% de la instalación durante la época de mayor radiación, lo que implicaría una pérdida de rentabilidad notable.

CAPÍTULO 7: ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL

7.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL EsIA

Las actividades humanas tienen un impacto que en ocasiones resulta perjudicial para el entorno. Las políticas en materia ambiental de los últimos años propugnan la prevención, para tratar de evitar la contaminación o los daños ecológicos antes de que se produzcan.

Se llama Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) al procedimiento técnico-administrativo que sirve para identificar, prevenir e interpretar los impactos ambientales que producirá un proyecto en su entorno en caso de ser ejecutado, todo ello con el fin de que la administración competente pueda aceptarlo, rechazarlo o modificarlo. Este procedimiento jurídico administrativo se inicia con la presentación de la memoria resumen por parte del promotor, sigue con la realización de consultas previas a personas e instituciones por parte del órgano ambiental, continúa con la realización del EsIA (Estudio de Impacto Ambiental) a cargo del promotor y su presentación al órgano sustantivo. En dicho estudio se identifican mediante una metodología que debe ser rigurosa e imparcial los posibles impactos y la posibilidad de corregirlos, teniendo en cuenta los efectos sobre la naturaleza y las actividades humanas de

dicho lugar, así como los valores culturales e históricos de la zona. Se prolonga en un proceso de participación pública y se concluye con la emisión de la DIA (Declaración de Impacto Ambiental) por parte del órgano ambiental.

Estados Unidos fue el primer país que introdujo la necesidad de la EIA, en 1969 con la promulgación de la Ley Nacional de Políticas sobre Medio Ambiente (National and Environmental Policy Act), más conocida por sus siglas en inglés como la Ley NEPA, que establecía que cualquier proyecto que usara fondos federales debía examinar sus posibles efectos en el medio ambiente y determinar posibles alternativas para minimizar sus consecuencias negativas. En Europa no fue hasta 1975 cuando comenzó a discutirse en foros de técnicos medioambientales y expertos en derecho dicha necesidad, lo que daría pie años después a la primera Directiva Europea (85/337) sobre este tema, en el año 1985. En ella se especificaba la obligatoriedad de la EIA para determinados proyectos. En cuanto a una normativa de carácter internacional, habría que esperar hasta 1991 cuando se firmó en Finlandia el Convenio sobre la Evaluación del Impacto Ambiental. Posteriormente, la Declaración de Río, elaborada durante la Cumbre de la Tierra en 1992, dedicó uno de sus 27 principios a la EIA.

7.2. NORMATIVA DE APLICACIÓN

A fecha de redacción del presente documento se considera que son de aplicación las siguientes disposiciones:

7.2.1. Legislación general sobre Medio Ambiente

- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación (IPPC).
- R.D. 697/1995, de 28 de abril, por el que se aprueba el registro de establecimientos industriales de ámbito estatal.
- Decreto 2414/1961, de 30 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.
- Ley 7/1997, de 29 de mayo, de medidas fiscales sobre la producción y transporte de la energía que incidan en el medio ambiente.

7.2.2. Disposiciones generales en EIA

- R.D. Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental.

- R.D. 1312/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.

7.2.3. Disposiciones generales en materia de residuos

- Orden MAM/340/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- R.D. 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
- Resolución de 14 de junio de 2001, Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (2001/2006).
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.
- R.D. 782/1998, de 30 de abril. Por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997 de envases y residuos de envases.
- R.D. 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, aprobada por el R.D. 833/1988.
- Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases.
- R.D. 363/1995, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado, y etiquetado de sustancias peligrosas.
- R.D. 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986.
- R.D. 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
- R.D. 679, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de aceites industriales usados.

7.2.4. Disposiciones generales en almacenamiento de sustancias peligrosas

- R.D. 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias.
- R.D. 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- R.D. 988/1998, de 22 de mayo, por el que se modifica la instrucción técnica complementaria MIE-APQ-006, Almacenamiento de líquidos corrosivos.
- R.D. 1830/1995, de 10 de noviembre, por el que se aprueba la instrucción técnica complementaria MIE-APQ-006, Almacenamiento de líquidos corrosivos.
- Orden de 21 de julio de 1992 por la que se aprueba la ITC MIE-APQ 005 del reglamento de almacenamiento de productos químicos referentes al almacenamiento de botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión.
- Orden de 18 de julio de 1991, por la que se modifica La ITC MIE-APQ 001 de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.
- R.D. 3485/1.983, de 14 de diciembre de 1983, por el que se modifica el R.D. 668/1980, de 6 de febrero de 1980, sobre almacenamiento de productos químicos
- Orden de 26 de octubre de 1983 por La que se modifica La ITC MIE-APQ 001 de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.
- Orden de 9 de marzo de 1982 por La que se aprueba La ITC MIE-APQ 001 de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.

7.2.5. Disposiciones generales en contaminación atmosférica

- Ley 1/2005, de 9 de marzo, por La que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero
- R.D. 1154/1986, de 11 de abril, por el que se modifica el R.D. 1613/1985. Normas de calidad del ambiente: Declaración del Gobierno de zonas de atmosfera contaminada.

- R.D. 547/1979, por el que se modifica el Decreto 833/1975, que desarrollo La Ley de protección del ambiente atmosférico. (Modificación de niveles de emisión).
- R.D. 2512/1978, de 14 de octubre, para La aplicación del artículo 11 de La Ley 38/1972 de 22 de diciembre.
- Orden del 18 de octubre de 1976 sobre Prevención y Corrección de la Contaminación Industrial de la Atmosfera de origen Industrial.
- Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del ambiente atmosférico
- Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de diciembre de Protección del ambiente atmosférico.
- Decreto 2204/1975, sobre características, calidad y condiciones de empleo de carburantes y combustibles.
- R.D. 1073/2002, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono.
- R.D. 1717/87, de 27 de mayo, estableciendo nuevas normas de calidad del aire en lo referente a contaminación por NOx y plomo.

7.2.6. Disposiciones generales sobre aguas

- Orden MAM/698/2007, de 21 de marzo, por la que se aprueban los planes especiales de actuación en situaciones de alera y eventual sequía en los ámbitos de los planes hidrológicos de cuencas intercomunitarias.
- R.D. 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas.
- R.D. Ley 4/2007, de 13 de abril, por el que se modifica el texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el R.D. Legislativo 1/2001, de 20 de julio.
- R.D. 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.

- Resolución de 10 de julio de 2006 de la Secretaria General para el Territorio y la Biodiversidad, por la que se declaran Zonas Sensibles en las Cuencas Hidrográficas Intercomunitarias.
- Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.
- R.D. Ley 2/2004, de 18 de junio, por el que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.
- R.D. 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- R.D. Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.
- R.D. 1664/1998, de 24 de julio, por el que se aprueban los planes hidrológicos de cuenca.
- Resolución de 25 de mayo de 1998, de la secretaria de Aguas y Costas, por la que se declaran las “zonas sensibles” en las cuencas hidrográficas intercomunitarias.
- R.D. 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público hidráulico que desarrolla los Títulos I, IV, V, VI y VII de la Ley de Aguas.
- R.D. 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y la Planificación Hidrológica que desarrolla los Títulos II y III de la Ley de Aguas.
- R.D. 2473/1985, de 27 de diciembre, por el que se aprueba la tabla de vigencia a que se refiere el apartado 3 de la disposición derogatoria de la Ley 29/1985, de 2 de agosto.

7.2.7. Disposiciones generales sobre vertido de aguas residuales

- R.D. 995/2000, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el Reglamento de dominio Público hidráulico, aprobado por el R.D. 849/1986, de 11 de abril.

- Orden MAM/3207/2006, de 25 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción técnica complementaria MMA-EECC-1/06, determinaciones químicas y microbiológicas para el análisis de las aguas.
- Corrección de errores de la orden MAM/985/2006, de 23 de marzo, por la que se desarrolla el régimen jurídico de las entidades colaboradoras de la administración pública en materia de control y vigilancia de calidad de aguas y gestión de los vertidos al dominio público hidráulico.
- Orden MAM/985/2006, de 23 de marzo, por la que se desarrolla el régimen jurídico de las entidades colaboradoras de la administración pública en materia de control y vigilancia de calidad de aguas y gestión de los vertidos.
- Orden MAM/1873/2004, de 2 de junio, por la que se aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos regulados en el R.D. 606/2003, de 23 de mayo, de Reforma del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de la Ley de Aguas.
- R.D. 995/2000, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el Reglamento de dominio Público Hidráulico, aprobado por el R.D. 849/1986, de 11 de abril.
- R.D. 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica el R.D. 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del R.D. ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas.
- R.D. 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del R.D. ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas.
- R.D. ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Resolución de 28 de abril de 1995 (Secretarías de Estado de Medio Ambiente y Vivienda) por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 17 de febrero de 1995, que aprueba el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (1995-2005).

7.2.8. Disposiciones generales sobre ruido

- R.D. 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- R.D. 524/2006, de 28 de abril, por el que se modifica el R.D. 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas maquinas de uso al aire libre.
- R.D. 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- R.D. 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas maquinas de uso al aire libre.
- Decreto 326/2003, de 25 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía.

7.2.9. Patrimonio histórico y artístico

- Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español, y el R.D. 111/1986, de 10 de enero, que la desarrolla parcialmente.
- Ley 14/2007, de 26 de noviembre, del Patrimonio Histórico de Andalucía.
- Decreto 32/1993, de 16 de Marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Actividades Arqueológicas.
- Decreto 19/1995, de 7 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección y Fomento del Patrimonio Histórico de Andalucía.

7.2.10. Vías pecuarias

CAPÍTULO 8: Ley de Vías pecuarias, de 23 de marzo de 1995.

CAPÍTULO 9: Decreto 155/1998, de 21 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Vías pecuarias de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

9.1. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

9.1.1. Alteraciones sobre la atmosfera

Las alteraciones vienen dadas por la emisión de polvo y gases a la atmosfera y por los niveles de ruido debidos a las labores desarrolladas por la maquinaria pesada en el proceso de construcción de la planta, los edificios anejos, sistemas de refrigeración y evacuación de gases residuales, así como la construcción de las vías de acceso. Durante la fase de operación los únicos ruidos audibles serán los debidos al equipo de bombeo y, puntualmente, el movimiento de los concentradores.

Los impactos sonoros anteriormente enumerados son todos, con excepción de los ocurrentes durante la fase de operación de la planta, areales, temporales, recuperables y reversibles. El carácter de todos ellos es simple, de aparición a corto plazo.

Los núcleos urbanos se encuentran a distancia suficiente como para no percibir agentes sonoros molestos, que por otro lado se estima nunca alcanzaran niveles de decibelios superiores por el oído humano al carecer esta instalación de grupo de potencia (turbina) para la generación de electricidad. Del mismo modo el ruido generado tampoco afectará a los conductores que circulen por las carreteras de los alrededores, sin embargo sí que puede afectar a los trabajadores de la propia planta de Heineken así como a trabajadores de otras fábricas y empresas en las cercanías.

Las fuentes emisoras de polvo son diversas, destacándose el movimiento de tierras en los distintos momentos de la construcción. Hay que destacar que la posibilidad de producción de altos niveles de gases u olores durante las fases de construcción y explotación serán mínimos debido a la escasa maquinaria utilizada y a los pocos niveles de contaminación que generan.

Los efectos sobre el clima y sus posibles modificaciones se detectan en la fase de pavimentación de la explanada, que se ha detectado como importante pero recuperable tras el cese de la actividad, ya que se recuperaría el suelo para su uso original.

Se produce además un impacto visual debido a la pavimentación de la explanada y a la colocación de los concentradores solares.

9.1.2. Alteraciones sobre el agua

Las alteraciones sobre el agua proceden de la construcción de viales y cercas al interceptar cursos de agua, pudiendo dar lugar a la aparición de charcas. Otras afecciones proceden de la construcción de las zanjas de drenaje y redes de evacuación de pluviales y de aguas de saneamiento.

Suponiendo una periodicidad de dos semanas para el lavado de los reflectores, un consumo de agua por metro cuadrado de espejo de aproximadamente 0,7 litros y un coeficiente de seguridad del 10%, la instalación demandará mensualmente unos 36 metros cúbicos, una cantidad realmente pequeña comparada con la demanda de agua de la propia fábrica de Heineken y que por lo tanto podrá recibirla de la propia toma de agua de ésta.

En la depuración de las aguas residuales se genera un efluente cuyas características pueden provocar la contaminación del medio si bien, teniendo en cuenta la documentación analizada de otras plantas de similares características, se puede estimar un porcentaje de la pérdida de calidad de las aguas inferior al 20%, provocando un impacto ambiental de carácter bajo.

9.1.3. Alteraciones sobre el suelo

Pueden provocar afecciones en el medio las construcciones referentes a la implantación del campo solar, las construcciones referentes a la implantación de las edificaciones destinadas a servicios generales y la construcción de edificios, las cuales provocan un cambio del uso del suelo de agrario a industrial, con creación de nuevas infraestructuras.

En general, y para todas estas actividades, el impacto provocado es de nivel medio, a excepción de la cimentación de la explanada y de los propios captadores solares cuya importancia es alta.

La posible contaminación del suelo será debida a vertidos accidentales puntuales de aceites industriales, deposición de residuos procedentes de la construcción de las estructuras enumeradas anteriormente, etc.

El posible vertido del fluido térmico utilizado, compuesto por aceites minerales, tiene escasa probabilidad de producirse dada la impermeabilidad de los materiales usados en la instalación

de la planta y, caso de hacerlo, se prevé la ejecución de un protocolo de descontaminación preestablecido.

