



Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Projecte/Treball Final de Carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 1994

Títol:

Projecte d'una central d'energia elèctrica de 400 kW mitjançant concentradors solars i una turbina de vapor.

Document: Memòria i Annexes (Volum 1)

Alumne: Miquel Martí Carolà

Director/Tutor: Jordi Comas Baron/Josep Abel González

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: EC/FA

Convocatòria (mes/any): Juny/07

1	INTRODUCCIÓ	3
1.1	<i>Antecedents.....</i>	3
1.2	<i>Objecte.....</i>	4
1.3	<i>Especificacions i abast</i>	5
2	SOLUCIÓ ADOPTADA	6
2.1	<i>Sistema de captació de l'energia</i>	6
2.2	<i>Sistema de transport de l'energia</i>	6
2.3	<i>Sistema de transferència de calor del circuit primari al secundari.....</i>	7
2.4	<i>Sistema de transport del vapor</i>	7
2.5	<i>Sistema de generació d'electricitat</i>	8
2.6	<i>Sistema de tractament del vapor - líquid saturat de la turbina.....</i>	8
2.7	<i>Sistema de generació d'electricitat</i>	8
3	SITUACIÓ I EMPLAÇAMENT	9
4	CAMP DE COL·LECTORS SOLARS	10
5	TUB ABSORBIDOR.....	12
6	FLUID TRANSPORT ENERGIA CALORÍFICA	13
7	DISTRIBUICIÓ DEL FLUID SYL THERM 800.....	14
8	BESCANVIADOR DE CALOR	15
9	CIRCUIT DE TRANSPORT BESCANVIADOR - TURBINA.....	16
10	CONDENSADOR I DESGASIFICADOR	17
11	TURBINA DE VAPOR I GENERADOR	18
12	SISTEMA D'ADQUISICIÓ DE DADES	19
13	RECOLLIDORS D'AIGUA.....	20
13.1	<i>Càlcul del període de retorn i de precipitació pluvial:</i>	20

13.2	<i>Càlcul de la capacitat d'extracció d'aigua del col·lector.....</i>	<i>22</i>
13.3	<i>Disposició i especificacions dels col·lectors.....</i>	<i>23</i>
13.4	<i>Càlcul del comportament de la canonada de PVC enfront les càrregues externes:</i>	<i>23</i>
14	RESUM DEL PRESSUPOST	25
15	CONCLUSIONS	26
16	RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	27
17	BIBLIOGRAFIA.....	28

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

L'energia solar termoelèctrica, dins la qual si inclou la generació d'energia elèctrica mitjançant col·lectors cilindre – parabòlics, data de fa poc més de 20 anys a partir de les centrals SEGSⁱ a EUA. A Espanya mitjançant el RD 661/2007 s'ha definit el preu de l'energia elèctrica generada d'aquesta manera, donant un impuls amb aquest preu a la viabilitat dels projectes d'energia solar de concentració per la producció d'energia elèctrica. Tot i això, s'ha de tenir en compte que la falta d'unitat en la investigació de la tecnologia necessària per aquestes centrals fa que ens trobem en un estadi inicial de desenvolupament.

Pel que fa a la tecnologia de concentració mitjançant col·lectors cilindre – parabòlics ens trobem en els inicis del seu desenvolupament comercial i ja hi ha grans empreses energètiques que estan ultimant projectes per aprofitar aquesta font renovable d'energia.

S'ha de tenir en compte que gran part de la culpa que avui en dia l'energia solar termoelèctrica es trobi on està es deu a les anomenades centrals SEGS, ja que a part del propòsit comercial d'aquestes centrals, moltes d'elles s'han utilitzat com a laboratori de proves per diferents empreses (sobretot Solel Solar Systems Ltd., actual propietària d'aquestes centrals) per veure quines solucions tecnològiques són millors i s'adapten millor al futur i poder introduir al mercat de consum aquesta tecnologia amb el millor rendiment possible. També val la pena mencionar l'important paper en el desenvolupament de tecnologies realitzat per la Plataforma Solar de Almeria - CIEMAT amb la creació del concentrador Eutrough, la generació directa de vapor... que obre nous camins en el desenvolupament d'aquesta tecnologia.

ⁱ Sistemes de Generació Energètica Solars. Estan totes basades en col·lectors cilindre – parabòlics. Actualment n'existeixen 9, produint una potència de 354 MW.

1.2 Objecte

L'objecte d'aquest projecte és el de mitjançant les tecnologies desenvolupades actualment en el camp dels concentradors cilindre – parabòlics realitzar un estudi de la viabilitat, de la instal·lació necessària i del cost econòmic d'una central d'energia termoelèctrica fictícia a la zona de Tarragona.

Per estudiar la viabilitat d'aquesta central es disposa de dades de radiació solar mesurades a la Universitat de Girona (tot i no ser de la zona de Tarragona es poden considerar bastant semblants i sempre seran inferiors a les d'allà degut a les menors hores de sol de la zona de Girona que la de Tarragona) de l'any 2004.

Mitjançant aquests valors es crearà una fulla de càlcul sobre el programa Excel en el qual es tindrà en compte la trajectòria solar i amb ella les hores de sol, l'angle d'incidència de la radiació, la part de radiació directe, rendiments... fins obtenir la quantitat d'energia que podem extreure del sol i la quantitat de superfície de captació necessària per generar 1 MWⁱ d'energia elèctrica utilitzant captadors cilindre – parabòlics.

