



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 2)

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

A	ESTUDI DE LA RADIACIÓ DISPONIBLE PEL CAMP SOLAR.	4
A.1	<i>Càlcul de la trajectòria del sol.</i>	4
A.1.1	Macro pel càlcul d'angles d'azimut i altura solar (en pseudocodi).	6
A.1.2	Macro pel càlcul de l'angle d'azimut i d'altura solar en codi Visual Basic	18
A.2	<i>Radiació solar.</i>	29
A.3	<i>Càlcul de l'angle d'incidència al concentrador.</i>	32
A.4	<i>Anàlisi de resultats.</i>	35
A.4.1	Flux de radiació directe en un pla horitzontal acumulada durant el dia (MJ/m ²): 35	
A.4.2	Flux de radiació directe en un pla normal acumulada durant el dia (MJ/m ²):...	39
A.4.3	Flux de radiació directe en un concentrador amb l'eix longitudinal seguint la direcció N - S acumulada durant el dia (MJ/m ²):	43
A.4.4	Resultats mitjos per cada mes:	47
A.4.5	Resultats de flux i potència diària:	48
A.4.6	Comparació respecte la radiació normal extraterrestre	48
B	CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES PIRANÒMETRE	50
B.1	<i>Piranòmetre</i>	50
B.2	<i>Obtenció de la radiació directa.</i>	51
C	CARACTERÍSTIQUES CONCENTRADOR SOLAR	52
C.1	<i>Característiques del col·lector Eurotrough:</i>	52
C.2	<i>Geometria del concentrador</i>	53
C.3	<i>Estructura del concentrador.</i>	55
C.4	<i>Tub Absorbidor.</i>	59
C.4.1	Característiques tub UVAC	59
C.4.2	Propietats generals	61
C.4.3	Detector de buit	63
C.4.4	Arxiu d'imatges tub UVAC	65
C.5	<i>Sistema de seguiment</i>	66
C.6	<i>Reflectors</i>	69
C.7	<i>Càlcul de rendiments. Pèrdues.</i>	70

C.7.1	Pèrdues geomètriques.....	70
C.7.2	Pèrdues òptiques.....	75
C.7.3	Pèrdues tèrmiques.....	77
D	TURBINA I GENERADOR	80
D.1	<i>Elecció de la turbina</i>	<i>80</i>
D.1.1	Turbina de vapor sobreescalfat:.....	80
D.1.2	Turbina de vapor saturat:.....	81
D.1.3	Turbina de vapor sobreescalfat + vapor saturat:.....	81
D.1.4	Característiques turbines:.....	82
D.1.5	Turbina escollida:	83
D.2	<i>Càlculs justificatius</i>	<i>85</i>
D.2.1	Turbina vapor saturat.....	85
D.2.2	Turbina de vapor sobreescalfat a 16 bars i 350 °C:	89
D.2.3	Turbina de vapor sobreescalfat a 20 bars i 300 °C:	92
E	BESCANVIADOR DE CALOR	95
E.1	<i>Especificacions del bescanviador 1:</i>	<i>95</i>
E.2	<i>Especificacions del bescanviador 2:</i>	<i>96</i>
E.3	<i>Càlculs estimatius.....</i>	<i>96</i>
E.3.1	Bescanviador 1.....	96
E.3.2	Bescanviador 2.....	100
F	CAMPS DE COL·LECTORS SOLARS.....	104
F.1	<i>Càlculs.....</i>	<i>104</i>
F.1.1	Càlcul de la calor:.....	105
F.1.2	Pèrdues geomètriques, òptiques i tèrmiques.	105
F.1.3	Dades del col·lector:	106
F.1.4	Formulació a la fulla de càlcul, Excel:	107
F.1.5	Resultats	111
F.2	<i>Disposició dels col·lectors.....</i>	<i>114</i>
G	INFORMACIÓ COMERCIAL SYLTHERM 800.....	116
H	CÀLCUL ÒPTIM ECONÒMIC DE LA INSTAL·LACIÓ	118

<i>H.1</i>	<i>Costs</i>	118
<i>H.2</i>	<i>Cost de producció del kWh</i>	119
<i>H.3</i>	<i>Resultats</i>	120
<i>H.4</i>	<i>Rendiment econòmic</i>	121
<i>H.5</i>	<i>Opcions d'augment de rendiment econòmic</i>	122
I	CÀLCUL DEL CABAL RECOLLIT I DE DESAIGUAT	125
<i>I.1</i>	<i>Període de retorn:</i>	125
<i>I.2</i>	<i>Càlcul de la capacitat de desaiquat de la canonada:</i>	129
<i>I.3</i>	<i>Càlcul del comportament de la canonada de desaiquat enfront els esforços externs</i> 131	
J	FÓRMULES PER TROBAR LA TRAJECTÒRIA SOLAR	138
<i>J.1</i>	<i>Equacions solars</i>	138
K	ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT	147
<i>K.1</i>	<i>Memòria</i>	147
<i>K.1.1</i>	<i>Objecte de l'estudi.</i>	147
<i>K.1.2</i>	<i>Plec de condicions</i>	200
<i>K.1.3</i>	<i>Plec de condicions particulars</i>	206
<i>K.1.4</i>	<i>Pressupost</i>	213

A ESTUDI DE LA RADIACIÓ DISPONIBLE PEL CAMP SOLAR.

Degut a que l'òptim de m^2 del camp solar depèn del flux de radiació que podem aprofitar (a més flux de radiació més quantitat d'energia per m^2 de camp solar aprofitable per generar energia elèctrica), en el present projecte s'ha desenvolupat una fulla de càlcul sobre l'Excel que ens permetria trobar la radiació a qualsevol latitud que ens interessi.

En aquest cas, com que l'interès és el de realitzar una central de generació d'energia elèctrica mitjançant energia tèrmica solar a Tarragona, s'han realitzat les petites modificacions necessàries en aquesta fulla de càlcul per trobar els valors de radiació que es tenen a Girona. El fet de buscar la radiació a Girona s'ha fet perquè es necessiten dades de radiació solar directe i pel nostre cas s'ha disposat d'aquestes dades gràcies al Departament de Física Aplicada de la Universitat de Girona i més concretament al Doctor Josep Abel González Gutiérrez.

Tot i la petita variació de latitud entre Tarragona i Girona, els resultats que s'han obtingut s'han considerat correctes. S'ha tingut en compte que segur que existeixen petites variacions, però excepte per algun any atípic, sempre es disposarà de més radiació solar en un any a la latitud de Tarragona que a la de Girona, ja que a una latitud inferior les hores de sol són majors. D'aquesta manera, es pot afirmar que s'està treballant amb una mentalitat conservadora.

El programa elaborat té en compte diferents variables necessàries per saber l'energia que es pot aprofitar en un concentrador solar. A diferència de les plaques planes solars que capten la radiació directe i difusa, en els concentradors solars només es concentra la radiació directe i s'ha de tenir molt en compte l'angle amb que incideix la radiació per saber quina quantitat se n'aprofita i com ha d'estar encarat aquest per concentrar correctament la radiació a la línia focal.

A.1 Càlcul de la trajectòria del sol.

Els concentradors cilindre - parabòlics necessiten que la radiació solar directe els hi arribi perpendicular a l'eix focal de la paràbola tal i com es pot veure a la figura A-1. Per això, el programa ha de tenir en compte la trajectòria solar.

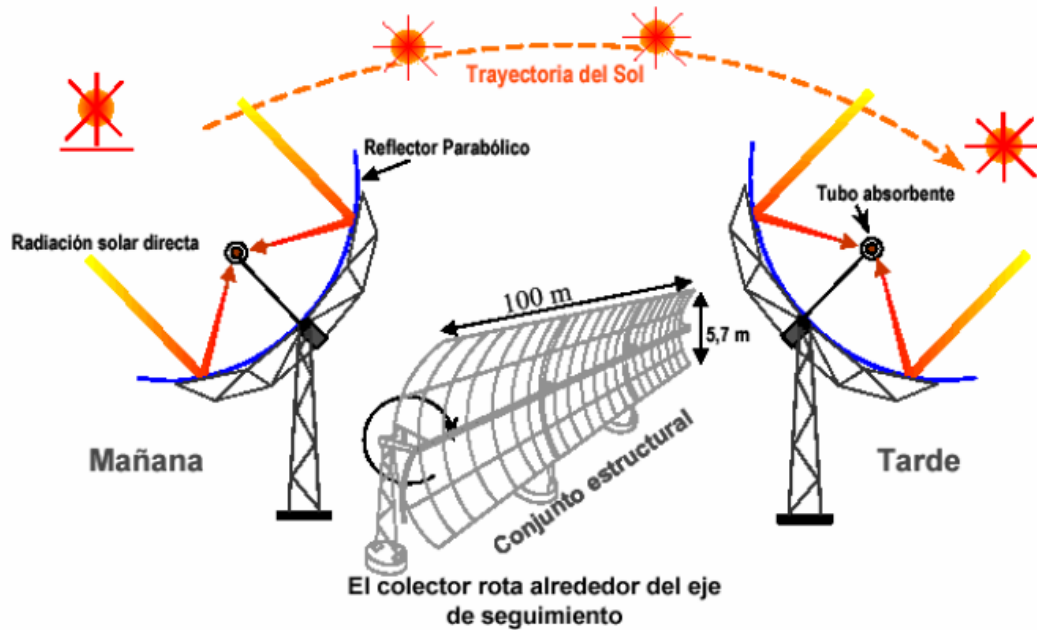


Figura A-1: S'observa com es fa necessari un sistema de seguiment de la trajectòria solar pel col·lector per tal que la radiació directe del sol arribi perpendicular a l'eix focal de la paràbola.

Per calcular la posició del sol per cada dia de l'any, s'ha introduït al programa d'Excel una macro on es calcula per cada 5 minuts l'angle azimutal i d'altura solar (complementari de l'angle zenital) del sol, com s'observa a la figura A-2.

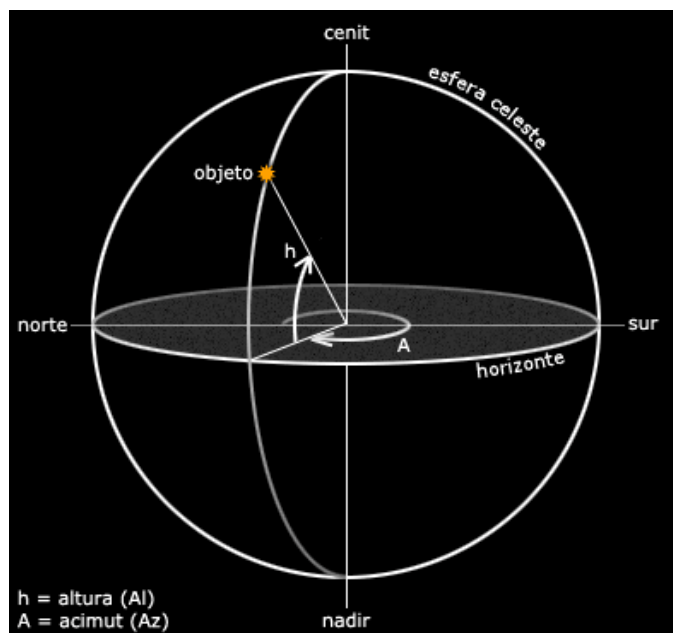


Figura A-2: Per una persona situada en el punt central de l'esfera celeste la posició del sol es pot definir mitjançant un angle d'azimut i un angle d'altura solar.

El fet de buscar-se per cada 5 minuts es deu a que les dades de radiació solar de que s'ha disposat estan captades cada 5 minuts. Això ha provocat que s'hagi necessitat una quantitat d'informació molt elevada i per tant s'ha decidit treballar amb 3 fulles de càlcul independents, una pels mesos de gener, febrer, març i abril; una altre pels 4 mesos següents i la última pels 4 últims mesos de l'any.

Entre una i altre fulla l'estructura de la macro utilitzada és idèntica, només es varien petites coses com poden ser el número de dia de l'any, el nom del mes...

A.1.1 Macro pel càlcul d'angles d'azimut i altura solar (en pseudocodi).

L'estructura de la macro utilitzada en el programa s'ha pensat per implementar-se en Visual Basic, ja que és el llenguatge que usa el Microsoft Excel en les seves macros.

Aquí es dona l'estructura, les fórmules i les operacions realitzades per tal de trobar les variables necessàries per calcular la trajectòria solar que s'han utilitzat a la macro, ja que d'aquesta manera, en un futur, si és necessari es podrà modificar el mètode i fer-lo més exacte i ajustat a les necessitats.

- Definició de constants:

$$\text{pi} = \pi$$

$$\text{VelAngTerra} = 0.0172 \text{ rad/dia}$$

L = Llegir-ho de l'Excel 'valor de latitud de la zona terrestre que volem trobar els angles de la trajectòria solar en cada moment del temps. L'entrarà l'usuari en una casella de l'Excel expressament preparada perquè la macro en llegeixi el valor.

$$\text{CincMin} = 1/12 \text{ d'hora}$$

$$\text{Vel. Gir de la Terra} = 0.2618 \text{ rad/hora}$$

Obliqüitat equador = 0.409134 rad 'obliqüitat de l'equador respecte al pla de la trajectòria solar al voltant del sol.

$$l_0 = 1.3526 \text{ rad/dia} \quad \text{'longitud del perigeu}$$

$$\text{excent} = 0.0167 \quad \text{'excentricitat de l'orbita terrestre al voltant del sol.}$$

- Anomenem les diferents columnes d'Excel per tal de saber quina dada hi ha cada una:

Cel·la (11, 1) = "MES" 'A la cel·la definida per la fila 11 i columna 1, escriurem mes. En ella s'hi posarà el nom del mes en que s'ha buscat la dada.

Cel·la (11, 2) = "DIA"

Cel·la (11, 3) = "HORA SOLAR" 'Hora en horari solar, no legal.

Cel·la (11, 4) = "MINUT SOLAR" 'Minut en horari solar, no legal.

Cel·la (11, 5) = "AZIMUT (en °)"

Cel·la (11, 6) = "ALTURA SOLAR (en °)"

- Comencem a calcular les variables:

'Definim variables:

$n = 0$ 'inicialitzem el comptador n.

$A = \text{Cel·la}(3, 2)$ 'Introduïrem el valor de l'any en que busquem els angles de la trajectòria a la cel·la (3, 2) i la macro agafarà aquest valor i li donarà el nom de A.

- Comprovem si l'any és de traspàs:

Mentre $4 \cdot n + 3 < A$

$n = n + 1$ 'Incrementem una unitat al comptador.

Fi mentre

$B = A - 4 \cdot n$ 'B, seran els anys que passen del de traspàs.

'Si B és diferent de 0, voldrà dir que l'any escollit per trobar els valors no és de traspàs. En cas que B sigui igual a 0, voldrà dir que sí que és un any de traspàs. Això ens obligarà a canviar tant els dies de l'any com el càlcul de dia a partir de l'1 de gener, ja que les fórmules

utilitzades no consideren que l'any comenci exactament a les 00:00 de l'1 de gener, degut a que la duració d'un any no és exactament de 365 dies.ⁱ

- A continuació, contarem el número de dia a partir de l'1 de gener:

Si $B \neq 0$ llavors 'Voldrà dir que no és any de traspàs

Per $D = 1$ fins 120 'Per cada dia de l'any des de l'1 de gener fins el 30 d'abril

$t = D - 2.494 - 0.25 \cdot (B - 1)$ 'Fórmula que calcula el número de dies a partir del Perigeu.

'El fet, que busquem t , entre el dia $D = 1$ fins a $D = 120$ i no 365 (tot l'any) es deu a que degut a la gran quantitat de dades que obtenim, s'ha considerat que és millor separar la macro en diferents fulles d'Excel. En aquesta primera es buscaran els valor de gener a abril, a la segona de maig a agost i a la tercer de setembre a desembre.

- Declarem noves variable:

$LCS = \text{LongCelestSol}(\text{VelAngTerra}, t, \text{excent}, I0)$ 'Declarem com a LCS, el valor que obtindrem a la funció LongCelestSol, que agafarà com a valor de les seves variables els valors que contingui en aquell moment la variable VelAngTerra, t , excent i $I0$. Trobarem el valor de la longitud celesta del sol.

$\text{Declin} = \text{DecSolar}(\text{ObIEquador}, LCS)$ 'Declarem com a Declin el valor que obtindrem a la funció Declin. Trobarem el valor de la declinació solar.

$\text{AHSS} = \text{CalculAngleHorariSortidaSol}(\text{Declin}, L)$ 'Declarem com a AHSS el valor que obtindrem a la funció CalculAngleHorariSortidaSol. Trobarem l'angle horari quan surti el sol per cada dia.

$\text{NHD12} = \text{NumHoresTransDespresDotze}(\text{AHSS}, \text{VelGirTerra})$ 'Declarem com a NHD12 el valor que obtindrem a la funció NumHoresTransDespresDotze. Trobarem les hores que tarda el sol a anar des de l'angle en que surt fins a les 12 hores (en temps solar).

ⁱ Annex J: Fórmules per trobar la trajectòria solar. Pàg. 138.

$Hvss = 12 - NHD12$ 'Hora de la sortida del sol.

$Hvps = 12 + NHD12$ 'Hora de la posta del sol.

$DD = Hvps - Hvss$ 'Hores de sol durant el dia. Durada Dia.

'Un cop definides totes aquestes variables, que agafaran el valor de la funció corresponent (es definiran al final de la macro), necessitem dividir les hores de sol de cada dia per cada 5 minuts, per adaptar-nos a la freqüència d'adquisició de dades de les dades de radiació de que disposem.

- Divisions per cada 5 min:

$ArrodonHvss = \text{Enter}(Hvss)$ 'Utilitzant la funció Enter(), arrodonim per defecte l'hora de la sortida del sol.

Si $Hvss < ArrodonHvss + \text{CincMin}$ llavors

$h1 = ArrodonHvss + \text{CincMin}$ 'Si l'hora de sortida del sol, és inferior a l'enter de l'hora de sortida de sol + 5 minuts, voldrà dir que l'hora de sortida del sol per aquell dia es troba entre la hora 00 minuts i al hora 05 minuts. Per tant, agafarem com a primer valor després de la sortida del sol (h1), el valor de la hora 05 minuts.

Sinó 'L'hora de sortida del sol serà posterior als primers 5 minuts, per tant farem el mateix però incrementant 5 minuts.

Si $Hvss < ArrodonHvss + 2 * \text{CincMin}$ llavors

$h1 = ArrodonHvss + 2 * \text{CincMin}$

Sinó

Si $Hvss < ArrodonHvss + 3 * \text{CincMin}$ llavors

$h1 = ArrodonHvss + 3 * \text{CincMin}$

Sinó

...

Si $Hvss < ArrodonHvss + 11 * \text{CincMin}$ llavors

$$h1 = \text{ArrodonHvss} + 11 * \text{CincMin}$$

Sinó

$h1 = \text{ArrodonHvss} + 1$ 'Haurem d'incrementar directament 1 hora, ja que l'hora de sortida del sol estarà entre la hora 55 minuts i la hora següent.

Fi Si

Fi si

Fi si

Fi si

- Comencem a buscar els valors d'angle azimutal i d'altura solar:

$i = 0$ 'Inicialitzem el comptador a 0.

Si $D < 32$ llavors

Cel·la $(12 + i, 1) = \text{"Gener"}$ 'Si el dia $D < 32$ voldrà dir que estem en el mes de gener i ho escriurem a la columna 12.

Cel·la $(12 + i, 2) = D$ 'Posem el número de dia a la segona columna.

Cel·la $(12 + i, 3) = \text{Enter(Hvss)}$ 'Posem l'hora a la tercera columna, correspondrà a la part entera del número decimal que forma l'hora de sortida del sol (hora i minut).

Cel·la $(12 + i, 4) = (\text{Hvss} - \text{Enter(Hvss)}) * 60$ 'Posem el valor de minut de Hvss a la quarta columna.

'Un cop acabat amb aquesta part, necessària per saber a quina hora, minut, dia i mes ens trobem, comencem ja a calcular els angles pròpiament dit:

- Càlcul de l'altura Solar a la Sortida del Sol:

$\text{AlturaSol} = \text{Hsolar}(L, \text{Declin}, \text{AngleHorariSol}(\text{VelGirTerra}, \text{Hvss}))$ 'AlturaSol agafarà el valor obtingut a la funció Hsolar. Ens donarà el valor de l'altura solar en radians.

Cel·la (12 + i, 6) = AlturaSol * 180/pi 'Introduïm el valor d'altura solar a la columna 6 en graus.

- Càlcul de l'azimut a la Sortida del sol

'En aquest punt ens trobem amb un problema. Em de tenir en compte si l'angle horari és major de 90° o menor de -90°, ja que en aquests casos el valor d'angle d'azimut serà 180° - azimut.

'Per solucionar això apliquem el següent algoritme:

$$\text{anghorariew} = a \cos\left(\frac{\tan(\text{Declin})}{\tan(L)}\right) \cdot \frac{180}{\pi}$$
 'Calculem l'angle horari que agafarem de referència.

Azimutintermig = Azimut(AlturaSol, Declin, AngleHorariSol(VelGirTerra, Hvss))*180/pi

'Calculem l'azimut i el passem a graus. En aquest cas, aquesta fórmula no ens indica l'error de si és més gran o no de 90°. Per això necessitem realitzar la comprovació amb l'algoritme i l'angle horari de referència.

ComprovacióAngleHorari = AngleHorariSol(VelGirTerra, Hvss) * 180/pi 'És l'angle horari de la sortida del sol.

- Iniciem l'algoritme:

Si Abs(ComprovacióAngleHorari) <= anghorariew llavors

C1 = 1

Sinó

C1 = -1

Fi Si

Si (L - Declin) >= 0 llavors

C2 = 1

Sinó

$$C2 = -1$$

Fi Si

Si ComprovacióAngleHorari ≥ 0 llavors

$$C3 = 1$$

Sinó

$$C3 = -1$$

Fi Si

$Azimutfinal = C1 * C2 * Azimutintermig + C3 * ((1 - C1 * C2) / 2) * 180$ 'Aquest serà el valor correcte de l'angle d'azimut.

Cel·la (12 + i, 5) = Azimutfinal 'Escrivim a la columna 5 el valor de l'angle d'azimut.

'Per altra banda, també necessitarem incloure a la fulla d'Excel el valor de la declinació i de l'angle horari per a cada hora i minut que tinguem dades de radiació, ja que necessitarem aquests valors per trobar la radiació directe a les fórmules del piranòmetreⁱ. Per tant:

Cel·la (12 + i, 16) = Declin 'Posem el valor de la declinació a la columna 16

Cel·la (12 + i, 17) = ComprovacióAngleHorari * pi/180 'Posem el valor de l'angle horari en radians a la columna 17

$i = i + 1$ 'Incrementem una unitat el comptador.

'Inicialitzem un segon comptador per començar a buscar els valors d'angle d'azimut i d'altura solar cada 5 minuts.

compt = 0 'Inicialitzem compt a 0, serà el comptador de 5 minuts.

ⁱ Annex B.2. Obtenció de la radiació directe. Pàg. 51

- Comencem amb el bucle:

Fer mentre $h1 + \text{compt} < H_{vps}$ 'Mentre la primera partició + compt sigui inferior a la hora de posta del sol, estarem dins el bucle.

Cel·la (12 + i, 1) = "Gener"

Cel·la (12 + i, 2) = D

Cel·la (12 + i, 3) = Enter($h1 + \text{compt}$)

Cel·la (12 + i, 4) = $((h1 + \text{compt}) - \text{Enter}(h1 + \text{compt})) * 60$

hora = $h1 + \text{compt}$ 'La definim per trobar l'angle horari del sol.

- Calculem l'altura solar:

$\text{AlturaSol} = H_{\text{solar}}(L, \text{Declin}, \text{AngleHorariSol}(\text{VelGirTerra}, \text{hora}))$

Cel·la (12 + i, 6) = $\text{AlturaSol} * 180/\pi$ 'Posem el valor d'altura solar a la columna 6 en graus.

- Calculem l'azimut:

'Apliquem el mateix procediment que l'anterior vegada que em buscat l'azimut, per trobar si l'angle és major de 90° o menor de -90° . Només ens em de cuidar de canviar a les variables el factor H_{vss} per la variable hora.

'Arribarem al mateix lloc:

$\text{Azimutfinal} = C1 * C2 * \text{Azimutintermig} + C3 * ((1 - C1 * C2) / 2) * 180$

Cel·la (12 + i, 5) = Azimutfinal 'Posem el valor obtingut a la columna 5.

Cel·la(12 + i, 16) = Declin 'Posem el valor de declinació a la columna 16.

Cel·la(12 + i, 17) = $\text{ComprovacióAngleHorari} * \pi/180$ 'Posem el valor de l'angle horari en radians a la columna 17.

compt = compt + CincMin 'Incrementem cinc minuts l'hora.

$$i = i + 1$$

'Incrementem una unitat el comptador i.

Loop

'Indiquem que aquí es tanca el bucle.

- Finalment anem a buscar els angles d'altura solar i azimut del sol quan aquest es pon:

Cel·la (12 + i, 1) = "Gener"

'Continuem introduint a la primera columna el nom del mes en que ens trobem.

'Continuem introduint a la primera

Cel·la (12 + i, 2) = D

Cel·la (12 + i, 3) = Enter(Hvps)

'Introduïm a la columna 3 l'hora en que es pon el sol (correspondrà a la part entera del número decimal).

'Introduïm a la columna 3 l'hora en que es

Cel·la (12 + i, 4) = (Hvps – Enter(Hvps)) * 60

es pon el sol.

'Introduïm a la columna 4 el minut en que

'Un cop fet això, tornem a repetir el mateix procediment que abans per trobar l'altura solar quan es pon el sol.

AlturaSol = Hsolar(L, Declin, AngleHorariSol(VelGirTerra, Hvps)

Hsolar trobarem l'altura solar per l'hora de la posta de sol. Per això a les variables introduïm Hvps.

'Mitjançant la funció

Cel·la (12 + i, 6) = AlturaSol * 180 / pi

l'altura solar en °.

'Introduïm a la columna 6 el valor de

'Finalment, tornem a utilitzar l'algoritme per trobar l'angle d'azimut a la posta de sol:

'Aquí apliquem el mateix procediment per trobar l'angle d'azimut que en els dos casos anteriors, però en aquest cas substituïm Hvss o hora per Hvps a les funcions que utilitzin aquesta variable.

'Arribarem de nou a:

$$\text{Azimutfinal} = C1 * C2 * \text{Azimutintermig} + C3 * ((1 - C1 * C2) / 2) * 180$$

'Mitjançant aquest fórmula amb els coeficients buscats en l'algoritme, trobem el valor real de l'angle d'azimut en graus.

Cel·la (12 + i, 5) = Azimutfinal

columna 5 de la fulla d'Excel.

'Introduïm el valor de l'angle d'azimut a la

‘Finalment introduïm els valors de declinació i angle horari:

Cel·la (12 + i, 16) = Declin

Cel·la (12 + i, 17) = ComprovacióAngleHorari * pi / 180

$i = i + 1$ ‘Incrementem el comptador i una unitat per no sobre escriure a la mateixa columna on em posat la dada anterior.

Sinó ‘Aquest sinó, ve de la condició Si del mes de gener. Aniríem a aquesta part del bucle si la condició de $D < 32$ fos falsa.

Si $31 < D$ i $D < 60$ llavors ‘Si D no es menor de 31, voldrà dir que el mes no es el de gener. Aquí mirem si D es troba entre 31 i 60, cosa que voldrà dir que correspon al mes de febrer. En cas que així sigui, entrariem dins aquest bucle.

Cel·la (12 + i, 1) = “Febrer” ‘Com que ja estem dins el mes de febrer, en aquesta columna introduiríem ara el nom de Febrer.

Cel·la (12 + i, 2) = $D - 31$ ‘Introduïm a la segona columna el dia de febrer en que ens trobem. Per això a D (que compta els dies des de l’1 de gener) li restem els 31 dies que té el gener.

‘A partir d’aquí continuem igual que amb el procediment aplicat al mes de gener per trobar els angles d’azimut i d’altura solar.

- ‘Un cop acabat amb el mes de febrer, faríem:

Sinó

Si $59 < D$ i $D < 91$ llavors

Cel·la (12 + i, 1) = “Març”

‘(em de tenir en compte que ens trobem a la part de programa en que suposem que no estem en un any de traspàs, per tant si D és més gran de 59 ja podem dir que ens trobem en el mes de març, perquè el febrer només tindrà 28 dies.

‘Igual que abans, apliquem el mateix procediment fins arribar a abril que fem el mateix però amb $90 < D$ i $D < 121$.

- En el cas que l'any fos de traspàs, no hauríem entrat en aquesta part del bucle, sinó que hauríem anat a la següent part del codi de la macro:

Si $B = 0$ llavors 'Si B és igual a 0 voldrà dir que estem en un any de traspàs, per tant el febrer tindrà 29 dies.

Per $D = 1$ fins a 121 'Degut a que el febrer té un dia més, el per l'hauréem d'allargar 1 dia, fins a 121.

$t = D - 2.494 - 0.25 * (B - 1)$ 'Aplicuem la mateix fórmula que abans per trobar el valor de t .

'A partir d'aquí, el codi és idèntic al utilitzat al tros d'any de no traspàs. La única diferencia es trobarà en que en el mes de febrer i posteriors haurem de canviar la condició de dies (si $D > 31$ i $D < 61...$) per adequar-nos al dia de més que hi ha al febrer.

Pel que fa a les funcions definides dins el codi, aquestes són cridades com subrutines que agafen com a variables els valors que tenen dins els parèntesis. Totes aquestes funcions estan detallades a l'annex J.

- 'Les funcions es defineixen de la següent manera al final del codi:

Funció `CalculAngleHorariSortidaSol(DecSolar, L)` 'Agafarà els valors que continguin les variables `DecSolar` i `L` i els utilitzarà a la següent funció per trobar el valor de `CalculAngleHorariSortidaSol`.

$$\text{CalculAngleHorariSortidaSol} = \text{acos}(-\tan(\text{DecSolar}) \cdot \tan(L))$$

Fi funció

Funció `NumHoresTransDespresDotze(CalculAngleHorariSortidaSol, VelGirTerra)`

$$\text{NumHoresTransDespresDotze} = \frac{\text{CalculAngleHorariSortidaSol}}{\text{VelGirTerra}}$$

Fi funció

Funció DecSolar(OblEquador, LongCelestSol)

$$\text{DecSolar} = \text{asin}(\sin(\text{OblEquador}) \cdot \sin(\text{LongCelestSol}))$$

Fi funció

Funció LongCelestSol(VelAngTerra, t, excent, l0)

$$\text{LongCelestSol} = \text{VelAngTerra} \cdot t + 2 \cdot \text{excent} \cdot \sin(\text{VelAngTerra} \cdot t) - l0$$

Fi funció

Funció asin(x) 'Creem la funció trigonomètrica asin, ja que el visual basic no l'inclou a la llibreria.

$$\text{asin} = \text{atan}\left(\frac{x}{\sqrt{-x \cdot x + 1}}\right) \quad \text{'x en radians}$$

Fi funció

Funció acos(x) 'Creem la funció trigonomètrica acos, ja que el visual basic no l'inclou a la llibreria.

$$\text{acos} = \text{atan}\left(\frac{-x}{\sqrt{-x \cdot x + 1}}\right) + 2 \cdot \text{atan}(1) \quad \text{'x en radians}$$

Fi funció

Funció Hsolar(L, DecSolar, AngleHorariSol)

$$\text{Hsolar} = \text{asin}(\sin(L) \cdot \sin(\text{DecSolar}) + \cos(L) \cdot \cos(\text{DecSolar}) \cdot \cos(\text{AngleHorariSol}))$$

Fi funció

Funció AngleHorariSol(VelAngTerra, hora)

$$\text{AngleHorariSol} = \text{VelAngTerra} \cdot (12 - \text{hora})$$

Fi funció

Funció Azimut(Hsolar, DecSolar, AngleHorariSol)

$$\text{Azimut} = \text{asin}\left(\frac{\cos(\text{DecSolar}) \cdot \sin(\text{AngleHorariSol})}{\cos(\text{Hsolar})}\right)$$

Fi funció

En aquest punt s'acaba la macro per trobar els angles d'azimut i d'altura solar pels mesos de gener, febrer, març i abril. La macro introdueix tots els valors obtinguts a la fulla d'Excel i a partir d'aquests valors podem saber la quantitat de radiació directe que incideix als col·lectors.

Els mesos de maig, juny, juliol i agost els trobem en una altra fulla d'Excel, i els de setembre, octubre, novembre i desembre en una tercera. Tot i això, l'esquelet del codi utilitzat en la macro és idèntic que en aquesta.

A.1.2 Macro pel càlcul de l'angle d'azimut i d'altura solar en codi Visual Basic

La macro definida anteriorment queda de la següent manera un cop passada a codi Visual Basic. En aquest cas, s'hi ha afegit una sèrie d'instruccions més que s'utilitzen només per donar un acabat visual més agradable, introduint colors, marges... a les caselles no s'escriuen els valors obtinguts a la macro.