9.1.4. Alteraciones sobre el paisaje

La mayoría de las alteraciones de carácter visual se concentran durante la fase de construcción, con la instalación de los equipos y las infraestructuras, y durante la fase de funcionamiento global. Son impactos mayoritariamente negativos, a excepción de elementos como drenajes o mejora de viales y caminos, que aportan diversidad paisajística y mejoran las vías de unión entre caminos existentes previamente. Los impactos negativos son de carácter puntual o permanente, seguro e inmediato y los positivos son duraderos a largo plazo.

9.1.5. Alteraciones sobre Espacios Naturales Protegidos

Tal y como se analizó en el apartado dedicado a la selección del emplazamiento, no existen zonas LIC ni ZEPA en las cercanías de la Fábrica de Heineken, por lo que es de esperar que no haya una afección directa sobre los Espacios Naturales Protegidos con motivo de la implantación del campo solar.

9.1.6. Alteraciones sobre vegetación y flora

Los impactos causados a la vegetación se concentran principalmente en la fase de construcción y en el proceso global de funcionamiento. Se altera la vegetación herbácea ya que la implantación de las distintas actividades supone la destrucción inmediata de la cubierta vegetal.

El impacto causado a la vegetación arbórea y arbustiva no se ha tenido en cuenta, al no disponer de información precisa sobre las características actuales de la vegetación y la flora de la zona. No obstante, según la información que se ha obtenido a partir del SIGA en la parcela seleccionada no hay vegetación arbórea.

9.1.7. Alteraciones sobre la fauna

Mamíferos, aves, reptiles, anfibios e invertebrados pueden verse afectados de una manera similar, al modificarse su entorno. Mención especial merecen las especies cuyo hábitat se encuentra en alguna de las zonas protegidas de los alrededores, ya que durante la fase de ejecución verán aumentada la población humana en sus alrededores y un aumento de los ruidos debidos a la maquinaria.

Durante la fase de operación se puede producir además un deslumbramiento de las aves por el reflejo de la superficie de los espejos. Sin embargo este efecto será mínimo debido al carácter concentrador de los reflectores, lo que evita el deslumbramiento cuando se está a una distancia superior a 50 veces el ancho de la parábola ($50 \times 5,76 = 288$ metros de distancia)

9.1.8. Alteraciones sobre el nivel de empleo y la demanda de mano de obra

La población afectada por la ejecución de la planta Termosolar incluye aquel porcentaje de la población activa que puede resultar directa o indirectamente influenciada por el desarrollo de dicha ejecución.

Durante el primer trimestre de 2011, según datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística (www.ine.es), la tasa de paro en la provincia de Sevilla fue del 26,52% del total de la población activa (25,02% para hombres, 28,46% para mujeres). La población desempleada de la región se beneficiaría de la instalación de la planta Termosolar, al incrementarse el número de puestos de empleo requeridos, con diferentes niveles de cualificación.

9.1.9. Restos arqueológicos

A fecha de redacción de este informe se desconoce la existencia o no de yacimientos arqueológicos en los alrededores.

9.1.10. Valores medioambientales

La planta solar térmica de concentración proyectada contribuirá a mejorar el medio ambiente de las siguientes formas:

- Con una producción anual de 23.832,19MWh puramente solares, se evitará el consumo de 3,9 millones de metros cúbicos de gas natural.
- Evitará anualmente la emisión de unas 4.800 toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera.
- Aprovechará al máximo posible los recursos locales de mano de obra y suministros de construcción en una región económicamente deprimida.
- Desarrollará experiencia e infraestructura de un recurso renovable en potencial crecimiento, conduciendo así a oportunidades adicionales de empleo y a la generación de las infraestructuras asociadas.

9.1.11. Generación de residuos sólidos urbanos

La ejecución de la planta llevará consigo la producción de residuos de construcción y demolición, estando compuestos principalmente de restos de ladrillos, cemento, maderas, azulejos, envoltorios y metales.

9.1.12. Generación de residuos peligrosos

Este tipo de residuos se generara principalmente durante la fase de construcción, por el vertido accidental de aceites de motor, filtros, desechos contaminados, etc. y durante la fase de operación por posibles vertidos accidentales del fluido caloportador, aceite de bombas, etc.

9.1.13. Aceptación social

La realización de la planta termosolar supondrá para la región la creación de un foco emblemático de atención nacional e internacional desde el punto de vista tecnológico, medioambiental y también turístico.

La nueva imagen de la fábrica de Heineken, tras la remodelación hecha a la centenaria factoría de Cruzcampo (que comenzó su producción de cerveza en el año 1904) es lo suficientemente popular para asegurar por sí misma una aceptación social de la población, debido a su llamativo diseño. La instalación del campo solar atraería un público más especializado, interesado en el nuevo enfoque tecnológico.

9.2. MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS

		ETAPA DE CONSTRUCCION											FASE DE FUNCIONAMIENTO															
		CAMPO SOLAR					EDIFICIOS			GESTION DEL AGUA			Colectores	Generación de vapor	FUNCIONAMIENTO GLOBAL	SISTEMAS AUXILIARES												
							OFICINAS	TALLER	RECEPCION	ABASTECIMIENTO	REDES DE EVACUACION					Refrigeración	Gestión del agua	Aguas residuales										
MEDIO NATURAL	AGUA	SUPERFICIAL	Construcción de viales y cercas	Construcción de drenajes	Instalación de redes de acometida eléctrica	Pavimentación de la explanada	Cimentación de los espejos y racks	Cimentación, saneamiento, cerramientos	Cimentación, saneamiento, cerramientos	Cimentación, saneamiento, cerramientos	Conducción de agua	Depósito de agua bruta	Filtros	Fluviales	Saneamiento	Aguas aceitosas	Aguas de proceso	Movimiento de los colectores	Concentración de la radiación sobre los colectores	Proceso de generación de vapor	Proceso de Funcionamiento Global	Acondicionamiento químico	Filtración y desmineralización	Depuración (sanitarias, de purga, etc.)				
			Ruidos																									
			Emisión de gases/olores																									
			Modificación del clima (albedo)																									
	Emisión de material particulado																											
			Calidad de las aguas superficiales																									
			Modificación de la red de																									

9.3. VALORACIÓN DE IMPACTOS

9.3.1. Alteraciones sobre la atmosfera

Todos los impactos sonoros son recuperables y reversibles, de ocurrencia segura. Areales, temporales, a excepción de los que se producen durante la fase de funcionamiento. El carácter de todos los impactos es simple, de aparición a corto plazo.

Los efectos sobre el clima y sus posibles modificaciones se identifican como recuperables tras el cese de la actividad ya que se recuperaría el suelo para su uso potencial. Por lo tanto, directo, reversible y temporal.

9.3.2. Alteraciones sobre el agua

La construcción de las zanjas de drenaje y de las redes de evacuación provoca una fuerte afección al entramado fluvial, sin embargo una medida correctora pasaría por la construcción de nuevas zanjas de drenaje entrando en un círculo vicioso de afección-corrección. Se considera por lo tanto la alteración del entramado un hecho que no afecta negativamente al medio, al aumentar la biodiversidad de la zona y suponiendo por lo tanto un impacto positivo.

9.3.3. Alteraciones sobre el suelo

Las construcciones referentes a la implantación del campo solar, las edificaciones destinadas a los servicios generales y la mejora de viales y accesos supone un cambio de uso del suelo de agrario a industrial, de manera que siendo como es el suelo actual una superficie agraria de bajo rendimiento, éste cambio supone una mejora para la economía local. Sin embargo la construcción de los edificios y los captadores solares y la pavimentación de la explanada implica una cimentación que en el caso de los edificios puede ser areal, reversible y temporal, pero en el caso de la pavimentación de la explanada es irreversible, a corto plazo y directa.

La contaminación al suelo se daría por vertidos accidentales, si bien debido a las características del suelo dichos vertidos no alcanzarían niveles edáficos profundos. Por otro lado la cimentación provoca una modificación en las características del suelo, cambiando permanentemente su uso y alterando sus condiciones físicas de forma permanente. La afección al suelo por contaminación se puede valorar por lo tanto como negativa, recuperable

(debe existir un protocolo de actuación en caso de vertidos), improbable (debido a la impermeabilidad de los circuitos por los que circula el fluido térmico), temporal y simple.

9.3.4. Alteraciones sobre el paisaje

Las alteraciones sobre el paisaje son mayoritariamente negativas, recuperables, todos ellos reversibles en el momento en que cese la actividad, con certeza de ocurrencia, de extensión puntual, simples y de aparición a corto plazo. La duración será puntual, siendo importante recalcar que los impactos duraderos a largo plazo son de carácter positivo, derivados de la introducción de elementos no discordantes con el entorno y que adicionalmente aportan calidad al medio natural y humano: introducción de elementos arbolados, introducción de cauces de agua, etc.

9.3.5. Alteraciones sobre Espacios Naturales Protegidos

No se considera que haya alteración de los Espacios Naturales Protegidos, al no existir zonas LIC ni ZEPA en los alrededores de la planta Termosolar.

9.3.6. Alteraciones sobre vegetación y flora

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, la implantación de las distintas actividades supone la destrucción inmediata de la cubierta vegetal, teniendo la alteración por lo tanto un carácter inmediato, reversible, areal, recuperable, de ocurrencia segura, simple y de corto a medio plazo. La destrucción de la vegetación herbácea no implica la destrucción masiva de otras especies, especialmente si tenemos en cuenta que su abundancia es baja. Además al tratarse de una vegetación con una alta resiliencia es capaz de retornar sin demasiada dificultad a las condiciones iniciales, una vez terminada la actividad.

9.3.7. Alteraciones sobre la fauna

El impacto ambiental sobre la fauna se debe a la pérdida de hábitat, por lo que se considera un efecto negativo, si bien se trata de un efecto recuperable ya que este hábitat puede ser reemplazable. Así pues la afección es negativa, recuperable, con probabilidad de ocurrencia alta, directa, temporal de carácter simple e inmediato.

9.3.8. Alteraciones sobre el nivel de empleo y la demanda de mano de obra

Por todo lo explicado en el apartado anterior, el impacto derivado de la ejecución de ésta Planta Termosolar es positivo, con probabilidad de ocurrencia cierta.

9.3.9. Aceptación social

Por todo lo explicado en el apartado de identificación de impactos, la valoración de éstos sobre la aceptación social se ha considerado como positiva, a corto, medio y largo plazo, duración temporal, directos y con probabilidad de ocurrencia alta.

9.4. MATRIZ DE SÍNTESIS

		ETAPA DE CONSTRUCCION														FASE DE FUNCIONAMIENTO					
		CAMPO SOLAR					EDIFICIOS			GESTION DEL AGUA						Colectores	Generación de vapor	FUNCIONAMIENTO GLOBAL	SISTEMAS AUXILIARES		
							OFICINAS	TALLER	RECEPCION	ABASTECIMIENTO			REDES DE EVACUACION						Refrigeración	Gestión del agua	Aguas residuales
MEDIO NATURAL	AIRE	Ruidos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	
		Emisión de gases/olores	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0			
		Modificación del clima (albedo)															0	0			
		Emisión de material particulado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0		

9.5. MEDIDAS CORRECTORAS

9.5.1. Alteraciones sobre la atmosfera

El nivel de ruidos durante la fase de ejecución no puede evitarse, si que puede minimizarse la afección a la fauna planificando las actuaciones para que sean llevados a cabo en momentos del año en los que no se produzca nidificación o cría.

Durante la fase de operación la vegetación perimetral actuará a modo de pantalla absorbente de la contaminación sonora, la cuál será de todas formas muy baja.

En cuanto a la emisión de polvo y material particulado, durante la construcción se diseñarán circuitos de movimientos y operación de vehículos para minimizar el excesivo levantamiento de polvo. Además se mantendrá controlada la humedad de los caminos mediante riego, para evitar la generación de nubes de polvo con el paso de los camiones. Para evitar la aparición de problemas secundarios, como encharcamientos o transporte de barro, se realizará primero un sistema de drenaje en los caminos, y segundo se planificará una limpieza adecuada de los neumáticos de los camiones para evitar la propagación del barro que una vez seco se convertirá en polvo.

9.5.2. Alteraciones sobre el agua

La construcción de viales de unión con caminos comarcales supondrá la interrupción completa de los cursos de agua existentes, si bien este hecho se atenuará mediante la construcción de pasos de agua.

9.5.3. Alteraciones sobre el suelo

Las medidas correctoras propuestas para aminorar los impactos derivados de la contaminación del suelo son:

- Retirada de los escombros procedentes de la construcción.
- Implantación de las mejores técnicas disponibles para proteger frente a fugas.
- Protocolo de descontaminación del suelo para el caso de producirse vertidos accidentales de fluido térmico.

La cimentación y pavimentación del suelo, si bien de alta importancia dado su efecto permanente e irrecuperable, no conlleva medidas correctoras al tratarse de un impacto inevitable y necesario para el funcionamiento de la planta.

9.5.4. Alteraciones sobre el paisaje

Tal y como se ha dicho anteriormente, los mayores impactos visuales suelen ir asociados a la construcción de carreteras y viales pavimentados con asfalto u otros materiales, si bien la cercanía de la planta Termosolar a la factoría de Heineken no lo hacía necesario.

En cualquier caso con la idea de minimizar el impacto visual se prevé la plantación de una pantalla de vegetación alrededor de la instalación.

9.5.5. Alteraciones sobre Espacios Naturales Protegidos

La construcción de canales y la plantación de especies arbustivas y arbóreas supondrá la creación de nuevos biotopos para las especies que pueden desplazarse desde los espacios protegidos cercanos.

Deberá evitarse que la fase de construcción tenga lugar en épocas de nidificación, cría, etc. con el objeto de minimizar la afección sobre las especies.