Es buscarà l'òptim de superfície de captació per la generació d'aquest MW, de tal manera que es pugui amortitzar la inversió en el menor temps possible, tenint en compte el cost de la instal·lació i el preu del kWh de l'electricitat generada a partir d'energia termosolar.

A partir d'aquest òptim es calcularà de manera teòrica els elements bàsics necessaris per poder generar aquest MW d'energia elèctrica, tenint en compte l'estadi inicial de desenvolupament d'aquesta tecnologia i tipus de central.

Aquesta central s'ubicarà en una plataforma de 190 per 325 metres situada en el Pradell de la Teixeta, en la qual aprofitant el present projecte s'adequarà el camí d'accés per evitar l'erosió d'aquest degut a les pluges, creant uns recollidors d'aigua encarregats de desaiuar-la abans que l'erosioni.

ⁱ A l'annex D, pàg. 81 dels annexes s'especifiquen els motius que han dut a incrementar les especificacions inicials de 400 kW a 1 MW de potència.

1.3 Especificacions i abast

- El present projecte abastarà:

Estudi i anàlisi de la radiació disponible.

Estudi de la radiació aprofitable.

Estudi de l'òptim de col·lectors solars per treballar a cost de generació mínim.

Estudi del rendiment econòmic.

Disseny de la instal·lació en funció d'aquest òptim.

Especificacions mínimes a exigir pels concentradors cilindre – parabòlics.

Especificacions mínimes a exigir pels bescanviadors.

Especificacions mínimes a exigir per la turbina.

Condicionament del camí d'accés a la instal·lació.

2 SOLUCIÓ ADOPTADA

A partir de l'estudi per trobar la superfície de captació òptima per la instal·lacióⁱ, la solució adoptada és la que s'especifica resumidament a continuacióⁱⁱ:

2.1 Sistema de captació de l'energia

Camp de concentrador solars format per 15 files de col·lectors de 144 metres de longitud.

Cada col·lector està format per 12 concentradors cilindre - parabòlics tipus Eurotroughⁱⁱⁱ de 12 metres cadascun, units en sèrie fins a formar el col·lector de 144 metres.

Aquests concentradors són els encarregats de captar la radiació directe procedent del sol per concentrar-la al tub absorbidor de la companyia Solel Solar Systems Ltd. UVAC, situat al focus lineal de la paràbola.

2.2 Sistema de transport de l'energia

El fluid transportador de calor (HTF^{iv}) Syltherm 800 serà l'encarregat d'absorbir l'energia captada al camp de col·lectors solars i concentrada als tubs UVAC en forma d'energia tèrmica.

El fluid Syltherm 800 entrarà a 200 °C i sortirà a 350 °C de cada fila de col·lectors.

Per generar 1 MW de potència elèctrica a la turbina es necessitarà moure un cabal de 81.000 kg/h de Syltherm 800 escalfat fins els 350 °C mencionats anteriorment.

Mitjançant canonades convenientment aïllades tèrmicament i amb l'energia proporcionada mitjançant bombes hidràuliques aquest fluid es distribuirà fins al bescanviador de calor.

ⁱ Annex H. Càlcul òptim econòmic de la instal·lació. Pàg. 119 dels annexes.

ⁱⁱ Els detalls que han dut a aquesta solució es troben exposats en els annexos.

ⁱⁱⁱ Annex C.1. Característiques del col·lector Eurotrough. Pàg. 52 dels annexes.

^{iv} Heat Transfer Fluid

Segons la calor captada pel camp de col·lectors les bombes faran circular més o menys cabal de HTF. En el cas de tenir una energia suficient per produir un cabal de 81.000 kg/h d'HTF a 350 °C, que permet produir 1 MW elèctric, les bombes faran circular aquest cabal fins el bescanviador, per produir la transferència d'energia. En el cas de no tenir prou calor, es circularà menys cabal, fent passar el fluid més lentament pels col·lectors per obtenir els 350 °C a la sortida. En aquest cas no es generarà el 100% de la potència.

2.3 Sistema de transferència de calor del circuit primari al secundari

S'instal·laran dos bescanviadors encarregat de transferir la calor transportada pel fluid Syltherm 800 a l'aigua tractada del circuit de la turbina.

En el primer bescanviador el fluid Syltherm 800 entrarà a 350 °C i sortirà a 250 °C. Pel que fa a l'aigua, entrarà a 200 °C i 20 bars i sortirà com a vapor sobreescalfat a 300 °C i 20 bars.

Per generar 1 MW d'energia elèctrica a la turbina es necessita un cabal de vapor de 6.600 kg/h, generable a partir dels 81.000 kg/h de fluid Syltherm 800 suposant un rendiment del bescanviador del 85%.

El segon bescanviador s'utilitzarà per preescalfar l'aigua procedent del desgasificador fins els 200 °C. Aquest bescanviador secundari utilitzarà el fluid Syltherm 800 de la sortida del bescanviador principal de 250 °C, sortint a 200 °C per tornar al camp de col·lectors solars.

2.4 Sistema de transport del vapor

El vapor sobreescalfat generat al bescanviador principal serà portat a l'entrada de la turbina mitjançant un sistema de canonades convenientment aïllades tèrmicament.

Un sistema de control decidirà per quantes tuberes d'entrada, de les 3 disponibles a la turbina AFA 6 de la casa KKK, s'introdueix cabal de vapor. En el cas de tenir els 6.600 kg/h de cabal per generar 1 MW d'energia elèctrica s'usaran les 3. En el cas de tenir només 1/3 del cabal disponible, tan sols utilitzarem 1 tubera per mantenir el rendiment de la turbina constant. En casos intermedis es decidirà segons el rendiment.