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

```
'Declarem variables
```

```
Dim compt As Single
```

```
'Definim compt com una variable en coma flotant
```

Dim n As Integer	'Definim n com un enter
Dim B As Integer	'Definim B com un enter
Dim i As Integer	'Definim i com un enter
Dim taronja, groc, vermell	'Definim taronja, groc i vermell
pi = 3.14159265358979	'Definim el número pi
VelAngTerra = Cells(4, 9) rad/hora, l'agafem del full de càlcul.	'Valor de la velocitat angular de gir de la terra en rad/hora, l'agafem del full de càlcul.
L = Cells(4, 2) * pi / 180	'Valor de la latitud entrada per l'usuari en radians
CincMin = (1 / 12)	'Busquem la part que correspon a 5 minuts en una hora
VelGirTerra = Cells(6, 9) de la terra sobre ella mateixa.	'Valor de la velocitat angular en rad/hora de gir de la terra sobre ella mateixa.
OblEquador = 0.409134	'Obliquïtat de l'equador terrestre en radians
l0 = 1.3526	'Longitud del perigeu en rad/dia
excent = 0.0167	'Excentricitat
taronja = RGB(235, 149, 54)	
groc = RGB(238, 234, 51)	
vermell = RGB(255, 0, 0)	
Range(Cells(11, 1), Cells(11, 6)).Select	'Donem color a les cel·les amb els noms
With Selection.Interior	
.Color = taronja	
End With	

With Selection.Borders

'Definim línies per les mateixes cel·les

.LineStyle = xlContinuous

.Weight = xlMedium

End With

Cells(11, 1) = "MES"

'Definim el que ha de posar a la capçalera

Cells(11, 2) = "DIA"

Cells(11, 3) = "HORA SOLAR"

Cells(11, 4) = "MINUT SOLAR"

Cells(11, 5) = "AZIMUT (en °)"

Cells(11, 6) = "ALTURA SOLAR (en °)"

'Borrem les caselles d'excel que puguem tenir omplertes de càlculs anteriors

Dim ver As Integer

'Definim ver com a enter

Dim hor As Integer

'Definim hor com a enter

Dim j As Integer

'Definim j com a enter

'Mirem quantes caselles d'excel tenim ocupades

j = 0

'Inicialitzem comptador

While Cells(12 + j, 1) <> Clear

'Mentre la cel·la (12+j,1) no estigui buida

j = j + 1

'Incrementem una unitat a j

Wend

'Fi mentre

hor = 0

'Inicialitzem comptador hor

ver = 0

'Inicialitzem comptador ver

For ver = 0 To (j - 1)

For hor = 1 To 6

Cells(12 + ver, hor) = Clear

Next hor

Next ver

'Traiem línies de contorn i color de les cel·les on teníem dades

Range(Cells(12, 1), Cells(12 + (j - 1), 6)).Select 'Seleccionem les cel·les on hi havia valors

With Selection.Interior

.Color = RGB(255, 255, 255)

'Pintem les caselles de blanc

End With

With Selection.Borders

'Traiem línies

.LineStyle = xlContinuous

.Weight = xlHairline

End With

'Iniciem variables

n = 0

'comptador

A = Cells(3, 2)

'A pren el valor de l'any

Dim D As Integer

'Definim D com un enter

'Mirem si l'any és de traspàs

While $(4 * n) + 3 < A$ per l'usuari	'Mentre $(4 * \text{comptador}) + 3 < \text{any entrat}$
$n = n + 1$	'Incrementem 1 al comptador
Wend	'Fi mentre
$B = A - 4 * n$ anterior.	'B són els anys que passen del de traspàs anterior.
'Càlcul del número de dia a partir de l'1 de gener.	
If $(B \neq 0)$ Then de traspàs:	'Si B és diferent de 0, per tant no és any de traspàs:
For $D = 1$ To 120 fins al 30 d'abril:	'Per cada dia de l'any des de l'1 de gener fins al 30 d'abril:
$t = D - 2.494 - 0.25 * (B - 1)$ partir del Perigeu	'fórmula que calcula el número de dies a partir del Perigeu
'Declarem variables	
$LCS = \text{LongCelestSol}(\text{VelAngTerra}, t, \text{excent}, l0)$ trobem el valor de la longitud celesta del sol per aquest dia.	'Mitjançant la funció LongCelestSol trobem el valor de la longitud celesta del sol per aquest dia.
$\text{Declin} = \text{DecSolar}(\text{ObIEcuador}, LCS)$ valor de declinació solar per aquest dia.	'Mitjançant la funció DecSolar trobem el valor de declinació solar per aquest dia.
$\text{AHSS} = \text{CalculAngleHorariSortidaSol}(\text{Declin}, L)$ trobem el valor que tindrà l'angle horari quan surti el sol per aquest dia a la latitud buscada.	'Mitjançant la funció CalculAngleHorariSortidaSol trobem el valor que tindrà l'angle horari quan surti el sol per aquest dia a la latitud buscada.
$\text{NHD12} = \text{NumHoresTransDespresDotze}(\text{AHSS}, \text{VelGirTerra})$ trobem les hores que tarda a anar el sol des de l'angle quan surt fins a les 12 (hora solar)	'Mitjançant la funció NumHoresTransDespresDotze trobem les hores que tarda a anar el sol des de l'angle quan surt fins a les 12 (hora solar)
$\text{Hvss} = 12 - \text{NHD12}$	'Hora sortida del sol

Hvps = 12 + NHD12

'Hora posta del sol

DD = Hvps – Hvss

'Hores de sol durant el dia

'Dividim les hores de llum del dia per cada cinc minuts:

ArrodonHvss = Int(Hvss)
del sol a l'enter

'Arrodonim per defecte l'hora de sortida

If Hvss < (ArrodonHvss + CincMin) Then
abans dels primers 5 minuts de l'hora.

'Si l'hora verdadera de sortida del sol és

h1 = ArrodonHvss + CincMin

segon valor per trobar els angles serà els primers 5 minuts de l'hora.

'Després de l'hora de sortida del sol, el

Else

és posterior als primers 5 minuts, per tant farem el mateix però passats 10 minuts, i llavors 15 i 20...

'Sinó (l'hora verdadera de sortida del sol

If Hvss < (ArrodonHvss + 2 * CincMin) Then

h1 = ArrodonHvss + 2 * CincMin

Else

If Hvss < (ArrodonHvss + 3 * CincMin) Then

h1 = ArrodonHvss + 3 * CincMin

Else

If Hvss < (ArrodonHvss + 4 * CincMin) Then

h1 = ArrodonHvss + 4 * CincMin

Else

If Hvss < (ArrodonHvss + 5 * CincMin) Then

h1 = ArrodonHvss + 5 * CincMin

Else


```

                                If Hvss < (ArrodonHvss + 6 * CincMin) Then
                                ...
                                End If
                            End If
                        End If
                    End If
                End If
            End If

'Calculem quantes particions del dia farem:

i = 0                                'Inicialitzem el comptador a 0.

If D < 32 Then

Cells(12 + i, 1) = "Gener"            'Posem mes de gener a la primera columna si el
dia és menor que 32

Cells(12 + i, 2) = D                  'Posem el valor del dia a la segona columna

Cells(12 + i, 3) = Int(Hvss)          'Passa el valor d'hora obtingut de Hvss a
la cel·la (12 + i, 3)

Cells(12 + i, 4) = (Hvss - Int(Hvss)) * 60    'Passa el valor de minut de Hvss a la
cel·la (12 + i, 4)

' Càlcul de l'altura Solar a la Sortida del Sol, hauria de ser 0

AlturaSol = Hsolar(L, Declin, AngleHorariSol(VelGirTerra, Hvss))

Cells(12 + i, 6) = AlturaSol * 180 / pi    'Passa el valor obtingut a AlturaSol en
graus a la cel·la (12 + i, 6)

```

'Càlcul de l'azimut a la Sortida del sol

'Em de tenir en compte l'angle horari, si és més gran de 90° o menor de -90°, el resultat d'azimut ha de ser 180-azimut, sinó ja està correcta

$\text{anghorariew} = \text{acos}(\text{Tan}(\text{Declin}) / \text{Tan}(L)) * 180 / \text{pi}$ 'Càlcul d'angle horari de referència.

$\text{Azimutintermig} = \text{Azimut}(\text{AlturaSol}, \text{Declin}, \text{AngleHorariSol}(\text{VelGirTerra}, \text{Hvss})) * 180 / \text{pi}$

'Calculem l'azimut en radians. És possible que inclogui l'error de no mostrar que l'angle és major que 90 0 menor que 90°

$\text{ComprovacióAngleHorari} = \text{AngleHorariSol}(\text{VelGirTerra}, \text{Hvss}) * 180 / \text{pi}$ 'Angle horari de la sortida del sol

If $\text{Abs}(\text{ComprovacióAngleHorari}) < \text{anghorariew}$ Or $\text{Abs}(\text{ComprovacióAngleHorari}) = \text{anghorariew}$ Then

C1 = 1

Else

C1 = -1

End If

If $(L - \text{Declin}) > 0$ Or $(L - \text{Declin}) = 0$ Then

C2 = 1

Else

C2 = -1

End If

If $\text{ComprovacióAngleHorari} > 0$ Or $\text{ComprovacióAngleHorari} = 0$ Then

Else

C3 = -1

End If

$$\text{Azimutfinal} = C1 * C2 * \text{Azimutintermig} + C3 * ((1 - C1 * C2) / 2) * 180$$

$$\text{Cells}(12 + i, 5) = \text{Azimutfinal}$$

$$\text{Cells}(12 + i, 16) = \text{Declin} \quad \text{'Posem el valor de declinació per aquest dia}$$

$$\text{Cells}(12 + i, 17) = \text{ComprovacióAngleHorari} * \text{pi} / 180 \quad \text{'Posem el valor de l'angle horari en radians}$$

$$i = i + 1 \quad \text{'incrementem i una unitat}$$

$$\text{compt} = 0 \quad \text{'Inicialitzem compt com a 0}$$

Do While (h1 + compt) < Hvps 'Mentre la primera partició + n sigui inferior a la hora verdadera de posta de sol continuem dins el bucle

$$\text{Cells}(12 + i, 1) = \text{"Gener"}$$

$$\text{Cells}(12 + i, 2) = D$$

$$\text{Cells}(12 + i, 3) = \text{Int}(h1 + \text{compt}) \quad \text{'Posem el valor de la hora de cada partició en mitja hora de la durada del dia}$$

$$\text{Cells}(12 + i, 4) = ((h1 + \text{compt}) - \text{Int}(h1 + \text{compt})) * 60 \quad \text{'Posem el minut de cada hora a la cel·la (12 + i, 4)}$$

$$\text{hora} = h1 + \text{compt}$$

'Definim una variable hora per trobar l'angle horari del sol per cada partició de la durada del dia

'Càlcul de l'altura Solar

$$\text{AlturaSol} = \text{Hsolar}(L, \text{Declin}, \text{AngleHorariSol}(\text{VelGirTerra}, \text{hora}))$$

$$\text{Cells}(12 + i, 6) = \text{AlturaSol} * 180 / \text{pi} \quad \text{'Passa el valor obtingut a AlturaSol en graus a la cel·la (12+i, 6)}$$

'Càlcul de l'azimut

'Em de tenir en compte l'angle horari, si és més gran de 90° o menor de -90°, el resultat d'azimut ha de ser 180-azimut, sinó ja està correcta

$\text{anghorariew} = \text{acos}(\text{Tan}(\text{Declin}) / \text{Tan}(L)) * 180 / \text{pi}$ 'Càlcul d'angle horari de referència.

$\text{Azimutintermig} = \text{Azimut}(\text{AlturaSol}, \text{Declin}, \text{AngleHorariSol}(\text{VelGirTerra}, \text{hora})) * 180 / \text{pi}$
'Calculem l'azimut en radians. És possible que inclogui l'error de no mostrar que l'angle és major que 90 0 menor que 90°

... (l'algoritme és idèntic a l'aplicat anteriorment)

$\text{Azimutfinal} = C1 * C2 * \text{Azimutintermig} + C3 * ((1 - C1 * C2) / 2) * 180$

$\text{Cells}(12 + i, 5) = \text{Azimutfinal}$

$\text{Cells}(12 + i, 16) = \text{Declin}$ 'Posem el valor de declinació per aquest dia

$\text{Cells}(12 + i, 17) = \text{ComprovacióAngleHorari} * \text{pi} / 180$ 'Posem el valor de l'angle horari en radians

$\text{compt} = \text{compt} + \text{CincMin}$ 'Incrementem cinc minuts l'hora n

$i = i + 1$ 'Incrementem una unitat el comptador

Loop

$\text{Cells}(12 + i, 1) = \text{"Gener"}$

$\text{Cells}(12 + i, 2) = D$

$\text{Cells}(12 + i, 3) = \text{Int}(\text{Hvps})$ 'Passa el valor d'hora de Hvps a la cel·la (12+i,3)

$\text{Cells}(12 + i, 4) = (\text{Hvps} - \text{Int}(\text{Hvps})) * 60$ 'Passa el valor de minuts de Hvps a la cel·la (12+i, 4)

'Càlcul de l'altura solar per l'hora verdadera de posta de sol

AlturaSol = Hsolar(L, Declin, AngleHorariSol(VelGirTerra, Hvps))

Cells(12 + i, 6) = AlturaSol * 180 / pi 'Passa el valor obtingut a AlturaSol en
graus a la cel·la (12+i, 6)

'Càlcul de l'azimut a l'hora verdadera de posta de sol

'Em de tenir en compte l'angle horari, si és més gran de 90° o menor de -90°, el resultat
d'azimut ha de ser 180-azimut, sinó ja està correcta

... (apliquem de nou l'algoritme i obtenim:)

Azimutfinal = C1 * C2 * Azimutintermig + C3 * ((1 - C1 * C2) / 2) * 180

Cells(12 + i, 5) = Azimutfinal

Cells(12 + i, 16) = Declin 'Posem el valor de declinació per aquest
dia

Cells(12 + i, 17) = ComprovacióAngleHorari * pi / 180 'Posem el valor de l'angle horari
en radians

i = i + 1 'Incrementem i una unitat

Else

If 31 < D And D < 60 Then

Cells(12 + i, 1) = "Febrer" 'Posem mes de febrer a la primera
columna si el dia és menor que 60 i major de 31

Cells(12 + i, 2) = D - 31 'Posem el valor del dia a la segona
columna

(Continuaríem pel febrer, després pel març i finalment per l'abril. Un cop fet això, es tornaria
a repetir, però amb la suposició que estem en un any de traspàs. Continuació:)

If (B = 0) Then traspàs:	'Si B és igual a 0, per tant és any de
For D = 1 To 121 abril.	'Per cada dia de l'any de gener fins a
t = D - 2.494 - 0.25 * (B - 1)	'fórmula per trobar el número de dies a
partir del Perigeu	

A.2 Radiació solar

Disposem de les dades de radiació solar global i difusa durant l'any 2004. Aquestes dades experimentals han estat adquirides mitjançant un piranòmetre amb banda para-solⁱ (necessària per trobar el valor de la radiació difusa) a la Universitat de Girona pel Doctor Josep Abel Gonzàlez.

El valor de radiació, tant global com difusa, el tenim cada 5 minuts en unitats de W/m².

Degut a que la instal·lació es basa en un sistema de concentració mitjançant col·lectors cilindre - parabòlics es necessita trobar la radiació directe. Pel piranòmetre utilitzat s'aplicarà la següent fórmula, definida pel fabricant, per tal de trobar-la:

$$\text{Radiació directe en el pla} = \text{Radiació Global} - \text{Radiació Difusa} \cdot C^{\text{ii}}$$

L'aplicació d'aquesta fórmula apareix degut a que la banda para-sol ens distorsiona el valor de radiació global, i per tant no podem trobar la radiació directe simplement restant a la radiació global la radiació difusa:

ⁱ Annex B: Característiques tècniques piranòmetre

ⁱⁱ A l'annex B.2., pàg. 51 es defineix el valor de C. Depèn dels angles

Per altra banda, el valor de radiació directe que s'obté després d'aplicar la fórmula és la radiació directe en un pla horitzontal, ja que el sensor del piranòmetre es troba en posició horitzontal i es necessitarà trobar el valor en un pla normal, tal i com es veu a la figura A-3.

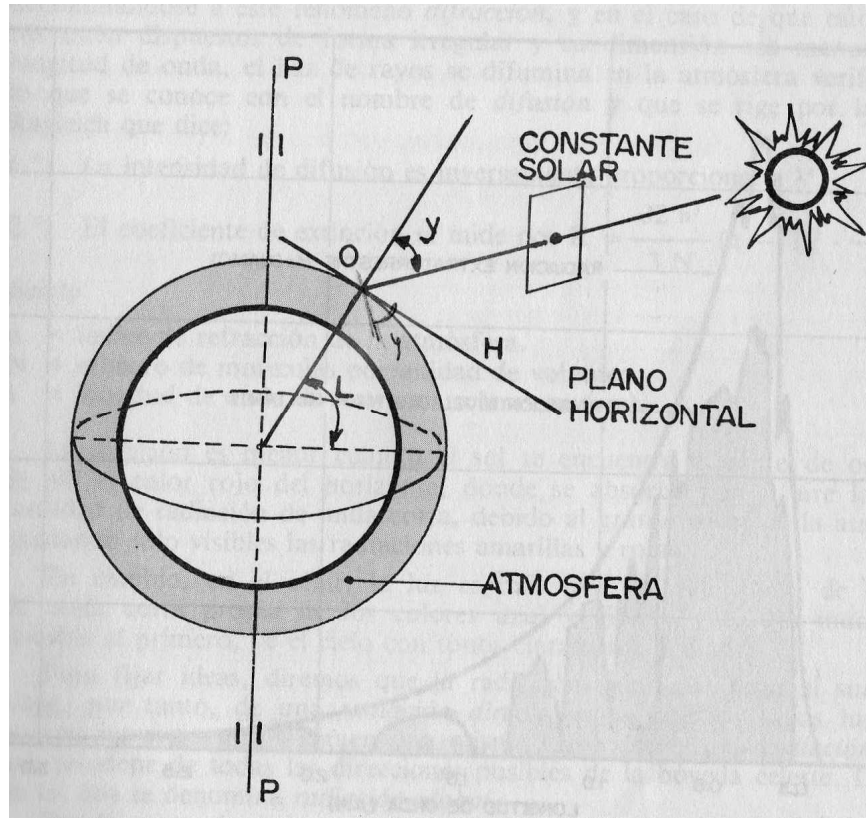


Figura A-3: El flux de radiació directe varia en funció de si es calcula en un pla horitzontal (cas del piranòmetre) o en un pla normal a aquesta radiació. Mitjançant els angles de la posició del sol, trigonòmicament es pot trobar la radiació directe en el pla normal amb l'equació A-1.

Pel tipus de captador solar utilitzat en la nostra instal·lació, col·lectors de seguiment solar per un sol eixⁱ, es necessitarà saber l'angle amb que la radiació directe incideix sobre el captador, per saber la radiació que som capaços d'aprofitar.

Per aquest motiu, prèviament es buscarà el valor del flux de radiació directe en un pla normal a la direcció d'aquesta.

Es necessita saber, en tots els moments en que ha estat agafat el valor de radiació solar per part del piranòmetre, quina era l'angle del sol (tant l'angle azimutal com l'angle zenital o el seu complementari, altura solar). Aquests valors, han estat buscats gràcies a la macro

ⁱ Annex C.5: Sistema de seguiment. Pàg. 66.

definida a l'annex A.1.1. de la pàgina 6. Mitjançant aquests valors, s'introdueix l'equació A-1 a l'Excel i es troba la radiació directe en un pla normal per qualsevol valor de radiació:

$$\text{Radiació Pla Normal} = \frac{\text{Radiació Pla Horizontal}}{\sin(\text{altura solar})} \quad (\text{Eq. A-1})$$

A partir de la radiació normal ja es pot trobar la radiació directe que incideix al col·lector i la part d'aquesta que som capaços d'aprofitar, que altre cop dependrà de la posició del sol.

Es necessitarà trobar un nou angle, l'angle d'incidència de la radiació sobre el col·lector. Per trobar-lo s'ha de tenir en compte que l'eix longitudinal del col·lector estarà sobre la direcció nord – sud.

Aquest angle d'incidència entre la radiació directe del sol i el col·lector serà l'angle que formen el vector \vec{s} i el vector \vec{c} , tal i com s'observa a la figura A-4. El col·lector mitjançant el sistema de seguiment, mantindrà el vector \vec{c} (el de l'eix focal del col·lector) en el pla format per la direcció est – oest i el vector \vec{s} (col·lector - sol).

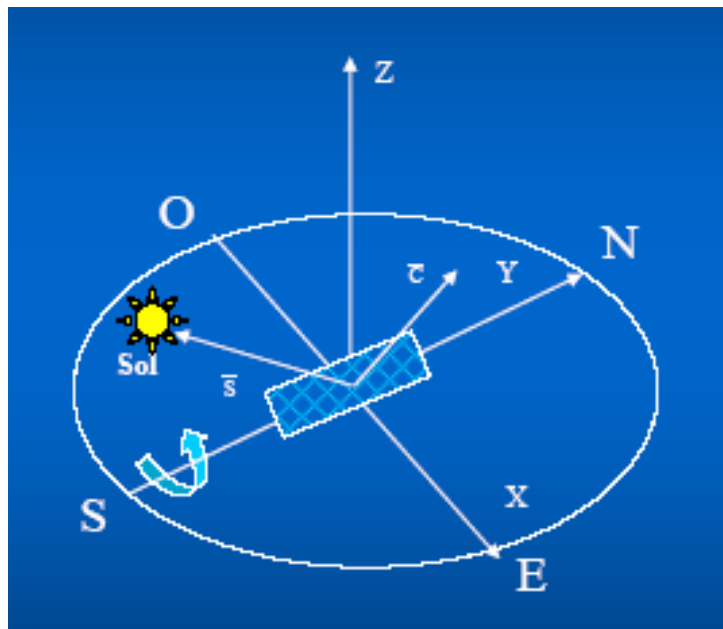


Figura A-4: Es pot observar el col·lector situat longitudinalment en l'eix nord – sud i els vectors \vec{c} (eix focal del col·lector) i \vec{s} (vector col·lector – sol)

Per trobar el flux de radiació directe que incideix al col·lector, només ens faltaria aplicar la següent relació:

$$\text{Flux de radiació directe al col·lector} = \text{Flux de radiació pla normal} \cdot \cos(\beta) \quad (\text{Eq. A-2})$$

on:

β és l'angle d'incidènciaⁱ.

Aquest procés matemàtic s'ha introduït a la fulla de càlcul d'Excel i s'ha obtingut per cada valor de flux de radiació directe la quantitat de flux de radiació que es pot aprofitar en el nostre camp de col·lectors solars per m².

A.3 Càlcul de l'angle d'incidència al concentrador

Mitjançant la macro de l'annex A.1.1, es troben els angles d'azimut i d'altura solar de la trajectòria del sol per cada cinc minuts de cada dia durant un any. Tot i això, al treballar amb col·lectors solars es necessita saber en quin angle incideix el raig solar sobre el concentrador, ja que aquests seguiran la trajectòria mitjançant un sol eix. Aquest fet ens afectarà, a més de la quantitat de flux de radiació directe que podem aprofitar, també en altres aspectes com són les anomenades pèrdues geomètriques inherents a cada col·lector cilindre parabòlicⁱⁱ.

Per trobar aquest angle d'incidència s'ha aplicat el següent procediment:

Definim el vector u , vector que segueix la radiació directe del sol, però en aquest cas en el sentit contrari:

$$u = \begin{cases} z = r \cdot \cos(\gamma) \\ x = -r \cdot \sin(\gamma) \\ y = r \cdot \tan(h) \end{cases}$$

ⁱ Annex A.3: Càlcul de l'angle d'incidència al concentrador. Pàg. 32.

ⁱⁱ C.7.1: Pèrdues geomètriques. Pàg. 70.

on:

$$\gamma = 90^\circ - \text{azimut}$$

$$h = \text{angle d'altura solar}$$

u és el vector director del concentrador. Té la direcció de l'eix focal de la paràbola, tal i com s'observa a la figura A-5.

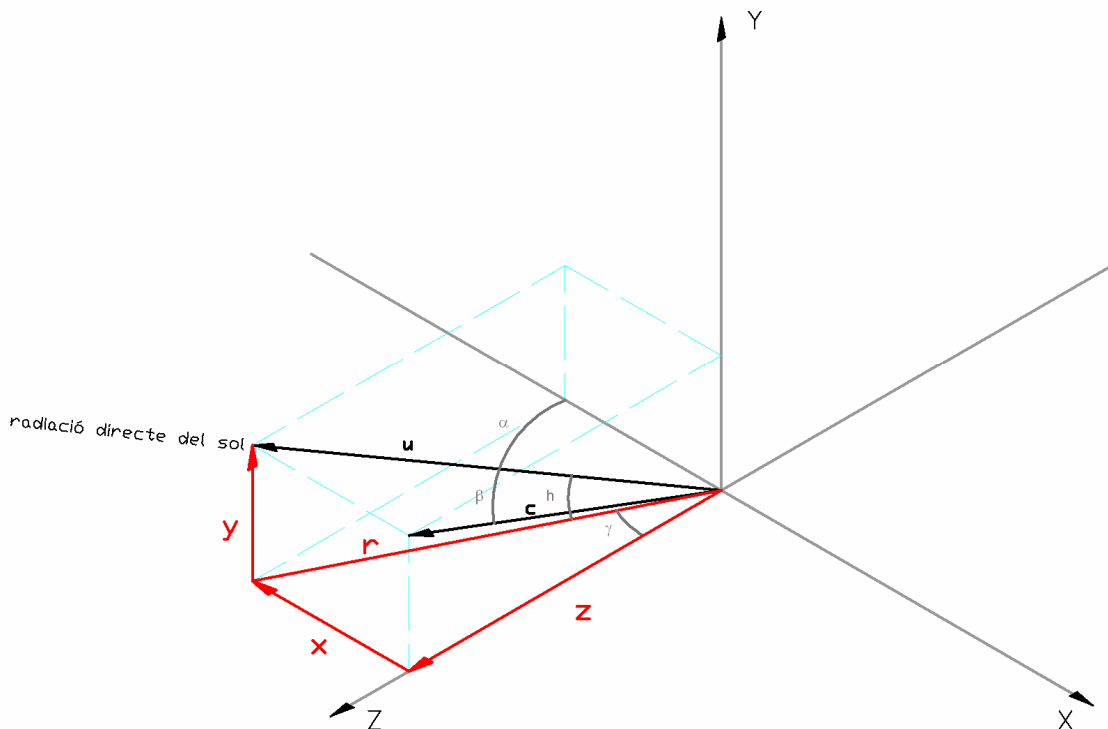


Figura A-5: Esquema que defineix els vectors utilitzats en la deducció de la fórmula que ens permet trobar l'angle d'incidència en funció de l'angle d'azimut i d'altura solar del sol.

Per tant:

$$u = (-r \cdot \sin(90^\circ - Az), r \cdot \tan(h), r \cdot \cos(90^\circ - Az))$$

Suposant $r = 1$, tenim:

$$u = (-\sin(90^\circ - Az), \tan(h), \cos(90^\circ - Az))$$

Es defineix v com un vector director de l'eix longitudinal del concentrador:

$$v = (-1, 0, 0)$$

Fent el producte escalar es troba l'angle α :

$$\|u\| \cdot \|v\| \cdot \cos \alpha = u_1 \cdot v_1 + u_2 \cdot v_2 + u_3 \cdot v_3$$

$$\cos \alpha = \frac{-\sin(90^\circ - Az) \cdot (-1) + \tan(h) \cdot 0 + \cos(90^\circ - Az) \cdot 0}{\sqrt{(\sin(90^\circ - Az))^2 + (\tan(h))^2 + (\cos(90^\circ - Az))^2} \cdot \sqrt{1^2}}$$

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{\sin(90^\circ - Az)}{\sqrt{(\sin(90^\circ - Az))^2 + (\tan(h))^2 + (\cos(90^\circ - Az))^2}} = \frac{\sin(\gamma)}{\sqrt{1 + \tan^2(h)}} \\ 1 + \tan^2(h) &= \frac{\cos^2(h) + \sin^2(h)}{\cos^2(h)} = \frac{1}{\cos^2(h)} \end{aligned} \right\}$$

$$\cos \alpha = \sin(\gamma) \cdot \cos(h) = \sin(90^\circ - Az) \cdot \cos(h) = \cos(Az) \cdot \cos(h)$$

Si es defineix β com l'angle d'incidència al concentrador:

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

Substituint α per $90^\circ - \beta$ a la fórmula:

$$\cos \alpha = \cos(90^\circ - \beta) = \cos(Az) \cdot \cos(h)$$

$$\sin \beta = \cos(Az) \cdot \cos(h)$$

i l'angle que forma la radiació solar directe amb el vector director del concentrador, l'angle d'incidència, serà:

$$\beta = \arcsin(\cos(Az) \cdot \cos(h)) \quad (\text{Eq. A-3})$$

Aquesta fórmula s'ha utilitzat a la fulla de càlcul de l'Excel per trobar l'angle d'incidència del raig solar cada 5 minuts.

A.4 Anàlisi de resultats.

A partir del full d'Excel i després de realitzar tots el passos anteriorment mencionats i d'eliminar manualment els resultats obtinguts amb dades anòmales, s'han obtingut els resultats de les següents taules, amb el flux de radiació solar a la zona de Girona pel 2004:

A.4.1 Flux de radiació directe en un pla horitzontal acumulada durant el dia (MJ/m²):

GENER						
1	2	3	4	5	6	7
2,577	7,873	7,762	6,892	6,082	4,242	0,762
8	9	10	11	12	13	14
4,440	2,048	2,042	5,208	0,248	0,962	1,598
15	16	17	18	19	20	21
3,762	5,740	2,923	1,923	7,798	1,191	5,769
22	23	24	25	26	27	28
4,041	2,870	0,149	0,523	3,095	0,050	8,872
29	30	31				
8,216	7,002	7,319				

FEBRER						
1	2	3	4	5	6	7
5,342	3,226	4,829	0,961	5,147	3,230	2,716
8	9	10	11	12	13	14
4,009	10,687	11,167	8,014	10,649	11,206	5,992
15	16	17	18	19	20	21
9,449	0,130	9,091		6,280	2,042	0,196
22	23	24	25	26	27	28
5,703	7,363	2,161	0,307		3,908	9,881
29						
6,799						

MARÇ						
1	2	3	4	5	6	7
12,278	14,120	14,759	6,415	4,005	5,167	11,875
8	9	10	11	12	13	14
10,281	13,408	1,079	6,653	1,699	0,000	0,000
15	16	17	18	19	20	21
9,659	11,902	12,162	5,478	10,249	5,519	1,100
22	23	24	25	26	27	28
0,942	18,874	0,000	0,000	0,000	0,475	7,305
29	30	31				
0,372	2,363	2,172				

ABRIL						
1	2	3	4	5	6	7
15,910	8,062	17,961	18,016	16,281	0,310	0,408
8	9					
0,618	14,091					

MAIG						
7	8	9	10	11	12	13
13,798	18,589	20,539	2,346	0,543	5,419	18,621
14	15	16	17	18	19	20
16,802	16,316	20,940	19,010	19,262	22,737	26,248
21	22	23	24	25	26	27
18,919	8,627	13,538	24,333	14,326	3,712	18,300
28	29	30	31			
14,752	14,381	4,019	5,008			

JUNY						
1	2	3	4	5	6	7
6,648	5,729	16,916	22,915	24,946	25,036	21,926
8	9	10	11	12	13	14
22,483	25,335	23,611	13,548	9,385	27,630	27,061
15	16	17	18	19	20	21
13,051	11,164	26,677	25,802	1,831	2,080	11,895
22	23	24	25	26	27	28
13,137	14,205	4,859	13,268	18,423	24,721	19,020
29	30					
15,955	22,391					

JULIOL						
1	2	3	4	5	6	7
18,507	12,088	17,128	21,643	12,717	12,223	20,384
8	9	10	11	12	13	14
14,024	10,884	11,039	4,558	13,509	13,505	18,220
15	16	17	18	19	20	21
22,952	17,860	19,518	19,804	15,032	13,612	12,123
22	23	24	25	26	27	28
19,567	7,270	10,276	19,064	15,079	17,393	20,654
29	30	31				
12,417	17,498	21,047				

AGOST						
1	2	3	4	5	6	7
18,691	11,423	19,647	5,827	9,942	22,230	15,032
8	9	10	11	12	13	14
18,230	12,470	13,199	19,813	16,310	13,043	13,997
15	16	17	18	19	20	21
12,437	11,816	9,261	23,075	21,309	17,768	17,008
22	23	24	25	26	27	28
17,956	8,691	6,660	13,428	13,461	18,460	12,940
29	30	31				
5,184	7,947	0,527				

SETEMBRE						
1	2	3	4	5	6	7
7,224	7,177		10,668	3,421	6,733	2,667
8	9	10	11	12	13	14
8,883	11,009	12,030	11,727	6,719	15,390	5,032
15	16	17	18	19	20	21
8,652	16,506	18,312	16,691	12,936	1,174	2,527
22	23	24	25	26	27	28
15,649	16,552	8,170	18,334	15,780	16,842	11,120
29	30					
8,125	10,192					

OCTUBRE						
1	2	3	4	5	6	7
12,311	10,543	12,077	13,010	2,867	7,298	7,999
8	9	10	11	12	13	14
10,147	10,949	15,319	7,332	7,150	9,393	7,864
15	16	17	18	19	20	21
3,433	8,773	10,044	2,171	3,188	8,622	9,498
22	23	24	25	26	27	28
11,293	8,999	8,065	5,891	1,196	1,320	8,295
29	30	31				
8,643	4,844	7,736				

NOVEMBRE						
1	2	3	4	5	6	7
1,014	10,384	5,277	0,819	1,477	2,988	2,577
8	9	10	11	12	13	14
1,899	4,577	4,848	7,478	7,051	10,000	10,233
15	16	17	18	19	20	21
7,354	8,970	7,577	7,775	6,971	4,483	8,248
22	23	24	25	26	27	28
3,861	5,840	4,588	4,221	3,831	6,435	2,591
29	30					
	4,418					

DESEMBRE						
1	2	3	4	5	6	7
0,578	3,402	5,078	0,020	3,515	0,170	
8	9	10	11	12	13	14
0,058		1,904	6,340	1,422	6,067	1,594
15	16	17	18	19	20	21
0,300	4,759	4,617	3,463	5,951	3,951	5,367
22	23	24	25	26	27	28
7,261	3,362	6,588	0,114	4,830	0,994	1,616
29	30	31				
6,978	7,672	7,058				

Taules A-1: Taules de resultats obtinguts a la fulla de càlcul d'Excel pels valors de radiació del 2004 a la Universitat de Girona. En gris el dia del mes i en blanc la radiació acumulada durant aquest dia en un pla horitzontal en MJ/m²

Es pot veure com pel mes d'abril, gairebé no hi ha dades de radiació directe. Això es deu a que les dades que van del 10 d'abril fins el 6 de maig eren anòmales i per tant s'han eliminat. Per altra banda, també hi ha dies concrets d'algun mes que no hi ha valor de

radiació directe, això es deu també a que en aquests dies alguna de les dades també era anòmla i s'ha decidit eliminar-la.

Per altra banda, es pot comprovar com els valors de radiació d'un dia a un altre de consecutiu poden ser molt variables. Això es degut a que la radiació directe depèn de la nuvolositat i en dies de molts núvols i/o pluja els valors de radiació recollits són molt inferiors als de dies assolellats.