9.5.6. Alteraciones sobre vegetación y flora

La exigua vegetación que cubre los espacios donde se asentaran los concentradores, depósitos, y resto de instalaciones es en cualquier caso irrecuperable arealmente, al cambiar el uso del suelo. En cualquier caso se hace necesario retirar y reservar la tierra removida, que se utilizara para cubrir los laterales de las zanjas de pluviales que rodearan la instalación, los alrededores de las distintas charcas, etc.

Con ello garantizamos la recuperación de la vegetación en estos enclaves, esto unido a la plantación de especies arbóreas y arbustivas inducirá un incremento de la biodiversidad en especies del entorno, con un balance total final que se debe considerar positivo.

Igualmente se harán plantaciones de especies arbóreas y arbustivas en el perímetro de la planta, respetando los lindes con fincas adyacentes y contribuyendo a aumentar la

biodiversidad y a asentar el suelo, que corre riesgo de erosión tras el movimiento de tierras del mismo.

9.5.7. Alteraciones sobre la fauna

De la misma manera que la replantación o plantación directa de especies arbustivas y arbóreas tanto en el perímetro de la finca como en los laterales de las zanjas, etc. contribuye a fijar la tierra y aumentar la biodiversidad, también ayuda a que las especies animales propias del entorno no abandonen la zona, actuando como nuevos lugares de asentamiento.

Tal y como se dijo anteriormente, en el apartado sobre Alteraciones sobre Espacios Naturales Protegidos, debe proponerse que la fase de construcción no se realice en periodo en los que la presencia humana, de maquinaria, ruidos, etc. pueda afectar negativa y constatablemente a la fauna protegida, especialmente a las aves.

9.5.8. Alteraciones sobre el nivel de empleo y la demanda de mano de obra

La demanda de mano de obra en la zona se verá aumentada durante la fase de construcción, incrementando con ello el nivel de empleo de la región. Asimismo durante su fase de funcionamiento la planta requerirá de mano de obra con distintos niveles de cualificación para la correcta operación de la instalación. Este punto se considera positivo.

9.5.9. Restos arqueológicos

A fecha de redacción del presente documento no se dispone de información relativa a la posible existencia de yacimientos arqueológicos en la zona, si bien se debe hacer un estudio arqueológico en base a la normativa descrita en el apartado anterior de Patrimonio histórico y artístico.

9.5.10. Generación de residuos sólidos urbanos

Será obligado en su gestión respetar el principio de jerarquía contemplado en la Ley 10-1998 de Residuos: Prevenir en todo lo posible, reutilizar lo que se pueda, reciclar lo que no se pueda reutilizar, y valorizar todo lo que no se pueda reutilizar o reciclar.

Deberán delimitarse zonas específicas de almacenamiento destinadas a los residuos y los escombros utilizados, lo más cerca posible de la zona de obras pero sin molestar al paso de operarios y vehículos.

Una vez llenos los contenedores, deberán ser llevados a los vertederos de inertes previamente autorizados por la Junta de Andalucía.

9.5.11. Generación de residuos peligrosos

Se deberá cumplir el mismo principio de jerarquía expuesto anteriormente.

Los contenedores de recogida dispondrán de una doble cubeta de seguridad, además estarán cubiertos continuamente, solo abriéndose en el momento de su uso.

En caso de producirse un derrame de aceites sobre el suelo, se seguirán los protocolos de actuación previamente definidos por la empresa promotora.

9.5.12. Aceptación social

Con el objetivo de mejorar la aceptación social será necesaria una campaña de publicidad para dar a conocer la tecnología al público, informando de los beneficios y perjuicios derivados de la actividad de la planta.

Otra solución complementaria es la posible contratación de un porcentaje elevado de la plantilla de entre la mano de obra disponible localmente.

CAPÍTULO 10: ESTUDIO ECONÓMICO

10.1. ANALISIS DE LA INVERSIÓN

Al realizar un estudio económico, el primer concepto que debe analizarse es el de la inversión, es decir la aplicación de determinados fondos para la adquisición de los activos necesarios para poner en ejecución y producción el proyecto. Es necesario estimar o valorar esos fondos que constituyen la inversión, y que comprenden tanto activos fijos como circulante. La inversión ha sido desglosada en las siguientes secciones:

10.1.1. Campo Solar

La sección de campo solar comprende lo necesario para captar la energía solar y transmitirla al fluido térmico de la manera más eficiente:

Tabla 24: Presupuesto Campo Solar

Elemento	Cantidad	Unidades	Precio Unitario	Precio Total
Tubo Absorbedor DN65	960	uds	€900,00	€864.000,00
Espejos Parabólicos Captador	8960	uds	€90,00	€806.400,00
Estructura metálica Captador	40	uds	€40.000,00	€1.600.000,00
Sistema Seguimiento	40	uds	€3.500,00	€140.000,00
Juntas Rotativas	200	uds	€600,00	€120.000,00
			SubTotal	€3.530.400,00

10.1.2. Planta Generación de Vapor

En esta partida se incluye todo el equipamiento necesario para aprovechar la energía térmica captada por el aceite y convertirlo en vapor de agua que será suministrada al proceso de la producción de cerveza, incluyendo aquellos que permitirán su explotación aún cuando no hay irradiación solar como lo es el tanque deposito de aceite:

Tabla 25: Presupuesto Planta de Generación de Vapor

Elemento	Cantidad	Unidades	Precio Unitario	Precio Total
Aceite Térmico Th- 55	1090	ton	€2.500,00	€2.725.000,00
Deposito Pulmon	1	uds	€60.000,00	€60.000,00
Bomba Circulación Principal	1	uds	€50.000,00	€50.000,00

Deposito Aceite 1200 m3	1	uds	€650.000,00	€650.000,00
Intercambiador	1	uds	€85.000,00	€85.000,00
			SubTotal	€3.570.000,00

10.1.3. Tubería y Accesorios

En esta sección se consideran los costos del material requerido para la realización del circuito por el que circulará el fluido térmico, uniendo el campo solar de captadores con los diversos componentes de la planta de generación de vapor:

Tabla 26: Presupuesto Tubería y Accesorios

Elemento	Cantidad	Unidades	Precio Unitario	Precio Total
Tubería Acero 62.7 mm	480	m	€25,00	€12.000,00
Tubería Acero 100 mm	70	m	€35,00	€2.450,00
Tubería Acero 150 mm	175	m	€48,18	€8.431,50
Tubería Acero 200 mm	170	m	€70,00	€11.900,00
Codo	320	uds	€36,00	€11.520,00
Válvula de Bola	10	uds	€96,00	€960,00
Ensanchamiento 62.7-100	20	uds	€20,00	€400,00
Ensanchamiento 100-150	2	uds	€20,00	€40,00
Ensanchamiento 150-200	2	uds	€45,00	€90,00
T acero	20	uds	€200,00	€4.000,00
Válvula Asiento	20	uds	€195,00	€3.900,00
Válvula 3 vías	3	uds	€500,00	€1.500,00
Aislamiento	895	m	€130,00	€116.350,00
			SubTotal	€173.541,50

10.1.4. Obra Civil

En Obra Civil se considera la compra del terreno así como los trabajos necesarios para acondicionar su acondicionamiento y la puesta a punto para la instalación del campo solar:

Tabla 27: Presupuesto Obra Civil

Elemento	Cantidad	Unidades	Precio Unitario	Precio Total
Compra de Terreno	15	Ha.	€25.000	€375.000,00
Cimentación Apoyos Colectores	360	Uds	€650,00	€234.000,00
Movimiento de Tierras				€100.000,00
Zanjas				€50.000,00

Acondicionamientos Diversos	€50.000,00
SubTotal	€809.000,00

10.1.5. Control e Instrumentación

En el apartado de Control e Instrumentación se consideran los costes de la implantación de las dos secciones del sistema de control y de sus respectivos componentes: sensores, transmisores, convertidores, actuadores y controlador.

Tabla 28: Presupuesto Control e Instrumentación

Elemento	Precio Total
Sistema Control Campo CCP	€200.000,00
Sistema Control Producción de Vapor	€200.000,00
Subtotal	€400.000,00

10.1.6. Gestión

En el apartado de Gestión son tomados en consideración los costes indirectos por diversos servicios, los cuales son calculados en proporción a la inversión en capital inmovilizado o costos directos, como son la compra de material, equipamiento y trabajos realizados. Estos servicios son el Desarrollo e Ingeniería del proyecto, la Dirección del mismo, tramitación de licencias, contratos y demás aspectos legales, la supervisión y coordinación durante la fase de construcción entre contratistas, también es necesario destinar parte de la inversión para imprevistos o contingencias para cubrir los costes de posibles errores que se puedan cometer y el coste de inversión de seguro representa el coste que tiene asegurar el proyecto solamente durante la fase de construcción.

Tabla 29: Presupuesto Gestión

Elemento	Porcentaje	Precio Total
Ingeniería y Desarrollo Proyecto	10%	€848.294,15
Dirección Proyecto	3%	€254.488,25
Supervisión Construcción	3%	€254.488,25
Gastos Legales	1%	€84.829,42
Seguros	1%	€84.829,42
Imprevistos	3%	€254.488,25
SubTotal		€1.781.417,72

10.1.7. Presupuesto Total

El presupuesto total del proyecto sumando las secciones analizadas en los apartados anteriores resulta en una inversión inicial total de €9.810.609,22

Tabla 30: Presupuesto Total

Sección	Presupuesto
Campo Solar	€3.530.400,00
Planta Generación de Vapor	€3.570.000,00
Tubería y Accesorios	€173.541,50
Obra Civil	€809.000,00
Control e Instrumentación	€400.000,00
Gestión	€1.781.417,72
GRAN TOTAL	€10.264.359,22

Al analizar el presupuesto total, observamos que de la inversión inicial, los dos apartados más importantes como era de esperarse son para la compra del equipo del campo solar y la planta de generación de vapor que juntos son el 69% del capital, seguidos por los gastos de gestión, con 17%.

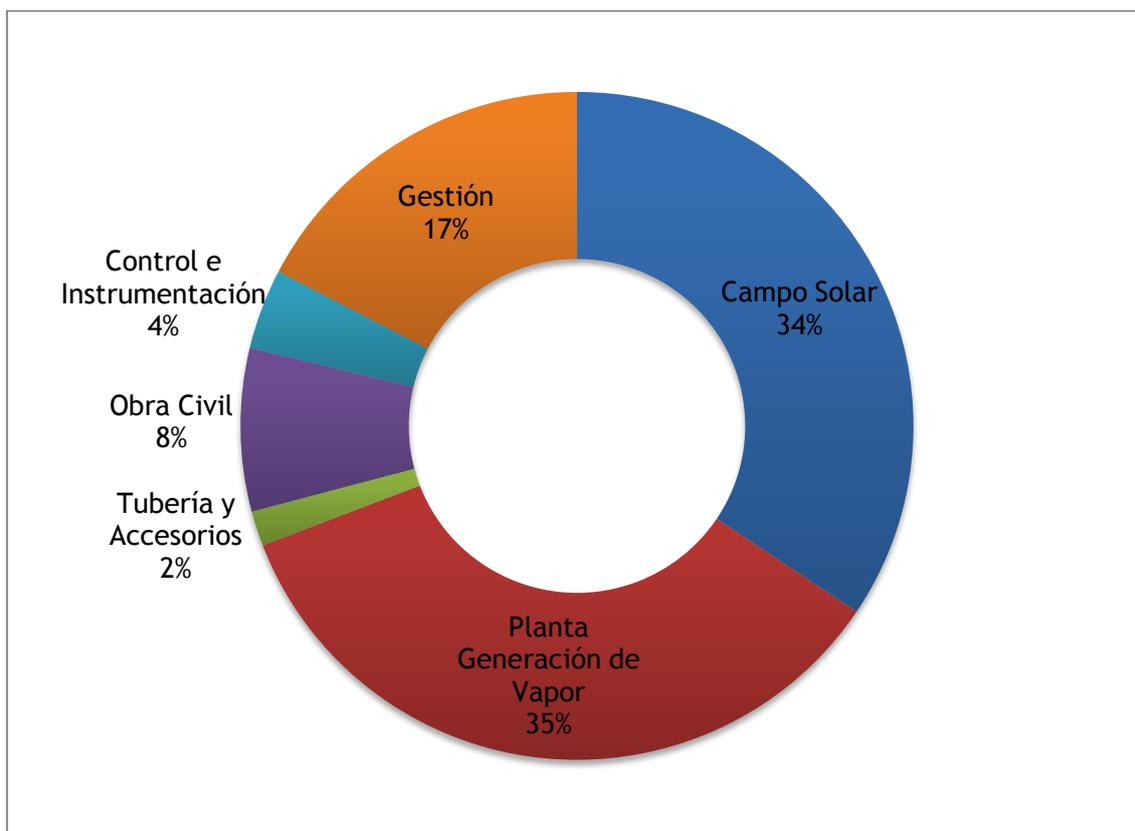


Figura 64: Presupuesto Total por Sección

10.2. FINANCIACIÓN

Para la financiación del proyecto se considera factible lograr un préstamo a 14 años por parte del IDAE del 50% del total de la inversión inicial con unas condiciones de tipo de interés muy favorables y mejores que las del mercado. El resto del capital necesario para la realización del proyecto se toma que saldrá de recursos propios del Grupo Heineken.

Para los cálculos del coste financiero se tomó en cuenta una tasa de interés de 1,5% por arriba del Euribor, que a fecha de redacción de este informe es aproximadamente del 2%, lo cual significa que el interés efectivo que condicionará los costes financieros es de 3,5%.