Un cop turbinat el vapor, es recollirà la mescla vapor - líquid saturat a 45,83 °C i 0,1 bars de la sortida i es portarà al sistema de tractament per retornar al circuit secundari.

2.5 Sistema de generació d'electricitat

Es disposarà d'una turbina de vapor AFA 6 de la casa KKK, capaç de generar fins a 1 MW de potència elèctrica amb un cabal de 6.600 kg/h de vapor sobreescalfat a 20 bars i 300 °C.

La turbina disposarà de reguladors de cabal per tal d'aconseguir un rendiment el màxim d'uniforme possible tot i les variacions de cabal disponible que es puguin generar.

A l'entrada de la turbina el vapor entrarà a 300 °C i 20 bars (vapor sobreescalfat) i a la sortida recollirem vapor i aigua a 45,83 °C i 0,1 bars absoluts (per sota la pressió atmosfèrica).

2.6 Sistema de tractament del vapor - líquid saturat de la turbina

La mescla de vapor - líquid saturat de la sortida de la turbina es fa passar per un condensador per tal d'absorbir la calor latent que encara conté i obtenir líquid 100%.

Un cop obtingut el líquid saturat a 45,83 °C de la sortida del condensador es fa passar pel desgasificador per extreure els gasos absorbits a la turbina i es torna al circuit secundari per tornar-se a escalfar.

2.7 Sistema de generació d'electricitat

Un generador d'energia elèctrica trifàsica a 690 V i 1 MW, unit amb l'eix de la turbina serà l'encarregat de convertir l'energia mecànica extreta del vapor a energia elèctrica aprofitable per enviar a la xarxa.

L'energia elèctrica generada serà transformada a 25 kV per tal d'introduir-se a la xarxa de distribució elèctrica mitjançant un transformador.

3 SITUACIÓ I EMPLAÇAMENT

La instal·lació es situarà en el terme municipal de Duesaigües, en una plataforma en el Pradell de la Teixetaⁱ.

Es disposa d'una plataforma adequada de 190 per 325 metres on s'ubicarà el camp solar i els elements necessaris per generar energia elèctrica (turbina, generador, bescanviadors de calor, canonades...).

Per accedir a la plataforma existeix un camí que l'uneix amb la carretera CN – 420, que va de Tarragona a Còrdova, passant per Cuenca. El pendent d'aquest està suavitzat. Primer degut al pas de la nova carretera i que va asfaltar la meitat del camí i segon per assegurar que els camions utilitzats en l'acondicionament d'aquesta eren capaços de superar el pendent. En els plànols de perfils longitudinals, inclosos en el present projecte, es pot veure la suavització que va rebre el pendent del camí.

Per altra banda, degut a les fortes pendents que hi ha als costats del camí, en dies de fortes pluges l'aigua que recull la conca baixa cap al camí erosionant-lo. Per resoldre aquest problema s'ha estudiat el cas de les precipitacions pluviomètriques per un període de retorn de 5 anys, mitjançant dades cedides pel Servei Català de Meteorologia dels observatoris de Botarell i Falset, pròxims a la zona on es troba la plataforma. S'ha trobat que el cabal que recull la conca en 10 minuts per una intensitat de precipitació de 57,75 mm/10min (valor límit per un període de retorn de 5 anys) és de 665,89 l/s. Per tal que aquest volum d'aigua no erosioni la part de camí sense asfaltar es faran dos recollidors d'aigua amb una capacitat de desaiguar 1.093 l/s cada un. Al plànol recollidors d'aigua es pot veure la ubicació d'aquests.

ⁱ Veure el plànol d'emplaçament i situació.

4 CAMP DE COL·LECTORS SOLARS

El camp de col·lectors solars serà rectangular, amb una extensió de 150 per 250 metres en el qual si ubicaran els col·lectors.

Els col·lectors que s'instal·laran en el camp agafaran com a referència les especificacions i característiques del concentrador Eurotrough, desenvolupat per un consorci d'empreses i que serveix de plataforma de proves a la Plataforma Solar de Almeria - CIEMAT. Actualment són els que agafen de referència en els càlculs i desenvolupament de concentradors la gran majoria d'empreses del sector.

S'oferirà a totes les empreses que estiguin interessades en la fabricació d'aquests concentradors la possibilitat de realitzar un projecte que compleixi els requisits mínims exigits en el present projecte, especificats a l'annex C.

S'atorgarà el contracte a l'empresa que es cregui que ofereix les millors condicions.

Tots els càlculs posteriors i la disposició d'aquests col·lectors s'han realitzat agafant com a referència les especificacions dels concentradors Eurotrough. Degut a què si els concentradors fabricats per la nostre central ofereixen millors especificacions que les mínimes, es podrà assegurar que el rendiment que s'obtindrà serà superior al calculat en un principi.

Amb les especificacions mínimes exigides s'obtenen els següents resultats:

El camp es compondrà de 15 files de col·lectors, encarats per l'eix longitudinal d'aquests en la direcció nord – sud.

Cada fila de col·lectors estarà composta per 12 mòduls de concentrador tipus Eurotrough connectats en sèrie. Cada mòdul té una longitud de 12 metres, obtenint una longitud total de col·lector de 144 metres.