A.4.2 Flux de radiació directe en un pla normal acumulada durant el dia (MJ/m²):

GENER						
1	2	3	4	5	6	7
9,368	25,240	24,561	21,406	18,787	12,021	2,068
8	9	10	11	12	13	14
12,845	5,996	7,362	14,252	0,918	3,605	5,219
15	16	17	18	19	20	21
11,551	16,704	8,966	7,399	23,730	3,208	17,145
22	23	24	25	26	27	28
11,596	7,109	0,584	1,444	8,885	0,149	22,975
29	30	31				
21,946	17,268	16,761				

FEBRER						
1	2	3	4	5	6	7
13,901	8,821	12,085	2,475	12,819	7,272	5,997
8	9	10	11	12	13	14
8,538	26,324	27,139	18,573	25,207	26,289	13,690
15	16	17	18	19	20	21
20,986	0,332	20,933		12,376	5,275	0,453
22	23	24	25	26	27	28
11,490	15,519	4,182	0,662		8,752	18,808
29						
13,981						

MARÇ						
1	2	3	4	5	6	7
26,170	28,543	29,545	14,036	8,407	8,437	20,314
8	9	10	11	12	13	14
17,937	26,699	2,096	13,246	2,521		
15	16	17	18	19	20	21
16,525	20,269	21,169	9,552	17,065	9,636	2,963
22	23	24	25	26	27	28
2,146	32,910				1,002	10,864
29	30	31				
0,758	4,794	3,900				

ABRIL						
1	2	3	4	5	6	7
27,683	15,580	30,741	28,730	25,834	0,711	0,656
8	9					
1,065	22,991					

MAIG						
7	8	9	10	11	12	13
19,914	29,484	28,540	3,566	0,926	8,438	27,453
14	15	16	17	18	19	20
23,916	24,604	30,986	26,269	27,898	34,159	39,721
21	22	23	24	25	26	27
24,466	12,061	20,852	35,444	20,409	5,829	25,597
28	29	30	31			
21,740	20,265	6,515	5,993			

JUNY						
1	2	3	4	5	6	7
8,391	8,050	22,351	32,880	34,343	37,366	31,188
8	9	10	11	12	13	14
32,886	37,180	32,359	17,935	14,882	40,325	38,866
15	16	17	18	19	20	21
19,883	15,527	39,061	37,511	2,451	3,337	17,385
22	23	24	25	26	27	28
18,537	21,275	9,143	19,511	27,084	36,283	26,189
29	30					
23,414	31,998					

JULIOL						
1	2	3	4	5	6	7
26,877	14,635	24,383	32,788	19,435	16,195	27,479
8	9	10	11	12	13	14
18,991	14,646	16,356	5,451	17,117	17,125	28,012
15	16	17	18	19	20	21
34,158	25,395	28,634	28,276	21,632	21,073	17,130
22	23	24	25	26	27	28
27,198	9,376	14,739	26,151	22,822	25,722	29,580
29	30	31				
17,485	26,032	31,333				

AGOST						
1	2	3	4	5	6	7
26,555	16,643	28,160	9,728	15,569	33,052	22,062
8	9	10	11	12	13	14
27,995	17,696	21,125	31,138	25,590	20,763	22,594
15	16	17	18	19	20	21
19,785	17,934	14,498	37,049	34,234	27,261	26,459
22	23	24	25	26	27	28
27,801	13,155	10,206	19,816	19,735	30,140	18,953
29	30	31				
8,045	11,442	1,236				

SETEMBRE						
1	2	3	4	5	6	7
12,695	13,635		17,571	6,189	11,883	5,693
8	9	10	11	12	13	14
15,467	18,569	19,863	19,572	11,137	26,303	7,490
15	16	17	18	19	20	21
13,517	26,185	32,856	30,092	22,773	2,104	4,788
22	23	24	25	26	27	28
28,301	29,837	12,703	35,000	29,994	32,296	20,102
29	30					
15,980	18,390					

OCTUBRE						
1	2	3	4	5	6	7
21,550	20,251	23,411	24,459	5,429	14,504	13,415
8	9	10	11	12	13	14
18,952	21,182	32,154	14,959	13,084	20,481	14,004
15	16	17	18	19	20	21
6,083	18,978	20,675	5,485	7,566	18,078	20,377
22	23	24	25	26	27	28
26,618	20,358	16,951	11,346	4,146	3,464	18,866
29	30	31				
20,877	11,069	17,937				

NOVEMBRE						
1	2	3	4	5	6	7
2,513	26,361	12,135	2,121	4,971	9,362	6,432
8	9	10	11	12	13	14
5,385	10,092	13,284	18,518	17,919	27,759	28,428
15	16	17	18	19	20	21
19,526	25,155	20,810	21,774	19,455	12,687	23,523
22	23	24	25	26	27	28
10,060	16,286	12,227	11,572	10,867	19,545	7,280
29	30					
	14,633					

DESEMBRE						
1	2	3	4	5	6	7
2,015	11,349	14,361	0,078	10,834	0,683	
8	9	10	11	12	13	14
0,128		7,886	19,979	4,482	18,750	5,768
15	16	17	18	19	20	21
1,011	13,572	14,334	10,891	18,094	11,434	16,118
22	23	24	25	26	27	28
23,590	11,737	20,293	0,433	14,165	4,250	6,079
29	30	31				
21,911	24,209	21,328				

Taules A-2: Taules de resultats obtinguts a la fulla de càlcul d'Excel pels valors de radiació del 2004 a la Universitat de Girona. En gris el dia del mes i en blanc la radiació acumulada durant aquest dia en un pla normal en MJ/m²

En aquest cas es pot comprovar com el flux de radiació directe és superior que en el cas anterior del pla horitzontal. Es pot observar com sobretot als mesos d'hivern, quan els sol passa més baix i per tant l'angle d'altura solar és menor, la diferencia de flux pel pla normal i pel pla horitzontal és molt acusada, mentre que pels mesos d'estiu són força semblants, ja

que el sol passa més alt. Tot i això, s'ha de tenir en compte que la variació no és constant degut als fenòmens atmosfèrics i en el moment en que passen. Per exemple en primeres hores, quan el sol està més baix tindran menys influència que a hores del migdia quan el sol està més alt.

A.4.3 Flux de radiació directe en un concentrador amb l'eix longitudinal seguint la direcció N - S acumulada durant el dia (MJ/m²):

GENER						
1	2	3	4	5	6	7
5,831	14,519	14,080	12,192	10,676	6,482	1,074
8	9	10	11	12	13	14
7,177	3,432	4,695	7,813	0,596	2,408	3,314
15	16	17	18	19	20	21
7,046	9,931	5,587	5,115	14,930	1,887	10,778
22	23	24	25	26	27	28
7,261	4,092	0,419	0,890	5,843	0,098	14,386
29	30	31				
14,131	10,733	10,060				

FEBRER						
1	2	3	4	5	6	7
9,116	6,019	7,884	1,680	8,527	4,639	3,828
8	9	10	11	12	13	14
5,364	18,196	18,847	12,687	17,640	18,509	9,625
15	16	17	18	19	20	21
14,689	0,249	15,210		8,485	4,138	0,338
22	23	24	25	26	27	28
8,240	11,353	2,976	0,496		6,847	13,936
29						
10,777						

MARÇ						
1	2	3	4	5	6	7
20,608	22,275	23,196	11,415	6,856	6,178	15,494
8	9	10	11	12	13	14
13,914	21,878	1,717	11,026	1,859		
15	16	17	18	19	20	21
13,428	16,524	17,565	7,949	14,087	8,179	2,773
22	23	24	25	26	27	28
1,926	28,303				0,909	9,137
29	30	31				
0,686	4,430	3,523				

ABRIL						
1	2	3	4	5	6	7
24,794	14,266	27,699	25,600	23,023	0,669	0,585
8	9					
0,971	21,017					

MAIG						
7	8	9	10	11	12	13
19,118	28,366	27,228	3,439	0,885	8,144	26,458
14	15	16	17	18	19	20
22,973	23,717	29,846	25,286	26,893	33,037	38,411
21	22	23	24	25	26	27
23,506	11,672	20,128	34,293	19,751	5,607	24,684
28	29	30	31			
21,085	19,642	6,435	5,716			

JUNY						
1	2	3	4	5	6	7
8,085	7,769	21,635	31,916	33,386	36,301	30,217
8	9	10	11	12	13	14
31,981	36,133	31,425	17,371	14,357	39,191	37,792
15	16	17	18	19	20	21
19,341	15,135	37,965	36,454	2,330	3,237	16,954
22	23	24	25	26	27	28
18,021	20,730	8,919	18,936	26,301	35,268	25,398
29	30					
22,800	31,106					

JULIOL						
1	2	3	4	5	6	7
26,159	14,117	23,759	31,868	18,985	15,601	26,641
8	9	10	11	12	13	14
18,360	14,222	15,913	5,194	16,417	16,529	27,220
15	16	17	18	19	20	21
33,093	24,522	27,782	27,261	20,867	20,365	16,526
22	23	24	25	26	27	28
26,200	8,928	14,199	25,143	21,982	24,749	28,443
29	30	31				
16,744	24,982	30,060				

AGOST						
1	2	3	4	5	6	7
25,360	15,839	26,852	9,437	14,985	31,508	20,924
8	9	10	11	12	13	14
26,637	16,694	20,097	29,628	24,292	19,666	21,433
15	16	17	18	19	20	21
18,734	16,815	13,575	34,862	32,144	25,348	24,647
22	23	24	25	26	27	28
25,815	12,159	9,457	18,096	17,997	27,850	17,099
29	30	31				
7,330	10,240	1,163				

SETEMBRE						
1	2	3	4	5	6	7
11,769	12,726		15,853	5,680	10,774	5,311
8	9	10	11	12	13	14
13,894	16,495	17,463	17,216	9,618	22,990	6,223
15	16	17	18	19	20	21
11,360	22,098	28,482	25,988	19,444	1,795	4,107
22	23	24	25	26	27	28
23,915	25,047	10,039	29,482	25,068	26,922	16,304
29	30					
13,266	14,756					

OCTUBRE						
1	2	3	4	5	6	7
16,914	16,351	18,763	19,293	4,250	11,533	9,764
8	9	10	11	12	13	14
14,409	16,196	25,151	11,524	9,436	15,926	9,767
15	16	17	18	19	20	21
4,143	14,364	15,106	4,306	5,757	12,906	14,614
22	23	24	25	26	27	28
19,675	14,540	11,637	7,288	3,380	2,573	12,893
29	30	31				
14,610	7,473	12,078				

NOVEMBRE						
1	2	3	4	5	6	7
1,719	18,085	7,771	1,429	3,754	6,781	4,160
8	9	10	11	12	13	14
3,664	5,835	8,776	11,408	11,119	17,890	18,141
15	16	17	18	19	20	21
12,018	15,820	12,819	13,420	11,843	7,670	14,266
22	23	24	25	26	27	28
5,694	9,553	6,891	6,580	6,249	11,661	4,100
29	30					
	8,945					

DESEMBRE						
1	2	3	4	5	6	7
1,273	6,905	7,814	0,050	6,188	0,439	
8	9	10	11	12	13	14
0,057		5,140	11,251	2,551	10,356	3,533
15	16	17	18	19	20	21
0,576	6,951	7,865	6,024	9,734	5,950	8,603
22	23	24	25	26	27	28
13,311	6,951	11,113	0,271	7,455	2,766	3,806
29	30	31				
12,294	13,667	11,770				

Taules A-3: Taules de resultats obtinguts a la fulla de càlcul d'Excel pels valors de radiació del 2004 a la Universitat de Girona. En gris el dia del mes i en blanc la radiació acumulada durant aquest dia en el concentrador en MJ/m²

En aquestes taules queden reflectits els valors de flux de radiació directe que som capaços de captar amb els concentradors cilindre – parabòlics amb l'eix coincidint amb la direcció nord – sud.

Es pot observar com, lògicament són inferiors als trobats per un pla normal a la radiació però alhora són superiors als trobats pel pla horitzontal gràcies a aquest sistema de seguiment en un eix.

A.4.4 Resultats mitjos per cada mes:

S'han calculat a partir de les dades de cada dia de mes.

S'ha realitzat la mitja a partir de la suma de tots els valors vàlids de cada mes dividits pel número d'ells. És a dir, s'ha de tenir en compte que per exemple el flux mig pel mes d'abril està buscat únicament a partir de 9 valors reals.

Els valors per mes inclosos a les següents taules són de radiació acumulada mitja en un dia i en MJ/m².

Pla horitzontal (MJ/m²):

GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY	JULIOL
3,999	5,574	7,320	10,18	14,443	17,055	15,535
AGOST	SETEMBRE	OCTUBRE	NOVEMBRE	DESEMBRE		
13,799	10,560	7,944	5,441	3,622		

Taules A-4: Taula de resultats de radiació acumulada mitja per dia d'un mes. En gris el mes i en blanc la radiació acumulada mitjana durant cada dia d'aquest mes en un pla horitzontal en MJ/m²

Pla normal (MJ/m²):

GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY	JULIOL
11,647	12,699	13,519	17,11	21,002	24,586	22,136
AGOST	SETEMBRE	OCTUBRE	NOVEMBRE	DESEMBRE		
21,175	18,655	16,345	14,851	11,371		

Taules A-5: Taula de resultats de radiació acumulada mitja per dia d'un mes. En gris el mes i en blanc la radiació acumulada mitjana durant cada dia d'aquest mes en un pla normal en MJ/m²

En el concentrador (MJ/m²):

GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY	JULIOL
7,015	8,900	10,994	15,40	20,253	23,882	21,382
AGOST	SETEMBRE	OCTUBRE	NOVEMBRE	DESEMBRE		
19,893	16,003	12,149	9,244	6,368		

Taules A-6: Taula de resultats de radiació acumulada mitja per dia d'un mes. En gris el mes i en blanc la radiació acumulada mitjana durant cada dia d'aquest mes en un concentrador en MJ/m²

A.4.5 Resultats de flux i potència diària:

Els resultats de la següent taula s'han obtingut realitzant la mitja de tots els valors vàlids de flux de radiació durant l'any.

Pla horitzontal (MJ/m ²)	Pla normal (MJ/m ²)	Concentrador (MJ/m ²)
9,471	17,143	14,262

Taules A-7: Taula de resultats de radiació acumulada mitjana per dia durant l'any 2004.

A partir d'aquí s'ha buscat la potència mitja diària dividint el valor de flux de radiació mitja diària anual per 3.600 segons i 24 hores. També s'ha buscat el valor de potència que obtindríem en un any multiplicant la potència mitja diària per 366 (ja que l'any 2004 era de traspàs).

Potència diària mitja:

Pla horitzontal (W/m ²)	Pla normal (W/m ²)	Concentrador (W/m ²)
109,62	198,41	165,07

Taules A-8: Taula de resultats de potència diària mitja durant l'any 2004.

Potència acumulada en un any:

Pla horitzontal (kW/m ²)	Pla normal (kW/m ²)	Concentrador (kW/m ²)
40,1206	72,6191	60,4156

Taules A-9: Taula de resultats de potència acumulada durant l'any 2004.

Per tant, s'hi fos possible aprofitar tota la radiació que ens arriba durant l'any amb un 100% de rendiment, seríem capaços de generar 60,42 kW per cada m² de concentrador de potència.

A.4.6 Comparació respecte la radiació normal extraterrestre

En el mateix Excel on s'han buscat els valors de radiació directe diària, s'ha creat una nova fulla on s'ha calculat de manera teòrica la radiació que ens arribaria a la latitud de Girona si no existís l'atmosfera, és a dir si no es tinguessin pèrdues en el flux de radiació degut a absorcions d'aquesta per part de núvols, masses de gasos, contaminació...

A la següent taula s'ha fet una comparació d'aquesta radiació teòrica respecte els valors de flux de radiació directe en el pla horitzontal calculats anteriorment.

	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny
Radiació mitja diària extraterrestre (MJ/m ²)	14,468	20,029	27,556	34,781	39,802	41,772
Radiació mitja diària experimental (MJ/m ²)	3,999	5,574	7,320	10,184	14,443	17,055
% aprofitat	27,64%	27,83%	26,56%	29,28%	36,29%	40,83%

	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
Radiació mitja diària extraterrestre (MJ/m ²)	40,422	35,988	29,362	21,855	15,588	12,777
Radiació mitja diària experimental (MJ/m ²)	15,535	13,799	10,560	7,944	5,441	3,622
% aprofitat	38,43%	38,34%	35,96%	36,35%	34,90%	28,35%

Taules A-10: Taula comparativa entre radiació directe mitja diària extraterrestre en un pla horitzontal a la latitud de Girona i el flux de radiació directe mitja diària obtinguda per l'any 2004 en un pla horitzontal a Girona.

Es pot observar com l'únic mes que es supera per poc el 40% d'aprofitament del flux de radiació directe procedent del sol és el juny. Per tant, a més de les pèrdues que es tindran degut a rendiments tecnològics s'ha de pensar que ja es perd gran part de la radiació degut a l'atmosfera.

B CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES PIRANÒMETRE

B.1 Piranòmetre

El piranòmetre utilitzat per recollir les dades de radiació solar a la Universitat de Girona és el model CM 11/121 de la casa Kipp & Zonen.

És bàsicament un piranòmetre CM 11 en el qual se li munta un estant d'ombra CM 121, tal i com es veu a la figura B-1.

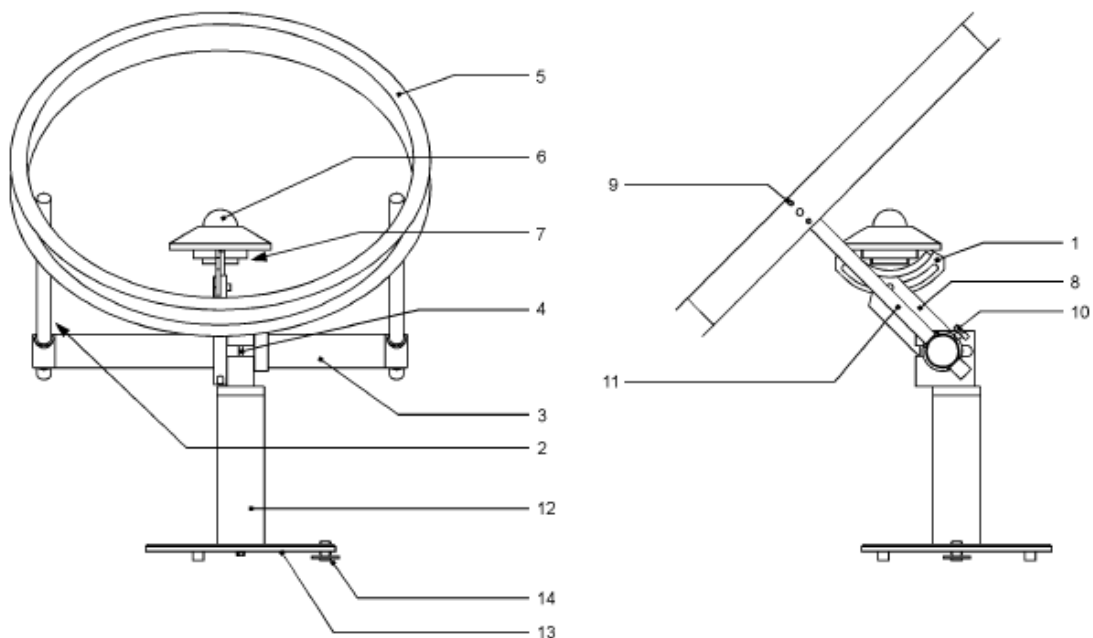


figure 1. the different parts of the shadow ring CM 121B

- 1 sector (including sight)
- 2 scale on the sliding bar (point of readout is indicated)
- 3 crossbar
- 4 securing bolt for the crossbar to the pyranometer support
- 5 shadow ring
- 6 pyranometer (normally not included in delivery)
- 7 spirit level of the pyranometer
- 8 pyranometer support
- 9 screws for attachment of the sliding bar to the shadow ring
- 10 fixing screws for the sliding bars
- 11 sliding bar
- 12 pillar
- 13 base
- 14 leveling screw for the base

Figura B-1: Esquema dels elements que componen el piranòmetre utilitzat per recollir les dades de radiació solar.

B.2 Obtenció de la radiació directa

Ens hem trobat que els valors de radiació obtinguts pel piranòmetre són de radiació global i difusa. En el nostre cas necessitem saber el valor de la radiació directe. Tot i que la radiació global = radiació directe – radiació difusa, en aquest cas això no es pot aplicar, ja que el piranòmetre de la casa Kipp & Zonen porta una banda para-sol per calcular la radiació difusa que interfereix en aquesta relació, cosa que fa que necessitem aplicar un coeficient de correcció C:

Radiació directe en el pla = Radiació Global – Radiació Difusa · C

on:

$$C = \frac{1}{1 - S}$$

i S:

$$S = \frac{2 \cdot V \cdot \cos D \cdot (U_0 \cdot \sin B \cdot \sin D + \sin U_0 \cdot \cos B \cdot \cos D)}{\pi}$$

on:

$$V = 0.185 \text{ rad}$$

$$D = \text{declinació (en rad)}$$

$$\cos(U_0) = -\tan(B) \cdot \tan(D) \text{ (en rad)}$$

$$B = \text{latitud (en rad)}$$

Aquests coeficients s'han aplicat a la fulla de càlcul de l'Excel per poder trobar després el valor de la radiació directe en aquest mateix full de càlcul utilitzant el factor de correcció C mencionat.

C CARACTERÍSTIQUES CONCENTRADOR SOLAR

Un col·lector solar complet està format per un cert nombre de mòduls cilindre - parabòlics, connectats en sèrie i generalment operats per un mateix mecanisme d'accionament.

En el projecte els mòduls que s'utilitzaran per formar les files de col·lectors, es basaran en el model desenvolupat per un consorci de companyies, promogut per la Unió Europea, en l'anomenat projecte de concentrador cilindre – parabòlic Eurotrough. Aquest model agafa com a referència, per altra banda, el col·lector LS-3, de la companyia Luz International, més endavant absorbida per Solel Systems Ltd.ⁱ

Així, el concentrador que s'instal·larà a la central projectada s'exigirà que com a mínim compleixi amb les característiques del model Eurotrough, deixant per cada fabricant les possibles millores que siguin capaços d'introduir sense que això suposi un excessiu increment econòmic, de pes, de rendiment...

C.1 Característiques del col·lector Eurotrough:

Estructura de suport: Basada en tubs d'acer, pre-galvanitzats.

Longitud del col·lector: 12 metres per element. Entre 100 i 150 m de longitud total.

Mecanisme d'accionament del sistema de seguiment: Distribució hidràulica.

Màxima velocitat del vent:

Operació: 14 m/s

Supervivència: 40 m/s

Control de seguiment: Electrònic. Error < 2 mrad

ⁱ Solel Systems Ltd. actualment disposa de les 9 centrals SEGS (Sistemes de Generació Energètica Solar) que operen actualment al desert de Mojave (Califòrnia), productores durant 20 anys de 354 MW de potència elèctrica. Aquestes centrals abans de ser adquirides per Solel eren propietat de Luz International.

Forma: Paràbola, $y = \frac{x^2}{4 \cdot f}$, amb $f^i = 1,71$ m

Amplada d'obertura: 5,77 metres.

Reflectors: Vidre amb mirallⁱⁱ

Factor de concentració: 82

Eficiència òptica: 0,80

C.2 Geometria del concentrador

Dades de la geometria del model Eurothroug:

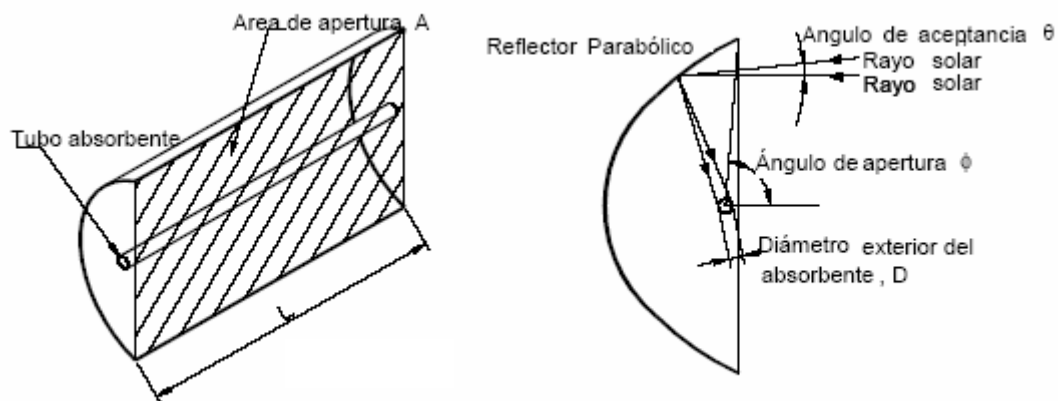


Figura C-1: Vistes d'un concentrador cilíndric – parabòlic i variables que en defineixen la geometria.

Amplada d'obertura, $a = 5.77$ metres

Distància focal, $f = 1.71$ metres

Fórmula de la paràbola = $x = \frac{y^2}{4 \cdot f} + c \cdot f$

ⁱ Distància al punt focal.

ⁱⁱ Especificacions a l'annex C.6: Reflectors. Pàg. 69.

on:

- c = 1 si l'origen és a la directriu
- c = 0 si l'origen és al vèrtex
- c = -1 si l'origen és al punt focal

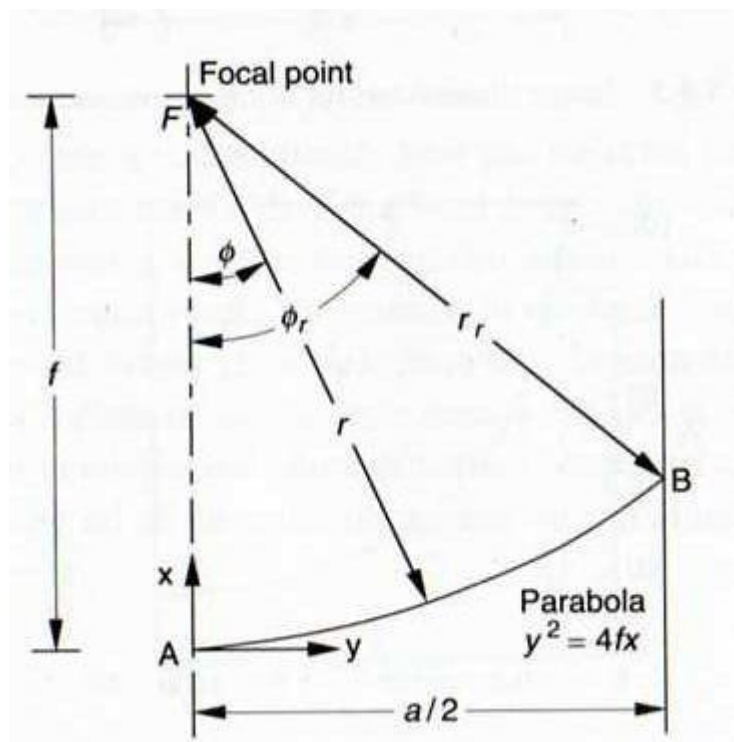


Figura C-2: Geometria de la paràbola.

Es suposa tal i com es veu a la figura C-2, que l'origen es troba al vèrtex de la paràbola. Per tant:

Fórmules aplicablesⁱ:

$$\text{Paràbola} = x = \frac{y^2}{4 \cdot f} \quad (\text{Eq. C-1})$$

ⁱ Fórmules extretes de: DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. Solar Engineering of thermal processes. Editorial Wiley Interscience. 1991.

$$\text{Angle d'extrem i radi d'extrem} = \phi_r = \tan^{-1} \left[\frac{8 \cdot \left(\frac{f}{a}\right)}{16 \cdot \left(\frac{f}{a}\right)^2 - 1} \right] = \sin^{-1} \left(\frac{a}{2 \cdot r_r} \right) \quad (\text{Eq. C-2})$$

$$\text{Radi local} = r = \frac{2 \cdot f}{1 + \cos\phi} \quad (\text{Eq. C-3})$$

A partir d'aquestes fórmules i sabent l'amplada d'obertura (a) i la distància focal (f) es pot trobar la geometria completa del perfil del concentrador. A la taula C-1 es resumeixen els valors obtinguts aplicant les equacions anteriors:

Amplada d'obertura = a	5,77 metres
Distància focal = f	1,71 metres
Angle d'extrem = ϕ_r	80°
Altura resp. el vèrtex, de l'extrem B = x_B	1,2 metres

Taula C-1: Valors de la geometria de la paràbola del concentrador Eurotrough.

C.3 Estructura del concentrador

L'estructura que s'exigirà en els nostres concentradors agafarà com a referència els resultats obtinguts en l'estudi de l'estructura utilitzada en els concentradors Eurotrough.

Aquesta estructura es diferencia de la del concentrador LS – 3 desenvolupat per la companyia Luz International pel fet de tot i tenir una configuració que la fa més lleugera, ser alhora més rígida i amb una caixa estructural dissenyada per suportar els esforços de torsió, tal i com es veu a la figura C-3.

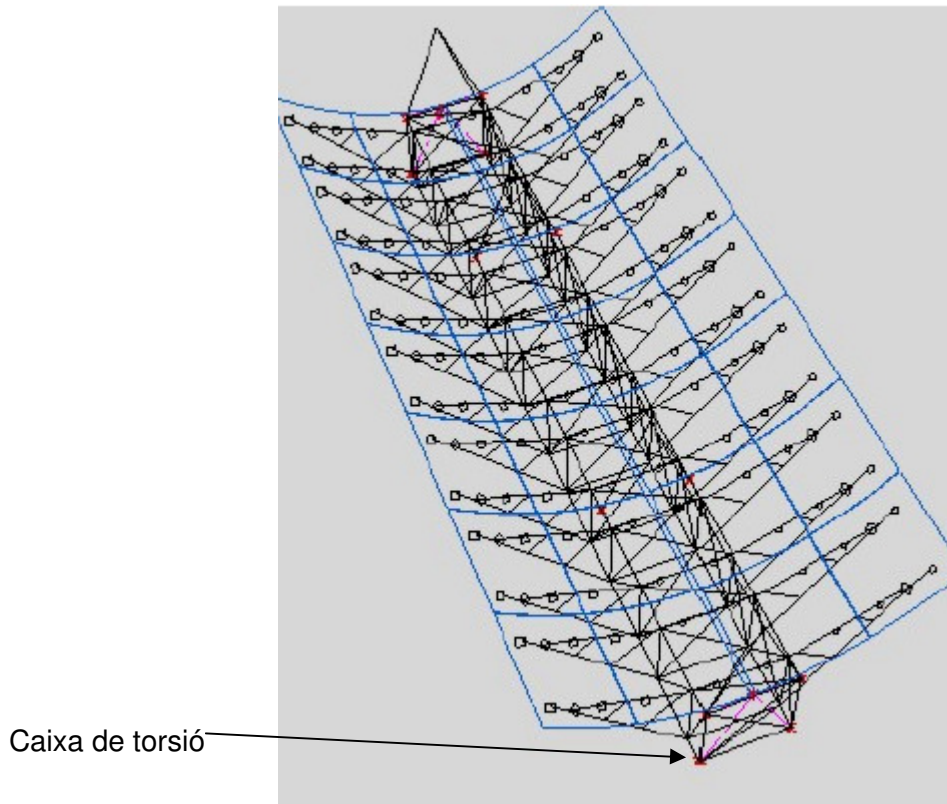


Figura C-3: Esquem en ordinador de l'estructura de tubs d'acer galvanitzats del concentrador Eurotrough.

Les parts estructurals que formaran cada concentrador són les que es poden observar a la figura C-4.

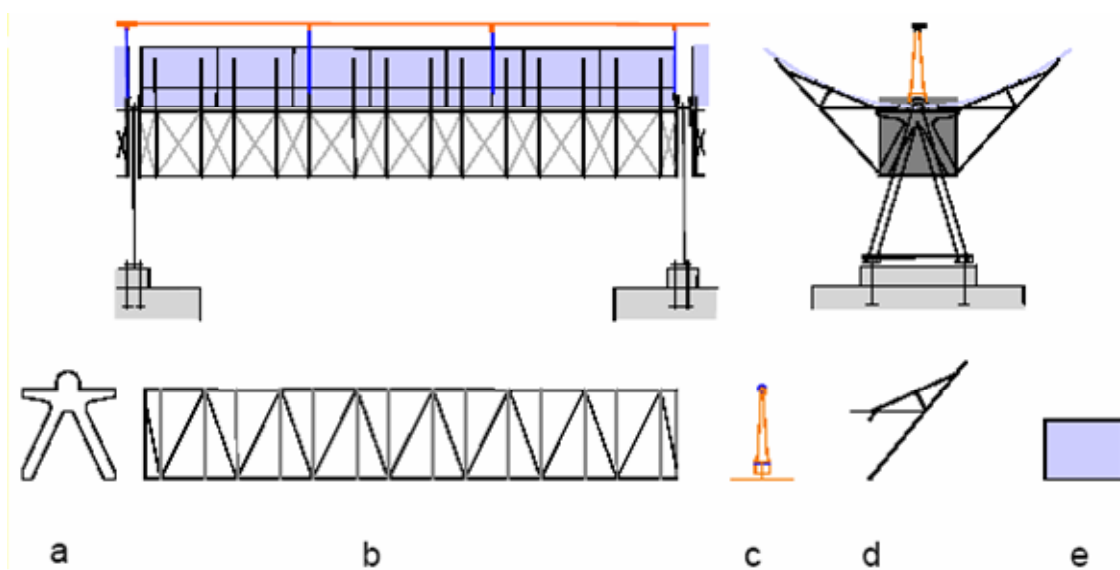


Figura C-4: Parts estructurals que componen un concentrador Eurotrough.

a = 2 plats, un a cada final del concentrador

b = 4 esquelets de tubs d'acer units formant una caixa de torsió

c = 3 suports pel tub absorbidor UVAC

d = 14 braços en voladís

e = 28 miralls



Imatge C-1: Foto de l'estructura d'un col·lector format per concentradors Eurotrough.

A la figura C-5 es pot observar esquemàticament un conjunt de concentradors Eurotrough units en sèrie.

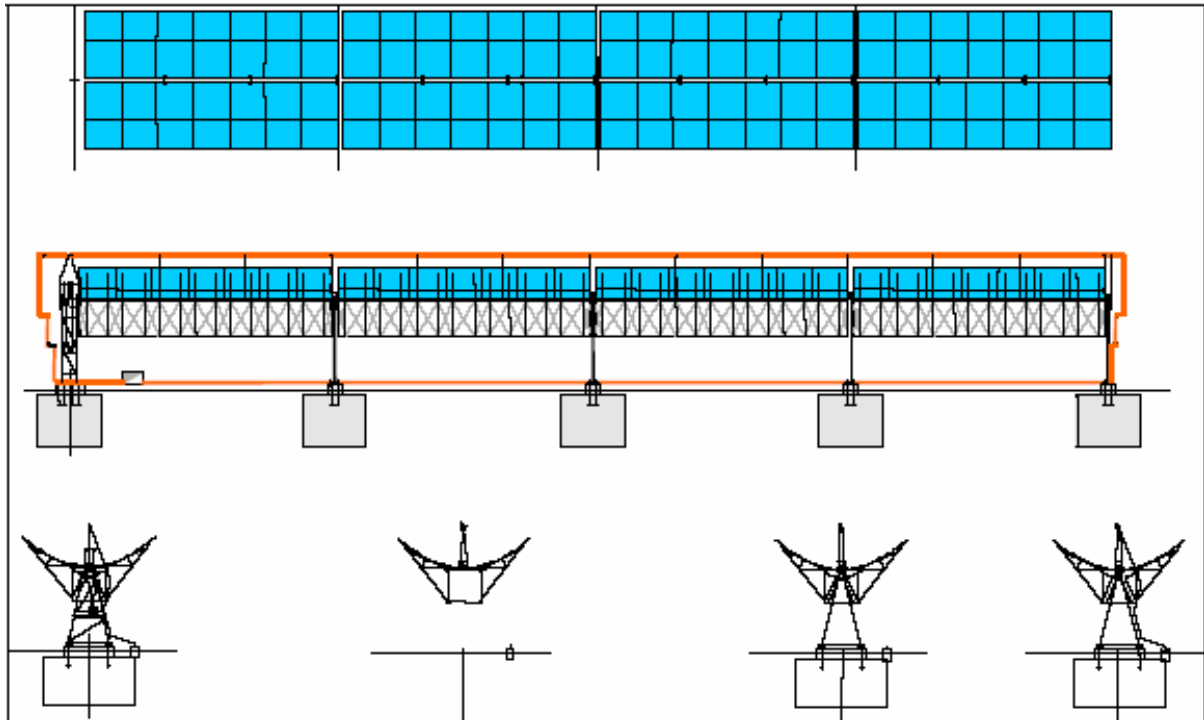


Figura C-5: Conjunt de quatre concentradors Eurotrough units en sèrie. A la part posterior vista en planta, al mig vista en alçat i a la inferior perfils.

S'agafaran com a referència de pesos pels càlculs posteriors, els dels components del concentrador Eurotrough. Aquests es poden veure a la taula C-2.

EuroTrough Collector Component		strong SCE	"field" SCE
Glass mirrors	kg	747	747
HCE (incl. oil)	kg	73	73
Torque box	kg	597	597
End Plates	kg	186	130
Cantilever Arms	kg	384	231
HCE supports	kg	113	90
Torque Transfer	kg	32	32
Total weight steel structure only	kg	1,312	1,080
Specific weight steel only	kg/m ²	19.0	15.6
Total weight incl. mirrors and HCE	kg	2,132	1,900
Specific weight kg/m²	kg/m²	30.9	27.5

Taula C-2: Taula de pesos dels diferents components del concentrador Eurotrough.