Los costes que suponen el pedir una financiación consisten en un pago mensual a la entidad financiera el cual una parte va dirigida al repago de la deuda que se contrajo y otra parte para el pago de los intereses que el capital aun no repagado genera cada mes.

En un primer momento, la mayor parte del pago mensual va dirigido a pagar los intereses, y al pasar los años de pagos, la mayor parte de la cuota mensual se dirigirá a pagar la deuda contraída, disminuyendo el importe de los intereses a pagar, esto con el propósito que el pago mensual sea estable a lo largo de los años.

10.3. ANALISIS DE LA RENTABILIDAD

Para analizar la rentabilidad que tendría este proyecto son examinados los beneficios que otorga y los costes que tiene obtener estos beneficios, los cuales son detallados a continuación:

En el caso de éste proyecto, al tratarse de una sustitución de una fuente de energía, la inversión no va generar ningún ingreso extra por ventas, sin embargo se considera como flujo de entrada a caja los ahorros conseguidos en combustible respecto al consumo de gas natural que se tenía anteriormente.

El ahorro de combustible se considera constante a lo largo de los años en términos de energía, como se menciona en el capítulo 4, el proyecto logra cubrir cerca del 45% de la demanda energética de la planta por lo que es Gas Natural que la empresa dejó de comprar al mercado, sin embargo se considera que el precio del Gas Natural incrementara de precio a una tasa superior al Índice de Precios de Consumo por lo que se le ha otorgado una tasa de incremento anual de 4,8%, consientes que el precio de los hidrocarburos fluctúa de manera importante, habiendo incrementos y descensos de precio constantemente, sin embargo, gracias al periodo prolongado de análisis, es posible prevenir un aumento del precio del carburante.

La generación de vapor mediante la tecnología CCP tiene unos costes de Operación y Mantenimiento ligados a la propia explotación del campo solar, como lo es:

- Reemplazo del 1% aceite térmico anualmente para retirar impurezas y por degradación del propio aceite por su uso.

$$1\% \cdot 1090 \text{ ton} \cdot 2500 \frac{\text{€}}{\text{ton}} = 27\,250\text{€}$$

- Sustitución del 1% espejos parabólicos de los captadores dañados por diversas causas (fuertes vientos, accidentes durante las labores de limpieza, etc.)

$$1\% \cdot 8969 \text{ espejos} \cdot 90 \frac{\text{€}}{\text{espejo}} = 8\,064\text{€}$$

- Lavado de espejos para evitar que la suciedad afecte el rendimiento

$$1000 \frac{\text{€}}{\text{mes}} \cdot 12 \text{ meses} = 12\,000\text{€}$$

- Consumo eléctrico de la bomba principal calculado anualmente

$$39 \text{ kW} \cdot 8760 \frac{\text{hr}}{\text{año}} \cdot 0,11 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 45\% \text{ horas funcionamiento} = 16\,911,2\text{€}$$

- 1 trabajador a tiempo completo para labores de operación y mantenimiento

$$1 \text{ trabajadores} \cdot 12 \text{ meses} \cdot 1200 \frac{\text{€}}{\text{mes}} = 14\,400\text{€}$$

- Se considera un 10% de los costos de operación y mantenimiento para imprevistos, o reparaciones menores que pudieran ser necesarios.

Tabla 31: Costes de Operación y Mantenimiento

Rubro	Coste
Reemplazo Aceite Térmico	€27.250,00
Sustitución Espejos	€8.064,00
Lavado espejos	€12.000,00
Consumo Eléctrico Bomba	€16.911,20
1 Trabajador	€14.400,00
Subtotal	€78.625,20
Imprevistos 10%	€7.862,52
Total	€86.487,72

A lo largo del periodo de explotación, los costos de O&M son afectados por el Índice de Precios al Consumidor el cual se prevé que sea de 3% para los próximos 25 años.

Por último, los costes financieros es otro apartado que genera una salida de capital. Como se mencionó anteriormente estos costes están ligados claramente a las condiciones de financiación que se hayan obtenido y es el coste anual que hay que desembolsar para repagar el préstamo a la entidad financiera más los intereses que el capital que quede por pagar genere cada año.

10.4. FLUJO DE CAJA

Al flujo de entradas y salidas de dinero se le conoce como flujo de caja en un período dado. El balance entre las entradas y salidas es la acumulación neta de activos líquidos y constituye un indicador de liquidez. No necesariamente indica rentabilidad, sin embargo permite anticipar saldos de dinero a futuro. En el caso de análisis de viabilidad de proyectos de inversión, los flujos de caja son la base de cálculo del Valor Actual Neto y de la Tasa Interna de Retorno.

Tabla 32 Flujo de Caja y parámetros de análisis

Inversión Total		€10.264.359								1,50%		Tasa Interés			
Financiación Externa		€5.132.180		50%		4,8%		Incremento Anual Combustible		2,00%		Euribor			
Inversión Propia		€5.132.180		50%		6,00%		Tasa de Descuento VAN		3,50%		T.I.+E.			
										3%		IPC			
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ahorro		€662.005	€693.782	€727.083	€761.983	€798.558	€836.889	€877.060	€919.159	€963.278	€1.009.516	€1.057.972	€1.108.755	€1.161.975	€1.217.750
O&M		-€86.488	-€89.082	-€91.755	-€94.507	-€97.343	-€100.263	-€103.271	-€106.369	-€109.560	-€112.847	-€116.232	-€119.719	-€123.311	-€127.010
C. Financiero		-€487.557	-€490.636	-€493.231	-€495.340	-€496.964	-€498.104	-€498.758	-€498.927	-€498.612	-€497.811	-€496.526	-€494.755	-€492.499	-€49.931
Flujo de Caja	-€10.264.359	€87.961	€114.063	€142.098	€172.136	€204.251	€238.522	€275.031	€313.862	€355.106	€398.858	€445.214	€494.281	€546.165	€1.040.809
F. Acumulado	-€10.264.359	-€10.176.399	-€10.062.336	-€9.920.238	-€9.748.103	-€9.543.852	-€9.305.329	-€9.030.298	-€8.716.436	-€8.361.330	-€7.962.472	-€7.517.258	-€7.022.977	-€6.476.812	-€5.436.003
Retorno	19	años													
Valor Actual		€82.982	€101.516	€119.308	€136.347	€152.628	€168.149	€182.911	€196.921	€210.187	€222.720	€234.533	€245.642	€256.063	€460.351
VAN	-€2.338.965,42														
TIR	4,23%														
Año	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25				
Ahorro	€1.276.202	€1.337.460	€1.401.658	€1.468.937	€1.539.446	€1.613.340	€1.690.780	€1.771.937	€1.856.990	€1.946.126	€2.039.540				
O&M	-€130.820	-€134.745	-€138.787	-€142.951	-€147.240	-€151.657	-€156.206	-€160.893	-€165.719	-€170.691	-€175.812				
C. Financiero	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0	€0				
Flujo de Caja	€1.145.382	€1.202.715	€1.262.870	€1.325.986	€1.392.207	€1.461.683	€1.534.574	€1.611.045	€1.691.271	€1.775.435	€1.863.728				
F. Acumulado	-€4.290.622	-€3.087.907	-€1.825.037	-€499.050	€893.156	€2.354.839	€3.889.413	€5.500.458	€7.191.729	€8.967.164	€10.830.892				
V. Actual	€477.928	€473.444	€468.985	€464.551	€460.142	€455.760	€451.403	€447.073	€442.770	€438.494	€434.246				
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Repago		€307.931	€321.788	€335.645	€349.501	€363.358	€377.215	€391.072	€404.929	€418.786	€432.643	€446.500	€460.357	€474.213	€48.242
Saldo Vivo	€5.132.180	€4.824.249	€4.502.461	€4.166.817	€3.817.315	€3.453.957	€3.076.742	€2.685.670	€2.280.741	€1.861.955	€1.429.312	€982.812	€522.456	€48.242	€0
Intereses		€179.626	€168.849	€157.586	€145.839	€133.606	€120.888	€107.686	€93.998	€79.826	€65.168	€50.026	€34.398	€18.286	€1.688
C. Financiero		€487.557	€490.636	€493.231	€495.340	€496.964	€498.104	€498.758	€498.927	€498.612	€497.811	€496.526	€494.755	€492.499	€49.931

10.5. PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN

El periodo de retorno de la inversión sobre el margen de explotación, o Pay Back, es el número de años necesarios para recobrar el capital invertido a partir de los beneficios obtenidos por el proyecto, es decir, el tiempo que tarda la inversión en pagarse a sí misma. Se puede representar por la siguiente expresión:

$$I = \sum_{j=0}^n A_j$$

Donde:

I = Inversión

A = Ahorro o rendimiento anual

j = Año del Ahorro

n = Número de años

Aplicando la expresión anterior y conocido el flujo de caja a lo largo del proyecto obtenemos un periodo de retorno de 19 años, el cual es un plazo de tiempo 6 años menor que la vida útil que se considera tiene el proyecto.

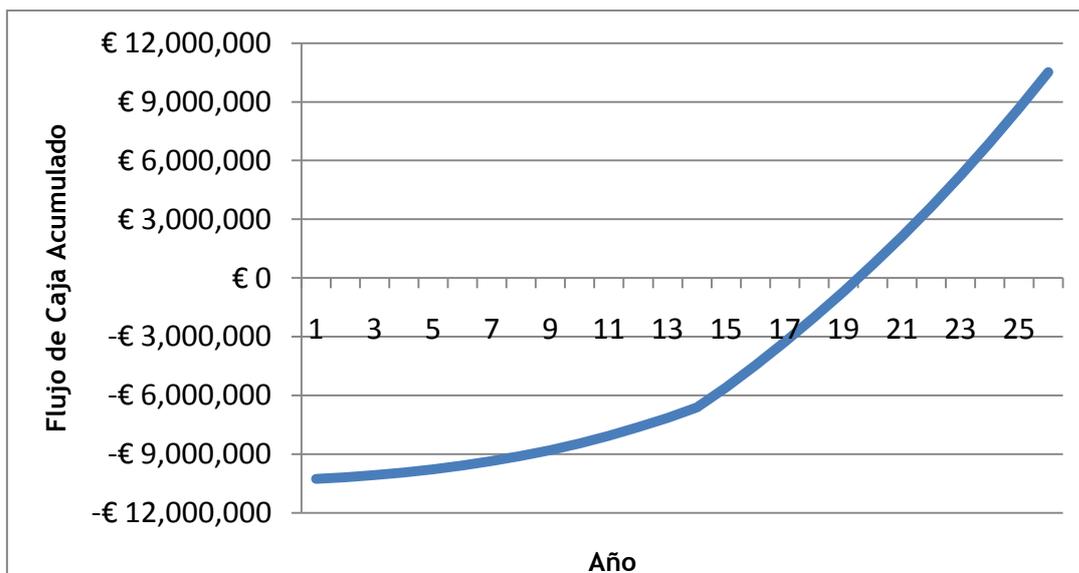


Figura 65: Periodo de Retorno de la Inversión

10.6. VALOR ACTUAL NETO

El Valor Actual Neto o VAN permite analizar la previsión de que el proyecto durante su periodo de vida útil va ser capaz de producir un flujo positivo de ingresos o ahorros que sobrepasen el gasto inicial y de lugar a beneficios teniendo en cuenta el valor del dinero a lo largo del tiempo.

Por el VAN de una inversión se entiende la suma de los valores actualizados de todos los flujos de caja esperados del proyecto, deducido el valor de la inversión inicial:

$$VAN = \frac{\sum_{j=0}^n A_j}{(1+r)^n} - I$$

Donde:

I = Inversión

A = Ahorro o rendimiento anual

j = Año del Ahorro

n = Número de años

r = Tasa de Descuento

Para el análisis del VAN del proyecto se utilizó una tasa de descuento del 6% acorde al tipo de proyecto de alto riesgo.

Al realizar el cálculo del VAN se obtiene el valor de -€2.338.965,42 un número negativo, por lo tanto se desaconsejaría la inversión desde un punto de vista puramente económico.

10.7. TASA INTERNA DE RETORNO

Como se puede ver en el apartado anterior, el VAN depende de aspectos propios del proyecto como son el número de años de explotación del proyecto, la inversión inicial necesaria y el flujo de caja, sin embargo hay otro factor independiente, la tasa de descuento aplicada, la cual tiene un gran peso en el resultado. Es recomendable conocer el comportamiento financiero del proyecto frente a diferentes tasas de descuento y en particular aquella tasa de descuento máxima que haga que el VAN del proyecto pase de positivo a negativo, ésta tasa de descuento en particular se le conoce como Tasa Interna de Retorno o TIR. Por lo tanto, la TIR es aquella tasa de descuento para la cual el VAN se hace nulo, calculándose de la siguiente forma:

$$0 = I - \frac{\sum_{j=0}^n A_j}{(1 + T)^n}$$

Donde:

I = Inversión

A = Ahorro o rendimiento anual

j = Año del Ahorro

n = Número de años

T = Tasa Interna de Retorno

La TIR del proyecto resulta ser de 4,23% la cual es baja cuando se trata de evaluar una inversión, ya que es menor que la Tasa de Descuento la cual se considera 6% para este proyecto, por lo tanto no es una inversión que generaría beneficios y valor a la empresa. Esta diferencia entre el TIR menor que la Tasa de Descuento justifica de igual modo que el VAN haya resultado negativo. Para que este proyecto tuviera un VAN positivo, es necesario que la Tasa de Descuento descendiera por debajo del 4% lo cual podría ser posible cuando el riesgo para este tipo de instalaciones disminuya. Otra opción, que haría más atractivo el proyecto desde el punto de vista económico es que el TIR aumente hasta llegar a niveles de la Tasa de Descuento, lo cual podría lograrse cuando los costes iniciales de inversión disminuyan aproximadamente un 17%. La relación entre los distintos parámetros que modifican el aspecto financiero del proyecto es comentado en la siguiente sección de Análisis de Sensibilidad.