El seguiment de la trajectòria solar es farà mitjançant un sistema d'accionament hidràulic per cada col·lector, ja que les grans dimensions dels concentradors utilitzats recomanen un sistema d'aquest tipus i no elèctric.

El desenvolupament d'aquest sistema de seguiment anirà a càrrec de la mateixa empresa que fabriqui els concentradors (s'haurà d'incloure en el projecte dels concentradors) i haurà de tenir un error en l'angle de seguiment del sol menor a 2 mrad per tal de garantir la

concentració correctament en el tub absorbidor.

Aquest sistema de seguiment encararà el col·lector cap al rajos directes del sol des que aquests apareguin per l'est fins a la posta, a l'oest, de tal manera que s'aprofiti la màxima quantitat de d'irradiància.

La separació entre files de col·lectors serà de 17,3 metresⁱ. Amb aquesta separació s'aconsegueix que quan l'altura del sol és de 18,5° no es tenen pèrdues geomètriques en la captació de radiació degut a que un col·lector faci ombra a un altre situat darrera seu.

A més d'això, s'aconsegueix que degut a la gran distància entre col·lectors s'evitin problemes en el procés de neteja dels miralls i els receptors dels col·lectors, realitzat per camions especialment dissenyats per aquesta feina. Evitant així una disminució de l'eficiència degut a la brutícia acumulada.

ⁱ Annex C.7.1. Pèrdues geomètriques, pàg. 72 dels annexes.

5 TUB ABSORBIDOR

El tub absorbidor de l'energia captada pels concentradors serà el tub receptor UVAC de la companyia Solel Solar Systems Ltd.

Aquest tub absorbidor té unes dimensions de 4,06 m de longitud i 115 mm de diàmetre, de tal manera que cada concentrador de 12 metres de longitud portarà 3 tubs receptors UVAC a la seva línia focal.

Els rendiments del tub absorbidor i la seva capacitat de captació de la radiació estan calculats a l'annex C.4, pàgina 59 dels annexes.

Forma part del projecte a realitzar per l'empresa encarregada dels concentradors solar la integració d'aquest tub en el conjunt del col·lector. Les especificacions mínimes exigides es mostren a l'annex C, pàgina 52 dels annexes.

6 FLUID TRANSPORT ENERGIA CALORÍFICA

El fluid utilitzat per transportar l'energia calorífica absorbida en el tub receptor UVAC dels col·lectors serà el fluid transportador de calor Syltherm 800 de la companyia química Dowⁱ.

Té un rang d'utilització des dels -40 °C fins els 400 °C, de tal manera que no ens caldrà preocupar-nos de la possibilitat de que es congeli el fluid.

Absorbirà el calor del camp de col·lectors i el transportarà passant per un sistema de distribució fins el bescanviador de calor, on cedirà el calor per produir vapor.

Aquest fluid transportador de calor Syltherm 800, entrarà a cada col·lector a una temperatura de 200 °C, passant per l'interior del tub UVAC i captant la calor concentrada en aquest tub. A mesura que va circulant pel col·lector s'anirà escalfant fins arribar a una temperatura de 350 °C a la sortida del col·lector.

ⁱ Annex G. Informació comercial Syltherm 800. Pàg 117 dels annexes.

7 DISTRIBUICIÓ DEL FLUID SYLTHERM 800

Es disposarà d'un circuit de canonades, bombes, vàlvules, acumuladors... per tal de transportar el fluid Syltherm 800 del camp de col·lectors al bescanviador de calor. Aquest circuit també formarà part de les exigències del projecte de disseny dels concentradors.

El cabal transportat variarà en funció de la radiació disponible en el camp de col·lectors, amb una capacitat de transport de 81.000 kg/h de Syltherm 800 fins al bescanviador. Cabal amb el qual es generarà 1 MW d'energia elèctrica a la turbina.

En cas de no disposar de prou irradiància, el sistema de control disminuirà el cabal, fent passar el fluid Syltherm 800 més lentament pels col·lectors per tal que tingui més estona per captar la calor i aconseguir a la sortida del col·lector els 350 °C. En aquest cas es transportarà menor quantitat de cabal i per tant es generarà menys energia elèctrica.

El sistema de control serà capaç de fer recircular el fluid en circuit tancat en cas de no tenir prou flux de radiació per aconseguir el cabal mínim exigible per fer girar la turbina, per preescalfar el fluid a primeres hores del matí...

Les canonades de transport del fluid estaran convenientment aïllades tèrmicament per tal de tenir la menor quantitat possible de pèrdues i seran capaces de suportar les pressions i temperatures del fluid.

A més d'això aniran enterrades mitjançant rases de formigó cobertes per una reixa metàl·lica, de tal manera que no impedeixin el pas dels vehicles de manteniment i alhora sigui senzill el seu accés en cas de que s'hagi de realitzar alguna reparació o operació de manteniment.

8 BESCANVIADOR DE CALOR

S'utilitzaran dos bescanviadors, un de principal, on el fluid tèrmic Syltherm 800 entrarà a 350 °C i sortirà a 250 °C, cedint la calor a l'aigua que passa pel circuit de la turbina. L'aigua de la turbina entrarà en aquest bescanviador principal a 200 °C i 20 bars per sortir com a vapor sobreescalfat a 300 °C i 20 bars.

Pel que fa al segon bescanviador, s'utilitzarà per preescalfar l'aigua de la turbina fins als 200 °C previs abans d'entrar al bescanviador principal. El fluid tèrmic entrarà a aquest bescanviador secundari a 250 °C i sortirà a 200 °C per retornar cap al camp de col·lectors.