C.4 Tub Absorbidor

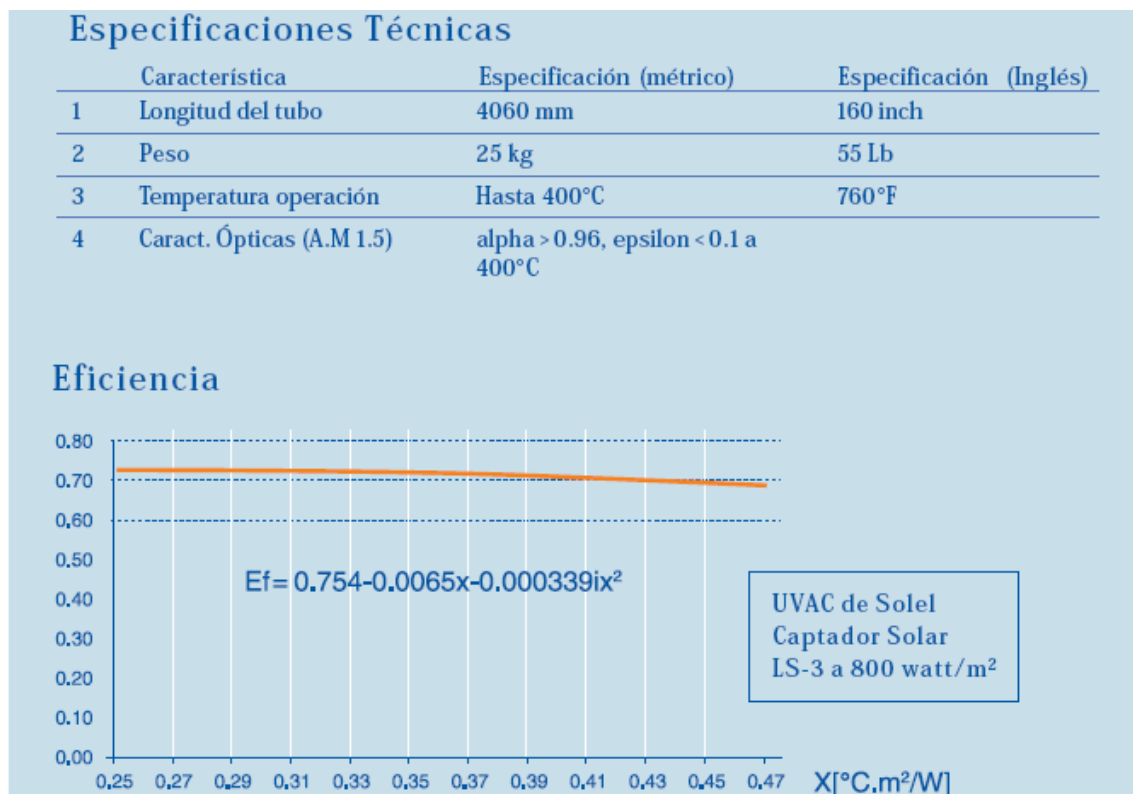
El tub absorbidor que s'utilitzarà en els concentradors serà l'absorbidor UVAC, aïllat al buit, de la casa israeliana Solel Systems Ltd.

Aquest tub absorbidor està compost per un tub d'acer amb un recobriment especial per millorar l'absorbència i disminuir l'emissivitat. Es troba encapsulat dins un tub de vidre, recobert també amb materials especials per disminuir la reflexió de la radiació, on s'ha practicat el buit.

El fet de fer el buit entre el tub d'acer i el de vidre és el de millorar el rendiment del tub, ja que s'eviten pèrdues per convecció i a més es protegeix el tub d'acer i els materials de recobriment de reaccions d'oxidació, que es produirien molt fàcilment a les temperatures pròximes als 400 °C a que pot arribar el tub absorbidor.

C.4.1 Característiques tub UVAC

A la taula C-3 s'inclouen les especificacions tècniques del tub absorbidor Eurotrough.



Taula C-3: Especificacions tècniques del tub UVAC.

Tot i no estar inclòs en aquesta taula d'especificacions tècniques, cal dir que el tub d'acer de l'absorbidor té un diàmetre de 70 mm i el de vidre de 115 mm, de tal manera que s'adapta perfectament al nostre concentrador (degut també a que es va desenvolupar per operar amb el concentrador de la casa Luz International LS - 3, base utilitzada en el desenvolupament del concentrador solar Eurotrough).

Si tenim en compte la fórmula següent que ens determina el diàmetre del receptor en funció de l'angle d'obertura del concentradorⁱ tal i com es veu a la figura C-6:

$$D = 2 \cdot r_r \cdot \sin 0,267 = \frac{a \cdot \sin 0,267}{\sin \phi_r} \quad (\text{Eq. C-4})$$

on, $0,267^\circ \approx 16'$

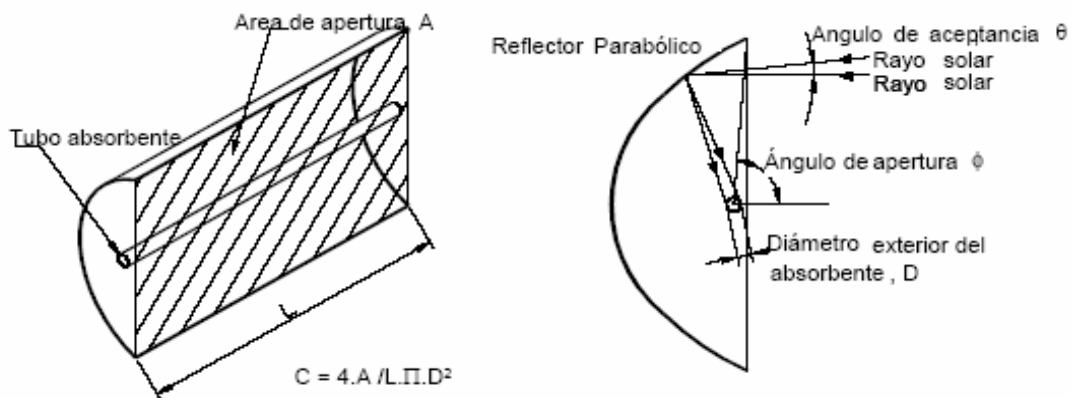


Figura C-6: Al tall de la dreta es pot observar com el diàmetre del tub absorbidor depèn de l'angle d'obertura degut a l'angle amb que arriben els rajos solar (16').

Per tant, amb aquesta fórmula trobem el diàmetre del receptor necessari que ens absorbirà la radiació directa solar.

a = 5,77 metres

ⁱ Es important calcular-la, ja que els rajos solars, degut al disc solar no ens arriben tots paral·lels, sinó que ens arriben amb un angle de 16' respecte el raig perpendicular i quan més gran sigui l'angle d'extrem més ample haurà de ser el pla focal per absorbir tot el flux de rajos concentrats.

Fórmula extreta de: : DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. Solar Engineering of thermal processes. Editorial Wiley Interscience. 1991.

$$\varphi_r = 80^\circ = 1,396 \text{ rad}$$

$$D = 2 \cdot r_r \cdot \sin 0,267 = \frac{5,77 \cdot \sin 0,267}{\sin 80^\circ} = 0,0273 \text{ m}$$

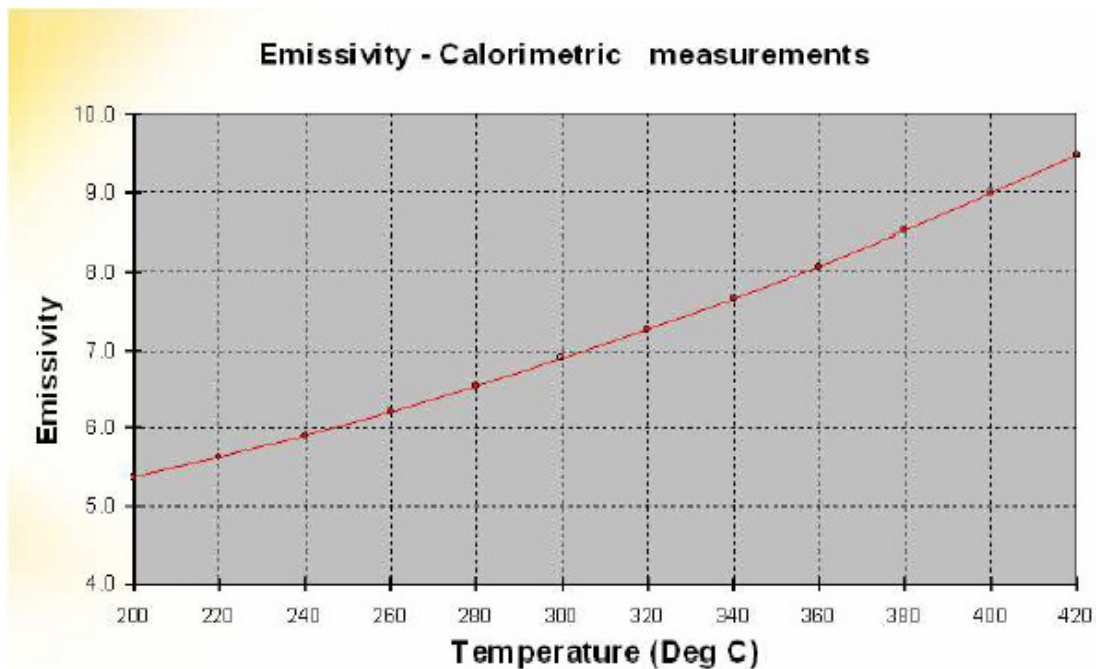
Aplicant la fórmula s'obté que la distància entre els rajos de l'extrem de la imatge concentrada és de 0,0273 m, per tant amb l'absorbidor de diàmetre 0,07 m s'agafa tota la imatge reflectida.

S'ha de tenir en compte que és necessari que l'absorbidor tingui un diàmetre superior al calculat, ja que sempre es tindrà un marge d'error en el sistema de seguiment que farà que la radiació no es concentri perfectament en el punt focal.

C.4.2 Propietats generals

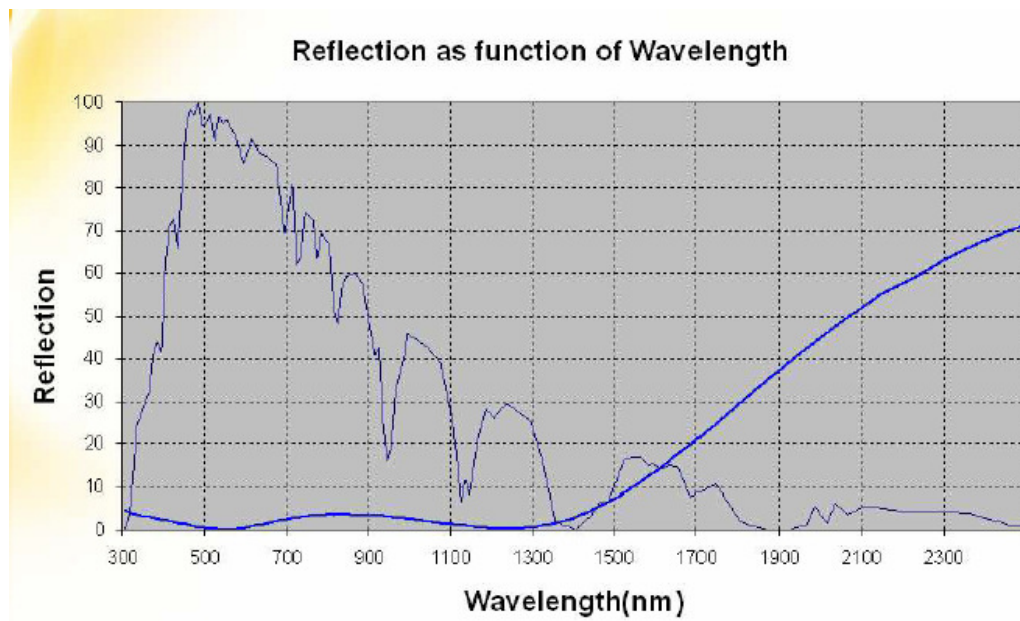
Factor d'absorció, $\alpha > 96 \%$

Factor d'emissivitat, $\varepsilon < 0.10$ (a 400 °C)



Gràfic C-1: Evolució del tant per cent d'emissivitat en funció de la temperatura pel tub UVAC.

Recobrint amb un recobrint antirreflexant a la superfície del vidre.

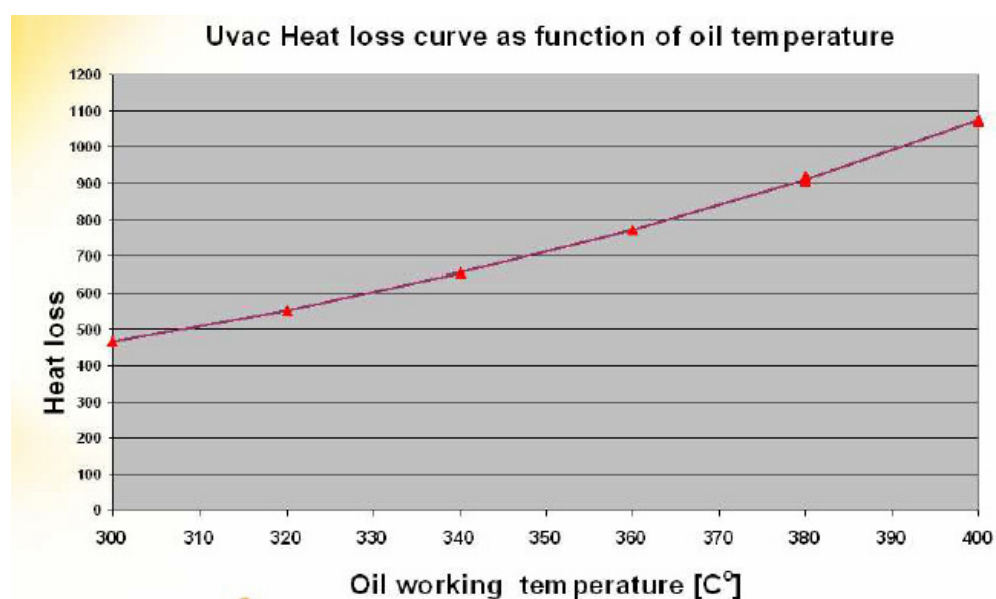


Gràfic C-2: Reflexió de la camisa de vidre (color blau) en funció de la longitud d'ona amb que ens arriba la radiació solar un cop a passat l'atmosfera (color violeta).

S'observa el factor de reflexió per part del vidre en funció de la longitud d'ona de la llum.

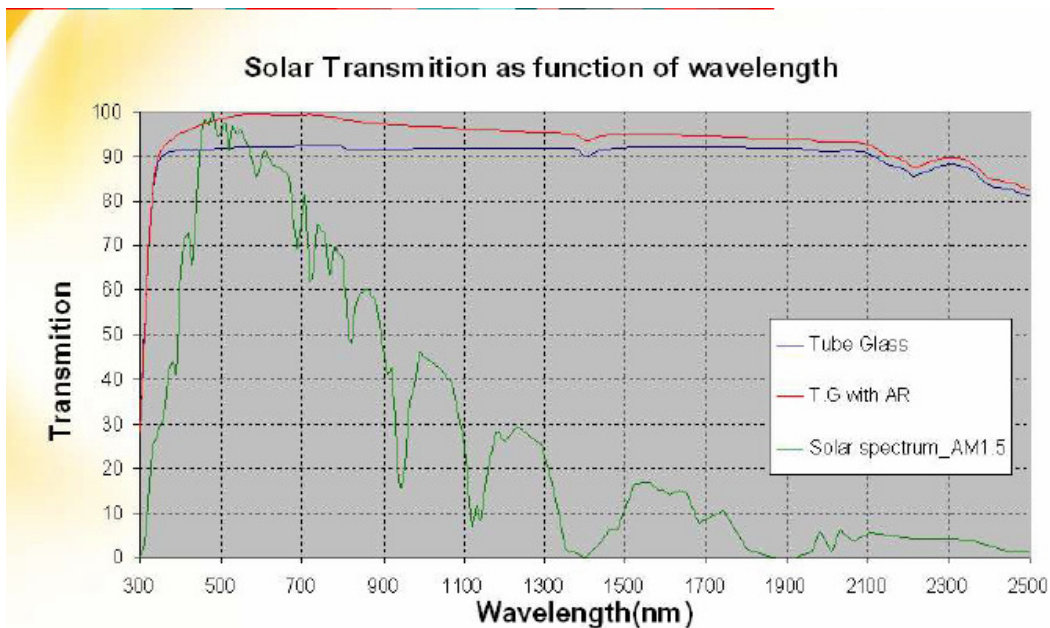
Es pot observar com en les zones de longitud d'ona principals (longitud d'ona de 300 a 1400 nm) la reflexió del vidre no supera el 10%.

Gràfic de la calor perduda pel receptor en funció de la temperatura de treball de l'oli.



Gràfic C-3: Pèrdues tèrmiques en W/tub UVAC en funció de la temperatura del fluid que circula en l'interior del tub.

En el següent gràfic es pot veure la millora de rendiment en la transmissió de calor al fluid que s'obté gràcies al recobriment antirreflectant del tub de vidre.



Gràfic C-4: Diferència de transmissió de la radiació solar a través del vidre que recobreix el tub absorbidor amb el tractament antirreflectant (color vermell) i sense (color blau).

Altres propietats:

Garantia de no trencament de 3 anys.

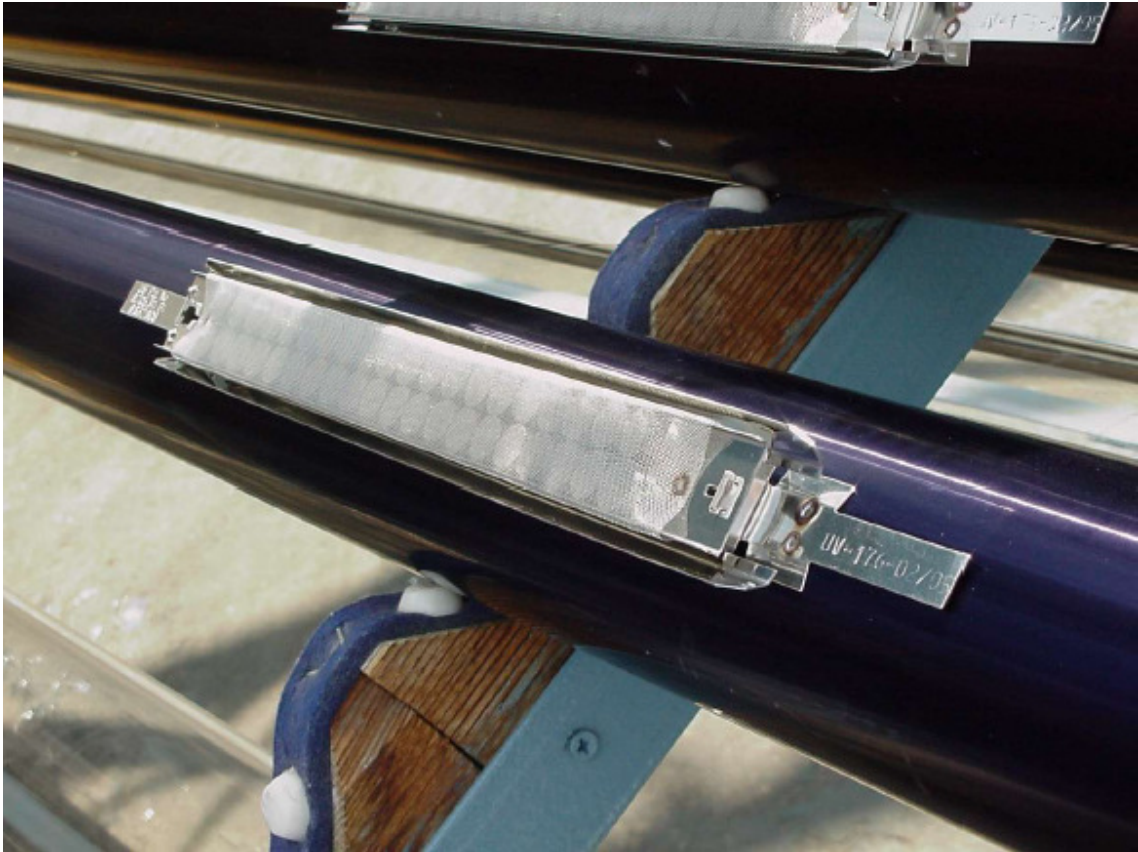
Proves que garanteixen el buit durant 30 anys.

Eliminació del fenomen fluorescent.

C.4.3 Detector de buit

Com s'ha comentat, és importantíssima la camisa de buit que cobreix el tub d'acer receptor per disminuir les pèrdues degudes a convecció i per la protecció d'aquest enfront l'oxidació.

El tub UVAC incorpora una parella de detectors per comprovar si es manté el buit dins la camisa de vidre antirreflectant.



Imatge C-2: Imatge d'un detector de buit d'un tub UVAC.

Aquest indicador es basa en un detector de bari que es torna blanc en contacte amb l'aire i per tant ens indica de la pèrdua de buit en el tub.

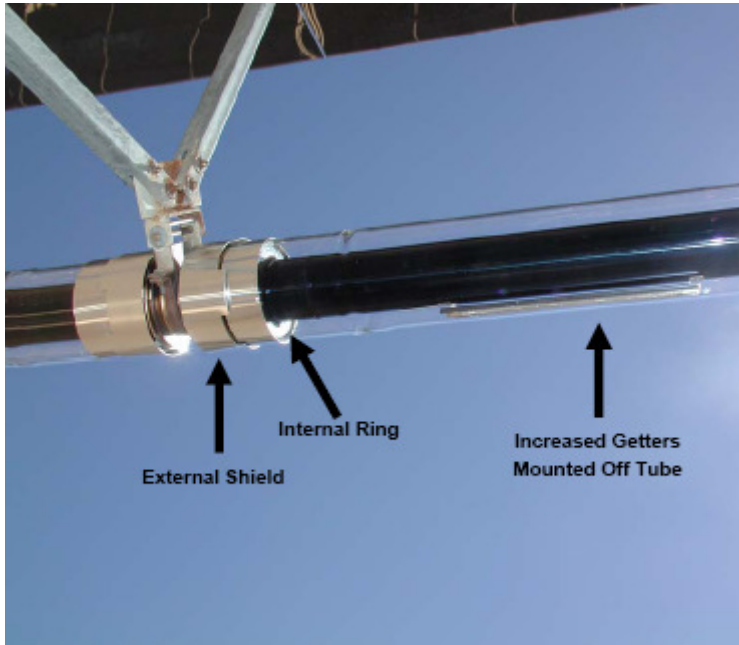
La pèrdua del buit, a més de suposar una disminució del rendiment, suposa un increment molt important de la temperatura de la camisa de vidre i per tant una disminució important de la seguretat. En condicions normals, la camisa de vidre arribarà a temperatures entre 70 i 100 °C.

- Intercanvi del tub en cas de pèrdua del buit:

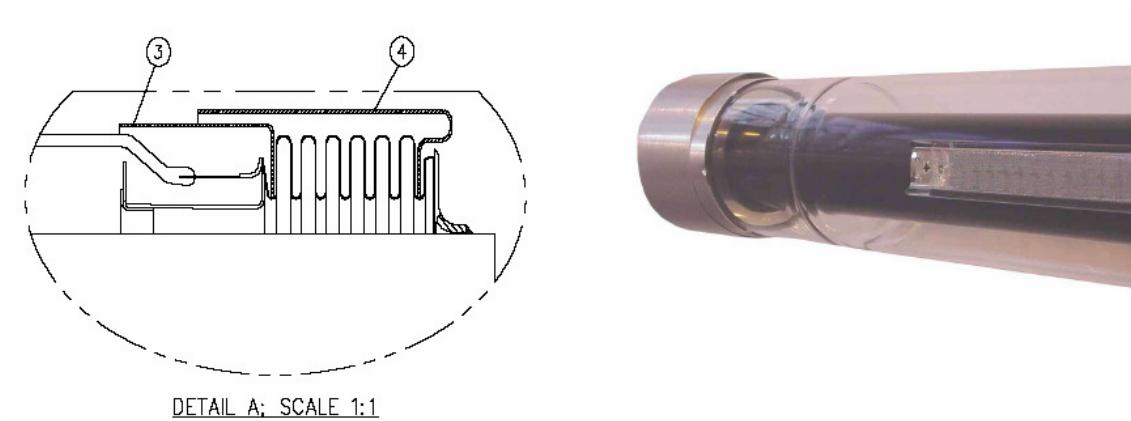
Els tubs receptors UVAC porten un sistema de seguretat on el buit és independent per a cada tub. En el cas de perdre el buit en un dels tubs, tant sols s'ha de tallar el subministrament del fluid transportador de calor, desconectar el tub de buit dels seus veïns i canviar-lo per un de nou.

C.4.4 Arxiu d'imatges tub UVAC

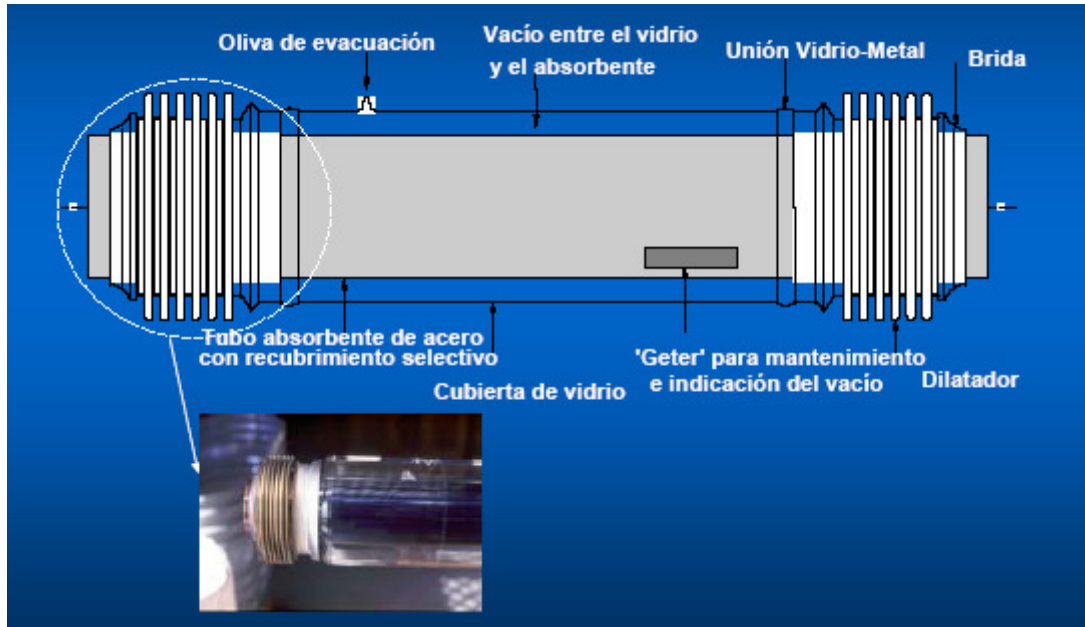
A continuació s'inclou una sèrie d'imatges de dels diferents components d'un tub UVAC.



Imatge C-3: Imatge d'un tub UVAC instal·lat en un col·lector.



Imatge C-4: Imatge detall de l'acabat d'extrem del tub UVAC un cop instal·lat.



Imatge C-5: Imatge esquemàtica dels components d'un tub UVAC.

C.5 Sistema de seguiment

Es necessita d'un sistema de seguiment per tal que la radiació directa del sol arribi perpendicular a l'eix de la paràbola i poder concentrar-la així en el punt focal, tal i com es veu a la figura 10.

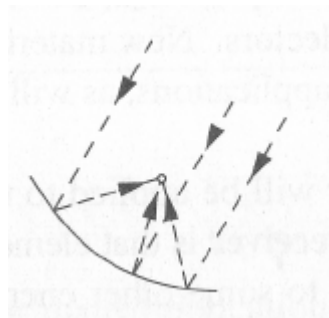


Figura C-6: Per concentrar els rajos en el punt focal de la paràbola, aquests han d'arribar paral·lels a l'eix focal.

S'exigiran les següents característiques al sistema de seguiment:

Haurà de seguir la trajectòria solar del sol d'est a oest, ja que l'eix longitudinal dels col·lectors serà nord – sud.

El mecanisme d'accionament de la rotació del col·lector serà hidràulic. És el que s'adapta millor a col·lectors de grans dimensions, obligats a moure grans parells.



Imatge C-6: Imatges de diferents models d'accionaments de seguiment hidràulics.

Cada col·lector haurà de disposar d'un sistema de seguiment independent dels demés col·lectors.

S'intentarà que el número de mecanisme necessaris per moure els 12 concentradors que formaran el col·lector sigui el mínim possible, per disminuir el número d'averies, l'augment de manteniment, cost, complexitat en la instal·lació...

El sistema de seguiment estarà governat per un sistema electrònic de seguiment del sol.



Imatge C-7 Sensor solar de banda d'ombra.

Error màxim permès = 2 mrad.

Haurà de tenir un sistema de seguretat que girarà els col·lectors a la posició de seguretat enfront del vent en el cas que aquest superi la velocitat màxima que pot suportar l'estructura i el col·lector.



Imatge C-8: Proves de vent en un concentrador.

C.6 Reflectors

S'exigirà que el reflector que s'utilitzi en el concentrador sigui de la companyia Flabeg (fabricant de miralls per concentradors cilindre - parabòlics) ja que tots els concentradors utilitzats actualment en centrals de generació d'energia elèctrica mitjançant energia de concentració solar tèrmica utilitzen reflectors d'aquesta companyia.

- Les característiques del mirall de la companyia Flabeg són:

Material base = Vidre de baix contingut en ferro.

Material reflectant = Pel·lícula de plata a la part posterior del vidre, recoberta per una pel·lícula de coure i una pel·lícula de pintura epoxi per protegir.

Espessor del vidre = 4 mm

Curvatura del vidre = Corbat en calent.

Reflectivitat hemisfèrica = 93,5%

Agafant com a referència el concentrador Eurotrough, cada mòdul es compondrà per 28 miralls, col·locats tal i com es veu a la figura C-7:

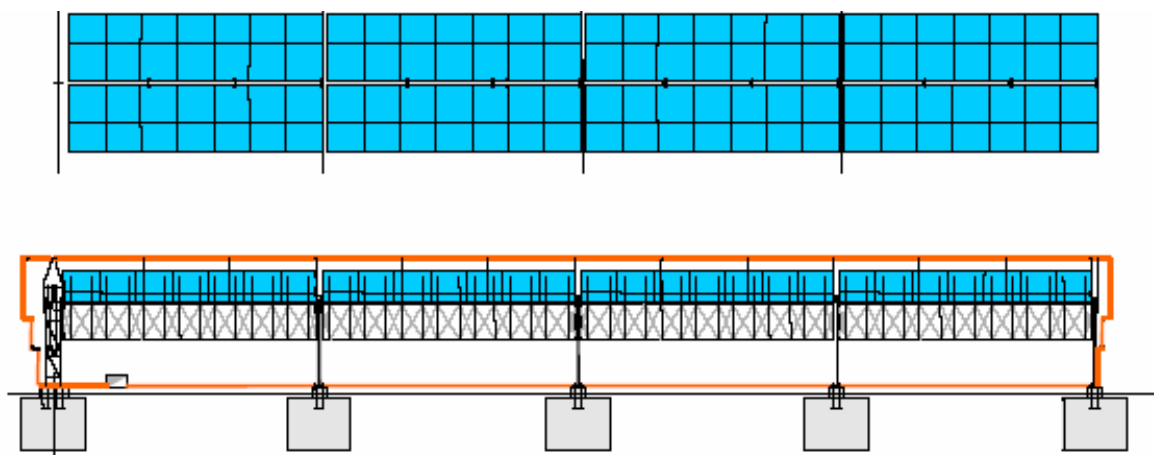
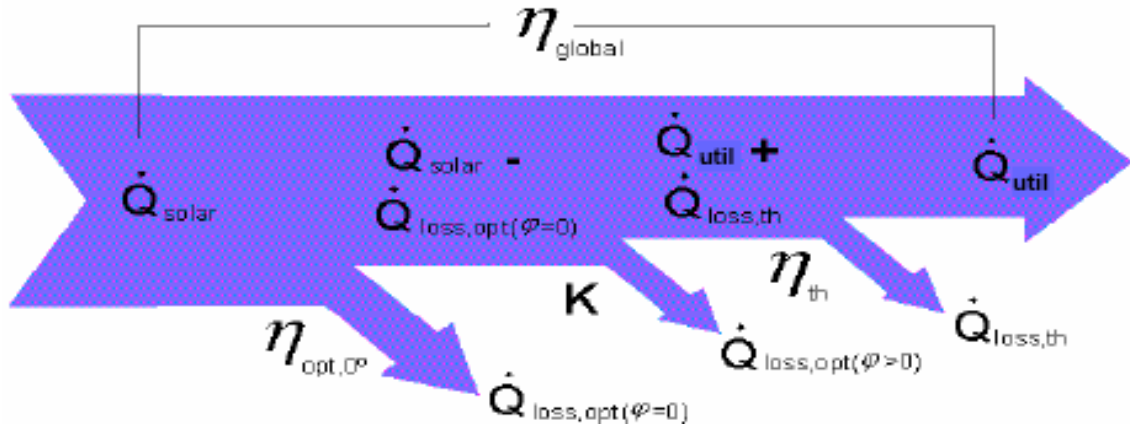


Figura C-7: Esquema de quatre concentradors Eurotrough units en sèrie. Es pot observar com cada concentrador està format per 28 miralls.

C.7 Càlcul de rendiments. Pèrdues

En el dibuix C-1 es pot observar la calor perduda degut a les diferents pèrdues.



Dibuix C-1: Diagrama de les diferents pèrdues de calor.

Aquestes pèrdues es resumeixen en:

Pèrdues geomètriques.

Pèrdues tèrmiques des del tub receptor a l'ambient.

Pèrdues òptiques.

C.7.1 Pèrdues geomètriques

Les pèrdues geomètriques són degudes a la disminució de l'àrea de captació degut a diferents factors geomètrics derivats del moviment del sol i de la disposició dels col·lectors tal i com es pot veure a la figura C-8.

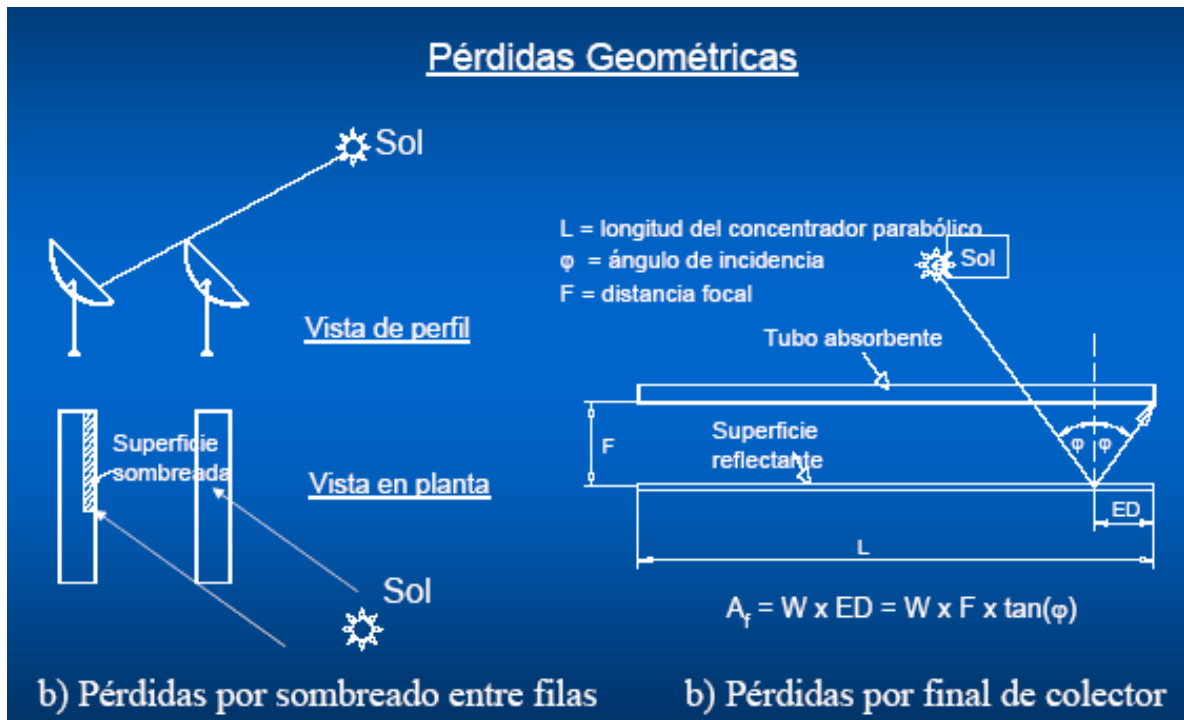


Figura C-8: Tipus de pèrdues geomètriques

C.7.1.1 Degut a la posició relativa dels col·lectors entre si:

Són les pèrdues que es produeixen perquè un col·lector tapa la radiació al que té al seu darrera. Es produeix per angles d'altura solar petits (a la sortida del sol i la posta). També s'ha de tenir en compte l'angle d'azimut, ja que com es veu a la figura C-8, a la vista en planta de "Pèrdues por sombreado entre filas", segons l'angle d'azimut també s'aprofitaria més o menys àrea de col·lector.