10.8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad consiste en plantear escenarios en los cuales cambian los parámetros internos y externos que afectan la viabilidad económica del proyecto, esto con el fin de conocer como se verían modificados los números en los supuestos casos, en concreto como varía la Tasa Interna de Retorno.

Para el análisis del proyecto suponemos escenarios en los cuales los parámetros clave son modificados tanto al alza como a la baja respecto al caso base. Los parámetros a analizar son la inversión inicial, el rendimiento del campo solar, es decir, el grado de cobertura que se logra con el campo solar de las necesidades energéticas de la planta, el precio del combustible y el IPC.

Tabla 33: Análisis de Sensibilidad

Parámetro a Variar	Caso Base				
Inversión Inicial	-10,00%	-5,00%	0,00%	5,00%	10,00%
TIR	5,22%	4,70%	4,23%	3,78%	3,36%
Rendimiento Campo Solar	-10,00%	-5,00%	0,00%	5,00%	10,00%
TIR	3,16%	3,70%	4,23%	4,73%	5,23%
Incremento Anual Precio del Combustible	0,00%	2,50%	4,80%	7,50%	10,00%
TIR	-2,15%	1,34%	4,23%	7,39%	11,23%
Índice Precio Consumo	1,00%	2,00%	3,00%	4,00%	5,00%
TIR	4,43%	4,34%	4,23%	4,09%	3,94%

Con el análisis de sensibilidad es posible observar el gran peso que tiene sobre la TIR la evolución de los precios del combustible en este caso del Gas Natural a lo largo de la vida del proyecto ya que esta directamente ligado a los ahorros que el campo solar genera.

CAPÍTULO 11: CONCLUSIONES

Este proyecto consiste en el diseño de una planta termosolar mediante el uso de la tecnología basada en captadores cilindro parabólicos para la producción de vapor en la industria cervecera en la provincia de Sevilla, España. Las principales conclusiones extraídas del proyecto son las siguientes:

- Actualmente más del 50% del consumo energético a nivel mundial se realiza dentro del sector industrial y en torno al 70% de este consumo es demanda térmica en forma de vapor. Por lo tanto, cualquier estrategia encaminada a la disminución del consumo de combustibles fósiles, deberá tomar en cuenta este sector para su actuación. La tecnología de CCP se muestra como la más limpia para la producción de vapor saturado en aplicaciones industriales.
- Para la latitud considerada en este proyecto, la orientación de los captadores con eje N-S ofrece una mayor producción anual que la orientación E-O. Si bien es cierto que las variaciones estacionales son más acentuadas con la colocación del eje N-S, la productividad global es superior lo que se traduce en un mayor ahorro y rentabilidad de la planta.
- La selección del punto de diseño es crítico en un proyecto de estas características. Si se trata de dimensionar la planta para obtener una cobertura del 100% anual, en los meses de mayor radiación la planta quedará sobredimensionada. Este efecto se muestra en el capítulo 6 referente a los resultados. Este hecho supondría la necesidad de desenfocar un número de captadores de modo que una gran parte de los activos de la planta estarían inutilizados perdiendo rentabilidad. De modo que en este proyecto se ha optado por elegir el punto de diseño como el día de mayor radiación anual correspondiente al 11 de Junio.
- Dada la enorme inversión necesaria en una planta termosolar, conviene desarrollar al máximo posible los sistemas electrónicos y de control. Estos suponen una inversión muy baja comparada con la inversión total y reportan beneficios sustanciales en lo que al funcionamiento de la planta se refiere.
- Los sistemas de almacenamiento permiten convertir a la tecnología termosolar y solar termoeléctrica en una energía renovable gestionable. Se trata de un gran avance para su aplicación en procesos como la industria cervecera o la venta de electricidad ya que facilitan la operación de la planta o del sistema. En este proyecto se ha dimensionado un sistema de almacenamiento basado en el TH 55 como fluido caloportador, consiguiendo una cobertura anual del 44,96% de la energía demandada por el proceso.

- Los aspectos financieros destacan la necesidad de apoyos públicos y subvenciones a fondo perdido para que resulten atractivos desde un punto de vista económico este tipo de instalaciones.
- El balance económico de un proyecto de estas características indica que la inversión no generaría beneficios y valor a la empresa por lo que no sería recomendable realizar el proyecto, sin embargo, al tomar en cuenta otros factores como lo es el medio ambiental, de imagen y marketing para la empresa y sus marcas, el déficit financiero podría no parecer tan importante.

CAPÍTULO 12: BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Geología del Valle del Guadalquivir. Área incluida en la Hoja 1:200.000 número 76. Hoja 984: SEVILLA”. Instituto Tecnológico Geominero de España, Octubre 1999.
- [2] “Development of a Low Cost European Parabolic Trough Collector - EUROTrough”, Research funded in part by the European Commission, in the framework of the Non Nuclear Energy Programme JOULE III
- [3] “Curso sobre Sistemas Solares Térmicos de Concentración”, CIEMAT, Unidad de Formación en Energía y Medio Ambiente, Madrid, 3 al 14 de Noviembre de 2008
- [4] “Energía Solar Fotovoltaica”, versión de Abril 2010, Perpiñán Lamigueiro, Oscar
- [5] “Eurothrough design issues and prototype testing at PSA”, Eckhard Lupfert, M.G., Wolfgang S., Esteban, A., Osuna, R., Zarza, E. and Nava, P. - Proceedings of Solar Forum 2001 Solar Energy: The Power to Choose, April 21-25, 2001, Washington, DC.)
- [6] Dirección General de Medio Natural y Política Forestal - Red Natura 2000
- [7] “Wind Tunnel Tests of Parabolic Trough Solar Collectors”, Hosoya, N., Peterka, J.A., Gee, R.C., Kearney, D.
- [8] Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía (RENPA)
- [9] Recopilación de Normativa Legal en Instalaciones Energéticas (RENOVETEC)
- [10] Registro estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes - Información relativa a consumo de combustible, emisiones y generación de residuos de la fábrica de Heineken en Sevilla.
- [11] “Informe de Sostenibilidad 2009”, Heineken España.
- [12] Apuntes del módulo de Energía Solar Termoeléctrica del Máster en Energías Renovables y Mercado Energético de la Escuela de Organización Industrial, curso 2010/11
- [13] “Applying sustainable technology for saving primary energy in the brewhouse during beer brewing”. Ronnie G. Willaert, Gino V. Baron. 2004.
- [14] “Energy Efficiency Opportunities in the Canadian Brewing Industry”. Second Edition 2010. Brewers association of Canada. www.brewers.ca.

- [15]“Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Breweries”. An ENERGY STAR® Guide for Energy. Christina Galitsky, Nathan Martin, Ernst Worrell and Bryan Lehman Environmental Energy Technologies Division Sponsored by the U.S. Environmental Protection Agency September 2003
- [16] “Guía del vapor para la industria”. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae). Mexico.
- [17]“La industria cervecera sistemas de vapor y condensado”. Spirax Sarco
- [18]“Sustainable brewing concept”. Norit.
- [19]“Computing solar vector”. MURIEL, ALARCO, PADILLA, LOPEZ-MORATALLA and LARA-COIRA. CIEMAT - Plataforma Solar de Almería. Real Instituto y Observatorio de la Armada. 2000.
- [20]“*Previsiones de la situación del Mercado del gas natural*”. *Asociación por el estudio de los picos de consumo de gas y petróleo*. (ASPO). Disponible en <http://www.peakoil.net>.
- [21]“Instrumentation Symbols and Identification”. ISA-5.1-1984 (R1992). 1992.

CAPÍTULO 13: ANEXOS

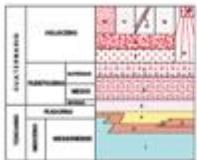
ANEXO I - MAPA GEOLÓGICO MINERO DE ANDALUCÍA

MAPA GEOLOGICO Escala 1:50.000
GEOLOGIA DEL VALLE DEL GUADALQUIVIR
 AREA INCLUIDA EN LA HOJA 1:50.000 NUMERO 76

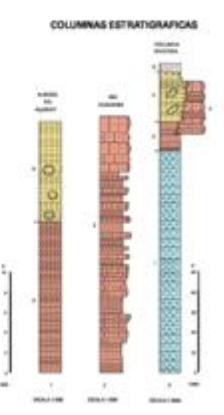
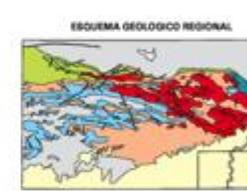
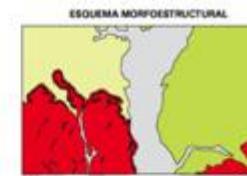
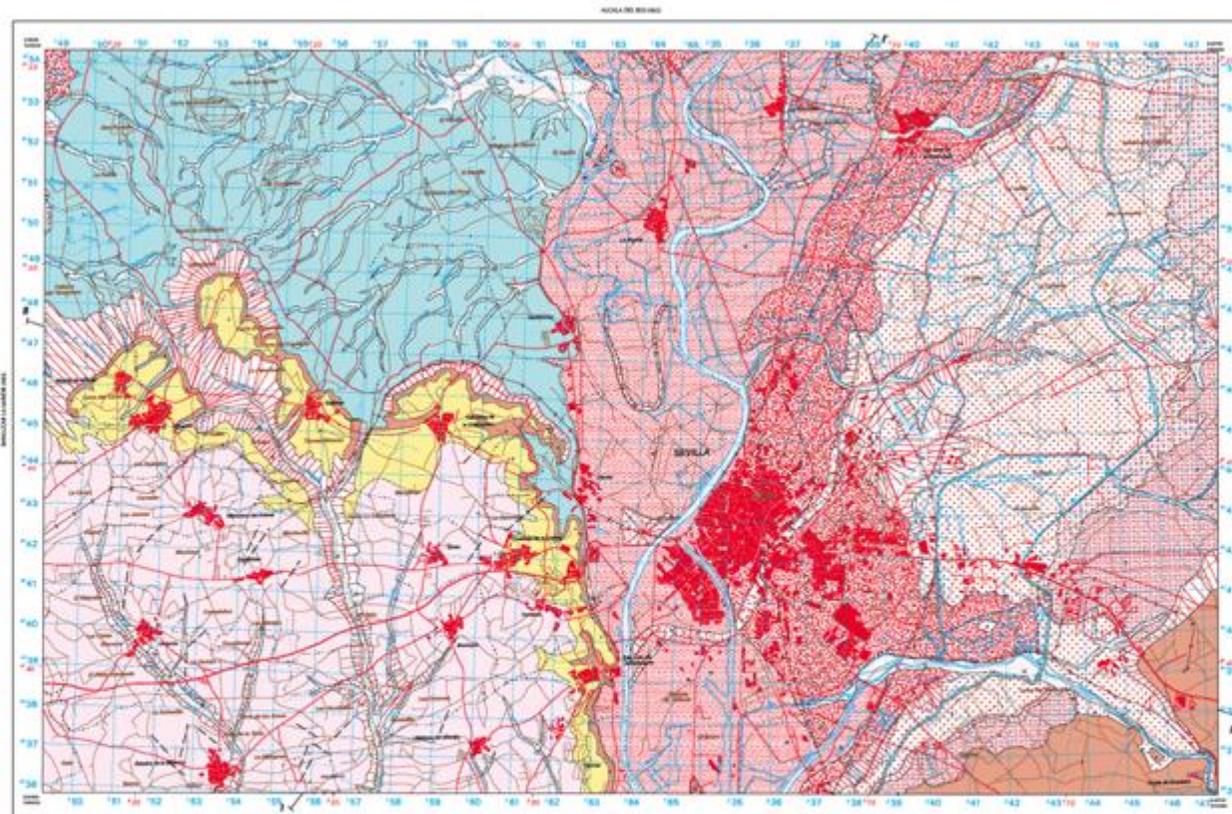