El cabal de vapor sobreescalfat capaç de generar-se en el bescanviador principal serà de 6.600 kg/h a partir d'un cabal de 81.000 kg/h de Syltherm 800.

El rendiment del bescanviador instal·lat s'exigirà com a mínim del 85 %.

9 CIRCUIT DE TRANSPORT BESCOBIADOR - TURBINA

El vapor saturat a 300 °C i 20 bars procedent del bescanviador es transportarà cap a la turbina mitjançant canonades convenientment aïllades tèrmicament per tal de reduir en la mesura del possible les pèrdues tèrmiques en el vapor.

Un sistema de control i distribució s'encarregarà de decidir segons el cabal de vapor generat en el bescanviador a quantes tuberes de la turbina es distribueix el vapor. Pel vapor nominal de 6.600 kg/h s'introduirà vapor a la turbina per les 3 tuberes. En cas de disposar de menys cabal el sistema de control decidirà quan cabal aprofitem per tal d'aconseguir fer treballar la turbina al rendiment més elevat possible.

A la sortida de la turbina es recollirà la mescla de vapor - líquid saturat a 45,83 °C i 0,1 bars per distribuir-se cap al condensador i un cop passat pel condensador i obtingut líquid saturat 100 % es transportarà cap al desgasificador per adequar el fluid per tornar al circuit de generació de vapor.

Abans d'enviar-se al bescanviador de preescalfament, una bomba s'encarregarà de donar energia al fluid i d'augmentar la pressió d'aquest fins als 20 bars.

Tot aquest circuit de transport i distribució serà projectat per l'empresa Pasch i adquirit posteriorment.

10 CONDENSADOR I DESGASIFICADOR

La mescla vapor - líquid saturat extret de la turbina tindrà un títol aproximat del 90 % vapor i del 10 % líquid a 45,83 °C i 0,1 bars absoluts.

Aquesta mescla es farà passar per un condensador, on un circuit d'aigua absorbirà el calor latent del vapor de la mescla fins a obtenir líquid 100 %. La calor absorbida per aquesta aigua es refrigerarà en una torre de refrigeració externa.

Un cop obtingut líquid 100 %, aquest s'enviarà al desgasificador per tal d'extreure els gasos que pugui haver absorbit en el seu pas per la turbina i poder utilitzar-lo de nou en el circuit de generació de vapor.

El conjunt condensador, torre de refrigeració i desgasificador, a més de tot el sistema de distribució entre ells serà adquirit a l'empresa Pasch juntament amb el conjunt turbina – generador - transformador.

11 TURBINA DE VAPOR I GENERADOR

Per transformar l'energia calorífica del vapor procedent del bescanviador a energia mecànica s'utilitzarà una turbina de vapor que treballi amb vapor sobreescalfat.

La turbina de vapor escollida serà una turbina AFA 6 de la casa KKK (Kühnle, Kopp & Kausch) que serà projectada i subministrada per l'empresa Pasch.

És una turbina d'1 MW, capaç de generar aquesta potència elèctrica a partir d'un cabal de 6.600 kg/h de vapor sobreescalfat a una temperatura de 300 °C i 20 bars.

El disseny es modular, amb la qual cosa es fàcil d'adaptar a les diferents condicions de disseny, a més de ser molt robusta i ideal per arrencaments i parades freqüents, cosa que ens interessa pel nostre tipus de central, on es depèn del sol (disponibilitat discontinua de l'energia) com a font de combustible.

El projecte de la turbina juntament amb la instal·lació, la posta a punt, manteniment... i el sistema de transport de vapor del bescanviador fins la turbina i viceversa, més el sistema de tractament del vapor humit de la sortida de la turbina (condensador, torre de refrigeració i desgasificador) serà realitzat per la companyia Pasch.

El projecte consistirà en l'adaptació de la turbina AFA 6 a les condicions de disseny de pressió i temperatura del vapor (20 bars i 300 °C).

El projecte també inclourà el disseny del generador elèctric encarregat de transformar l'energia mecànica de la turbina en energia elèctrica amb tot el que això implica (multiplicador, instal·lació elèctrica, seguretats, control...), el tractament del vapor humit de sortida de la turbina (0,1 bars, inferior a la atmosfèrica, i 45,83 °C) fent-lo passar per un concentrador i desgasificador, la torre de refrigeració per refredar l'aigua del concentrador i el retorn de l'aigua al circuit de distribució per enviar-se de nou al bescanviador.

S'exigirà en el projecte que desenvolupi l'empresa Pasch que la calor necessària per preescalfar el fluid procedeixi del fluid Syltherm 800 que surt del bescanviador de calor principal a una temperatura de 250 °C.

12 SISTEMA D'ADQUISICIÓ DE DADES

Es disposarà d'un centre d'adquisició que emmagatzemarà les dades de generació, posició dels col·lectors, temperatura del fluid tèrmic, cabal disponible... en tot moment. Aquest ordinador ens donarà informació del que s'està generant en cada moment, el rendiment de la instal·lació, de la turbina, la calor aprofitada, la quantitat d'electricitat enviada a la xarxa...

Ens servirà de plataforma d'estudi de possibles errors, ens donarà informació de possibles millores per tal d'augmentar el rendiment en futures modificacions, localització i motiu d'avaries..