En el nostre camp solar, s'agafarà com a referència una distància entre files de col·lectors de 17,3 metresⁱ, igual que entre les files dels camps solars SEGS que utilitzen els col·lectors LS-3.

Per tant, com es veu a la figura C-9:

ⁱ Taula 17.3.2 pag. 643. DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. Solar Engineering of thermal processes. Editorial Wiley Interscience. 1991.

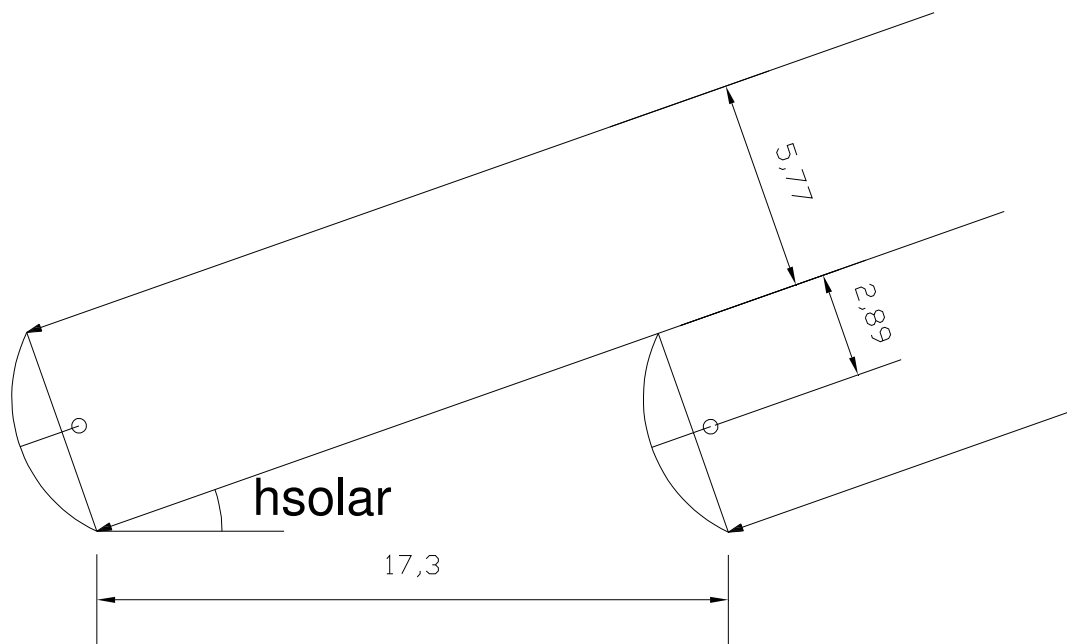


Figura C-9: Angle d'altura solar mínim perquè els col·lectors no es facin ombres.

L'angle d'altura solar a partir del qual tot el col·lector captarà radiació serà:

$$\tan(hsolar) = \frac{5,77}{17,3}$$

$$hsolar = \arctan\left(\frac{5,77}{17,3}\right) = 18,45^\circ$$

Un cop el sol tingui una altura de $18,45^\circ$, podem considerar que tots els rajos són captats pel col·lector.

- Aplicació a la fulla de càlculⁱ:

A la fulla de càlcul de l'Excel es suposarà que als col·lectors no es rep radiació fins que el sol ha arribat a una altura de $18,5^\circ$. De tal manera que la radiació diària aprofitada es trobarà entre angles d'altura solar superiors a $18,5^\circ$.

És un procediment molt conservador, ja que no és veritat que els concentradors no captin radiació fins que l'altura del sol arriba als $18,5^\circ$, només una part d'ells és la que està tapada

ⁱ Es detalla el procés utilitzat a l'annex F.1.4: Formulació a la fulla de càlcul, Excel. Pàg. 107.

per l'ombra del col·lector que té al davant. A més, sempre hi haurà una part del col·lector que estarà funcionant al 100% degut a l'angle d'azimut (veure figura C-8 "Pérdidas por sombreado entre filas").

D'aquesta manera es pot assegurar que el camp de col·lectors estarà sobredimensionat, ja que els càlculs d'energia captada es faran considerant més pèrdues que les reals. Per tant, estarem una mica per sobre de l'energia suposada i d'aquesta manera s'aconseguirà més temperatura i la turbina podrà treballar més hores que les suposades en l'estudi de l'òptim econòmicⁱ, cosa que ens afavoreix.

C.7.1.2 Inherents a cada col·lector:

Aquestes pèrdues es deuen a l'angle d'incidència entre el sol i el col·lector. Es podria evitar aplicant un sistema de seguiment de la trajectòria solar en 2 eixos (altura solar i azimut), però els avantatges que ens aportaria en augment de la superfície de captació, serien desavantatges en l'aspecte de complexitat del sistema de seguiment del sol i sobretot de les unions entre els tubs de transport del fluid transportador del calor amb els tubs absorbidors...

Veient la figura C-10, en funció de l'angle d'incidència amb que es capten els rajos solars sobre el col·lector, es desaprofita més o menys part de la superfície:

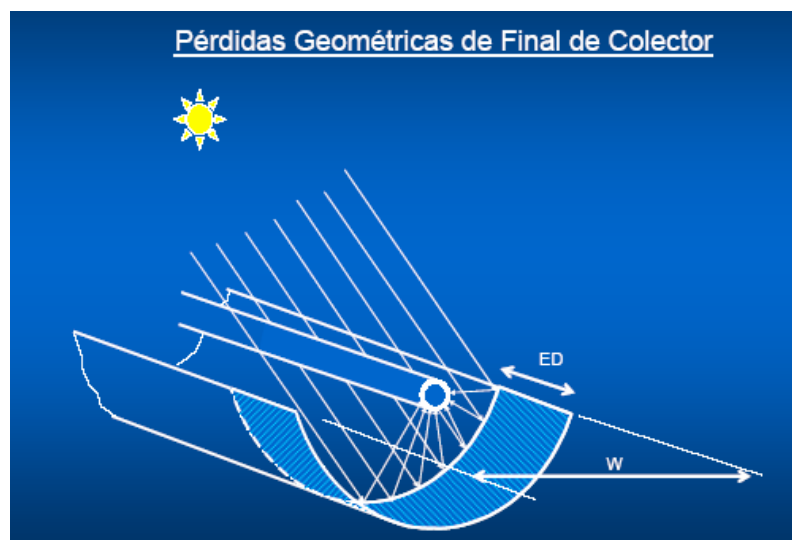


Figura C-10: Superfície de captació perduda per culpa de l'angle d'incidència del flux de radiació solar.

ⁱ Annex H: Càlcul òptim econòmic de la instal·lació. Pàg. 118.

- Aplicació a la fulla de càlculⁱ:

Aquestes pèrdues es contemplaran igual que les degudes a la posició relativa dels col·lectors entre si, en la fulla de càlcul d'Excel. Tot i això, aquesta pèrdua només s'aplicarà per l'últim concentrador de cada col·lector, ja que els intermedis estan units en sèrie i la part final de cada concentrador, concentra al tub absorbidor del següent concentrador.

- Càlcul de la superfície de captació perduda:

Com es pot veure a la figura C-11, la superfície de captació perduda per cada col·lector dependrà de l'angle d'incidència del flux de radiació solar i la distància focal.

L = longitud del concentrador parabòlic

φ = ángulo de incidencia

F = distancia focal

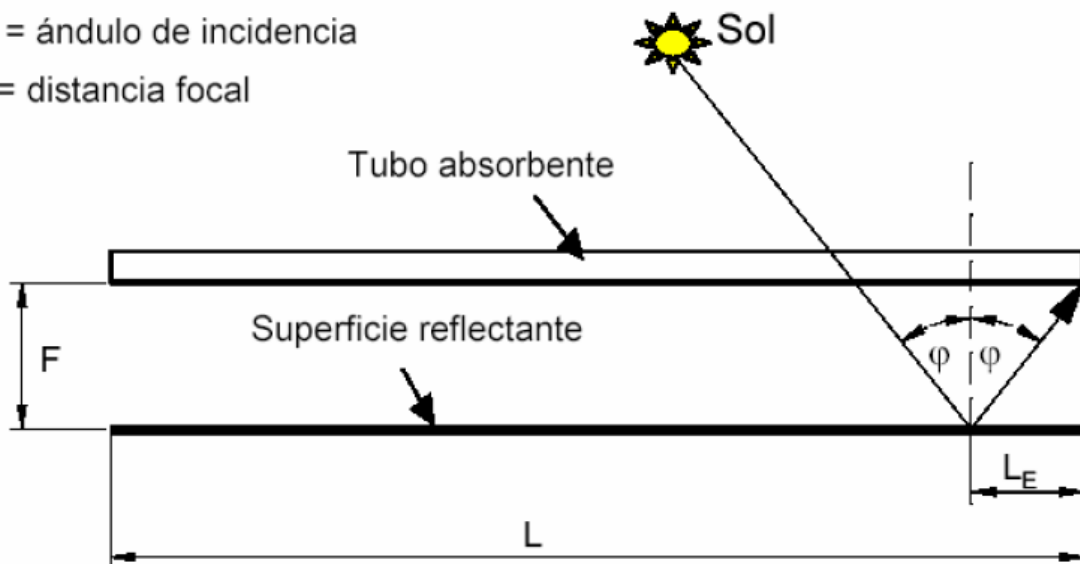


Figura C-11: Esquema de la longitud de captació perduda.

La fórmula per trobar la superfície de captació perduda en funció d'aquesta longitud ésⁱⁱ:

$$S_E = A \cdot L_E = A \cdot F_m \cdot \tan(\varphi)$$

$$F_m = F + \left(\frac{F \cdot A^2}{48 \cdot F^2} \right) \quad (\text{Eq. C-5})$$

ⁱ Es detalla el procés utilitzat a l'annex F.1.4: Formulació a la fulla de càlcul, Excel. Pàg. 107.

ⁱⁱ Fórmules extretes del document: SILVA PÉREZ, M. Sistemas termosolares de concentración. www.esi.us.es/php/infgen/aulav/energrenov/ER-STC-04-05.pdf

on:

S_E = Àrea de col·lector perduda

A = Amplada del concentrador

L = Longitud del concentrador cilindre parabòlic

F = Distància focal de la paràbola

F_m = Distància mitja entre la superfície de la paràbola i l'absorbidor

φ = Angle d'incidència de la radiació solar

C.7.2 Pèrdues òptiques

Es deuen a que:

La superfície reflexiva del concentrador no és un reflector perfecte (ρ).

El vidre que cobreix el tub absorbidor no és totalment transparent (transmissivitat del vidre τ)

La superfície selectiva del tub metàl·lic no és una absorbent perfecte (α).

La geometria de la paràbola no és perfecte (γ)

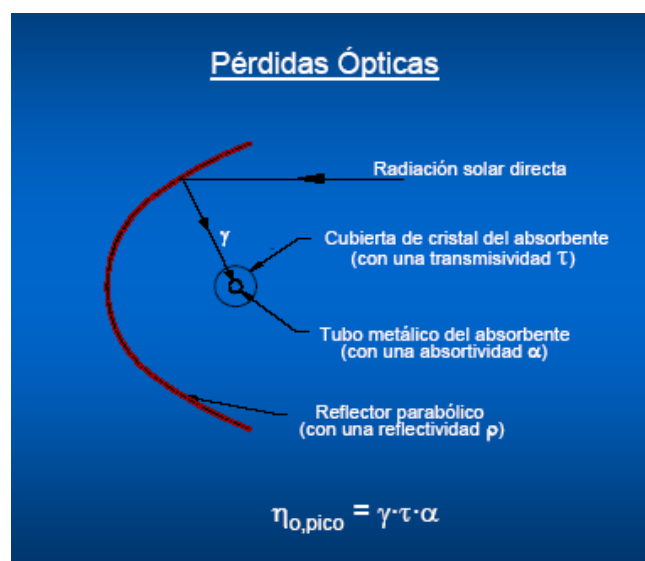


Figura C-12: S'observen els diferents factors de pèrdues òptiques

C.7.2.1 Reflectivitat de la superfície del concentrador parabòlic:

Es deu a que la superfície reflectida del mirall dels concentradors no és perfecte, amb la qual cosa no tota la radiació incident es reflexa. S'ha de tenir molt en compte en aquest cas la neteja dels miralls, ja que la reflectivitat disminueix degut a la brutícia que es diposita en aquestsⁱ. Pel nostre cas de miralls, $\rho = 93.5\%$ ⁱⁱ

C.7.2.2 Factor d'interceptació:

Té en compte el percentatge de radiació que no arriba a la superfície absorbidora del tub UVAC, degut a imperfeccions tant microscòpiques com macroscòpiques dels miralls, o errors de posicionament del concentrador. Pel nostre cas, $\gamma = 99\%$ ⁱⁱⁱ

C.7.2.3 Transmissivitat del tub de vidre de l'UVAC:

El tub absorbidor metàl·lic es situa dins una superfície de vidre per disminuir les pèrdues tèrmiques i protegir la superfície selectiva. Aquest factor té en compte la part de radiació que no és capaç de superar aquesta barrera. Pel nostre cas, $\tau = 90\%$ ^{iv}

C.7.2.4 Absorbitat de la superfície selectiva de l'UVAC:

Té en compte la quantitat de radiació incident que és capaç d'absorbir la superfície selectiva. Pel nostre cas, $\alpha = 96\%$ ^v

ⁱ Disminueixen de l'ordre d'un 0.26% al dia.

ⁱⁱ Veure Annex C.6: Reflectors. Pàg. 69

ⁱⁱⁱ El diàmetre del tub absorbidor és més de 2.5 vegades més gran que la imatge concentrada de raig de llum en el punt focal, de tal manera que podem considerar un factor d'interceptació de pràcticament el 100%.

^{iv} Veure Annex C.4.2. Propietats generals. Pàg. 61.

^v Veure Annex C.4.2. Propietats generals. Pàg. 61.

C.7.2.5 Rendiment òptic final:

$$\eta_{opt} = \rho \cdot \alpha \cdot \tau \cdot \gamma = 0.935 \cdot 0.96 \cdot 0.9 \cdot 0.99 = 0.8^i$$

C.7.3 Pèrdues tèrmiques

Aquestes pèrdues són les segones en ordre d'importància en un concentrador cilindre - parabòlic.

Es produeixen principalment a dos llocs:

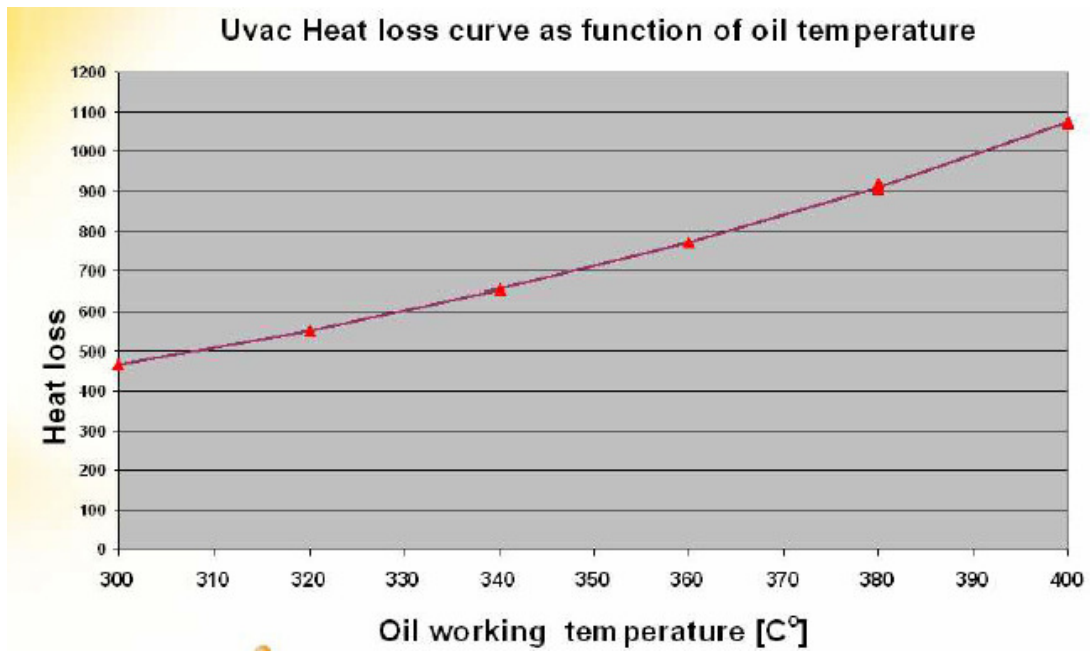
El tub absorbidor

Les canonades de fluid tèrmic.

D'aquestes dues, són bastant més importants les del tub absorbidor, formades per les pèrdues de calor per conducció a través dels suports dels tubs absorbents, pèrdues per radiació i pèrdues per convecció i radiació des del tub de vidre a l'ambient. Les pèrdues per convecció del tub absorbent al de vidre les eliminem gràcies a la camisa de buit que hi ha entre els dos. Pel que fa a les pèrdues a les canonades de transport del fluid tèrmic es controlen molt bé i són molt reduïdes.

Tot i que les pèrdues tèrmiques es poden calcular analíticament, a la pràctica tenim un coeficient de pèrdues tèrmiques globals, Q_L , facilitat pel fabricant del col·lector. En el nostre cas, Solel Systems Ltd. ofereix el següent gràfic on es representa les pèrdues de calor en W/tub UVAC en funció de la temperatura del fluid transportador de calor que passa pel seu interior.

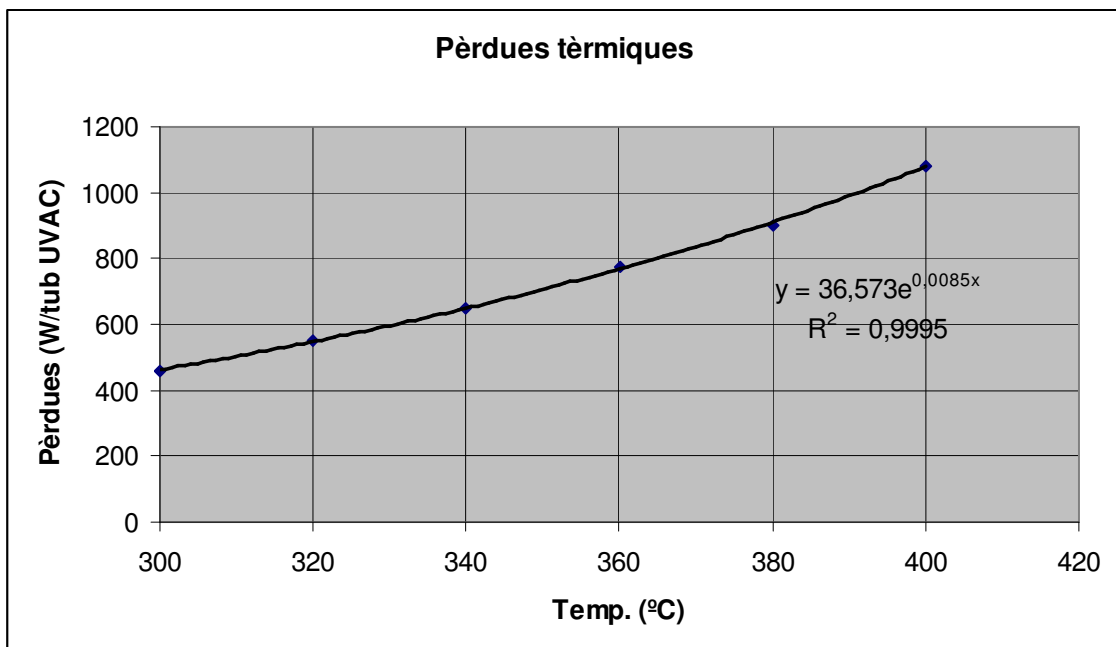
ⁱ Coincideix amb les especificacions del concentrador Eurotrough, Pàg. 53.



Gràfic C-5: Pèrdues tèrmiques. A l'eix d'ordenades pèrdues en W/tubUVAC.

Es passen els valors del gràfic a una taula d'Excel per tornar-lo a dibuixar i obtenir d'aquesta manera l'equació de la línia de tendència.

Utilitzant una línia de tendència exponencial:



Gràfic C-6: Pèrdues tèrmiques en funció de la temperatura.

Si s'agafa una temperatura mitja del fluid transportador de calor de 275 °Cⁱ, amb l'equació de la línia de tendència trobem el coeficient global de pèrdues tèrmiques:

$$Q_L = 36.573 \cdot e^{0.0085 \cdot T} = 36.573 \cdot e^{0.0085 \cdot 275} = 378.72 \text{ W/tub}$$

$$Q_L = 378.72 \text{ W/tub}$$

ⁱ Valor mig entre els 350 °C a la sortida del col·lector i els 200 °C de l'entrada. Veure annex.

D TURBINA I GENERADOR

En un principi s'havia pensat de generar una potència d'uns 400 kW, però després de consultar amb l'empresa Pasch s'ha arribat a la conclusió que era millor augmentar la potència generada a 1 MW. Els motius es deuen a que les turbines de 400 kW no deixen de ser les mateixes que les d'1 MW però parcialment modificades per treballar amb cabals de vapor menors i adaptar-se a la nova exigència de potència de la manera més efectiva possible. Tot i això, com que la base és pràcticament idèntica, la diferència de preu entre una i altra turbina no és gaire significativa i en cap cas és proporcional a la diferència de potència entre una i altre. Això es deu a què com que la base és idèntica, a part del preu de la turbina que es menor que la d'1 MW, els demás components (sistema de control, cost de manteniment i muntatge, torre de refrigeració, condensador, desgasificador...) del conjunt turbina - generador no varien i per tant el preu final no reflecteix una disminució en el cost del 60 % en contra de la potència que sí que disminueix aquest valor.

Un cop analitzat aquest fet s'ha decidit que és aconsellable intentar augmentar el cabal de fluid transportador de calor generat al camp de col·lectors per tal de poder instal·lar la turbina d'1 MW. Per tant, s'ha decidit variar les especificacions inicials del projecte de generar 400 kW de potencia elèctrica per passar a una potència elèctrica d'1 MW. Aquest canvi d'especificació provoca un augment del cost inicial de la instal·lació (necessitat de més col·lectors per incrementar el cabal, bescanviador de calor major, increment en el cost de la turbina...) però l'augment d'energia generada implicarà més beneficis a l'hora de vendre l'energia al mercat i en global s'obtindrà una amortització en un temps inferior.

D.1 Elecció de la turbina

S'ha d'escollir una turbina que utilitzi com a fluid de treball vapor sobreescalfat o vapor saturat (o una mescla de les dues).

D.1.1 Turbina de vapor sobreescalfat:

Quan es treballa amb turbines de vapor sobreescalfat, tot i què, com ens van dir a l'empresa Pasch es fa la turbina a mida segons les característiques del vapor (temperatura i pressió), existeixen una sèrie de parells de valors típics que són els més aconsellables per utilitzar en

aquest tipus de turbines. D'aquests, els que nosaltres som capaços d'aconseguir en el nostre camp solar són els següents:

300 °C – 25 bars

350 °C – 16 bars

D.1.2 Turbina de vapor saturat:

Segons l'empresa Pasch, actualment no hi ha cap problema en la utilització de vapor saturat com a fluid d'entrada a la turbina si aquesta ja està pensada per treballar amb aquest tipus de fluid.

Els valors de pressió i temperatura que ens aconsellen (tot i que igual que les turbines de vapor sobreescalfat, aquestes també es fabriquen a mida) per assolir la potència d'1 MW són els següents:

12 bars, que amb vapor saturat va lligat a una temperatura de 188 °C.

D.1.3 Turbina de vapor sobreescalfat + vapor saturat:

Es basen en turbines de més d'una etapa. Una etapa extrauria l'energia del vapor sobreescalfat i un cop s'arriba a la saturació d'aquest vapor es passa a una segona etapa on s'aprofita el vapor saturat.

D.1.4 Característiques turbines:

A la taula D-1 es poden veure els valors característics de les turbines estudiades.

	Vapor sobreescalfat	Vapor saturat	Múltiples etapes
Temperatura fluid entrada.	300 – 350 °C	188 °C	Idem vapor sobreescalfat
Pressions	25 – 16 bars	12 bars	Idem vapor sobreescalfat
Rendiment intern		72% (segons Pasch)	Més elevat que les d'una etapa
Preu			Més elevat que les d'una etapa

Taula D-1: Valors cedits per l'empresa Pasch per les turbines de vapor.

En una primera tria, es descarta utilitzar una turbina de més d'una etapa per l'increment de preu que suposa, sense representar un creixement significatiu de rendiment per turbines de potències tant petites.

Per escollir si s'utilitza una turbina de vapor saturat o de vapor sobreescalfat s'han realitzat una sèrie de càlculs teòrics obtenint els resultats que es poden veure a la taula D-2ⁱ:

Tipus de turbina	Característiques fluid entrada	Rendiment turbina ideal	Rendiment turbina real	Cabal de vapor necessari
Vapor saturat	12 bars, 208 °C	27,6 %	20 %	8.500 kg/h
Vapor sobreescalfat	16 bars, 350 °C	31 %	27 %	5.600 kg/h
Vapor sobreescalfat	20 bars, 300 °C	31 %	24 %	6.600 kg/h

Taula D-2: Valors obtinguts a D.2. Càlculs justificatius.

ⁱ Veure annex D.2. Càlculs justificatius. Pàg. 85.

D.1.5 Turbina escollida:

Es descarta la utilització d'una turbina de vapor sobreescalfat a 350 °C i 16 bars. La temperatura a que ha d'arribar el vapor (350 °C) implica que en els concentradors es necessitarà arribar a temperatures pròximes al límit (400 °C) tant del fluid transportador de calor com del tub absorbidor.

Pel que fa a la turbina de vapor saturat (lleugerament sobreescalfat 20 °C) els rendiments que ens ofereix són inferiors que els de les turbines de vapor sobreescalfat. A més necessita un cabal de vapor superior a les altres dues turbines.

S'escollirà una turbina de vapor sobreescalfat que treballarà amb un fluid d'entrada a 300 °C i 20 bars i de sortida a 0,1 bars per generar 1 MW elèctric.

La turbina recomanada per l'empresa Pasch és una AFA 6 de la casa KKK (Kühnle, Kopp & Kausch).

Aquest model de turbina es pot adaptar per treballar amb vapor saturat i vapor sobreescalfat i per generar la potència d'1 MW elèctric. És de construcció modular, amb la qual cosa és fàcil d'optimitzar per les nostres característiques particulars i els components que la formen s'han demostrat molt robustos.

D.1.5.1 Especificacions turbina AFA 6:

Potència: fins a 5 MW

Fluid de treball: Vapor saturat/sobreescalfat

Pressió d'entrada: fins a 41 bars

Temperatura d'entrada: fins a 450 °C

Pressió a la sortida: De 0,05 fins 26 bars.

- Especificacions de la turbina pel nostre projecte:

Potència: 1 MW

Cabal de treball: 6.600 kg/h

Fluid de treball: Vapor sobreescalfat

Pressió d'entrada: 20 bars

Temperatura d'entrada: 300 °C

Pressió a la sortida: 0,1 bars

Temperatura a la sortida: 45,83 °C

D.2 Càlculs justificatius

D.2.1 Turbina vapor saturat.

- Vapor d'entrada:

Valors vapor saturat a 12 bars: $188\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h_f = 798,13\text{ kJ/kg}$, $h_g = 2782,7\text{ kJ/kg}$

Aquest vapor es sobreescalfarà $20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

Vapor sobreescalfat, 12 bars, $208\text{ }^{\circ}\text{C}$

Vapor sobreescalfat:

12 bars, $200\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow h = 2817\text{ kJ/kg}$, $s = 6,59\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

12 bars, $250\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow h = 2937\text{ kJ/kg}$, $s = 6,831\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

S'interpola:

$$\frac{h_{208^{\circ}\text{C}} - h_{200^{\circ}\text{C}}}{T_{208} - T_{200}} = \frac{h_{250^{\circ}\text{C}} - h_{200^{\circ}\text{C}}}{T_{250} - T_{200}}$$

$$\frac{h_{208^{\circ}\text{C}} - 2817}{208 - 200} = \frac{2937 - 2817}{208 - 200}$$

$$h_{208^{\circ}\text{C}} = 2836,2\text{ kJ/kg}$$

$$\frac{s_{208^{\circ}\text{C}} - s_{200^{\circ}\text{C}}}{T_{208} - T_{200}} = \frac{s_{250^{\circ}\text{C}} - s_{200^{\circ}\text{C}}}{T_{250} - T_{200}}$$

$$\frac{s_{208^{\circ}\text{C}} - 6,59}{208 - 200} = \frac{6,831 - 6,59}{208 - 200}$$

$$s_{208^{\circ}\text{C}} = 6,629\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

Per tant:

Vapor entrada = 12 bars, 208 °C, $h = 2.836,2$ kJ/kg, $s = 6,629$ kJ/kg·K

• Vapor sortida:

Vapor saturat en una proporció x , 0,1 bars, 45,83 °C, $h_f = 191,83$ kJ/kg, $h_g = 2584,8$ kJ/kg, $s_g = 8,149$ kJ/kg·K, $s_f = 0,6493$ kJ/kg·K

Es busca la proporció de vapor saturat amb aigua idealment (suposant procés isentròpic):

$$s_{0,1\text{bar}} = s_{12\text{bar}, 208\text{ °C}} = 6,629 = s_f + x \cdot (s_g - s_f) = 0,6493 + x \cdot (8,149 - 0,6493)$$

$$x = 0,8$$

Per tant, si realment s'aconseguís fer un procés isentròpic, s'obtindria una proporció vapor saturat – aigua a la sortida de la turbina de 0,8.

Fórmula per trobar el rendiment tèrmic de la turbina:

$$\eta = \frac{h_{\text{vapor entrada}} - h_{\text{vapor sortida}}}{h_{\text{vapor entrada}} - h_{\text{líquid saturat sortida}}}$$

$$h_{\text{vapor entrada}} = 2782,7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{vapor sortida}} = 0,8 \cdot (2584,8 - 191,83) + 191,83 = 2105,648 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{líquid saturat sortida}} = 191,83 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{2836,2 - 2105,65}{2836,2 - 191,83} = \frac{730,55}{2644,37} = 0,276$$

Ens dona un rendiment de la turbina ideal del 27,6 %.

Si se sap que el rendiment de l'operació isentròpica és del 72 % (rendiment relatiu internⁱ), es pot trobar el rendiment real de la nostra turbina:

$$0,72 = \frac{h_{\text{vapor entrada}} - h'_{\text{vapor sortida real}}}{h_{\text{vapor entrada}} - h_{\text{líquid saturat sortida}}} = \frac{2836,2 - h'_{\text{vapor sortida real}}}{2836,2 - 2105,65}$$

$$h'_{\text{vapor sortida real}} = 2310,2 \text{ kJ/kg}$$

Es busca la proporció real de vapor amb aigua que es té a la sortida:

$$2310,2 = x_{\text{vapor sortida real}} (2584,8 - 191,83) + 191,83$$

$$x_{\text{vapor sortida real}} = 0,89$$

Per tant, a la sortida realment es tindrà un 89 % de vapor (més que el 80 % que s'obtindria sí el procés fos ideal, per tant no s'aprofita tant el calor i el rendiment baixarà). Realment és un valor típic a la sortida de les turbines de vaporⁱⁱ.

Per tant, el rendiment real de la turbina serà:

$$\eta = \frac{2836,2 - 2310,2}{2836,2 - 191,83} = \frac{526}{2644,37} = 0,20$$

S'obté un rendiment real del 20 %.

ⁱ Dada proporcionada per l'empresa Pasch

ⁱⁱ "Para evitar daños en los álabes y no empeorar el rendimiento interno de la máquina, la humedad máxima del vapor al final de la expansión en la turbina no debe exceder del 10 al 12%". Pag. 117. MATAIX, C. Turbomáquinas térmicas. 2ª Edició.

Cabal de vapor necessari per assolir 1 MW als borns del generador:

Suposant un rendiment mecànic de la turbina de 0,85ⁱ i del generador del 0,95ⁱⁱ:

$$\text{Potència generada a la turbina} = \frac{1 \text{ MW}}{\eta_E \cdot \eta_m} = \frac{1 \text{ MW}}{0,95 \cdot 0,85} = 1,24 \text{ MW}$$

$$1,24 \text{ MW} = \frac{1240 \text{ kJ}}{1 \text{ s}} = \frac{1240 \text{ kJ}}{1 \text{ s}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 4.464.000 \text{ kJ/h}$$

Es necessitaran 4.464.000 kJ/h.

De la turbina s'obté:

$$h_{\text{vapor entrada}} - h_{\text{vapor sortida}} = 2836,2 - 2310,2 = 526 \text{ kJ/kg}$$

Per tant, el cabal de vapor necessari serà:

$$Q_{\text{vapor}} = \frac{4.464.000 \text{ kJ/h}}{526 \text{ kJ/kg}} = 8.487 \text{ kg/h} \approx 8.500 \text{ kg/h}$$

Amb els càlculs teòrics que s'han realitzat queda comprovat que amb un cabal de 8.500 kg/h tenim suficient vapor per generar 1 MW d'energia als borns del generador.

ⁱ Segons MATAIX, C. Turbomàquines tèrmicas. 2^a Edició, el rendiment mecànic de la turbina es troba entre 0.7 i 0.97

ⁱⁱ Segons MATAIX, C. Turbomàquines tèrmicas. 2^a Edició, el rendiment típic del conjunt alternador – transformador es troba entre 0.92 i 0.98

D.2.2 Turbina de vapor sobreescalfat a 16 bars i 350 °C:

- Vapor d'entrada a 16 bars i 350 °C:

Valors vapor sobreescalfat d'entrada a 16 bars i 350 °C: $h = 3146$ kJ/kg, $s = 7,07$ kJ/kg·K

- Vapor sortida:

Vapor saturat en una proporció x , 0,1 bars, 45,813 °C, $h_f = 191,83$ kJ/kg, $h_g = 2584,8$ kJ/kg, $s_g = 8,149$ kJ/kg·K, $s_f = 0,6493$ kJ/kg·K

Es busca la proporció de vapor saturat amb aigua, idealment, suposant procés isentròpic:

$$s_{0,1\text{bar}} = s_{16\text{bar}, 350\text{ °C}} = 7,07 = s_f + x \cdot (s_g - s_f) = 0,6493 + x \cdot (8,149 - 0,6493)$$

$$x = 0,856$$

Per tant, si realment s'aconseguís fer un procés isentròpic, s'obtindria una proporció vapor saturat – aigua a la sortida de la turbina de 0,856.