SEVILLA 984
 12-40

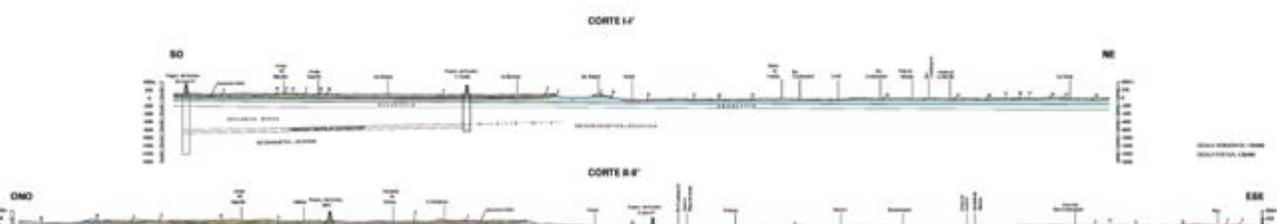
LEYENDA



- 1. Albariza (Cenozoico)
- 2. Albariza (Cenozoico)
- 3. Albariza (Cenozoico)
- 4. Albariza (Cenozoico)
- 5. Albariza (Cenozoico)
- 6. Albariza (Cenozoico)
- 7. Albariza (Cenozoico)
- 8. Albariza (Cenozoico)
- 9. Albariza (Cenozoico)
- 10. Albariza (Cenozoico)
- 11. Albariza (Cenozoico)
- 12. Albariza (Cenozoico)
- 13. Albariza (Cenozoico)
- 14. Albariza (Cenozoico)
- 15. Albariza (Cenozoico)
- 16. Albariza (Cenozoico)
- 17. Albariza (Cenozoico)
- 18. Albariza (Cenozoico)
- 19. Albariza (Cenozoico)
- 20. Albariza (Cenozoico)
- 21. Albariza (Cenozoico)
- 22. Albariza (Cenozoico)
- 23. Albariza (Cenozoico)
- 24. Albariza (Cenozoico)
- 25. Albariza (Cenozoico)
- 26. Albariza (Cenozoico)
- 27. Albariza (Cenozoico)
- 28. Albariza (Cenozoico)
- 29. Albariza (Cenozoico)
- 30. Albariza (Cenozoico)
- 31. Albariza (Cenozoico)
- 32. Albariza (Cenozoico)
- 33. Albariza (Cenozoico)
- 34. Albariza (Cenozoico)
- 35. Albariza (Cenozoico)
- 36. Albariza (Cenozoico)
- 37. Albariza (Cenozoico)
- 38. Albariza (Cenozoico)
- 39. Albariza (Cenozoico)
- 40. Albariza (Cenozoico)
- 41. Albariza (Cenozoico)
- 42. Albariza (Cenozoico)
- 43. Albariza (Cenozoico)
- 44. Albariza (Cenozoico)
- 45. Albariza (Cenozoico)
- 46. Albariza (Cenozoico)
- 47. Albariza (Cenozoico)
- 48. Albariza (Cenozoico)
- 49. Albariza (Cenozoico)
- 50. Albariza (Cenozoico)
- 51. Albariza (Cenozoico)
- 52. Albariza (Cenozoico)
- 53. Albariza (Cenozoico)
- 54. Albariza (Cenozoico)
- 55. Albariza (Cenozoico)
- 56. Albariza (Cenozoico)
- 57. Albariza (Cenozoico)
- 58. Albariza (Cenozoico)
- 59. Albariza (Cenozoico)
- 60. Albariza (Cenozoico)
- 61. Albariza (Cenozoico)
- 62. Albariza (Cenozoico)
- 63. Albariza (Cenozoico)
- 64. Albariza (Cenozoico)
- 65. Albariza (Cenozoico)
- 66. Albariza (Cenozoico)
- 67. Albariza (Cenozoico)
- 68. Albariza (Cenozoico)
- 69. Albariza (Cenozoico)
- 70. Albariza (Cenozoico)
- 71. Albariza (Cenozoico)
- 72. Albariza (Cenozoico)
- 73. Albariza (Cenozoico)
- 74. Albariza (Cenozoico)
- 75. Albariza (Cenozoico)
- 76. Albariza (Cenozoico)
- 77. Albariza (Cenozoico)
- 78. Albariza (Cenozoico)
- 79. Albariza (Cenozoico)
- 80. Albariza (Cenozoico)
- 81. Albariza (Cenozoico)
- 82. Albariza (Cenozoico)
- 83. Albariza (Cenozoico)
- 84. Albariza (Cenozoico)
- 85. Albariza (Cenozoico)
- 86. Albariza (Cenozoico)
- 87. Albariza (Cenozoico)
- 88. Albariza (Cenozoico)
- 89. Albariza (Cenozoico)
- 90. Albariza (Cenozoico)
- 91. Albariza (Cenozoico)
- 92. Albariza (Cenozoico)
- 93. Albariza (Cenozoico)
- 94. Albariza (Cenozoico)
- 95. Albariza (Cenozoico)
- 96. Albariza (Cenozoico)
- 97. Albariza (Cenozoico)
- 98. Albariza (Cenozoico)
- 99. Albariza (Cenozoico)
- 100. Albariza (Cenozoico)



- SIGNOS CONVENCIONALES**
- Límite urbano
 - Límite provincial
 - Límite autonómico
 - Límite de España
 - Límite de Europa
 - Límite de África
 - Límite de Asia
 - Límite de Oceanía
 - Límite de América
 - Límite de Australia
 - Límite de Antártida
 - Límite de los océanos
 - Límite de los continentes
 - Límite de las islas
 - Límite de las montañas
 - Límite de las cordilleras
 - Límite de las sierras
 - Límite de las colinas
 - Límite de las llanuras
 - Límite de las depresiones
 - Límite de las cuencas
 - Límite de las valles
 - Límite de las riberas
 - Límite de las costas
 - Límite de las playas
 - Límite de las dunas
 - Límite de las marismas
 - Límite de las lagunas
 - Límite de las humedales
 - Límite de las zonas protegidas
 - Límite de las reservas naturales
 - Límite de las áreas de interés científico
 - Límite de las zonas de estudio
 - Límite de las zonas de planificación
 - Límite de las zonas de gestión
 - Límite de las zonas de conservación
 - Límite de las zonas de restauración
 - Límite de las zonas de rehabilitación
 - Límite de las zonas de regeneración
 - Límite de las zonas de transformación
 - Límite de las zonas de desarrollo
 - Límite de las zonas de crecimiento
 - Límite de las zonas de expansión
 - Límite de las zonas de diversificación
 - Límite de las zonas de especialización
 - Límite de las zonas de concentración
 - Límite de las zonas de dispersión
 - Límite de las zonas de agregación
 - Límite de las zonas de separación
 - Límite de las zonas de interacción
 - Límite de las zonas de integración
 - Límite de las zonas de diferenciación
 - Límite de las zonas de homogeneización
 - Límite de las zonas de heterogeneización
 - Límite de las zonas de uniformización
 - Límite de las zonas de diversificación
 - Límite de las zonas de especialización
 - Límite de las zonas de concentración
 - Límite de las zonas de dispersión
 - Límite de las zonas de agregación
 - Límite de las zonas de separación
 - Límite de las zonas de interacción
 - Límite de las zonas de integración
 - Límite de las zonas de diferenciación
 - Límite de las zonas de homogeneización
 - Límite de las zonas de heterogeneización
 - Límite de las zonas de uniformización



Normas, Edición y supervisión de la cartografía geológica: SERVICIO DE MAPAS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINAS. Colaboración en la ejecución de la cartografía geológica: INSTITUTO TECNOLÓGICO Y GEOMÁTICO DE SEVILLA. Impreso en España. C.C.P.

ANEXO II - OCUPADOS Y PARADOS POR SEXO, TASAS DE ACTIVIDAD Y PARO. RESULTADOS POR COMUNIDADES AUTONOMAS Y PROVINCIAS DURANTE EL PRIMER TRIMESTRE DE 2011, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA



Resultados por comunidades autónomas y provincias

5. Ocupados y parados por sexo. Tasas de actividad y paro (Continúa)

(Valores absolutos en miles y tasas en porcentaje)

	Ambos sexos		Tasa actividad	Tasa paro
	Ocupados	Parados		
TOTAL	18.151,7	4.910,2	59,88	21,29
Andalucía	2.813,8	1.187,6	59,02	29,68
Almería	250,9	118,3	65,35	32,04
Cádiz	377,5	183,2	56,06	32,68
Córdoba	277,0	109,3	59,47	28,29
Granada	301,9	124,7	56,83	29,24
Huelva	168,8	82,8	59,97	32,90
Jaén	228,8	66,1	54,62	22,41
Málaga	531,5	258,6	59,77	32,73
Sevilla	677,4	244,5	60,15	26,52
Aragón	528,0	115,5	57,94	17,95
Huesca	91,9	14,4	56,79	13,58
Teruel	60,6	9,8	57,92	13,96
Zaragoza	375,6	91,2	58,21	19,55
Asturias	390,6	86,9	51,43	18,20
Balears (Illes)	424,0	144,1	63,17	25,36
Canarias	782,9	312,4	62,48	28,52
Palmas (Las)	386,7	173,9	62,73	31,01
S. C. Tenerife	396,1	138,5	62,22	25,91
Cantabria	228,9	44,8	55,40	16,37
Castilla y León	972,9	204,5	54,92	17,37
Ávila	53,6	21,1	51,99	28,26
Burgos	155,9	29,9	60,29	16,09
León	168,6	36,5	48,77	17,80
Palencia	61,4	13,8	52,05	18,33
Salamanca	128,2	24,7	51,60	16,18
Segovia	66,2	9,7	56,32	12,82
Soria	37,8	6,9	56,83	15,45
Valladolid	237,1	44,4	62,70	15,77
Zamora	64,1	17,4	48,49	21,39
Castilla-La Mancha	775,5	216,1	58,16	21,79
Albacete	149,7	45,2	59,09	23,19
Ciudad Real	182,5	51,6	53,97	22,04
Cuenca	73,8	17,4	50,18	19,08
Guadalajara	103,6	21,6	61,46	17,27
Toledo	285,9	80,2	62,27	23,18
Cataluña	3.099,5	727,6	63,07	19,01
Barcelona	2.270,4	530,7	63,05	18,95
Girona	308,8	88,8	66,04	22,33
Lleida	189,1	25,4	59,33	11,84
Tarragona	331,2	82,7	62,51	19,98
Comunitat Valenciana	1.887,4	599,9	59,58	24,12
Alicante	676,5	211,2	55,95	23,79
Castellón	223,5	82,3	62,26	26,92
Valencia	987,3	306,3	61,71	23,68
Extremadura	373,6	125,0	54,93	25,06
Badajoz	237,3	88,8	57,80	27,22
Cáceres	136,3	36,2	50,21	20,98
Galicia	1.080,7	226,5	54,91	17,33
Coruña (A)	471,3	87,2	56,97	15,61
Lugo	136,8	20,8	52,10	13,18
Ourense	114,0	24,9	48,43	17,92
Pontevedra	358,5	93,7	55,76	20,71
Madrid (Comunid. de)	2.861,6	522,1	64,24	15,43
Murcia (Región de)	542,1	192,1	61,76	26,16
Navarra (C. Foral de)	269,6	41,7	60,64	13,40
País Vasco	939,5	123,5	58,40	11,61
Álava	146,2	19,0	62,25	11,48
Guipúzcoa	314,2	31,0	59,46	8,98
Vizcaya	479,1	73,5	56,71	13,30
Rioja (La)	132,0	24,1	59,49	15,44
Ceuta	24,2	8,7	55,33	26,43
Melilla	24,8	7,2	57,29	22,48

* Los datos inferiores a 5.000 están sujetos a fuertes variaciones, debidas al error de muestreo



Resultados por comunidades autónomas y provincias

5. Ocupados y parados por sexo. Tasas de actividad y paro (Conclusión)

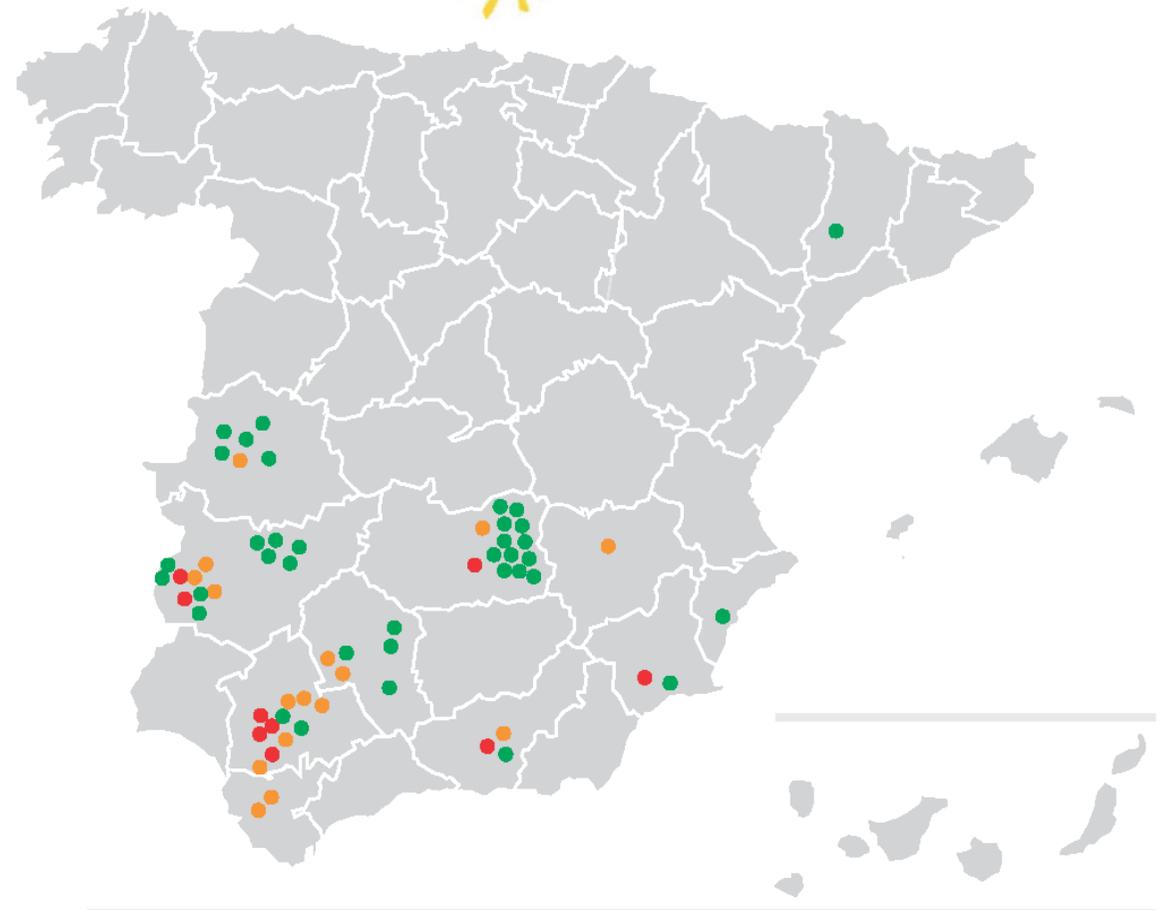
(Valores absolutos en miles y tasas en porcentaje)