13 RECOLLIDORS D'AIGUA

La pista o camí que uneix la carretera amb la plataforma on s'ha d'ubicar la instal·lació es troba exposada a fortes erosions degut a l'acció de les precipitacions.

El marge de la pista és una conca de 6917,27 m² amb un fort pendent. Tota l'aigua recollida en la precipitació és enviada al camí on es formen petits torrents que l'erosionen.

Per solucionar aquest problema s'instal·laran dos col·lectors d'aigües pluvials al camí per tal de recollir i desauguar les aigües procedents d'aquestes precipitacions i evitar i/o disminuir l'erosió a l'accés a la planta de generació i camp solar.

13.1 Càlcul del període de retorn i de precipitació pluvial:

Els càlculs de precipitació s'han realitzat a partir de dades d'intensitat de precipitació mitjana en un període de 30 minuts, cedides pel Servei Meteorològic de Catalunya.

Els valors donats són la pluja acumulada cada 30 minuts (en mm), recollits en els observatoris de Botarell (des del 1998 fins al 2005 inclòs) i Falset (des del 1996 fins al 2004).

S'ha decidit treballar amb les dades d'aquests dos observatoris per la proximitat a la plataforma on s'instal·larà la instal·lació.

El període de retorn (mitjana d'anys pels quals es succeeix una precipitació que superi un valor donat, equivalent a la inversa de la freqüència o probabilitat que una precipitació d'aquesta intensitat es produeixi) s'ha calculat utilitzant el Mètode de Gumbel.

Aquest mètode ens permet obtenir a partir d'una sèrie anual d'intensitats mitjanes màximes, la intensitat mitjana màxima corresponent a un cert període de retorn.

Per tant, a partir de les dades de precipitació cedides s'ha buscat la intensitat mitjana màxima de pluja cada any (en un període de 30 min) obtenint els següents resultats, ordenats de menys a més intensitat:

Nombre d'ordre	Intensitat Mitja Màxima Anual mm/30 min
1	9
2	9,2
3	11,2
4	11,6
5	13,4
6	13,6
7	15,4
8	16,6
9	18,8
10	19
11	19,2
12	19,4
13	20,6
14	27
15	31
16	37,4
17	57

Taula 13-1: Valors de les intensitats màximes anuals ordenades de menys a més precipitació recollida en 30 min. Hi ha 8 valors procedents de l'observatori de Botarell i 9 valors de Falset.

Hi ha 8 valors procedents de l'observatori de Botarell i 9 valors de Falset.

A partir d'aquestes dades i procedint amb el mètode obtenim la següent funció distribució de Gumbel:

$$F(x) = e^{-e^{(-0,089 \cdot (x-14,708))}} \quad (\text{Eq. 13-1})$$

I a partir d'aquesta podem obtenir el període de retorn:

$$T(x) = \frac{1}{1-F(x)} \quad (\text{Eq. 13-2})$$

S'escull un període de retorn de 5 anys, amb la qual cosa la precipitació obtinguda és de 31,56 mm/30 min.

A continuació, mitjançant el Mètode de Nadal es troba la intensitat mitja màxima per un interval de referència de 10 min, que és el que utilitzarem en el càlcul del número de col·lectors d'aigua.

Obtenim el següent valor de precipitació:

Intensitat mitja màxima per un interval de referència de 10 min = 962,54 l/s·ha.

Mitjançant el plànol en planta de la zona de construcció de la instal·lació, s'obté la superfície de la conca de recollida d'aigua que ens produeix problemes d'erosió, de tal manera que mitjançant les hectàrees de la conca i la intensitat de pluja calculada anteriorment s'obté el cabal d'aigua d'escorrentia. De cara a la seguretat, i com a conseqüència de l'elevat pendent de la zona estudiada, s'ha considerat el coeficient d'escorrentia igual a 1.

El cabal obtingut és el següent:

Àrea de la conca: 6.917,27 m²

Àrea en hectàrees: 0,691727 ha

Cabal recollit: 665,8184581 l/s

13.2 Càlcul de la capacitat d'extracció d'aigua del col·lector.

La capacitat que tindrà el col·lector d'extreure les aigües pluvials es calcularà mitjançant la fórmula de Manning-Strickler.

El material escollit per la canonada d'extracció serà PVC, de diàmetre nominal 500 mm. El desnivell aplicat a la canonada, serà d'un metre vertical per cada sis metres horitzontals, és a dir, un pendent de 0,167.

Mitjançant aquestes dades i utilitzant pel càlcul un coeficient de rugositat mitjà ($K = 100$), obtenim els següents valors:

- Suposant que la canonada s'omplirà fins 0,7 vegades el diàmetre intern:

Velocitat mitjana del flux d'aigua = 10,26 m/s

Cabal de flux d'aigua = 1093 l/s

- Suposant que s'omplirà tota la canonada:

Velocitat mitjana del flux d'aigua = 9,17 m/s

El cabal de flux d'aigua = 1306 l/s

S'utilitzarà el cabal obtingut suposant l'ompliment de 0,7 vegades el diàmetre intern per tal de treballar amb un cert marge de seguretat, 1093 l/s.

13.3 Disposició i especificacions dels col·lectors.

La disposició dels col·lectors queda definida en el plànol de recollidors d'aigua.

Pel que fa a la posició respecte l'ample del camí, els col·lectors es posaran (agafant com a referència el perfil transversal) al costat on puja la paret de la muntanya, ja que l'aigua es farà córrer pel marge que queda entre l'ample del camí i la paret de la muntanya.