Fórmula per trobar el rendiment tèrmic de la turbina:

$$\eta = \frac{h_{\text{vapor entrada}} - h_{\text{vapor sortida}}}{h_{\text{vapor entrada}} - h_{\text{líquid saturat sortida}}}$$

$$h_{\text{vapor entrada}} = 3146 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{vapor sortida}} = 0,856 \cdot (2584,8 - 191,83) + 191,83 = 2240,51 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{líquid saturat sortida}} = 191,83 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{3146 - 2240,51}{3146 - 191,83} = \frac{905,49}{2954,17} = 0,31$$

S'obté un rendiment de la turbina ideal del 31 %.

Si se sap que pel disseny de la turbina és aconsellable que el vapor de sortida contingui com a màxim un 90 % de vapor humit, anem a trobar quin rendiment isentròpic aproximat té la turbina.

$$x_{\text{vapor sortida típic}} = 0,9$$

$$s = 0,6493 + 0,9 \cdot (8,149 - 0,6493) = 7,4 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

L'entropia amb vapor humit al 90 % a 0,1 bar és de 7,4 kJ/kg·K. A partir d'aquí es troba l'entalpia del vapor a la sortida de la turbina real (suposant aquest 90 % de vapor humit a la sortida)ⁱ.

$$h_{\text{vapor sortida real}} = 0,9 \cdot (2584,8 - 191,83) + 191,83$$

$$h_{\text{vapor sortida real}} = 2345,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{h_{\text{vapor entrada}} - h'_{\text{vapor sortida real}}}{h_{\text{vapor entrada}} - h_{\text{líquid saturat sortida}}} = \frac{3146 - 2345,5}{3146 - 2240,51} = 0,88$$

Per tant el rendiment intern de la turbina de vapor sobreescalfat a 16 bars i 350 °C es trobaria sobre el 88 %.

El rendiment real de la turbina serà:

$$\eta = \frac{3146 - 2345,5}{3146 - 191,83} = \frac{800,5}{2954,17} = 0,271$$

Es té un rendiment real del 27,1 %.

ⁱ "Para evitar daños en los álabes y no empeorar el rendimiento interno de la máquina, la humedad máxima del vapor al final de la expansión en la turbina no debe exceder del 10 al 12%". Pag. 117. MATAIX, C. Turbomáquinas térmicas, 2ª Edició.

Cabal de vapor necessari per assolir 1 MW als borns del generador:

Suposant un rendiment mecànic de la turbina de 0,85ⁱ i del generador del 0,95ⁱⁱ:

$$\text{Potència generada a la turbina} = \frac{1 \text{ MW}}{\eta_E \cdot \eta_m} = \frac{1 \text{ MW}}{0,95 \cdot 0,85} = 1,24 \text{ MW}$$

$$1,24 \text{ MW} = \frac{1240 \text{ kJ}}{1 \text{ s}} = \frac{1240 \text{ kJ}}{1 \text{ s}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 4.464.000 \text{ kJ/h}$$

Es necessiten 4.464.000 kJ/h.

De la turbina s'obté:

$$h_{\text{vapor entrada}} - h_{\text{vapor sortida}} = 3146 - 2345,5 = 800,5 \text{ kJ/kg}$$

Per tant el cabal de vapor necessari serà:

$$Q_{\text{vapor}} = \frac{4.464.000 \text{ kJ/h}}{800,5 \text{ kJ/kg}} = 5576,5 \text{ kg/h} \approx 5600 \text{ kg/h}$$

Amb els càlculs teòrics que s'han realitzat queda comprovat que amb un cabal de 5.600 kg/h tenim suficient vapor per generar 1 MW d'energia als borns del generador.

ⁱ Segons MATAIX, C. Turbomàquines tèrmiques. 2^a Edició, el rendiment mecànic de la turbina es troba entre 0,7 i 0,97

ⁱⁱ Segons MATAIX, C. Turbomàquines tèrmiques. 2^a Edició, el rendiment típic del conjunt alternador – transformador es troba entre 0,92 i 0,98

D.2.3 Turbina de vapor sobreescalfat a 20 bars i 300 °C:

- Vapor d'entrada a 20 bars i 300 °C:

Valors vapor sobreescalfat d'entrada a 20 bars i 300 °C: $h = 3025$ kJ/kg, $s = 6,768$ kJ/kg·K

- Vapor sortida:

Vapor saturat en una proporció x , 0,1 bars, 45,813 °C, $h_f = 191,83$ kJ/kg, $h_g = 2584,8$ kJ/kg, $s_g = 8,149$ kJ/kg·K, $s_f = 0,6493$ kJ/kg·K

Es busca la proporció de vapor saturat amb aigua, idealment, suposant procés isentròpic:

$$s_{0,1\text{ bar}} = s_{20\text{ bar}, 300\text{ °C}} = 6,768 = s_f + x \cdot (s_g - s_f) = 0,6493 + x \cdot (8,149 - 0,6493)$$

$$x = 0,816$$

Per tant, si realment s'aconseguís fer un procés isentròpic, s'obtindria una proporció vapor saturat – aigua a la sortida de la turbina de 0,816.

Fórmula per trobar el rendiment tèrmic de la turbina:

$$\eta = \frac{h_{\text{vapor entrada}} - h_{\text{vapor sortida}}}{h_{\text{vapor entrada}} - h_{\text{líquid saturat sortida}}}$$

$$h_{\text{vapor entrada}} = 3025 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{vapor sortida}} = 0,816 \cdot (2584,8 - 191,83) + 191,83 = 2144,49 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{líquid saturat sortida}} = 191,83 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{3025 - 2144,49}{3025 - 191,83} = \frac{880,51}{2833,17} = 0,31$$

Ens dona un rendiment de la turbina ideal del 31 %.

Si se sap que pel disseny de la turbina és aconsellable que el vapor de sortida contingui com a màxim un 90 % de vapor humit, anem a trobar quin rendiment isentròpic aproximat té la turbina.

$$x_{\text{vapor sortida típic}} = 0,9$$

$$s = 0,6493 + 0,9 \cdot (8,149 - 0,6493) = 7,4 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

L'entropia amb vapor humit al 90 % a 0,1 bar és de 7,4 kJ/kg·K. A partir d'aquí es troba l'entalpia del vapor a la sortida de la turbina real (suposant aquest 90 % de vapor humit a la sortida)ⁱ.

$$h_{\text{vapor sortida real}} = 0,9 \cdot (2584,8 - 191,83) + 191,83$$

$$h_{\text{vapor sortida real}} = 2345,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{h_{\text{vapor entrada}} - h'_{\text{vapor sortida real}}}{h_{\text{vapor entrada}} - h_{\text{líquid saturat sortida}}} = \frac{3025 - 2345,5}{3025 - 2144,49} = 0,77$$

Per tant el rendiment intern de la turbina de vapor sobreescalfat a 20 bars i 300 °C es trobaria sobre el 77 %.

El rendiment real de la turbina serà:

$$\eta = \frac{3025 - 2345,5}{3025 - 191,83} = \frac{679,5}{2833,17} = 0,24$$

Tenim un rendiment real del 24 %.

ⁱ "Para evitar daños en los álabes y no empeorar el rendimiento interno de la máquina, la humedad máxima del vapor al final de la expansión en la turbina no debe exceder del 10 al 12%". Pag. 117. MATAIX, C. Turbomáquinas térmicas. 2ª Edició.

Cabal de vapor necessari per assolir 1 MW als borns del generador:

Suposant un rendiment mecànic de la turbina de 0,85ⁱ i del generador del 0,95ⁱⁱ:

$$\text{Potència generada a la turbina} = \frac{1 \text{ MW}}{\eta_E \cdot \eta_m} = \frac{1 \text{ MW}}{0,95 \cdot 0,85} = 1,24 \text{ MW}$$

$$1,24 \text{ MW} = \frac{1240 \text{ kJ}}{1 \text{ s}} = \frac{1240 \text{ kJ}}{1 \text{ s}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 4.464.000 \text{ kJ/h}$$

Es necessiten 4.464.000 kJ/h.

De la turbina s'obtenen:

$$h_{\text{vapor entrada}} - h_{\text{vapor sortida}} = 3025 - 2345,5 = 679,5 \text{ kJ/kg}$$

Per tant el cabal de vapor necessari serà:

$$Q_{\text{vapor}} = \frac{4.464.000 \text{ kJ/h}}{679,5 \text{ kJ/kg}} = 6570 \text{ kg/h} \approx 6600 \text{ kg/h}$$

Amb els càlculs teòrics que s'han realitzat, queda comprovat que amb un cabal de 6.600 kg/h es té suficient vapor per generar 1 MW d'energia als borns del generador.

ⁱ Segons MATAIX, C. Turbomàquines tèrmicas. 2^a Edició, el rendiment mecànic de la turbina es troba entre 0,7 i 0,97

ⁱⁱ Segons MATAIX, C. Turbomàquines tèrmicas. 2^a Edició, el rendiment típic del conjunt alternador – transformador es troba entre 0,92 i 0,98

E BESCANVIADOR DE CALOR

Es disposarà de dos bescanviadors de calor.

El primer treballarà amb el fluid transportador de calor que ve del camp de col·lectors, a la temperatura màxima, mentre que l'altre treballarà amb l'oli que surt del primer bescanviador, de tal manera que ja haurà cedit part del calor que transportava.

El bescanviador 1 s'utilitzarà per escalfar l'aigua a la temperatura màxima abans de fer-se entrar a la turbina (disseny \rightarrow 300 °C i 20 bars)ⁱ, mentre que el segon s'utilitzarà per preescalfar l'aigua que surt del desgasificador abans d'entrar al bescanviador 1.

Aquests dos bescanviador de calor i els elements de distribució fins a la connexió amb la turbina seran dissenyats i proporcionats per l'empresa Pasch, juntament amb el conjunt turbina - generador.

Pel que fa a aquest projecte s'especificaran les característiques que hauran de tenir aquests bescanviadors i es farà un precàlcul estimatiu per tenir una referència del cabal de fluid transportador de calor necessari per poder generar el cabal de vapor necessari per fer funcionar la turbina a potència nominal d'1 MW.

E.1 Especificacions del bescanviador 1:

- Fluid transmissor de calor: Syltherm 800ⁱⁱ.

Temperatura d'entrada del fluid transmissor de calor: 350 °C

Temperatura sortida del fluid transmissor de calor: 250 °C

- Fluid receptor de calor: Aigua.

Temperatura d'entrada del fluid receptor de calor: 200 °C, 20 bars (líquid)

Temperatura sortida del fluid receptor de calor: 300 °C, 20 bars (vapor sobreescalfat)

ⁱ Veure Pàg. 84.

ⁱⁱ Característiques a l'annex G: Informació comercial Syltherm 800. Pàg. 116.

E.2 Especificacions del bescanviador 2:

- Fluid transmissor de calor: Syltherm 800.

Temperatura d'entrada del fluid transmissor de calor: 250 °C

Temperatura sortida del fluid transmissor de calor: 200 °C

- Fluid receptor de calor: Aigua.

Temperatura d'entrada del fluid receptor de calor: 45,83 °C, 20 bars (líquid)

Temperatura sortida del fluid receptor de calor: 200 °C, 20 bars (vapor sobreescalfat)

E.3 Càlculs estimatius

E.3.1 Bescanviador 1

Es necessita una producció de vapor sobreescalfat a 20 bars i 300 °C de 6.600 kg/h per obtenir una potència d'1 MW a la turbinaⁱ.

Si es tenen en compte els rendimentsⁱⁱ del bescanviador i dels conductes de transport de fluid:

Conduccions: $\eta_{Co} = 0,85$ a $0,97$

Bescanviador: $\eta_{Besc} = 0,85$

S'haurà d'augmentar el cabal de fluid Syltherm 800 per tal d'aconseguir les temperatures d'operació del vapor per fer funcionar la turbina a potència nominal.

La pèrdua de calor en les conduccions no es tindran en compte, ja que s'exigirà el rendiment màxim de 0,97. Degut a que es treballa a altes temperatures i es busca molta eficiència és

ⁱ Annex D.2.3: Turbina de vapor sobreescalfat a 20 bars i 300 °C. Pàg. 92.

ⁱⁱ Segons MATAIX, C. Turbomàquines tèrmicas, 2^o Edició.

imprescindible que les conduccions estiguin perfectament aïllades i les pèrdues totalment minimitzades i controlades.

- Dades:

Temperatura d'entrada del fluid absorbidor de calor (aigua) = 200 °C

Temperatura de sortida del fluid absorbidor de calor (aigua) = 300 °C

Entalpia de l'aigua a l'entrada (20 bars, 200 °C) = $h_e = 852,6$ kJ/kg

Entalpia del vapor sobreescalfat a la sortida (20 bars, 300 °C) = $h_s = 3.025$ kJ/kg

Cabal de fluid absorbidor de calor (aigua) = 6.600 kg/h

La calor que necessitarà el fluid absorbidor de calor per passar de les condicions d'entrada a les de sortida, serà:

$$W \cdot (h_s - h_e) = Q_{abs}$$

$$6600 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (3025 \text{ kJ/kg} - 852,6 \text{ kJ/kg}) = Q_{abs}$$

$$Q_{abs} = 14.337.840 \text{ kJ/h}$$

Si es suposa un rendiment del bescanviador, $\eta_{Besc} = 0,85$, la calor cedida pel fluid Syltherm 800 per tal que el fluid absorbidor capti els 14.337.840 kJ/h de calor haurà de ser:

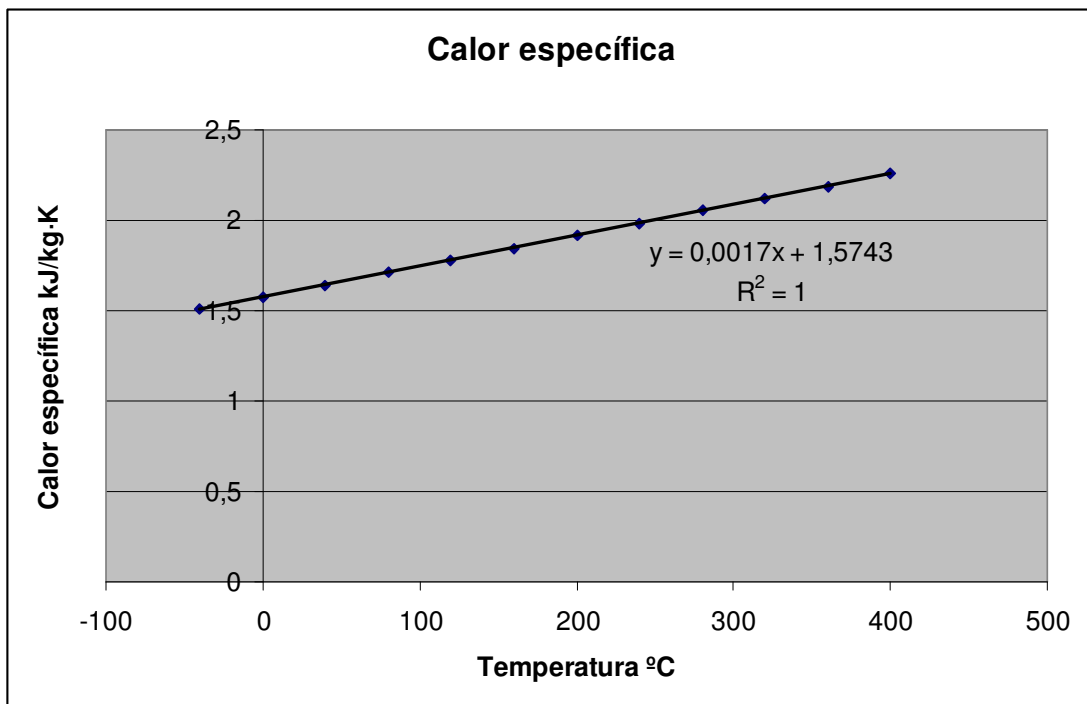
$$Q_{cedida} = \frac{Q_{abs}}{\eta_{Besc}} = \frac{14.337.840}{0,85} = 16.868.047 \text{ kJ/h}$$

Un cop obtinguda la calor que s'ha de cedir, es buscarà el cabal de Syltherm 800 necessari per tal de poder cedir aquesta calor:

Temperatura d'entrada del fluid transmissor de calor (Syltherm 800) = 350 °C

Temperatura de sortida del fluid transmissor de calor (Syltherm 800) = 250 °C

A partir de les dades comercials del fluid transportador de calor Syltherm 800ⁱ s'obté el gràfic E-1, de tendència de la variació de calor específica en funció de la temperatura:



Gràfic E-1: Variació de la calor específica del fluid Syltherm 800 en funció de la temperatura.

L'equació que dona la variació de la calor específica en funció de la temperatura és:

$c_e = 0,0017 \cdot T + 1,5743$ amb una $R^2 = 1$, per tant es pot dir que és pràcticament lineal.

Per trobar el cabal necessari de fluid Syltherm 800 que ens dona una calor de 16.868.047 kJ/h, es busca la calor específica mitja del Syltherm 800 entre 250 °C i 350 °C:

$$c_{e\ 350^{\circ}\text{C}} = 0,0017 \cdot T + 1,5743 = 0,0017 \cdot 350 + 1,5743 = 2,1693 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

$$c_{e\ 250^{\circ}\text{C}} = 0,0017 \cdot T + 1,5743 = 0,0017 \cdot 250 + 1,5743 = 1,9993 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

ⁱ Veure annex G: Informació comercial Syltherm 800. Pàg. 116

$$\overline{c_e} = \frac{c_{e350^{\circ}\text{C}} + c_{e250^{\circ}\text{C}}}{2} = \frac{2,1693 + 1,9993}{2} = 2,0843 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

Per tant, el cabal de Syltherm 800 que es necessitarà per transmetre un calor de 16.868.047 kJ/h serà de:

$$Q = \dot{m} \cdot \overline{c_e} \cdot (T_e - T_s)$$

$$16.868.047 = \dot{m} \cdot 2,0843 \cdot (350 - 250)$$

$$\dot{m} = \frac{16.868.047}{208,43} = 80.929 \text{ kg/h}$$

Es necessitarà un cabal de 81.000 kg/h de fluid transportador de calor Syltherm 800.

De les dades comercialsⁱ es pot saber que la densitat del fluid Syltherm 800 = 936 kg/m³, per tant voldrà dir que en cabal volumètric es necessita:

$$Q_v = \frac{81.000 \text{ kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{936 \text{ kg}} = 86,54 \text{ m}^3/\text{h} = \frac{86,54 \text{ m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,024 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Bescanviador 1:

Temperatura entrada Syltherm 800 = 350 °C

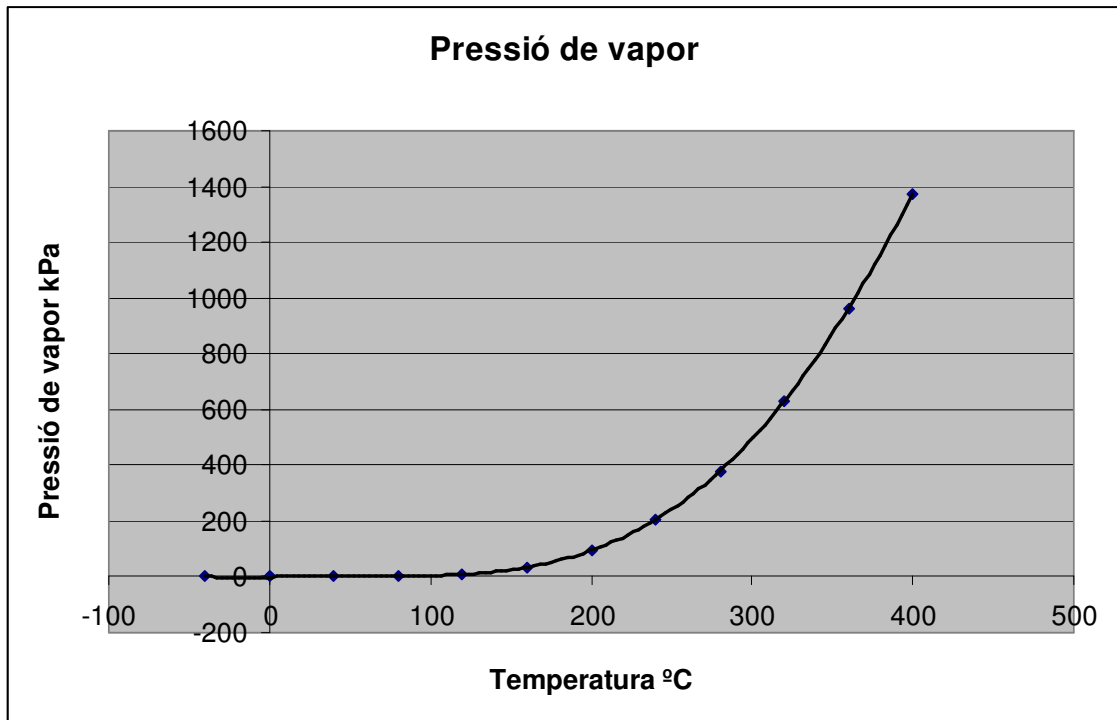
Temperatura sortida Syltherm 800 = 250 °C

Cabal de Syltherm 800:

Màssic = 81.000 kg/h

Volumètric = 86,54 m³/h = 0,024 m³/s

ⁱ Annex G: Informació comercial Syltherm 800. Pàg. 116.



Gràfic E-2: Evolució de la pressió de vapor en funció de la temperatura del fluid Syltherm 800.

Pressió de vapor entrada Syltherm 800 = 870 kPa = 8,7 bars

Pressió de vapor sortida Syltherm 800 = 250 kPa = 2,5 bars

E.3.2 Bescanviador 2

A partir del cabal de 81.000 kg/h de Syltherm 800 es comprova que mitjançant el bescanviador 2 som capaços d'escalfar l'aigua que surt del desgasificador a 45,83 °C fins els 200 °C previs a l'entrada del bescanviador 1.

Suposant el mateix rendiment en el bescanviador 1 que en el 2:

Bescanviador: $\eta_{\text{Besc}} = 0,85$

- Dades:

Temperatura d'entrada del fluid absorbidor de calor (aigua) = 45,83 °C

Temperatura de sortida del fluid absorbidor de calor (aigua) = 200 °C

Entalpia de l'aigua a l'entrada (20 bars, 45,83 °C) = h_e . S'ha de calcular:

Entalpia de l'aigua a 45,83 °C i 0,1 bars = 191,84 kJ/kg

Treball necessari de la bomba per incrementar la pressió a 20 bars:

$$W_{\text{bomba}} = v(p_a - p_b) = 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot (20 - 0.1) \cdot 10^2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1,99 \text{ kJ/kg}$$

Per tant, l'entalpia de l'aigua d'entrada al bescanviador 2 a 20 bars i 45,83 °C = $h_e = 191,84 + 1,99 \text{ kJ/kg} = 193,83 \text{ kJ/kg}$.

Entalpia del vapor sobreescalfat a la sortida (20 bars, 200 °C) = $h_s = 852,6 \text{ kJ/kg}$

Cabal de fluid absorbidor de calor (aigua) = 6.600 kg/h

La calor que necessitarà el fluid absorbidor de calor per passar de les condicions d'entrada a les de sortida, serà:

$$W \cdot (h_s - h_e) = Q_{\text{abs}}$$

$$6600 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (852,6 \text{ kJ/kg} - 191,83 \text{ kJ/kg}) = Q_{\text{abs}}$$

$$Q_{\text{abs}} = 4.361.082 \text{ kJ/h}$$

Suposant, com s'ha dit abans que $\eta_{\text{Besc}} = 0,85$, la calor cedida pel fluid Syltherm 800 calor per tal que l'aigua capti els 4.361.082 kJ/h de calor haurà de ser:

$$Q_{\text{cedida}} = \frac{Q_{\text{abs}}}{\eta_{\text{Besc}}} = \frac{4.361.082}{0,85} = 5.130.684,7 \text{ kJ/h}$$

Un cop obtinguda la calor que s'ha de cedir, es buscarà el cabal de Syltherm 800 necessari per tal de poder cedir aquesta calor:

Temperatura d'entrada del fluid transmissor de calor (Syltherm 800) = 250 °C

Temperatura de sortida del fluid transmissor de calor (Syltherm 800) = 200 °C

A partir de l'equació per trobar el calor específic obtinguda al gràfic E-1, mitjançant l'Excel:

$$c_e = 0,0017 \cdot T + 1,5743$$

Per trobar el cabal necessari de fluid Syltherm 800 que ens ha de donar una calor de 5.130.684,7 kJ/h, es busca la calor específica mitja del Syltherm 800 entre 250 °C i 200 °C:

$$c_{e\ 250^\circ\text{C}} = 0,0017 \cdot T + 1,5743 = 0,0017 \cdot 250 + 1,5743 = 1,9993 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

$$c_{e\ 200^\circ\text{C}} = 0,0017 \cdot T + 1,5743 = 0,0017 \cdot 200 + 1,5743 = 1,9143 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

$$\overline{c_e} = \frac{c_{e\ 250^\circ\text{C}} + c_{e\ 200^\circ\text{C}}}{2} = \frac{1,9993 + 1,9143}{2} = 1,9568 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

Per tant, el cabal de Syltherm 800 que es necessitarà per transmetre un calor de 5.130.684 kJ/h serà de:

$$Q = \dot{m} \cdot \overline{c_e} \cdot (T_e - T_s)$$

$$5.130.684 = \dot{m} \cdot 1,9568 \cdot (250 - 200)$$

$$\dot{m} = \frac{5.130.684}{97,84} = 52.439,53 \text{ kg/h}$$

Es necessitarà un cabal de 52.440 kg/h de fluid transportador de calor Syltherm 800.

Es pot observar que el cabal necessari en el bescanviador 1 és molt superior al necessari al bescanviador 2. Això es deu a que en el bescanviador 1 tot i tenir un salt tèrmic de 100 °C enfront els 50 °C del bescanviador 2 es produeix un canvi d'estat líquid – vapor que necessita molt calor latent.

Per tant, amb el cabal de 81.000 kg/h a 200 °C que surt del bescanviador 1, es disposa de calor de sobra per preescalfar l'aigua en el bescanviador 2.

- Bescanviador 2:

Temperatura entrada Syltherm 800 = 250 °C

Temperatura sortida Syltherm 800 = 200 °C

Cabal de Syltherm 800:

Màssic = 52.440 kg/h

Pressió de vapor entrada Syltherm 800 = 250 kPa = 2,5 bars

Pressió de vapor sortida Syltherm 800 = 94,6 kPa = 0,946 bars

F CAMPS DE COL·LECTORS SOLARS

Segons els càlculs realitzats a l'annex E, es troba que es necessita un cabal de fluid transportador de calor Syltherm 800 de 81.000 kg/h, que haurà de sortir dels col·lectors solars a 350 °C i entrar a una temperatura de 200 °C. Per tant, cada fila de col·lectors solars ens haurà de proporcionar l'energia necessària, procedent del sol, per tal d'escalfar el fluid transportador de calor que passa per dins el tub absorbidor UVAC aquests 150 °C.

$$Q_{\text{Syltherm800}} = 81.000 \text{ kg/h}$$

$$T_{\text{entrada al col·lector}} = 200 \text{ °C}$$

$$T_{\text{sortida del col·lector}} = 350 \text{ °C}$$

Col·lector solar: Longitud de reflector útil de 144 metres

S'instal·laran col·lectors de longitud 144 metres, formats per 12 mòduls de concentrador Eurotrough connectats en sèrie. S'ha decidit agafar aquesta longitud per disminuir el màxim possible les pèrdues geomètriques inherents a cada col·lectorⁱ ja que els col·lectors utilitzats permeten longituds de fins a 150 metres per fila i es té suficient espai per poder instal·lar-los.

F.1 Càlculs

- Dades:

Diàmetre tub UVAC = 70 mm

$$Q_{\text{Syltherm800}} = 81.000 \text{ kg/h} = 0,024 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Superfície del tub UVAC} = S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{0.07}{2}\right)^2 = 0.00385 \text{ m}^2$$

ⁱ Annex C.7.1: Pèrdues geomètriques. Pàg. 70.

F.1.1 Càlcul de la calor:

Es calcula la calor necessària que s'ha de captar del sol per tal d'escalfar el fluid transportador de calor Syltherm 800 de 200 °C a 350 °C:

Calor específica a 200 °C:

$$c_{e200^{\circ}\text{C}} = 1,916 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Calor específica a 350 °C:

$$c_{e350^{\circ}\text{C}} = 0,0017 \cdot T + 1,5743 = 0,0017 \cdot 350 + 1,5743 = 2,1693 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

S'agafa la calor específica mitjana, entre 350 i 200 °C per trobar la calor necessària per escalfar 81.000 kg/h de Syltherm 800:

$$\overline{c_e} = \frac{c_{e200^{\circ}\text{C}} + c_{e350^{\circ}\text{C}}}{2} = \frac{1,916 + 2,1693}{2} = 2,04265 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

La calor necessària per escalfar el Syltherm 800 serà:

$$Q = \dot{m} \cdot \overline{c_e} \cdot (T_{350^{\circ}\text{C}} - T_{200^{\circ}\text{C}}) = 81000 \cdot 2,04265 \cdot (350 - 200) = 24,818.197,5 \text{ kJ/h}$$

Es necessitarà captar una energia capaç de proporcionar 24.818.197,5 kJ/h de calor per generar un cabal de 81.000 kg/h a 350 °C.

F.1.2 Pèrdues geomètriques, òptiques i tèrmiques.

Els coeficients i valors de pèrdues geomètriques, òptiques i tèrmiques en el camp de col·lectors s'ha calculat a l'annex C.7. Els valors obtinguts d'aquests coeficients són els següents:

$$\text{Eficiència òptica} = \eta_{\text{opt}} = 80 \%$$

Pèrdues tèrmiques = 378,72 W/tub UVAC

Pèrdues geomètriques: Segons el càlcul realitzat a l'annex C.7.1., fins que el sol no ha arribat a una altura solar de 18,45 °, els rajos no il·luminen completament tots els miralls del concentrador (sempre que no sigui la primera fila). S'ha de tenir en compte que abans d'arribar als 18,45 ° d'altura solar, part del concentrador ja està treballant, encara que no al 100%. Es considera que el rendiment d'aquests serà 0 fins arribar el sol a 18,45 ° per passar al 100%, de tal manera que s'ha de tenir en compte que ens posicionem a una situació conservadora pel que fa a les hores de sol que s'aprofiten. Per tant, sempre es tindrà un rendiment superior que el calculat.

Per altra banda, es pot considerar que l'estona que tarda el sol a arribar als 18,45 ° d'altura solar, s'aprofita la part de rajos captats per preescalfar el fluid Syltherm 800 a la temperatura de 200 °C movent el cabal en un circuit tancat.

F.1.3 Dades del col·lector:

Longitud col·lector = 144 mⁱ

Número de concentradors per col·lector = 12 mòduls.

Longitud concentrador Eurotrough = 12 metres.

Amplada d'obertura = 5,77 metres.

Superfície de captació = 5,77 · 12 = 69,24 m²/concentrador

Longitud tub UVAC = 4,06 metres

Si cada concentrador disposa de 3 tubs absorbidors UVAC (sobrarà una distància de 9 cm per banda a cada concentrador que no es té en compte) les pèrdues tèrmiques per concentrador o per cada 12 metres de col·lector serà de:

$Q_{\text{pèrdues tèrmiques}} = 3 \text{ tubs} \cdot 378,72 \text{ W/tub} = 1136,17 \text{ W/concentrador}$

ⁱ Longitud útil de col·lector. Realment el col·lector és més llarg, tal i com es pot veure en el plànol general del col·lector

F.1.4 Formulació a la fulla de càlcul, Excel:

Totes aquestes dades s'introdueixen a la fulla de càlcul d'Excel per trobar l'energia que es podrà aprofitar en funció dels metres quadrats de camp solar que es tingui.

El procés d'introducció de dades i d'operacions que es realitzen a la fulla de càlcul és el següentⁱ:

- Superfície de captació per cada col·lector:

$$S_{\text{col·lector}} = 69,24 \frac{\text{m}^2}{\text{concentrador}} \cdot 12 \frac{\text{concentradors}}{\text{col·lector}} = 830,88 \text{ m}^2/\text{col·lector}$$

- Calor necessària per escalfar el cabal de fluid Syltherm 800 de 200 °C a 350 °C:

$$\text{Calor (sense pèrdues)} = 24.818.197,5 \text{ kJ/h} = 2.068.183,125 \text{ kJ/5min}^{\text{ii}}$$

Calor (suposant pèrdues òptiques):

$$Q_{\text{útil+perd.òpt}} = \frac{Q_{\text{útil}}}{\eta_{\text{opt}}} = \frac{2.068.183,125 \text{ kJ/5min}}{0,8} = 2.585.228,9 \text{ kJ/5min}$$

Calor (suposant pèrdues òptiques + tèrmiques):

$$\text{Pèrdues tèrmiques} = 1136,17 \text{ W/concentrador} = 340.851 \text{ J/concentrador en 5min}$$

$$\text{Pèrdues tèrmiques per col·lector} = 4.090.212 \text{ J/col·lector en 5 min}$$

$$Q_{\text{útil+perd.òpt+pèrd.tèrm}} = Q_{\text{útil+pèrd.òpt}} + \frac{\text{pèrdues tèrmiques}}{1 \text{ col·lector en 5 min}} \cdot \text{num. col·lectors}$$

Es trobarà en una casella de l'Excel i variarà en funció del número de col·lectors pel que es realitzi el càlcul. A la taula F-1 es pot observar el calor necessària pels casos estudiats:

ⁱ Lògicament, el procés s'ha de repetir tres vegades, ja que es disposa de 3 fulles de càlcul. Una pels primers 4 mesos de l'any, una pels 4 següents i una pels 4 últims.

ⁱⁱ Es treballarà amb la calor necessària per cada 5 minuts, ja que és com es disposa a la fulla de càlcul.

Num. de col·lectors	45	40	35	30
kJ/5min per generar 1 MW	2.769.288,446	2.748.837,386	2.728.386,326	2.707.935,266
kJ/5min per generar 333 kW	923.096,1488	916.279,1288	909.462,1088	902.645,0888

25	20	15	10	5
2.687.484,206	2.667.033,146	2.646.582,086	2.626.131,026	2.605.679,966
895.828,0688	889.011,0488	882.194,0288	875.377,0088	868.559,9888

Taula F-1: Calor necessària per escalfar a 350 °C el cabal de fluid Syltherm 800 que ens permetrà generar 1 MW i 333 kW.