	Varones				Mujeres			
	Ocupados	Parados	Tasa actividad	Tasa paro	Ocupadas	Paradas	Tasa actividad	Tasa paro
TOTAL	10,059.0	2,635.0	67.43	20.76	8,092.7	2,275.2	52.67	21.94
Andalucía	1,618.0	630.9	67.49	28.05	1,195.8	556.7	50.84	31.77
Almería	143.5	66.2	73.04	31.57	107.4	52.1	57.40	32.66
Cádiz	220.7	98.4	65.16	30.83	156.8	84.9	47.32	35.12
Córdoba	159.9	55.4	68.03	25.73	117.1	53.9	51.35	31.51
Granada	168.2	69.9	64.48	29.36	133.6	54.8	49.42	29.09
Huelva	97.4	41.6	67.99	29.91	71.4	41.2	52.36	36.59
Jaén	138.1	29.1	63.49	17.42	90.7	36.9	46.16	28.95
Málaga	300.9	140.4	67.46	31.82	230.6	118.2	52.24	33.89
Sevilla	389.2	129.9	69.44	25.02	288.1	114.7	51.31	28.46
Aragón	294.6	63.3	65.21	17.69	233.4	52.2	50.84	18.27
Huesca	54.6	7.1	65.74	11.46	37.3	7.4	47.82	16.51
Teruel	34.5	5.2	63.37	13.05	26.1	4.6	52.13	15.14
Zaragoza	205.6	51.1	65.37	19.90	170.0	40.2	51.34	19.11
Asturias	210.2	44.7	57.95	17.55	180.4	42.1	45.55	18.94
Baleares (Illes)	234.2	74.3	68.87	24.08	189.8	69.8	57.51	26.89
Canarias	428.8	175.7	69.58	29.07	354.0	136.7	55.50	27.85
Palmas (Las)	211.2	98.2	69.66	31.75	175.6	75.6	55.89	30.11
S. C. Tenerife	217.7	77.5	69.51	26.25	178.5	61.0	55.11	25.49
Cantabria	126.5	26.3	63.81	17.19	102.4	18.6	47.51	15.34
Castilla y León	552.8	103.9	62.20	15.82	420.1	100.6	47.86	19.33
Ávila	31.2	11.9	60.39	27.65	22.4	9.2	43.72	29.09
Burgos	86.9	14.5	66.88	14.33	69.0	15.4	53.91	18.21
León	92.4	19.3	55.25	17.29	76.2	17.2	42.77	18.41
Palencia	34.4	7.2	58.38	17.31	27.1	6.6	45.90	19.60
Salamanca	70.7	11.6	57.36	14.14	57.4	13.1	46.18	18.56
Segovia	39.4	4.7	65.08	10.77	28.9	5.0	47.48	15.66
Soria	22.3	3.0	62.82	11.97	15.5	3.9	50.52	20.00
Valladolid	135.7	22.3	71.15	14.10	101.4	22.1	54.44	17.91
Zamora	39.8	9.2	57.31	18.82	24.3	8.2	39.35	25.28
Castilla-La Mancha	469.6	110.7	67.87	19.07	305.9	105.4	48.39	25.63
Albacete	89.3	22.4	66.85	20.02	60.4	22.9	51.12	27.46
Ciudad Real	116.8	25.4	65.45	17.84	65.7	26.2	42.46	28.53
Cuenca	44.9	10.4	60.28	18.81	28.9	7.0	39.88	19.50
Guadalajara	57.1	11.3	68.21	16.50	46.5	10.3	54.91	18.20
Toledo	161.5	41.2	72.73	20.34	104.4	39.0	51.75	27.19
Cataluña	1,675.1	410.0	70.48	19.66	1,424.4	317.7	56.02	18.23
Barcelona	1,210.8	298.7	70.41	19.79	1,059.6	232.0	56.19	17.96
Girona	172.2	50.2	73.28	22.58	136.5	38.6	58.67	22.02
Lleida	107.0	13.8	66.85	11.43	82.1	11.6	51.83	12.37
Tarragona	185.1	47.2	70.33	20.34	146.2	35.5	54.72	19.53
Comunitat Valenciana	1,048.4	327.0	66.79	23.77	839.0	272.9	52.56	24.54
Alicante	366.0	120.3	62.85	24.74	310.5	90.9	49.37	22.65
Castellón	129.0	47.2	70.32	26.80	94.5	35.1	53.86	27.08
Valencia	553.4	159.4	68.88	22.37	433.9	146.9	54.71	25.29
Extremadura	224.5	65.3	64.72	22.53	149.1	59.6	45.39	28.57
Badajoz	144.0	45.8	68.28	24.13	93.3	43.0	47.62	31.53
Cáceres	80.5	19.5	58.89	19.50	55.8	16.7	41.73	23.02
Galicia	583.8	116.9	61.64	16.68	496.8	109.7	48.77	18.08
Coruña (A)	252.0	43.5	63.23	14.74	219.3	43.7	51.27	16.60
Lugo	73.3	10.5	57.68	12.53	63.5	10.3	46.93	13.92
Ourense	63.4	12.9	55.28	16.95	50.6	12.0	42.08	19.11
Pontevedra	195.2	49.9	63.48	20.36	163.4	43.8	48.76	21.13
Madrid (Comunid. de)	1,522.5	267.4	71.08	14.94	1,339.1	254.7	57.98	15.98
Murcia (Región de)	310.0	111.9	70.46	26.53	232.1	80.2	52.93	25.67
Navarra (C. Foral de)	150.0	21.6	67.53	12.59	119.6	20.1	53.88	14.39
Pais Vasco	505.1	64.2	64.84	11.27	434.4	59.3	52.39	12.01
Álava	80.1	11.2	70.57	12.31	66.1	7.7	54.32	10.46
Guipúzcoa	170.4	14.5	65.62	7.86	143.8	16.5	53.65	10.27
Vizcaya	254.7	38.4	62.77	13.10	224.5	35.1	51.14	13.52
Rioja (La)	74.3	13.0	67.29	14.88	57.7	11.1	51.87	16.15
Ceuta	16.2	4.5	66.94	21.86	8.1	4.2	42.84	34.11
Melilla	14.3	3.5	67.13	19.72	10.5	3.7	48.41	25.93

* Los datos inferiores a 5.000 están sujetos a fuertes variaciones, debidas al error de muestreo

ANEXO III - LOCALIZACION DE LAS CENTRALES TERMOSOLARES EN ESPAÑA

LOCALIZACIÓN DE CENTRALES TERMOSOLARES EN ESPAÑA



● Operativas

● Construcción avanzada

● Preasignadas

	Nombre	Localidad	Potencia MW	Fase	
OPERATIVAS	PS10	San Lúcar la Mayor	11	Fase	
	ANDASOL 1	Aldéiro	50	Fase	
	PS20	San Lúcar la Mayor	20	Fase	
	PUERTOLLANO IBERSOL	Puertollano	50	Fase 1	
	PUERTO ERRADO 1	Calasparra	1,4	Fase 1	
	LA RIBCA	Alvaredo	50	Fase 1	
	ANDASOL 2	Aldéiro	50	Fase 1	
	EXTRESOL 1	Torre de San Miguel Sesmero	50	Fase 1	
	SOLNOVA 1	San Lúcar la Mayor	50	Fase 1	
	SOLNOVA 3	San Lúcar la Mayor	50	Fase 1	
CONSTRUCCIÓN AVANZADA	ANDASOL - 3	Aldéiro	50	Fase 1	
	PL. TERMOELÉCTRICA DE MAJADAS	Majadas	50	Fase 1	
	PL. TERMOELÉCTRICA DE PALMA DEL RÍO II	Palma del Río	50	Fase 1	
	PL. TERMOELÉCTRICA DE PALMA DEL RÍO I	Palma del Río	50	Fase 1	
	CENTRAL SOLAR TERMOELÉCTRICA LA FLORIDA	Alvaredo	50	Fase 1	
	CENTRAL SOLAR TERMOELÉCTRICA LA DEHESA	La Garrovilla	50	Fase 1	
	MANCHASOL-1	Alcázar de San Juan	50	Fase 2	
	PLANTA TERMOELÉCTRICA EXTRESOL-2	Torre de San Miguel Sesmero	50	Fase 2	
	CTS SOLAR TRES	Fuente de Andalucía	17	Fase 2	
	SOLNOVA 4	San Lúcar la Mayor	50	Fase 2	
	HELIOENERGY 1	Écija	50	Fase 2	
	HELIOENERGY 2	Écija	60	Fase 2	
	LEBRJA 1	Lebrija	60	Fase 2	
	TERMESOL-50	San José del Valle	50	Fase 3	
	ARCOSOL-50	San José del Valle	50	Fase 3	
	PL. TERMOELÉCTRICA CASAS DE LOS PINOS	Villanueva de los Pinillos	1	Fase 3	
	PREASIGNADAS	PL. SOLAR TERMOELÉCTRICA	Espajo	50	Fase 1
		C. TERMOELÉCTRICA "LA AFRICANA"	Fuente Palmera	50	Fase 1
		PL. TERMOELÉCTRICA DE CONSOL ORELLANA	Orellana	60	Fase 1
		PUERTO ERRADO 2	Puerto Errado	30	Fase 1
HELIOS I		Puerto Lápice	50	Fase 1	
HELIOS II		Puerto Lápice	50	Fase 1	
C. SOLAR TERMOELÉCTRICA "ASTE-1A"		Alcázar de San Juan	60	Fase 2	
C. SOLAR TERMOELÉCTRICA "ASTE-1B"		Alcázar de San Juan	50	Fase 2	
SOLACOR I		El Cerpio	50	Fase 2	
SOLACOR 2		El Cerpio	50	Fase 2	
PL. TERMOELÉCTRICA DE MORÓN		Morón de la Frontera	60	Fase 2	
MANCHASOL-2		Alcázar	50	Fase 3	
PL. TERMOELÉCTRICA DE OLIVENZA 1		Olivenza	50	Fase 3	
PL. TERMOELÉCTRICA EXTRESOL - 3		Torre de San Miguel Sesmero	50	Fase 3	
C. SOLAR TERMOELÉCTRICA "ASTEXOL -2"		Bedija	60	Fase 3	
SOLABEN 1		Logroñán	50	Fase 3	
SOLABEN 2		Logroñán	50	Fase 3	
SOLABEN 3		Logroñán	50	Fase 3	
TERMOELÉCTRICA 1		Navatvillar de Peñ	50	Fase 4	
TERMOELÉCTRICA 2		Navatvillar de Peñ	50	Fase 4	
TERMOELÉCTRICA BORGES, S.L.		Aldea Blanca	22	Fase 4	
EXTREMOSOL 1		Villanueva de la Serena	50	Fase 4	
SOLABEN 6		Logroñán	50	Fase 4	
C. SOLAR TERMOELÉCTRICA CÁCERES		Gallitao	50	Fase 4	
CASABLANCA		Talarrubias	50	Fase 4	
C. SOLAR TERMOELÉCTRICA ENERSTAR VILLENA		Alicante	50	Fase 4	
PL. TERMOELÉCTRICA 8MW PUERTOLLANO		Puertollano	8	Fase 4	
PL. TERMOELÉCTRICA 10MW PUERTOLLANO		Puertollano	10	Fase 4	
PL. TERMOELÉCTRICA 10MW PUERTOLLANO		Puertollano	10	Fase 4	
PL. TERMOELÉCTRICA 10MW PUERTOLLANO		Puertollano	10	Fase 4	
PL. TERMOELÉCTRICA 10MW PUERTOLLANO		Puertollano	10	Fase 4	
PL. TERMOELÉCTRICA 10MW PUERTOLLANO		Puertollano	10	Fase 4	
PL. TERMOELÉCTRICA 14 MW PUERTOLLANO		Puertollano	12	Fase 4	
ARENALES		Morón de la Frontera	50	Fase 4	