L'arqueta del col·lector serà un cub d'obra obert per la part superior i amb una sortida per la canonada de PVC de 500 mm de diàmetre nominal a la part inferior de la paret lateral que mira a la pendent, 0,8 m de la generatriu del tub a la superfície del terreny. En el plànol de detall recollidor d'aigua es poden veure les especificacions dels recollidors.

13.4 Càlcul del comportament de la canonada de PVC enfront les càrregues externes:

Es comprova que la canonada de PVC és capaç de suportar les accions provocades per càrregues externes tals com el pas de vehicles utilitzant la norma UNE 53331 IN.

La canonada es col·locarà en una rasa d'1 m d'amplada i a una profunditat per sobre la generatriu de la canonada de 0,8 metres a l'extrem d'unió amb el col·lector (punt de menys profunditat).

El tipus de terra de la rasa és terreny poc cohesiu i el compactat de reomplert de la rasa es realitzarà posteriorment.

La comprovació es realitzarà pel tipus de trànsit més desfavorable que ens ofereix la norma (trànsit pesat).

- Segons la norma:

Pressió vertical sobre el tub a llarg termini serà de 84,5 kN/m²

Pressió lateral sobre el tub a llarg termini serà de $4,49 \text{ kN/m}^2$

Reacció màxima lateral del terra sobre el tub a llarg termini $5,39 \text{ kN/m}^2$

Analitzant aquests resultats segons la norma es veu que la deformació de la canonada és molt inferior al valor límit de la norma (5 % a llarg termini):

Valor de deformació obtingut a llarg termini = $0.86 \% < 5 \%$

Analitzant les sol·licitacions a què està sotmesa la canonada s'obtenen els següents valors d'esforços a llarg termini:

- Esforços tangencials màxims:

llarg termini			
clau	ronyons	base	
5,370043901	-6,00575471	6,24976864	N/mm^2

Taula 13-2: Valors dels esforços tangencials màxims a llarg termini de la canonada.

Complim els coeficients de seguretat que ens exigeix la norma pel que fa a les sol·licitacions.

Es compleixen tots els requisits exigits a la norma UNE 53331 IN.

14 RESUM DEL PRESSUPOST

Núm. unitat d'obra	Descripció	Preu
1	Conjunt turbina	850.000 €
2	Conjunt bescanviadors	500.000 €
3	Conjunt condicionament fluid sortint de la turbina	150.000 €
4	Conjunt col·lector cilindre – parabòlic	2.496.640 €
5	Conjunt Syltherm 800	272.320,92 €
6	Recollidor d'aigües pluvials	962,88 €
Pressupost d'execució material		4.269.923,8 €
Despeses Generals (13%)		555.090,09 €
Benefici Industrial (6%)		256.195,43 €
Pressupost d'execució per contracte a falta d'IVA		5.081.209,32 €
16% IVA		812.993,49 €
Pressupost d'execució per contracte		5.894.202,81 €

Puja el pressupost d'execució per contracte la quantitat de CINC MILIONS VUIT-CENTES NORANTA-QUATRE MIL DOS-CENTS DOS EUROS amb VUITANTA-UN CÈNTIMS.

15 CONCLUSIONS

El present projecte compleix els objectius de disseny d'una instal·lació de generació d'energia elèctrica a partir de captadors cilindre – parabòlics d'energia solar i inclou les especificacions mínimes a tenir en compte a la hora de l'execució i posada en obra d'aquest.

A més, amb l'estudi de l'energia aprofitable present en els annexes queda perfectament definit el rang de radiació solar directe que es podria aprofitar en una instal·lació situada a la Universitat de Girona i per extensió a l'emplaçament de la instal·lació a Pradell de la Teixeta.

Tot i això, s'ha de tenir en compte que és una instal·lació no finançable ja que els bancs exigeixen en els préstecs una ràtio ingressos/pagaments igual o superior a 1,3. En aquest projecte, per obtenir una ràtio d'aquest nivell es necessitarien (calculat suposant un leasing al 5,5% d'interès fix) més de 30 anys, la qual cosa el fa totalment inviable. A més d'això, t'exigeixen que fins que no s'ha dotat d'un fons indisponible de l'import de pagament d'un semestre, no es poden repartir beneficis.

Actualment, per tant, si s'ha de realitzar aquesta instal·lació de generació d'energia elèctrica a partir de captadors cilindre – parabòlics, s'han de considerar mètodes per reduir el cost de l'electricitat generada, com poden ser l'aprofitament d'altres fonts d'energia en hores de poca o nul·la radiació solar com la biomassa, el gas natural... i intentar aprofitar sistemes d'emmagatzament de l'energia calorífica excedent per períodes de poca activitat solar.

16 RELACIÓ DE DOCUMENTS

Els documents que constitueixen el present projecte titulat "Projecte d'una central d'energia elèctrica de 400 kW mitjançant concentradors solars i una turbina de vapor", són:

- Document núm. 1 Memòria i annexes.
- Document núm. 2 Plànols.
- Document núm. 3 Plec de Condicions.
- Document núm. 4 Estat d'amidaments i pressupost.

17 BIBLIOGRAFIA

- Llibres:

DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. Solar Engineering of thermal processes. Editorial Wiley Interscience. USA. 1991.

WINTER, C. J., SIZMANN, R. L., VANT-HULL, L. L. Solar power plants. Springer-Verlag. Heidelberg. 1991.