Calor (suposant pèrdues geomètriques):

Aquest punt s'ha enfocat d'una manera diferent. En comptes fer més gran la quantitat de calor necessària per tenir en compte el factor reductor degut a les pèrdues, el que s'ha fet ha estat disminuir els metres quadrats útils de col·lector pel que fa a les pèrdues inherents per cada col·lector i no comptabilitzar l'energia proporcionada pel sol fins que l'altura solar d'aquest es troba a 18,5 °. Per tant:

- Pèrdues geomètriques inherents al col·lector:

Per trobar la superfície que no es pot aprofitar s'ha inclòs la següent fórmula per cada 5 minuts (detallada a l'annex C.7.1.), ja que l'angle d'incidència (φ) de la radiació directe va variant en cada període de 5 minuts.

$$S_E = A \cdot L_E = A \cdot F_m \cdot \tan(\varphi)$$

$$F_m = F + \left(\frac{F \cdot A^2}{48 \cdot F^2} \right)$$

on:

S_E = Àrea de col·lector perduda

A = Amplada del concentrador

L = Longitud del concentrador cilindre parabòlic

F = Distància focal de la paràbola

F_m = Distància mitja entre la superfície de la paràbola i l'absorbidor

φ = Angle d'incidència de la radiació solar

Un cop s'obté la superfície que no s'aprofita per col·lector, a la següent columna de la fulla de càlcul es multiplica pel número de col·lectors per trobar la quantitat total de metres quadrats que no s'aprofiten.

- Pèrdues geomètriques degut a la posició relativa entre col·lectors:

Per aquest cas, el que s'ha fet és no tenir en compte els valors de flux de radiació directe fins que el sol no arriba a una altura solar de $18,5^\circ$. Això no és real, perquè com ja s'ha comentat, encara que el sol no arribi a l'altura dels $18,5^\circ$ part del col·lector ja està treballant i escalfant el fluid. A més, també s'hauria de tenir en compte el factor de l'angle d'azimut (tot i que poc important en el nostre cas degut a què els col·lectors tenen l'eix longitudinal en l'eix nord – sud).

Tot i això, aquest fet permet tenir un marge de seguretat elevat en els valors que s'obtindran, assegurant-nos que sempre serem capaços d'obtenir més hores de funcionament que les trobades amb el mètode utilitzat aquí.

- Càlcul de la calor captada:

Depenent del número de col·lectors, el següent pas és el de trobar la calor que aprofitem del sol.

Metres quadrats de superfície de captació:

$$S_{\text{útil de captació}} = (S_{\text{captació col·lector}} - S_{\text{pèrdues geom. inherents}}) \cdot n^{\circ} \text{ col·lectors}$$

Aquesta fórmula s'introdueix per cada 5 minuts, ja que la superfície perduda degut a les pèrdues inherents van variant en funció del moment del dia.

- Calor aprofitada:

$$Q_{\text{sol}} = S_{\text{útil de captació}} \cdot \text{Radiació directe al concentrador}$$

$$Q_{\text{sol}} = m^2 \cdot \frac{\text{kJ}}{m^2 \cdot 5\text{min}}$$

S'obté l'energia captada del sol en un període de 5 minuts.

L'últim pas que es realitza a la fulla de càlcul és el de trobar quanta d'aquesta energia som capaços d'aprofitar.

S'ha treballat de la següent manera:

Es suposa que la turbina començarà a funcionar sempre que es tingui un terç del cabal de vapor necessari per generar 1 MW.

Es considera que amb aquesta tercera part de cabal es generen 333 kW a la turbina.

En cas de no aconseguir la calor necessària en el camp solar per generar aquesta tercera part de cabal de vapor, el fluid transportador de calor es conduirà en un circuit tancat. Es suposarà que la calor es destina a preescalfar el fluid transportador de calor.

Per altra banda, si es disposa de suficient calor per generar més cabal que el necessari per obtenir 1 MW de potència a la turbina, tot el que sobra no s'aprofitarà, ja que la turbina està dissenyada per generar 1 MW i no més.

Per tant, a la fulla de càlcul de l'Excel, s'han filtrat els valors d'energia obtinguts de la següent manera:

S'ha sumat l'energia obtinguda en un període de 5 minuts que supera els kJ/5minⁱ necessaris per poder produir com a mínim 333 kW.

A l'energia obtinguda en un període de 5 minuts que supera els kJ/5min necessaris per poder produir 1 MW, se li ha restat aquesta energia, obtenint l'excedent d'energia (energia que no podem aprofitar degut a que la turbina no està preparada per això).

Finalment, restant a l'energia que supera els kJ/5min per poder produir com a mínim els 333 kW l'excedent, s'obté l'energia que aprofitem.

ⁱ Depenen del número de col·lectors que tenim. Veure taula F-1.

F.1.5 Resultats

S'han obtingut els següents resultats per les dades de radiació del 2004 proporcionades per la UdG:

F.1.5.1 Energia aprofitada

- Mesos de gener, febrer, març i abril:

S'ha de tenir en compte que pel mes d'abril, només es disposen de dades per 9 dies. Això implica que a part del marge de seguretat que s'aplica amb les pèrdues geomètriques degut a la posició relativa dels col·lectorsⁱ, pel fet de no comptabilitzar les hores que s'obtindrien en aquest mes s'augmenta encara més el marge de seguretat.

Nº col·lectors	45		40		35	
		Excedent		Excedent		Excedent
J/5min	2,3819E+13	1,1505E+13	2,11E+13	9,1358E+12	1,8388E+13	6,8282E+12
J/5min aprofit.	1,2314E+13		1,1964E+13		1,156E+13	

Nº col·lectors	30		25		20	
		Excedent		Excedent		Excedent
J/5min	1,5683E+13	4,619E+12	1,2956E+13	2,5987E+12	1,0227E+13	1,0144E+12
J/5min aprofit.	1,1064E+13		1,0357E+13		9,2127E+12	

Nº col·lectors	15		10		5	
		Excedent		Excedent		Excedent
J/5min	7,4499E+12	1,2898E+11	4,4652E+12	0	5,1558E+11	0
J/5min aprofit.	7,3209E+12		4,4652E+12		5,1558E+11	

Taula F-2: Energia que supera durant 5 minuts el mínim necessari per poder generar 333 kW a la turbina, excedent (energia sobrant que durant 5 minuts no som capaços d'aprofitar) i la diferència entre ells, obtenint l'energia que aprofitem en funció del número de col·lectors.

ⁱ Veure Pàg. 106

- Mesos de maig, juny, juliol i agost:

Nº col·lectors	45		40		35	
		Excedent		Excedent		Excedent
J/5min	8,3278E+13	5,0067E+13	7,3893E+13	4,1346E+13	6,4526E+13	3,2701E+13
J/5min aprofit.	3,321E+13		3,2547E+13		3,1825E+13	

Nº col·lectors	30		25		20	
		Excedent		Excedent		Excedent
J/5min	5,515E+13	2,4172E+13	4,5767E+13	1,5861E+13	3,6402E+13	8,0112E+12
J/5min aprofit.	3,0978E+13		2,9906E+13		2,8391E+13	

Nº col·lectors	15		10		5	
		Excedent		Excedent		Excedent
J/5min	2,6985E+13	1,5212E+12	1,7398E+13	0	5,1408E+12	0
J/5min aprofit.	2,5463E+13		1,7398E+13		5,1408E+12	

Taula F-3: Energia que supera durant 5 minuts el mínim necessari per poder generar 333 kW a la turbina, excedent (energia sobrant que durant 5 minuts no som capaços d'aprofitar) i la diferència entre ells, obtenint l'energia que aprofitem en funció del número de col·lectors.

- Mesos de setembre, octubre, novembre i desembre:

Nº col·lectors	45		40		35	
		Excedent		Excedent		Excedent
J/5min	3,4979E+13	1,6425E+13	3,0995E+13	1,2932E+13	2,7025E+13	9,5352E+12
J/5min aprofit.	1,8554E+13		1,8063E+13		1,7489E+13	

Nº col·lectors	30		25		20	
		Excedent		Excedent		Excedent
J/5min	2,3056E+13	6,2967E+12	1,9069E+13	3,4053E+12	1,5093E+13	1,1592E+12
J/5min aprofit.	1,6759E+13		1,5664E+13		1,3934E+13	

Nº col·lectors	15		10		5	
		Excedent		Excedent		Excedent
J/5min	1,102E+13	6,7138E+10	6,5614E+12	0	4,8415E+11	0
J/5min aprofit.	1,0953E+13		6,5614E+12		4,8415E+11	

Taula F-4: Energia que supera durant 5 minuts el mínim necessari per poder generar 333 kW a la turbina, excedent (energia sobrant que durant 5 minuts no som capaços d'aprofitar) i la diferència entre ells, obtenint l'energia que aprofitem en funció del número de col·lectors.

- Resultats globals pel 2004:

Nº col·lectors	45		40		35	
		Excedent		Excedent		Excedent
J/5min	1,42076E+14	7,7998E+13	1,2599E+14	6,3414E+13	1,0994E+14	4,9065E+13
J/5min aprofit.	6,4078E+13		6,2574E+13		6,0875E+13	

Nº col·lectors	30		25		20	
		Excedent		Excedent		Excedent
J/5min	9,38892E+13	3,5088E+13	7,7792E+13	2,1865E+13	6,1722E+13	1,0185E+13
J/5min aprofit.	5,88013E+13		5,5927E+13		5,1538E+13	

Nº col·lectors	15		10		5	
		Excedent		Excedent		Excedent
J/5min	4,54551E+13	1,71732E+12	2,84242E+13	0	6,14056E+12	0
J/5min aprofit.	4,37377E+13		2,84242E+13		6,14056E+12	

Taula F-5: Energia que supera durant 5 minuts el mínim necessari per poder generar 333 kW a la turbina, excedent (energia sobrant que durant 5 minuts no som capaços d'aprofitar) i la diferència entre ells, obtenint l'energia que aprofitem en funció del número de col·lectors.

F.1.5.2 Hores equivalents:

A partir d'aquests valors es troben les hores equivalents de funcionament generant 1 MW.

El càlcul es basa simplement en dividir l'energia aprofitable per l'energia necessària per generar el cabal que permet produir 333 kW:

$$n^{\circ} \text{ períodes de 5 min que podem generar 333 kW} = \frac{\text{Energia aprofitable (J/5min)}}{\text{Energ per generar 333 kW (J/5min)}}$$

on:

L'energia per generar 333 kW dependrà del número de col·lectors que es tenen, ja que les pèrdues són funció del número d'aquests.

Un cop es té el número de períodes de 5 minuts en els quals es genera 333 kW, dividint per 12 (perquè 1 hora està composta per 12 períodes de 5 minuts) es troben les hores que s'estan generant aquests 333 kW.

Per altra banda, si es divideix el valor de les hores en que es generen 333 kW, s'obtenen les hores equivalents generant 1 MW ($3 \cdot 333 \text{ kW} = 1 \text{ MW}$).

Els resultats obtinguts per l'any 2004 a Girona són els següents:

Número de col·lectors	45	40	35
Número de vegades que generem suf. energia durant 5 min	69416,440	68291,464	66934,753
Nº hores que es pot fer funcionar la turbina generant 333 kW	5784,703	5690,955	5577,896
Nº hores que es pot fer funcionar turbina generant 1 MW	1928,234	1896,985	1859,299

Número de col·lectors	30	25	20
Número de vegades que generem suf. energia durant 5 min	65143,351	62430,421	57971,898
Nº hores que es pot fer funcionar la turbina generant 333 kW	5428,613	5202,535	4830,992
Nº hores que es pot fer funcionar turbina generant 1 MW	1809,538	1734,178	1610,331

Número de col·lectors	15	10	5
Número de vegades que generem suf. energia durant 5 min	49578,365	32470,822	7069,812
Nº hores que es pot fer funcionar la turbina generant 333 kW	4131,530	2705,902	589,151
Nº hores que es pot fer funcionar turbina generant 1 MW	1377,177	901,967	196,384

Taula F-6: Hores que som capaços de generar 333 kW o 1 MW en funció del número de col·lectors.

Mitjançant aquests resultats s'ha trobat l'òptim en el número de col·lectors des d'un punt de vista econòmic a l'annex H.

F.2 Disposició dels col·lectors

Un cop trobat l'òptim en l'annex H, la disposició dels col·lectors en el camp solar serà la següent:

Files de col·lectors = 15 files.

Longitud de cada col·lector = 144 metres.

Nº de concentradors per col·lector = 12 mòduls

Superfície de captació = 12.463,2 m²

Separació entre files = 17,3 metresⁱ

Superfície total del camp solar = 37.500 m²

A la secció plànols es pot veure un lay-out de la disposició dels col·lectors en el seu emplaçament.

ⁱ Taula 17.3.2 pag. 643. DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. Solar Engineering of thermal processes. Editorial Wiley Interscience. 1991.

G INFORMACIÓ COMERCIAL SYLTHERM 800

Product Information



SYLTHERM 800

Silicone Heat Transfer Fluid

SYLTHERM[®] 800 heat transfer fluid is a highly stable, long-lasting silicone fluid designed for high temperature liquid phase operation. It exhibits low potential for fouling and can often remain in service for 10 years or more. SYLTHERM 800 has essentially no odor, is low in acute oral toxicity, and is not listed as reportable under SARA Title III, Section 313^{††}.

Recommended use temperature range:
-40°C (-40°F) to 400°C (750°F)

For health and safety information for this product, contact your Dow sales representative or call the number for your area on the second page of this sheet for a Material Safety Data Sheet (MSDS).

^{††} You may need to comply with similar or additional regulations in other countries.

Typical Properties of SYLTHERM 800 Fluid¹

Composition: Dimethyl Polysiloxane

Property	As Supplied		After Extended Use	
	SI Units	English Units	SI Units	English Units
Color:	Clear Yellow		Darkened	
Viscosity @ 25°C (77°F)	9.1 mPa·s	9.1 cps	6.0 mPa·s	6.0 cp
Flash Point ² , Closed Cup, Typical	160°C	320°F	135°C	95°F
Flash Point ² , Open Cup, Typical	177°C	350°F	157°C	135°F
Fire Point ²	193°C	380°F	168°C	155°F
Autoignition Point, ASTM D 2155	385°C	725°F	385°C	725°F
Acid Number, Typical	0.03		0.03	
Freeze Point	-60°C	-76°F	-40°C	-40°F
Density @ 25°C (77°F)	936 kg/m ³	7.8 lb/gal	936 kg/m ³	7.8 lb/gal
Specific Gravity 25°C (77°F)	0.93		0.93	
Heat of Combustion	28,659 kJ/kg	12,300 Btu/lb	28,659 kJ/kg	12,300 Btu/lb
Estimated Critical Temperature	367°C	692°F	367°C	692°F
Estimated Critical Pressure	10.9 bar	10.8 atm	10.9 bar	10.8 atm
Estimated Critical Volume	3.22 l/kg	0.0515 ft ³ /lb	3.22 l/kg	0.0515 ft ³ /lb

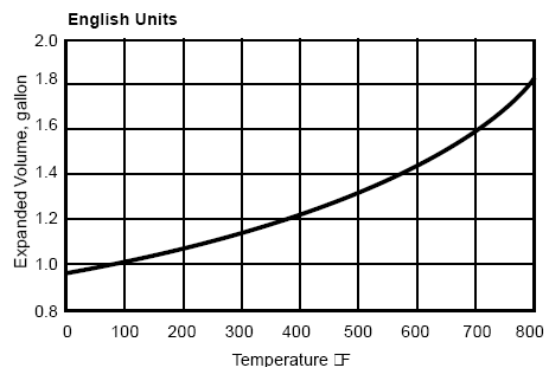
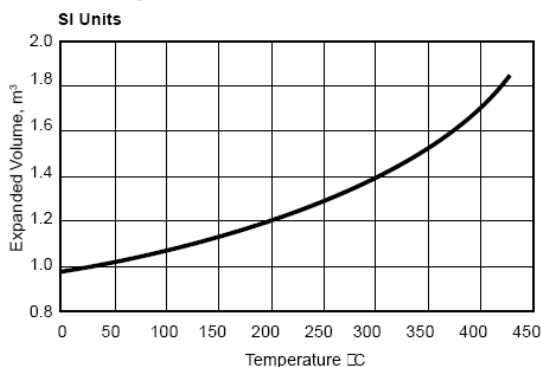
¹ Not to be construed as specifications

² Properties of the fluid at "equilibrium." Can be regarded as ongoing, long-term values for design purposes

³ ASTM D92

⁴ ASTM D93

Thermal Expansion of SYLTHERM 800 Fluid



[†]Trademark of Dow Corning Corporation

SYLTHERM 800 Silicone Heat Transfer Fluid

Saturated Liquid Properties of SYLTHERM 800 Fluid (SI Units)

Temp. °C	Specific Heat kJ/kg K	Density kg/m ³	Thermal Conductivity W/m K	Viscosity mPa·s	Vapor Pressure kPa
-40	1.506	990.61	0.1463	51.05	0.00
0	1.574	953.16	0.1388	15.33	0.00
40	1.643	917.07	0.1312	7.00	0.10
80	1.711	881.68	0.1237	3.86	1.46
120	1.779	846.35	0.1162	2.36	9.30
160	1.847	810.45	0.1087	1.54	35.00
200	1.916	773.33	0.1012	1.05	94.60
240	1.984	734.35	0.0936	0.74	204.80
280	2.052	692.87	0.0861	0.54	380.20
320	2.121	648.24	0.0786	0.41	630.50
360	2.189	599.83	0.0711	0.31	961.20
400	2.257	547.00	0.0635	0.25	1373.00

Saturated Liquid Properties of SYLTHERM 800 Fluid (English Units)

Temp. °F	Specific Heat Btu/lb °F	Density lb/ft ³	Thermal Conductivity Btu/hr ft ² (°F/ft)	Viscosity cP	Vapor Pressure psia
-40	0.360	61.91	0.0845	51.00	0.00
40	0.378	59.32	0.0797	13.80	0.00
120	0.396	56.82	0.0749	6.10	0.00
200	0.414	54.37	0.0700	3.25	0.40
280	0.432	51.91	0.0652	1.94	2.60
360	0.451	49.38	0.0604	1.24	9.11
440	0.469	46.72	0.0555	0.83	23.42
520	0.487	43.90	0.0507	0.58	48.58
600	0.505	40.84	0.0459	0.42	86.84
680	0.523	37.49	0.0411	0.31	139.39
760	0.541	33.80	0.0362	0.24	206.50

For further information, call...

In the United States and Canada: 1-800-447-4369 • FAX: 1-989-832-1465

In Europe: +32 3 450 2240 • FAX: +32 3 450 2815

In the Pacific: +886 22 547 8731 • FAX: +886 22 713 0092

In other Global Areas: 1-989-832-1560 • FAX: 1-989-832-1465

www.dowtherm.com

NOTICE: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.

Published November 2001

NOTE: SYLTHERM heat transfer fluids are manufactured by Dow Corning Corporation and distributed by The Dow Chemical Company.



Printed in U.S.A.

*Trademark of The Dow Chemical Company

NA/LA/Pacific: Form No. 176-01469-1101 AMS
Europe: CH-153-311-E-1101

H CÀLCUL ÒPTIM ECONÒMIC DE LA INSTAL·LACIÓ

Per definir el número de col·lectors en el camp solar s'ha buscat un òptim econòmic que impliqui el mínim cost per generar 1 kWh. S'ha treballat a partir dels resultats obtinguts a la fulla de càlcul de l'Excel que es detallen a l'apartat H.3 d'aquest annex.

H.1 Costs

Els costs de la central de generació d'1 MW són els següents:

- Costos fixes:

Turbina = 850.000 €

Conjunt bescanviadors de calor = 500.000 €

Torre de refrigeració = 150.000 €

Dos recollidors d'aigua = 962,88 €

- Variables:

Col·lector Eurotrough = 200 €/m²

Manteniment = 12 €/MWh

Assegurança a tot risc = 36.000 €/any

Syltherm 800 = 7 €/kg

A partir del volum de tub UVAC per concentrador es pot trobar el preu de Syltherm 800 en €/m² de col·lector.

longitud UVAC = 4 metres.

diàmetre UVAC = 70 mm

$$\text{Volum UVAC} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,07^2}{4} = 0,01539 \text{ m}^3 / \text{UVAC}$$

$$\text{Volum concentrador} = \frac{3 \text{ UVAC}}{\text{concentrador}} \cdot \frac{0,01539 \text{ m}^3}{\text{UVAC}} = \frac{0,04618 \text{ m}^3}{\text{concentrador}}$$

$$\text{m}^2 \text{ de superfície de captació} = 69,24 \text{ m}^2/\text{concentrador}$$

$$\text{Densitat Syltherm 800} = 936 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Preu Syltherm 800} = \frac{7 \text{ €}}{\text{kg}} \cdot \frac{936 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{0,04618 \text{ m}^3}{\text{concentrador}} \cdot \frac{1 \text{ concentrador}}{69,24 \text{ m}^2} = \frac{4,37 \text{ €}}{\text{m}^2}$$

S'agafarà pels càlculs el preu del fluid Syltherm 800 multiplicat per 5, ja que d'aquesta manera es tindrà en compte en certa manera tot el fluid que es pugui tenir en les canonades de distribució, dipòsit d'expansió, bescanviadors... Per tant:

$$\text{Preu Syltherm 800} = 23,65 \text{ €/m}^2$$

H.2 Cost de producció del kWh

Amb els resultats que s'han obtingut a l'annex F.1.5.2 d'hores de funcionament generant 1 MW es troba el valor de kWh que som capaços de produir en funció del número de col·lectors:

$$\text{kWh produïts} = \text{hores generant 1 MW} \cdot 1000 \text{ kW}$$

El cost de producció d'un kWh pel primer any es trobarà:

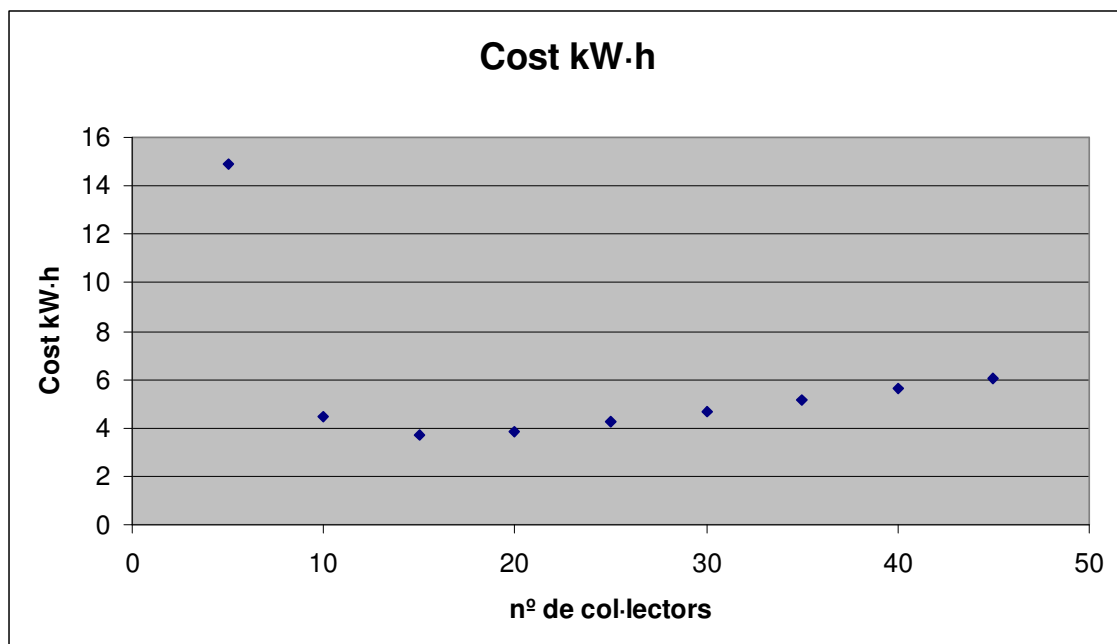
$$\text{Cost kWh} = \frac{\text{Cost fixes} + (\text{Conc} + \text{Syltherm}) \cdot \text{m}^2 \text{ de col·lect} + \text{Mant.} \cdot \text{MWh} + \text{Asseg.}}{1000 \text{ kW} \cdot \text{hores generant}}$$

H.3 Resultats

Els resultats pel primer any que s'obtenen són els següents:

Col·lectors	45	40	35	30
Costos (€)	11.716.200,95	10.619.057,47	9.521.836,76	8.424.471,147
Cost €/kWh	6,076128887	5,597860204	5,121197981	4,655593496

25	20	15	10	5
7.326.798,359	6.228.543,706	5.128.977,384	4.026.506,392	2.921.270,909
4,224939363	3,86786668	3,724269326	4,464137581	14,87532524



Gràfic H-1: Cost del kW·h en funció del nº de col·lectors, suposant tots els costos en 1 any.

S'observa com el punt de mínim cost del kWh coincideix amb un camp solar format per 15 col·lectors.

Amb aquests 15 col·lectors el cost del kWh és de 3,724 €/kWh (suposant que la vida útil de la central és d'un any) i coincideix amb 1.377,177 hores de treball de la turbina produint 1 MWⁱ.

Durant la vida útil de la instal·lació, considerada de 20 anys, el cost del kWh serà de 0,15675 €/kWh, sense comptabilitzar els costos financers.

H.4 Rendiment econòmic

Amb les següents dades es troben els anys necessaris per treure un rendiment econòmic positiu a la instal·lació.

Hores de treball generant 1 MW = 1.377,177 hores

kWh en un any = 1.377.177 kWh

Preu de l'electricitat = 0,269375 €/kWh

La inversió d'aquesta instal·lació es farà mitjançant un leasing. El capital inicial aportat serà del 20%.

Suposant que es pagarà per semestres, es divideixen els ingressos en dues parts:

$$\text{Ingressos per semestre} = \frac{1.377.177 \cdot 0,269375}{2} = 185.488,53 \text{ €}$$

S'ingressarà una mitja de 185.488,53 € per semestre, és a dir 370.977,05 € l'any.

Suposant:

Interès fix del leasing = 5,5 %

Interès préstec per semestre = 2,75 %

Cost de la instal·lació per un camp de 15 col·lectors = 5.128.977,384 €

Cost del 80 % de la instal·lació = 4.103.181,907 €

ⁱ Veure taula F-6, Pàg. 114

Anys de pagament	22	21	20	19
Pagament per semestre	-161.915,67 €	-165.939,87 €	-170.411,36 €	-175.401,33 €
Benefici per semestre	23.572,83 €	19.548,64 €	15.077,14 €	10.087,17 €

18	17	16	15	14	13
-180.996,77 €	-187.305,11 €	-194.460,59 €	-202.633,26 €	-212.041,69 €	-222.971,68 €
4.491,73 €	-1.816,60 €	-8.972,09 €	-17.144,76 €	-26.553,19 €	-37.483,18 €

Com a mínim s'ha de realitzar un leasing a 18 anys per obtenir beneficis. Amb un leasing a 20 anys el benefici seria d'uns 30.000 € l'any. S'ha de tenir en compte que s'ha realitzat una aportació de capital inicial del 20 % del cost.

H.5 Opcions d'augment de rendiment econòmic

Existeixen diverses possibles opcions per augmentar el rendiment econòmic de la instal·lació:

- Emmagatzament de calor:

Es basa en emmagatzemar l'energia tèrmica. Existeixen dos sistemes:

Sistema d'emmagatzament en medi únic: Utilitzen el mateix fluid tèrmic que circula pels col·lectors encarregat d'emmagatzemar l'energia tèrmica. S'afegeix un dipòsit convenientment aïllat on per un extrem entra el fluid a la temperatura màxima i per l'altre extrem el fluid a la temperatura mínima, per anar al camp solar a absorbir energia. L'eficiència d'aquests sistemes és superior al 90 %.

Per les dimensions d'aquesta instal·lació s'optaria per aquest sistema.

Sistema d'emmagatzament en medi dual: El fluid tèrmic escalfa un fluid secundari, que és l'encarregat d'emmagatzemar l'energia tèrmica. Els sistemes més comuns d'aquest tipus

són les plaques de ferro, materials ceràmics o el formigó. L'eficiència es mou pel voltant del 70 %.

Avantatges:

Capacitat d'augmentar les hores de funcionament de la turbina, ja que part de l'energia perduda com a excedent es podria aprofitar.

Inconvenients:

Cost del dipòsit d'emmagatzament.

Increment del fluid necessari i per tant del cost global.

Increment en la complexitat de la instal·lació.

- Utilització de gas pel manteniment de la temperatura:

El RD 2351/2004 del 23 de desembre, autoritza la utilització de gas per mantenir la temperatura en períodes de poca irradiància que pugui afectar a la producció d'energia prevista.

Avantatges:

Augment de les hores de treball de la turbina funcionant al 100 %.

Producció d'energia més constant.

Inconvenients:

Cost del gas.

Instal·lació d'una caldera.

Limitacions normatives. La generació a partir de gas podrà ser del 12 % si es ven a preu fix i del 15 % si es fa al mercat.

- Instal·lació biomassa - solar:

Es basa en treballar com a central de generació a partir de biomassa i utilitzar com a reforç l'energia solar.

Avantatges:

Increment de les hores de funcionament de la turbina.

Inconvenients:

Preu de l'electricitat.

Instal·lació caldera de biomassa.

Utilització secundària de l'energia solar.

I CÀLCUL DEL CABAL RECOLLIT I DE DESAIGUAT

I.1 Període de retorn:

Per calcular el període de retorn s'ha utilitzat el mètode de Gumbel. La funció distribució de Gumbel és la següent:

$$F(x) = \text{prob}(\xi \leq x) = \exp\{-\exp[-\alpha(x - u)]\} \quad (\text{Eq. I-1})$$

Es disposa dels valors d'intensitat mitja de precipitació de pluja per intervals de 30 min de les estacions meteorològiques de Botarell i Falset, pròximes a l'emplaçament de la instal·lació. Aquestes dades han estat cedides pel Servei Meteorològic de Catalunya, i abracen per l'estació de Botarell de 1998 a 2005, i per l'estació de Falset de 1996 a 2004.

A partir d'aquestes dades s'ha buscat la intensitat mitja màxima per un període de 30 minuts per cada any. Els valors obtinguts són:

- Botarell

Any	mm/30min
1998	16,6
1999	18,8
2000	27
2001	20,6
2002	13,4
2003	37,4
2004	19,4
2005	13,6

Taula I-1: Valors de precipitació màxims durant 30 minuts enregistrats a l'observatori de Botarell entre els anys 1998 i 2005.

- Falset

Any	mm/30min
1996	19,2
1997	9,2
1998	11,6
1999	9
2000	57
2001	15,4
2002	31
2003	19
2004	11,2

Taula I-2: Valors de precipitació màxims durant 30 minuts enregistrats a l'observatori de Falset entre els anys 1996 i 2004.

Per procedir amb el mètode de Gumbel, s'han ordenat aquests valors en ordre creixent i s'ha assignat una freqüència a cada un d'ells, seguint la fórmula:

$$F = \frac{100 \cdot n}{N + 1} \quad (\text{Eq. I-2})$$

- Valors ordenats:

Número d'ordre	Intensitat Mitja Màxima Anual en mm. (període de 30 min)	Freqüència $F=(100n)/(N+1)$
1	9	5,56
2	9,2	11,11
3	11,2	16,67
4	11,6	22,22
5	13,4	27,78
6	13,6	33,33
7	15,4	38,89
8	16,6	44,44
9	18,8	50,00
10	19	55,56
11	19,2	61,11
12	19,4	66,67
13	20,6	72,22

14	27	77,78
15	31	83,33
16	37,4	88,89
17	57	94,44

Taula I-3: Valors de precipitació màxima en un període de 30 min ordenats de forma creixent.

La mitja de la sèrie de valors és:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N} = 20,55 \frac{mm}{30 \text{ min}} \quad (\text{Eq. I-3})$$

La desviació típica és:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - x_i)^2}{N}} = 11,74 \quad (\text{Eq. I-4})$$

Per continuar amb el mètode de Gumbel és necessari obtenir dos valors que només depenen del número de dades. Els valors d'aquestes variables són els següents (obtinguts de taules):

$$\bar{y} = 0,5176$$

$$\sigma^* = 1,0396$$

A partir d'aquests valors calculem α i u , necessaris per trobar la funció distribució de Gumbel:

$$\alpha = \frac{\sigma^*}{\sigma} = \frac{1,0396}{11,74} = 0,088549 \quad (\text{Eq. I-5 i I-6})$$

$$u = \bar{x} - \bar{y} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^*} = 20,55 - 0,5176 \cdot \frac{11,74}{1,0396} = 14,70757$$

Per tant, la funció distribució de Gumbel (Eq. I-1) queda de la següent forma:

$$F(x) = \exp\{-\exp[-0,089(x - 14,708)]\}$$

Amb la funció distribució de Gumbel es busca el valor d'intensitat mitja de precipitació per un període de retorn de 5 anys, és a dir el valor de precipitació que estadísticament només es superarà un cop cada 5 anys de mitjana.

El període de retorn es defineix com:

$$T(x) = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (\text{Eq. I-7})$$

Per tant, igualant $T(x) = 5$ anys i substituint $F(x)$ per la funció distribució de Gumbel (Eq. I-1), s'obté els següent valor d'intensitat de precipitació mitjana màxima per un interval de 30 min:

Intensitat mitja màxima per un interval de referència de 30 min. = 31,56 mm/30 min

- Mètode de Nadal:

S'utilitza el mètode de Nadal per passar el valor d'intensitat mitja màxima obtingut anteriorment a l'equivalent d'intensitat mitja màxima per un interval de referència de 10 minuts.

La fórmula de Nadal és la següent:

$$\bar{I}_{\Delta t} = 9,25 \cdot \bar{I}_{60} \cdot (\Delta t)^{-0,55} \quad (\text{Eq. I-8})$$

Ens trobem amb el problema que no tenim el valor d'intensitat mitja màxima per un interval de referència de 60 min, per tant es realitza el següent pas previ per obtenir-lo, es substitueix a l'equació I-8 el valor trobat de precipitació mitja màxima per un interval de referència de 30 min :

$$\bar{I}_{\Delta t} = \bar{I}_{30} = 31,56 \frac{mm}{30min}$$

I s'obté:

$$\bar{i}_{60} = 22,15 \frac{mm}{60min}$$

A partir d'aquest moment ja som capaços de trobar el valor per un interval de referència de 10 minuts:

$$\bar{i}_{10} = 57,75 \frac{mm}{10min}$$

Passant aquests valors a litres per segon i hectàrea:

$$\bar{i}_{10} = 962,55 \frac{l}{s \cdot ha}$$

A continuació s'ha calculat la superfície de la conca de recollida d'aigua pluvial per trobar tot seguit l'aigua que ens serà necessari desaiguar:

Superfície de recollida pluvial	Area (m ²)	Area (ha)	Cabal recollit l/s
Superfície A	6.917,27	0,691727	665,8184581

Taula I-4: Cabal recollit per la conca pluviomètrica.

La superfície s'ha extret del plànol conca pluviomètrica.

I.2 Càlcul de la capacitat de desaiguar de la canonada:

Les arquetes recolliran l'aigua provinent de les conques pluvials i es desaiguarà per un tub de PVC corrugat de 500 mm de diàmetre nominal.

- Dades:

Diàmetre nominal = 500 mm

Espessor = 37,037 mm

Diàmetre interior = 425,93 mm

Superfície interior = 142.481,3541 mm²

La superfície d'aigua que portarà la canonada suposant que s'ompli fins un 70 % del diàmetre interior del tub serà:

Superfície per H = 0,7D = 106.491,99 mm²

El radi hidràulic (superfície de líquid/perímetre mullat) per la canonada omplerta fins a un 70 % i per la canonada omplerta totalment:

Radi hidràulic per H = 0,7D = 126,07 mm

Radi hidràulic per H = D = 106,48 mm

Es calcula la velocitat de circulació de l'aigua per la canonada utilitzant el mètode de Manning-Strickler:

$$\bar{v} = K \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. I-9})$$

Es suposa pel càlcul de la velocitat mitja de circulació que l'estat de les parets del tub de PVC és mitjà i no bo, d'aquesta manera ens posem del costat de la seguretat. Per tant s'agafa k = 100, en comptes de k = 120 (valors tabulats pel PVC).