Total de Plantas 61

ANEXO IV - PROPIEDADES DEL VAPOR SATURADO

PRESIÓN RELATIVA	PRESIÓN ABSOLUTA	TEMPERATURA	AGUA (hf)	EVAPORACIÓN (hfg)	VAPOR	VOLUMEN ESPECÍFICO VAPOR
bar	bar	°C	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	m ³ /kg
0	1,013	100	419	2257	2676	1,673
0,2	1,213	105,1	440,8	2243,4	2684,2	1,414
0,4	1,413	109,55	459,7	2231,3	2691	1,225
0,6	1,613	113,56	476,4	2220,4	2696,8	1,083
0,8	1,813	117,14	491,6	2210,5	2702,1	0,971
1	2,013	120,42	505,6	2201,1	2706,7	0,881
1,2	2,213	123,46	518,7	2192,8	2711,5	0,806
1,4	2,413	126,28	530,5	2184,8	2715,3	0,743
1,6	2,613	128,89	541,6	2177,3	2718,9	0,689
1,8	2,813	131,37	552,3	2170,1	2722,4	0,643
2	3,013	133,69	562,2	2163,3	2725,5	0,603
2,2	3,213	135,88	570	2156,9	2728,6	0,568
2,4	3,413	138,01	580,7	2150,7	2731,4	0,536
2,6	3,613	140	589,2	2144,7	2733,9	0,509
2,8	3,813	141,92	597,4	2139	2736,4	0,483
3	4,013	143,75	605,3	2133,4	2738,7	0,461
3,2	4,213	145,46	612,9	2128,1	2741	0,44
3,4	4,413	147,2	620	2122,9	2742,9	0,422
3,6	4,613	148,84	627,1	2117,8	2744,9	0,405
3,8	4,813	150,44	634	2112,9	2746,9	0,389
4	5,013	151,96	640,7	2108,1	2748,8	0,374
4,2	5,213	153,4	647,1	2103,5	2750,6	0,361
4,4	5,413	154,84	653,3	2098,9	2752,2	0,348
4,6	5,613	156,24	659,3	2094,5	2753,8	0,336
4,8	5,813	157,62	665,2	2090,2	2755,4	0,325
5	6,013	158,92	670,9	2086	2756,9	0,315
5,2	6,213	160,2	676,5	2081,8	2758,3	0,305
5,4	6,413	161,45	681,9	2077,8	2759,7	0,296
5,6	6,613	162,68	687,2	2073,8	2761	0,288
5,8	6,813	163,86	692,4	2069,9	2762,3	0,28
6	7,013	165,04	697,5	2066	2763,5	0,272
6,2	7,213	166,16	702,5	2062,3	2764,8	0,265
6,4	7,413	167,29	707,4	2058,6	2766	0,258
6,6	7,613	168,38	712,1	2055	2767,1	0,252
6,8	7,813	169,43	716,8	2051,3	2768,1	0,246
7	8,013	170,5	721,4	2047,7	2769,1	0,24
7,2	8,213	171,53	725,9	2044,3	2770,2	0,235
7,4	8,413	172,53	730,4	2040,8	2771,2	0,229
7,6	8,613	173,5	734,7	2037,5	2772,2	0,224
7,8	8,813	174,46	738,9	2034,2	2773,1	0,219

8	9,013	175,43	743,1	2030,9	2774	0,215
8,2	9,213	176,37	747,2	2027,6	2774,8	0,21
8,4	9,413	177,27	751,3	2024,5	2775,8	0,206
8,6	9,613	178,2	755,3	2021,3	2776,6	0,202
8,8	9,813	179,08	759,2	2018,2	2777,4	0,198
9	10,013	179,97	763	2015,1	2778,1	0,194
9,2	10,213	180,83	766,9	2012	2778,9	0,191
9,4	10,413	181,68	770,6	2009	2779,6	0,187
9,6	10,613	182,51	774,4	2006	2780,4	0,184
9,8	10,813	183,31	778	2003,1	2781,1	0,181
10	11,013	184,13	780	2001,5	2782,3	0,179

**ANEXO V - ALGORITMO DE CÁLCULO DE LA POSICIÓN
SOLAR Y DEL CONTROL DE MOVIMIENTO DE LOS
CAPTADORES**

```
#ifndef __SUNPOS_H
#define __SUNPOS_H

// Declaration of some constants

#define pi 3.14159265358979323846

#define twopi (2*pi)

#define rad (pi/180)

#define dEarthMeanRadius 6371.01 // In km

#define dAstronomicalUnit 149597890 // In km

struct cTime
{
    int iYear;
    int iMonth;
    int iDay;
    double dHours;
    double dMinutes;
    double dSeconds;
};

struct cLocation
{
    double dLongitude;
    double dLatitude;
};

struct cSunCoordinates
{
```

```
        double dZenithAngle;

        double dAzimuth;

};

void sunpos(cTime udtTime, cLocation udtLocation, cSunCoordinates *udtSunCoordinates);

#endif

#include "sunpos.h"
#include <math.h>

void sunpos(cTime udtTime,cLocation udtLocation, cSunCoordinates *udtSunCoordinates)
{
    // Main variables
    double dElapsedJulianDays;
    double dDecimalHours;
    double dEclipticLongitude;
    double dEclipticObliquity;
    double dRightAscension;
    double dDeclination;

    // Auxiliary variables
    double dY;
    double dX;

    // Calculate difference in days between the current Julian Day
    // and JD 2451545.0, which is noon 1 January 2000 Universal Time
```

```

{
    double dJulianDate;

    long int liAux1;

    long int liAux2;

    // Calculate time of the day in UT decimal hours
    dDecimalHours = udtTime.dHours + (udtTime.dMinutes
        + udtTime.dSeconds / 60.0 ) / 60.0;

    // Calculate current Julian Day
    liAux1 =(udtTime.iMonth-14)/12;

    liAux2=(1461*(udtTime.iYear + 4800 + liAux1))/4 + (367*(udtTime.iMonth
        - 2-12*liAux1))/12- (3*((udtTime.iYear + 4900
        + liAux1)/100))/4+udtTime.iDay-32075;

    dJulianDate=(double)(liAux2)-0.5+dDecimalHours/24.0;

    // Calculate difference between current Julian Day and JD 2451545.0
    dElapsedJulianDays = dJulianDate-2451545.0;
}

```

```

// Calculate ecliptic coordinates (ecliptic longitude and obliquity of the
// ecliptic in radians but without limiting the angle to be less than 2*Pi
// (i.e., the result may be greater than 2*Pi)

```

```

{
    double dMeanLongitude;

    double dMeanAnomaly;

    double dOmega;

    dOmega=2.1429-0.0010394594*dElapsedJulianDays;

    dMeanLongitude = 4.8950630+ 0.017202791698*dElapsedJulianDays; //
Radians

    dMeanAnomaly = 6.2400600+ 0.0172019699*dElapsedJulianDays;

```

```

dEclipticLongitude = dMeanLongitude + 0.03341607*sin( dMeanAnomaly )
                    + 0.00034894*sin( 2*dMeanAnomaly )-0.0001134
                    -0.0000203*sin(dOmega);
dEclipticObliquity = 0.4090928 - 6.2140e-9*dElapsedJulianDays
                    +0.0000396*cos(dOmega);
}

// Calculate celestial coordinates ( right ascension and declination ) in radians
// but without limiting the angle to be less than 2*Pi (i.e., the result may be
// greater than 2*Pi)
{
    double dSin_EclipticLongitude;
    dSin_EclipticLongitude= sin( dEclipticLongitude );
    dY = cos( dEclipticObliquity ) * dSin_EclipticLongitude;
    dX = cos( dEclipticLongitude );
    dRightAscension = atan2( dY,dX );
    if( dRightAscension < 0.0 ) dRightAscension = dRightAscension + twopi;
    dDeclination = asin( sin( dEclipticObliquity )*dSin_EclipticLongitude );
}

// Calculate local coordinates ( azimuth and zenith angle ) in degrees
{
    double dGreenwichMeanSiderealTime;
    double dLocalMeanSiderealTime;
    double dLatitudeInRadians;
    double dHourAngle;
    double dCos_Latitude;

```

```

double dSin_Latitude;

double dCos_HourAngle;

double dParallax;

dGreenwichMeanSiderealTime = 6.6974243242 +
    0.0657098283*dElapsedJulianDays
    + dDecimalHours;

dLocalMeanSiderealTime = (dGreenwichMeanSiderealTime*15
    + udtLocation.dLongitude)*rad;

dHourAngle = dLocalMeanSiderealTime - dRightAscension;

dLatitudeInRadians = udtLocation.dLatitude*rad;

dCos_Latitude = cos( dLatitudeInRadians );

dSin_Latitude = sin( dLatitudeInRadians );

dCos_HourAngle= cos( dHourAngle );

udtSunCoordinates->dZenithAngle = (acos( dCos_Latitude*dCos_HourAngle
    *cos(dDeclination) + sin( dDeclination )*dSin_Latitude));

dY = -sin( dHourAngle );

dX = tan( dDeclination )*dCos_Latitude - dSin_Latitude*dCos_HourAngle;

udtSunCoordinates->dAzimuth = atan2( dY, dX );

if ( udtSunCoordinates->dAzimuth < 0.0 )
    udtSunCoordinates->dAzimuth = udtSunCoordinates->dAzimuth +
twopi;

udtSunCoordinates->dAzimuth = udtSunCoordinates->dAzimuth/rad;

// Parallax Correction

dParallax=(dEarthMeanRadius/dAstronomicalUnit)
    *sin(udtSunCoordinates->dZenithAngle);

udtSunCoordinates->dZenithAngle=(udtSunCoordinates->dZenithAngle
    + dParallax)/rad;

}

```

ANEXO VI - PROPIEDADES DEL THERMINOL 55

Temperatura	Densidad	Capacidad calorífica	Viscosidad	Conductividad térmica
C	kg/m ³	J/kg.K	Pa.s	W/m.K
180	776	2480	0,000946	0,111
185	773	2500	0,000897	0,111
190	769	2510	0,000852	0,110
195	766	2530	0,000811	0,109
200	762	2540	0,000772	0,109
205	758	2550	0,000737	0,108
210	755	2570	0,000703	0,107
215	751	2580	0,000672	0,107
220	747	2600	0,000643	0,106
225	744	2610	0,000616	0,105
230	740	2620	0,000590	0,105
235	736	2630	0,000566	0,104
240	732	2650	0,000543	0,103
245	729	2660	0,000522	0,103
250	725	2670	0,000502	0,102
255	721	2680	0,000483	0,101
260	717	2690	0,000464	0,101
265	713	2710	0,000447	0,100
270	709	2720	0,000431	0,993
275	705	2730	0,000415	0,099
280	701	2740	0,000400	0,098
285	697	2750	0,000386	0,097
287	695	2750	0,000380	0,097

**ANEXO VII - ISA-5.1-1984(R1992): NOMENCLATURA DE
INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL**

First-Letters	Initiating or Measured Variable	Controllers				Readout Devices		Switches and Alarm Devices*			Transmitters			Solenoids, Relays, Computing Devices	Primary Element	Test Point	Well or Probe	Viewing Device, Glass	Safety Device	Final Element
		Recording	Indicating	Blind	Self-Actuated Control Valves	Recording	Indicating	High**	Low	Comb	Recording	Indicating	Blind							
A	Analysis	ARC	AIC	AC		AR	AI	ASH	ASL	ASHL	ART	AIT	AT	AY	AE	AP	AW			AV
B	Burner/Combustion	BRC	BIC	BC		BR	BI	BSH	BSL	BShL	BRT	BIT	BT	BY	BE		BW	BG		BZ
C	User's Choice																			
D	User's Choice																			
E	Voltage	ERC	EIC	EC		ER	EI	ESH	ESL	ESHL	ERT	EIT	ET	EY	EE					EZ
F	Flow Rate	FRC	FIC	FC	FCV, FICV	FR	FI	FSH	FSL	FShL	FRT	FIT	FT	FY	FE	FP		FG		FV
FQ	Flow Quantity	FQRC	FQIC			FQR	FQI	FQSH	FQSL			FQIT	FQT	FQY	FQE					FQV
FF	Flow Ratio	FFRC	FFIC	FFC		FFR	FFI	FFSH	FFSL						FE					FFV
G	User's Choice																			
H	Hand		HIC	HC						HS										HV
I	Current	IRC	IIC			IR	II	ISH	ISL	ISHL	IRT	IIT	IT	IY	IE					IZ
J	Power	JRC	JIC			JR	JI	JSH	JSL	JShL	JRT	JIT	JT	JY	JE					JV
K	Time	KRC	KIC	KC	KCV	KR	KI	KSH	KSL	KShL	KRT	KIT	KT	KY	KE					KV
L	Level	LRC	LIC	LC	LCV	LR	LI	LSH	LSL	LShL	LRT	LIT	LT	LY	LE		LW	LG		LV
M	User's Choice																			
N	User's Choice																			
O	User's Choice																			
P	Pressure/ Vacuum	PRC	PIC	PC	PCV	PR	PI	PSH	PSL	PSHL	PRT	PIT	PT	PY	PE	PP			PSV, PSE	PV
PD	Pressure, Differential	PDRC	PDIC	PDC	PDCV	PDR	PDI	PDSH	PDSL		PDRT	PDIT	PDT	PDY	PE	PP				PDV
Q	Quantity	QRC	QIC			QR	QI	QSH	QSL	QShL	QRT	QIT	QT	QY	QE					QZ
R	Radiation	RRC	RIC	RC		RR	RI	RSH	RSL	RShL	RRT	RIT	RT	RY	RE		RW			RZ
S	Speed/Frequency	SRC	SIC	SC	SCV	SR	SI	SSH	SSL	SShL	SRT	SIT	ST	SY	SE					SV
T	Temperature	TRC	TIC	TC	TCV	TR	TI	TSH	TSL	TShL	TRT	TIT	TT	TY	TE	TP	TW		TSE	TV
TD	Temperature, Differential	TDRC	TDIC	TDC	TDCV	TDR	TDI	TDSH	TDSL		TDRT	TDIT	TDT	TDY	TE	TP	TW			TDV
U	Multivariable					UR	UI							UY						UV
V	Vibration/Machinery Analysis					VR	VI	VSH	VSL	VShL	VRT	VIT	VT	VY	VE					VZ
W	Weight/Force	WRC	WIC	WC	WCV	WR	WI	WSH	WSL	WShL	WRT	WIT	WT	WY	WE					WZ
WD	Weight/Force, Differential	WDRC	WDIC	WDC	WDCV	WDR	WDI	WDSH	WDSL		WDRT	WDIT	WDT	WDY	WE					WDZ
X	Unclassified																			
Y	Event/State/Presence		YIC	YC		YR	YI	YSH	YSL				YT	YY	YE					YZ
Z	Position/Dimension	ZRC	ZIC	ZC	ZCV	ZR	ZI	ZSH	ZSL	ZShL	ZRT	ZIT	ZT	ZY	ZE					ZV
ZD	Gauging/Deviation	ZDRC	ZDIC	ZDC	ZDCV	ZDR	ZDI	ZDSH	ZDSL		ZDRT	ZDIT	ZDT	ZDY	ZDE					ZDV