GARCIA-BADELL, JOSÉ J. Cálculo de la energía solar. Colección: Monografías I.N.I.A. nº 40. Instituto nacional de investigaciones agrarias. Madrid. 1983.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft visual basic 6.0, referencia del lenguaje. McGraw Hill. Madrid. 1999.

MATAIX, C. Turbomaquinas térmicas. Editorial Dossat, S.A. Madrid. 1988.

SEGURA CLAVELL, J. Termodinamica técnica. Editorial Reverté, S.A. Barcelona. 1999.

CATALA MORENO, F. Calculo de caudales en las redes de saneamiento. Colección Señor nº 5. Paraninfo, S.A. Madrid. 1989

ROSAS CASALS, M., CENDRA GARRETA, J., Energia solar tèrmica. Edicions UPC. Barcelona. 2001.

Atlas de radiació solar de Catalunya. Estudis monogràfics núm. 12. Generalitat de Catalunya. Setembre 2001.

- Material obtingut a la xarxa:

Conceptos básicos de astronomía. Universidad de Granada.
(www.ugr.es/~jjimenez/Conceptos.pdf, 14 de febrer)

Dr. LEONARDO, J., SÁNCHEZ, P. Curso de astronomía observacional.
(www.astrocu.unam.mx/~leonardo/Clases/ClasesAstroObs_2007_I/Temario/TemarioClasesAstrObs_2007-I.pdf, 14 de febrer)

Coordenadas astronómicas. (<http://www.astrosurf.com/astrosur/coordenadas.htm>, 20 de febrer)

Solar parabolic trough. (www.solarpaces.org/CSP_Technology/docs/solar_trough.pdf, 22 de febrer)

GREENPEACE. Concentrated solar power - now!
(www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/Concentrated-Solar-Thermal-Power.pdf, 5 de març)

European research on concentrated solar thermal energy. European comission.
(www.docrenewableenergy.info/en_f-15~d-34528~n-renewable+energy+thermal+solar+European+Research+on+Concent..., 5 de març)

PILKINGTON. Solar thermal power - now. (www.solarpaces.org/EUREC-Position_Paper_STPP.pdf, 5 de març)

UVAC. (www.solel.com 5 de març)

Syltherm 800. Product information. (www.benney.com.au/adobe/GS_Syltherm_800.pdf, 6 de març)

Dr. KEARNEY, D. W. Parabolic trough collector overview. National Renewable Energy Laboratory. (www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/2007/kearney_collector_technology.pdf, 10 d'abril de 2007)

Solel #6, the sixth generation solar field
(www2.technion.ac.il/~ises/papers/SOLEL%20pdf.pdf, 10 d'abril de 2007)

Dr. ROMERO ÁLVAREZ, M. Director plataforma solar de Almería – CIEMAT.
(www.uib.es/facultat/ciencias/prof/victor.martinez/recerca/jornadesI/ManuelRomero/CSP_Termoelectrica.pdf, 14 de Març)

LÜPFERT, E., GEYER, M., SCHIEL, W., ESTEBAN, A., OSUNA, R., ZARZA, E., NAVA, P.
Eurotrough – Design issues and prototype testing at PSA.
(www.p2pays.org/ref/22/21028.pdf, 12 d'abril de 2007)

SILVA PÉREZ, M. Sistemas termosolares de concentración.
(www.esi.us.es/php/infgen/aulav/energrenov/ER-STC-04-05.pdf, 17 d'abril)

Plan de energías renovables en España 2005 – 2010.

(www.mityc.es/NR/rdonlyres/ABE32C70-8B20-42FF-9E0D-593EA6B860F2/0/6Cap34_SectorTermoelectrico.pdf, 8 de maig)

Dr. KEARNEY, D. Concentrating solar power plants in operation or construction in the U.S. southwest. (www.repartners.org/webcast/111706nrelcsp3.ppt, 8 de maig)

ROMÁN MEDINA, E. La energía solar térmica aplicada a la producción de electricidad. (revista.robotiker.com/.../articulo.do;jsessionid=28790CA3782B29F54B15935CBF2D6A08?method=detalle&id=58, 8 de maig)

KELLY, B., KEARNEY, D. Parabolic trough solar system piping model. National Renewable Energy Laboratory. (www.nrel.gov/docs/fy06osti/40165.pdf, 31 de maig)

PRICE, H. A parabolic trough solar power plant simulation model. National Renewable Energy Laboratory. (www.osti.gov/bridge/servlets/purl/15003230-z5RNaf/native/15003230.pdf, 31 de maig)

PRICE, H., FORRISTALL, R., WENDELIN, T., LEWANDOWSKI, A., Field survey of parabolic trough receiver thermal performance. National Renewable Energy Laboratory. (www.nrel.gov/docs/fy06osti/39459.pdf, 31 de maig)

MAY, E.K., FORRISTALL, R. Development and testing of a power trough system using a structurally-efficient, high-performance, large-aperture concentrator with thin glass reflector and focal point rotation. National Renewable Energy Laboratory. (www.nrel.gov/docs/fy06osti/39208.pdf, 1 de juny)

Kipp & Zonen. Instruction Manual, CM 121 shadow ring. (www.kippzonen.com/download/kipp_manual_cm121bcshadowring_1697.pdf, 18 de juny)

Consultes a la xarxa:

www.solel.com

www.pasch.es

www.ormat.com

www.solargenix.com

www.aps.com

www.solarpaces.org

www.kippzonen.com