El pendent que tindrà la canonada serà de J = 0,166, 1 metre de desnivell per cada 6 metres de longitud.

- Suposant que la canonada s'omplirà fins el 70 % del diàmetre intern de la canonada:

Velocitat mitja de l'aigua = 10,26 m/s

Cabal per H = 0,7D = 1.093 m³/s = 1093,1 l/s

- Suposant que la canonada s'omplirà totalment:

Velocitat mitja de l'aigua = 9,17 m/s

Cabal per H = D = 1,3068 m³/s = 1306,8 l/s

Es disposaran els col·lectors pluvials treballant amb el valor de cabal obtingut suposant que la canonada s'omplirà fins el 70 % del seu diàmetre intern, ja que d'aquesta manera ens trobem del costat de la seguretat.

En el plànol situació recollidors d'aigua es defineix on es localitzen els col·lectors.

I.3 Càlcul del comportament de la canonada de desaigüat enfront els esforços externs

Per calcular com es comportarà la canonada de PVC enfront les càrregues externes que rebrà (pas de vehicles, terra de recobriment...) ens remetrem a la norma UNE 53331 IN.

Seguint aquesta norma es comença per definir el tipus de terra de terraplenat que s'utilitzarà en el nostre cas. Coincideix (s'utilitzarà el mateix tipus de terra que s'ha extret en la realització de la rasa) amb el tipus de terra del grup 2 de la norma: "Terreny poc cohesiu. S'inclou en aquest grup les graves i sorres poc argiloses o llimoses."

Terreny de terraplenat = grup 2.

Segons la norma, per aquest tipus de terra:

Coeficient d'empenta lateral de les terres de replè: $K_1 = 0,5$, $K_2 = 0,3$.

Valor de l'angle de fregament intern del replè = 30°

A continuació s'ha de definir el tipus de compactat que es realitzarà a les terres de replè. En el nostre cas es compactarà en posterioritat, després de tapar la rasa.

D'aquesta manera l'angle de fregament de replè amb les parets de la rasa, ρ' :

$\rho' = 10^\circ$

A continuació es defineixen els següents paràmetres que també ens demana la norma:

Tipus de rasa = a1 (veure figura I-1)

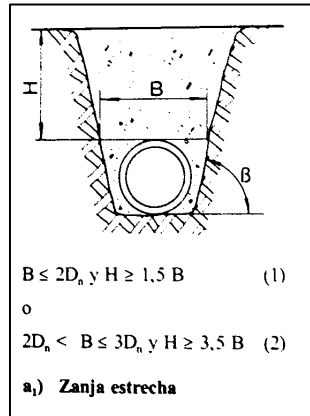


Figura I-1: Paràmetres de la rasa tipus a1.

Pes específic de les terres de replè = 20 kN/m^3

Altura del recobriment = 0,8 m (en el punt més desfavorable, més proper a la superfície. Es troba on la canonada s'uneix amb el recollidor d'aigua).

L'angle d'inclinació de les parets de la rasa: $\beta = 75^\circ$

Angle de suport de la canonada: $2\alpha = 90^\circ$

Relació de projecció: $P_j = 1$

Diàmetre nominal de la canonada = 0,5 m

Material de la canonada = PVC

Espessor de les parets de la canonada = 0,03704 m

Pel que fa als mòduls de compressió en les diferents zones de replè i de la rasa considerem una compactació pròctor del 95 %, i per tant:

$$E_1 = 8 \text{ N/mm}^2$$

$$E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$$

$$E_3 = 8 \text{ N/mm}^2$$

$$E_4 = 8 \text{ N/mm}^2$$

Els mòduls d'elasticitat en flexió transversal del PVC, són:

A llarg plaç = 1750 N/mm²

A curt plaç = 3600 N/mm²

Pel càlcul es considera que el tràfic que passarà pel camí que du a la plataforma i per tant per sobre les canonades serà de tipus HT 60 i com a coeficient d'impacte s'agafen els del tràfic pesat de la taula I-5 i I-6:

Característiques d'alguns vehicles propis tipus							
Nº	Símbol	Càrrega total (Tones)	Nº eixos	a (m)	b (m)	Càrrega per roda (Pc) (kN)	
						Anterior	Posterior
1	LT 12	12	2	2	3	20	40
2	HT 26	26	2	2	3	65	65
3	HT 39	39	3	2	1,5	65	65
4	HT 60	60	3	2	1,5	100	100

Taula I-5: Valors de càrregues en funció del tipus de tràfic que passa per sobre la canonada.

Coeficient d'impacte per sobrecàrregues mòbils		
Tipus de trànsit	Coeficient d'impacte, ϕ	
	Ferm normal	Ferm irregular
Trànsit lleuger ≤ 12 t	1,5	fins 1,85
12 t < trànsit mig < 39 t	1,4	fins 1,75
Trànsit pesat ≥ 39 t	1,2	fins 1,5

Taula I-6: Valors de coeficient d'impacte en funció del tràfic que passa per sobre la canonada.

Per tant s'agafen pels càlculs els paràmetres del tipus de vehicle nº 4 i un coeficient d'impacte = $\phi = 1,5$

No es treballarà amb el supòsit de càrregues repartides.

A partir d'aquí seguint la norma es calculen les accions que rep la canonada.

Pressió vertical sobre el tub degut a la càrrega de terres	curt plaç	llarg plaç	kN/m ²
	qv = 14,61681594	14,57206812	

Determinació de la pressió lateral de les terres:

Pressió lateral de replè sobre el tub	curt plaç	llarg plaç	kN/m ²
	qh = 4,262230381	4,329352111	
Reacció màxima lateral del terra a l'altura Del centre del tub	curt plaç	llarg plaç	kN/m ²
	qht = 3,075494983	5,146208826	

Determinació la pressió vertical degut a les sobrecàrregues:

Sobrecàrregues concentrades			
Pressió vertical sobre el tub degut a les sobrecàrregues concentrades	P _{vc} =	86,7076354	kN/m ²

Determinació de la pressió vertical total:

Pressió vertical total sobre el tub q _{vt}	curt plaç	llarg plaç	kN/m ²
	101,3244513	101,2797035	

- Anàlisi de resultats segons la norma:

Es comença per comprovar si la deformació de la canonada degut a l'efecte de les càrregues externes es troba dins els límits que ens marca la norma:

Càlcul de la deformació			
Variació del diàmetre vertical degut a les càrregues externes		curt plaç	llarg plaç
	ΔD _v =	0,002836681	0,004841176
Deformació relativa (el valor admissible a llarg plaç ha de ser inferior o igual al 5%)			
	δv =	0,612727073	1,045700792

Queda comprovat segons la norma que ens trobem per sota del 5 % de deformació admissible, per tant complim aquest aspecte.

Es determinen ara les sol·licitacions de la canonada, tenint en compte que el nivell freàtic es troba per sota la canonada (el cas que ens ocupa):

Moment flector:

		Curt plaç			Llarg plaç			
		clau	ronyons	base	clau	ronyons	base	
Moment flector total	M =	1,439	-1,461	1,676	1,417	-1,443	1,655	kN m/m

Forces axials:

		Curt plaç			Llarg plaç			
		clau	ronyons	base	clau	ronyons	base	
Força axial total	N =	0,245	-23,5365	-1,968	-0,048	-23,526	-2,259	kN/m

Finalment, a partir d'aquestes dades i seguint el procediment que ens ofereix la norma, s'obtenen els esforços tangencials màxims:

		curt plaç			llarg plaç			
		clau	ronyons	base	clau	ronyons	base	
Càlcul dels esforços tangencials màxims	$\sigma =$	6,635	-6,792	7,669	6,527	-7,282	7,561	N/mm ²

Es comprova ara l'estabilitat de la canonada, ja que la deformació ja s'ha comprovat anteriorment:

Trobem dos classes de seguretat:

Classe de seguretat A: Cas general	Classe de seguretat B: Cas especial
<ul style="list-style-type: none"> · Amenaça de capa freàtica · Reducció de servei · Fallada amb conseqüències econòmiques notables. 	<ul style="list-style-type: none"> · Sense amenaça de capa freàtica · Dèbil reducció de servei · Fallada amb conseqüències econòmiques poc importants

Segons la norma, els esforços tangencials de la canonada s'han de comparar amb els següents:

Material del tub	Curt plaç, N/mm ²	Llarg plaç, N/mm ²
PVC	90	50
PE	30	14,4

I el coeficient de seguretat no podrà ser inferior a:

Coeficient de seguretat a ruptura, ν		
Material del tub	Classe de seguretat A (cas normal) $pf^* = 10^{-5}$	Classe de seguretat B (cas especial) $pf^* = 10^{-3}$
PVC	2,5	2
PE	2,5	2

El coeficient de seguretat a la ruptura de la nostra canonada serà el següent per cada part d'aquesta (clau, ronyons i base):

		curt plaç			llarg plaç		
		clau	ronyons	base	clau	ronyons	base
Coeficient de seguretat a la ruptura	$\nu =$	13,565	13,251	11,736	7,66	6,866	6,613

Es pot observar com tots els coeficients de seguretat són molt superiors als exigits per la norma. Complim.

A continuació es verifica l'estabilitat dimensional, és a dir garantir que la generatriu de la canonada no s'aixafarà.

S'aplica el supòsit de la norma que només actua la pressió del terreny (perquè el nivell freàtic es troba per sota de la canonada i no ens afecta):

		curt plaç	llarg plaç	
Pressió d'aixafament crítica	crit $q_{vt} =$	4,857888004	3,387000589	N/mm ²
Coefficient de seguretat a l'aixafament	$\eta_1 =$	47,94388659	33,44204684	

Es veu com el coeficient de seguretat a l'aixafament supera àmpliament al 2,5 exigit per la norma. Per tant podem afirmar que complim aquesta exigència.

Es pot afirmar, que complim totes les exigències de la norma UNE 53331 IN.

J FÓRMULES PER TROBAR LA TRAJECTÒRIA SOLAR.

En aquest annex es detallen les fórmules i les constants utilitzades en l'estudi de la trajectòria solar de l'annex A.1.

J.1 Equacions solars

Les formules aquí esmentades són les que posteriorment s'han usat en l'elaboració del programa de càlcul de la trajectòria solar.

Es parteix d'una sèrie de dades constants:

- Període de translació = any sideral = 365,256 dies
- Període de rotació = dia sideral = 23 h 56 min. 4 seg.
- Velocitat mitja de translació = 29,6 km/h
- Angle format per l'equador terrestre i l'eclíptica = $23^{\circ} 27'$
- Excentricitat de l'òrbita terrestre = $e = 0,0167$
- Longitud del perigeu = $l_0 = 77^{\circ} 29' 54''$
- Constant solar física = $I_0 = 1390 \text{ W/m}^2$

Variables:

- Declinació (δ) = angle que forma la direcció dels rajos solars amb el pla de l'equador.

Solstici d'hivern, 22 de desembre = $\delta = -23^{\circ} 27'$

Equinocci, 21 de març = $\delta = 0$

Solstici d'estiu, 21 de juny = $\delta = 23^{\circ} 27'$

Equinocci, 23 de setembre = $\delta = 0$

Variables diàries segons latitud i longitud de lloc:

- Hores de naixement i posta del sol.

- Duració del dia.
- Hora que passa el sol pel meridià (meridià que passa per la longitud on ens trobem).
- Radiació solar extraterrestre (depèn de les condicions meteorològiques i de la distància Terra – Sol).

Coordenades solars horitzontals:

Per definir la posició del Sol es treballarà amb coordenades solars horitzontals, és a dir amb l'angle d'azimut i d'altura solar, tal i com es veu a la figura J-1:

- Azimut (A) = Angle que forma la projecció de la radiació solar sobre el pla tangent a la Terra en el punt d'observació. En el nostre cas, considerarem com a angle 0 l'eix sud.
- Altura solar (H) = Angle que formen els rajos solars amb el pla tangent a la Terra en el punt d'observació.

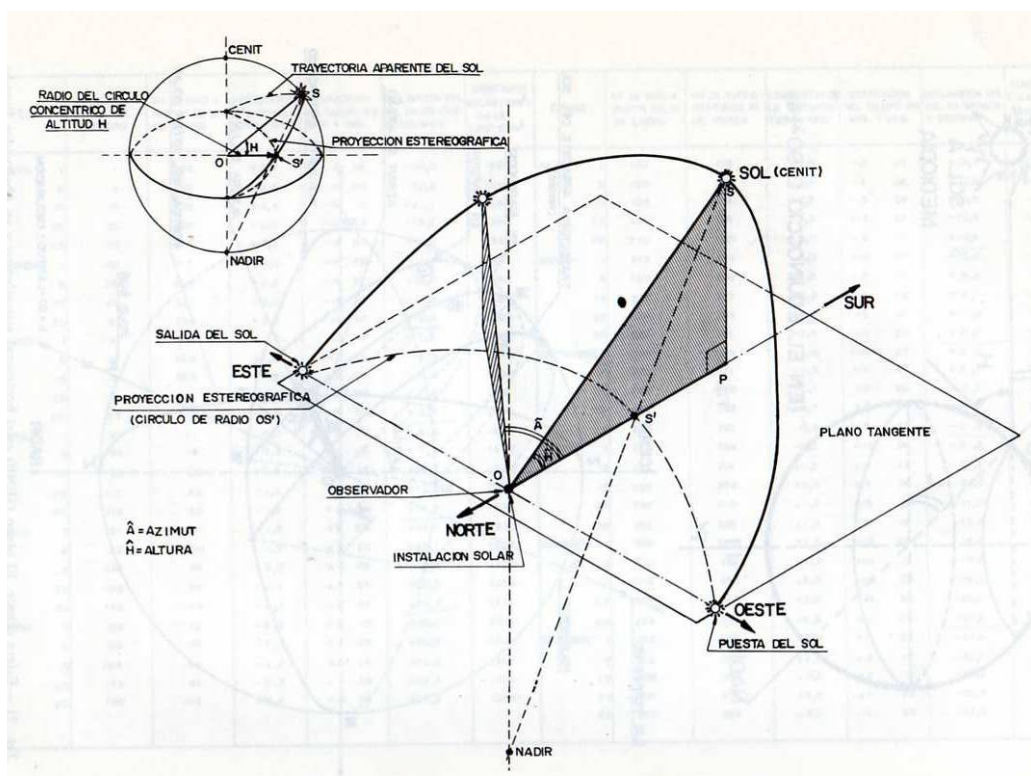


Figura J-1: Trajectòria que segueix el sol segons un observador situat al punt O.

Càlcul pràctic de les equacions del sol¹:

Per començar es suposarà que no és la terra la que gira al voltant del sol, sinó al contrari, que el sol recorre una trajectòria aparent al voltant de la terra tal i com es pot veure a la figura J-2. La trajectòria que es descriu és la d'una el·lipse amb excentricitat (e) molt petita, en la qual la terra la trobem en un pol de l'el·lipse per on passa la línia d'intersecció que talla el pla de l'equador terrestre amb l'eclíptica (pla on trobem la trajectòria del sol).

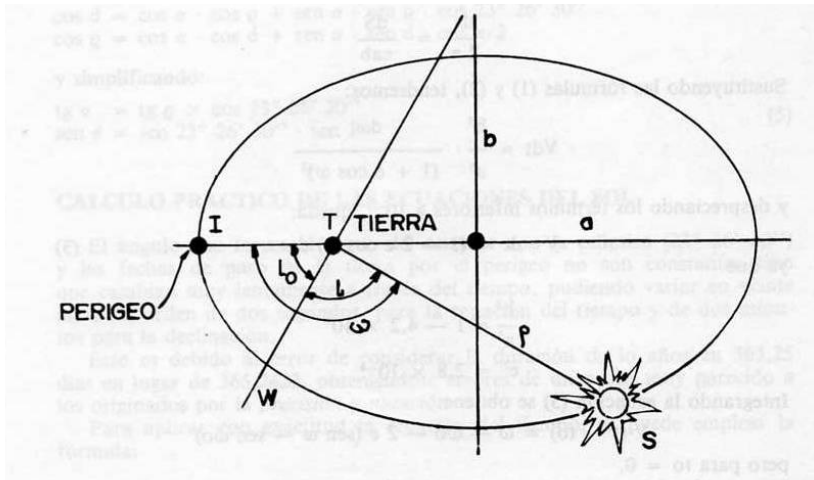


Figura J-2: Trajectòria que segueix el sol, suposant que fos aquest el que gira al voltant de la terra i no al contrari.

on:

ω = velocitat angular del radi vector (ρ) que uneix el sol i la terra. Degut a la trajectòria el·líptica, la velocitat angular (ω) no és uniforme durant l'any, sent més ràpida el gener (61 min/dia) i més lenta el juliol (57 min/dia).

l = longitud celesta. És l'angle que forma el sol respecte la línia WT (línia dels equinoccis).

l_0 = longitud del perigeu. És quan el sol es troba més a prop de la terra.

Es compleix:

$$\omega = l + l_0 \quad (\text{Eq. J-1})$$

¹ Procediment extret del llibre Calculo de la Energia Solar. Jose Javier Garcia-Badell. No s'ha aprofundit en la demostració de les fórmules, s'han considerat com a vàlides.

A partir d'aquí i aplicant les lleis de Kepler per un sol fictici que giri al voltant de la terra, arribem a la següent fórmula:

$$\text{Longitud celesta (l)} = -\text{longitud del perigeu (l}_0) + V \cdot t + 2 \cdot e \cdot \sin(V \cdot t) \quad (\text{Eq. J-2})$$

on:

$$V = \frac{2\pi}{365,25} \text{radians/dia} = \frac{360^\circ}{365,25} = 0,9856^\circ \text{graus/dia}$$

$$V \cdot t + 2 \cdot e \cdot \sin(V \cdot t) = \omega$$

$$e = \text{excentricitat de l'òrbita} = 0,0167$$

$$t = \text{n}^\circ \text{ de dia a partir del perigeu. Es mou entre l'1 i el 4 de gener.}$$

És la funció LCS = LongCelestSol(VelAngTerra, t, excent, l0) de la macro.

Per aplicar amb exactitud l'equació del temps, es pot utilitzar la següent fórmula:

$$t = T - t_0 \quad (\text{Eq. J-3})$$

on:

$$T = \text{n}^\circ \text{ de dies a partir de l'1 de gener.}$$

$$t_0 = \text{factor de correcció} = 2,244 + \frac{\text{número d'anys després del de traspàs}}{4}$$

Aquest factor de correcció s'usa, com s'ha dit abans, perquè la data d'origen del temps pot variar entre l'1 i el 4 de gener (dies de fluctuació del perigeu).

Per tant:

$$t = T - 2,244 - \frac{\text{n}^\circ \text{ anys després del de traspàs}}{4} \quad (\text{Eq. J-4})$$

Pel càlcul de la longitud celeste usarem l'equació J-2, utilitzant com a t el valor obtingut a l'equació J-4, on la longitud del perigeu és $77^\circ 30'$.

- Càlcul de la declinació solar:

Usarem la següent equació:

$$\sin \delta = \sin(23^{\circ}26'30'') \cdot \sin(l) \quad (\text{Eq. J-5})$$

La declinació solar la calcularem introduint el resultat obtingut a l'equació de la longitud celesta (l) a l'equació J-5.

És la funció Declin = DecSolar(OblEquador, LCS) a la macro.

- Càlcul de l'angle horari de sortida del sol:

Calculem quin és l'angle horari a que surt el sol cada dia. Dependrà lògicament de la declinació de la Terra respecte del pla de la trajectòria solar, ja que com s'observa a la figura J-3 i J-4, el sol sortirà més aviat quan major sigui la declinació i més tard quan menor sigui la declinació.

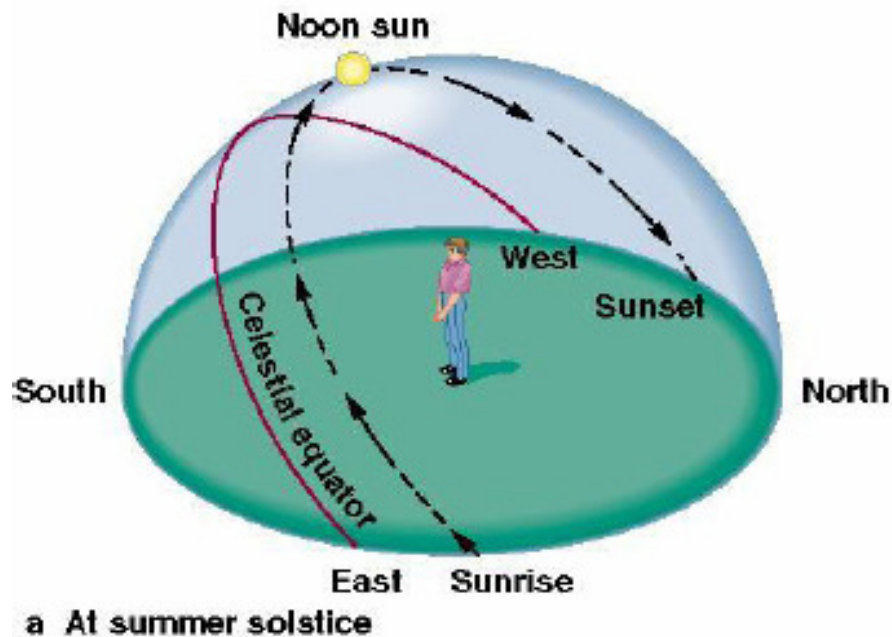


Figura J-3: Trajectòria que segueix el sol al solstici d'estiu, quan tenim més hores de sol.

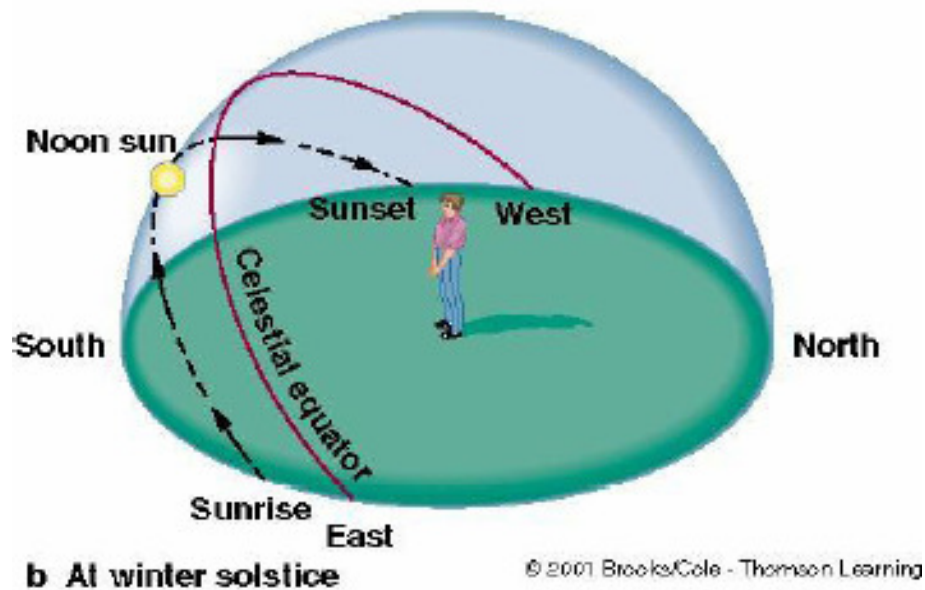


Figura J-4: Trajectòria que segueix el sol al solstici d'hivern, quan tenim menys hores de sol

Per calcular l'angle horari utilitzem la funció per trobar l'altura solar (equació J-7), però substituint el valor d'altura solar per 0, ja que en el moment que surt el sol, l'angle d'altura solar és 0. D'aquesta manera trobem l'angle horari en que surt el sol.

$$\cos(\text{angle horari}) = -\text{tg}(\delta) \cdot \text{tg}(L) \quad (\text{Eq. J-6})$$

$$\text{angle horari} = \arccos(-\text{tg}(\delta) \cdot \text{tg}(L))$$

on:

δ = Declinació, trobada a l'equació J-5

L = Latitud del lloc on tenim la instal·lació.

És la funció AHSS = CalculAngleHorariSortidaSol(Declin, L) a la macro.

- Càlcul del temps que tarda el sol des de que surt fins a arribar al punt d'altura solar màxima:

En aquests moments tenim l'angle horari de sortida del sol. El que es fa amb aquest pas és trobar el temps que tarda a arribar el sol al meridià on tenim la instal·lació, per trobar l'hora, els minuts i els segons exactes en que surt el sol (sempre en horari solar).

$$\text{Temps que tarda a arribar al meridià} = \frac{\text{angle horari que surt el sol}}{\text{Velocitat de gir de la Terra}}$$

on:

La velocitat de gir de la Terra sobre ella mateixa són 15º/hora

És la funció NHD12 = NumHoresTransDespresDotze(AHSS, VelGirTerra) de la macro.

Finalment, a partir d'aquí, amb les dues següents fórmules ja som capaços de trobar l'angle d'altura solar i d'azimut per a cada moment del dia:

- Altura solar:

$$\text{Altura Solar} = H = \arcsin(\sin(L) \cdot \sin(\delta) + \cos(L) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\text{angle horari})) \text{ (Eq. J-7)}$$

- Azimut:

$$\text{Azimut} = A = \arcsin \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(\text{Angle horari})}{\cos(H)} \text{ (Eq. J-8)}$$

- Radiació global extraterrestre:

La constant solar de radiació extraterrestre varia amb la distància terra – sol, ja que l'orbita és el·líptica i la distància no és constant. Tot i això com que l'excentricitat és molt petita la variació de la constant extraterrestre varia al voltant de $\pm 3,5$ per 100 al voltant del seu valor mig (1366 W/m^2).

Per trobar la radiació cada dia de l'any, podem aplicar la següent fórmula:

$$\text{Constant de radiació solar} = 1366 \cdot \left[1 + 2 \cdot e \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365,25} \cdot t\right) \right] \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) \text{ (Eq. J-9)}$$

on:

e = excentricitat de l'orbita = 0,0167

$t =$ dies a partir del perigeu

Tot i això, aquesta és la radiació incident a un pla normal a la seva direcció. Però depenent de la latitud del lloc variarà l'angle d'incidència d'aquesta radiació amb la tangent a l'esfera terrestre en aquest punt, tal i com es veu a la figura J-5:

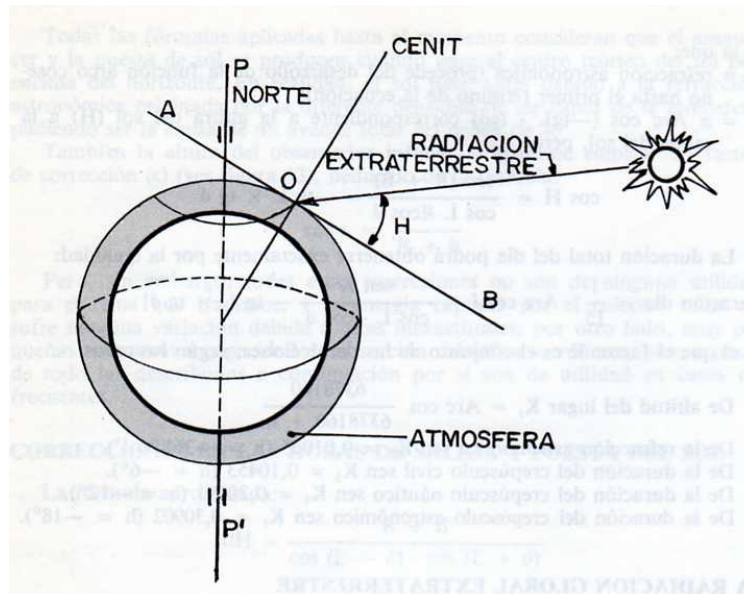


Figura J-5: Angle d'incidència de la radiació solar segons la latitud en un pla tangent a l'atmosfera.

Per tant, la radiació que aprofitarem, agafant com a referència un pla tangent a la superfície de l'esfera a la latitud on ens trobem serà:

$$G = I_1 \cdot \sin(H) \quad (\text{Eq. J-10})$$

on:

$H =$ angle de l'altura solar.

$I_1 =$ constant extraterrestre. Agafarem la mitja = 1390 W/m^2

La radiació global extraterrestre al llarg del dia (perpendicular al pla tangent a la superfície de l'esfera), s'obindrà integrant la següent equació:

$$G_{ET} = \int_{\text{Naixement}}^{\text{Posta del sol}} I_1 \cdot \sin(h) \cdot dh = 2 \cdot \int_{\text{migdia}}^{\text{Posta del sol}} I_1 \cdot \sin(h) \cdot dh \quad (\text{Eq. J-11})$$

on:

h = angle horari. Sabem que l'angle horari al migdia és 0 mentre que a la posta del sol es compleix que l'angle horari és l' $\arcsin(\operatorname{tg}L \cdot \operatorname{tg}\delta)$.

Realitzem la integral i obtenim el següent resultat:

$$\begin{aligned} G_{ET} &= 2 \cdot I_1 \cdot \int_{\text{migdia}=h=0}^{\text{Posta del sol}=h=\arcsin(\operatorname{tg}L \cdot \operatorname{tg}\delta)} \sin(h) \cdot dh = \\ &= 2 \cdot I_1 \cdot \left[\sin L \cdot \sin \delta \cdot h \right]_{h=0}^{h=\arcsin(\operatorname{tg}L \cdot \operatorname{tg}\delta)} + 2 \cdot I_1 \cdot \left[\cos L \cdot \cos \delta \cdot \sinh \right]_{h=0}^{h=\arcsin(\operatorname{tg}L \cdot \operatorname{tg}\delta)} = \\ &= 2 \cdot I_1 \cdot \left[\sin L \cdot \sin \delta \cdot \arcsin(\operatorname{tg}L \cdot \operatorname{tg}\delta) + \cos L \cdot \cos \delta \cdot \sin(\arcsin(\operatorname{tg}L \cdot \operatorname{tg}\delta)) \right] \end{aligned}$$

Per fer més exacte el càlcul substituïrem I_1 per l'equació J-9:

$$I_1 = 1366 \cdot \left(1 + 2 \cdot 0.0167 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365.25} \cdot t\right) \right)$$

La qual ens determinarà la radiació rebuda del sol en funció del dia (ja que en funció d'aquest varia la posició de la terra respecte el sol i per tant la distància entre ells).

K ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT

K.1 Memòria

K.1.1 Objecte de l'estudi.

El present Estudi de Seguretat i Salut ha estat redactat per a complir el Reial Decret 1627/1997 on s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut en les obres i en les instal·lacions. Tot això es situa en el marc de la Llei 31/1995 de Prevenció de Riscos Laborals.

- Nota a tenir present

Atenció als articles 3 i 7 del RD 1627/1997 sobre obligacions quan al projecte o a l'obra intervé més d'una empresa o contractista o subcontractistes o autònoms. També pel que fa a la redacció per part del contractista d'un Pla de Seguretat i a les obligacions que provenen d'aquest Pla.

K.1.1.1 Justificació de que l'obra requereix un Estudi de Seguretat.

Com es podrà comprovar en els punts de terminis d'execució, nombre de treballadors i xifra del pressupost d'execució de l'apartat K.1.1.2, les xifres que allí apareixen de pressupost, de durada estimada o terme d'execució, de nombre de treballadors simultanis i de volum de mà d'obra estimada, són superiors a les que apareixen als punts a), b) i c) del paràgraf 1 del article 4 del RD 1627/1997.

K.1.1.2 Característiques de l'obra (o de la instal·lació)

- Títol del projecte:

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

- Autor.

Miquel Martí Carolà

- Promotor.

Fictici

- Direcció facultativa.

Fictícia

- Coordinador de seguretat.

Fictici

- Termini d'execució.

6 mesos mínim.

- Nombre de treballadors.

Mínim 4

- Xifra del pressupost d'execució.

5.081.209,32 €.

- Ubicació i entorn de l'obra.

Plataforma de 325 per 190 metres a Pradell de la Teixeta.

- Accessos

Accés per la CN-420 de Córdoba a Tarragona, per Conca.

- Disponibilitat d'energia

No es disposa d'energia elèctrica. Passa una línia de 220 kV, propietat d'Enher-Fecsa, per la finca on es realitzaran les obres, i les línies Reus I-II, propietat d'Enher-Fecsa, a uns 450 m de l'obra.

- Disponibilitat d'aigua.

No.

- Disponibilitat de telèfon.

La disponibilitat de telèfon vindrà donada a través d'aparells de telefonia mòbil.

K.1.1.3 Instal·lacions provisionals.

- Instal·lació elèctrica

Es disposarà d'un grup electrogen.

- Serveis sanitaris i Serveis comuns

Els serveis sanitaris i els serveis comuns, vestuaris, menjadors, lavabos, etc.. estaran a la plataforma on es construirà la instal·lació.

K.1.1.4 Descripció del sistema d'atenció mèdica.

Per tractar-se de treballs en zona de muntanya, s'utilitzarà l'atenció mèdica de la ciutat de Reus, o de qualsevol dispensari més proper que estigüés obert a la zona.

K.1.1.5 Interferència amb altres serveis o obres.

No es produirà interferència amb cap altre servei de la zona. Únicament, es podrà entorpir la circulació per la CN-420, quan arribin els camions amb material per l'obra.

K.1.1.6 Descripció dels processos i programació.

- Sectors Sector B Construcció

Subsector B1 Obra nova

Fase B1A Preparació de la zona de treball

- Operacions

B1A O1 Delimitació de la zona de treball amb tanques amb marge suficient de seguretat per les persones que no intervenen en l'obra.

B1A O2 Instal·lació de corrent elèctric provisional de l'obra.

B1A O3 Fixació dels circuits de moviment de maquinària automotriu.

B1A O4 Instal·lació de dispositius de elevació de càrregues.

B1A O5 Instal·lació d'il·luminació provisional.

B1A O6 Previsió de vies i sortides d'emergència.

B1A O7 Instal·lació d'elements de lluita contra incendis.

B1A O10 Previsió de materials i elements auxiliars.

- Sectors Sector B Construcció

Subsector B1 Obra nova

Fase B1C Moviment de terres

- Operacions

B1C O1 Desmuntatges.

B1C O2 Terrabuits.

B1C O3Excavació de pous de servei.

B1C O4Excavació de rases.

B1C O5Rebliments amb sorres o roques.

- Sectors Sector B Construcció

Subsector B1Obra nova

Fase B1DFonamentació, estructures i altres treballs amb formigó

- Operacions

B1D O1Encoframent i desencoframent.

B1D O2Preparació d'armadures.

B1D O3Formigonat de fonaments.

B1D O4Formigonat de murs.

B1D O8Muntatge d'elements prefabricats.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E1Instal·lacions d'alta o tensió mitjana

Fase E1AMuntatge de línies aèries

- Operacions

E1A O1Càrrega, assegurament i transport d'elements.

E1A O2Descàrrega i distribució a l'obra.

E1A O3Hissat de suports.

E1A O4 Estesa de cables.

E1A O5 Tensat de cables.

E1A O6 Muntatge de farratges.

E1A O7 Muntatge d'aïllants, cadenes i accessoris.

E1A O8 Connexió.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E1 Instal·lacions d'alta o tensió mitjana

Fase E1B Muntatge de línies soterrades

- Operacions

E1B O1 Excavació de rases.

E1B O2 Càrrega, assegurament i transport de bobines.

E1B O3 Descàrrega a l'obra.

E1B O4 Estesa de cables.

E1B O5 Acabaments.

E1B O6 Unions.

E1B O7 Connexions.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E1 Instal·lacions d'alta o tensió mitjana

Fase E1C Muntatge d'estacions transformadores i subestacions

- Operacions

E1C O1 Càrrega, assegurament i transport d'elements.

E1C O2 Descàrrega i distribució a l'obra.

E1C O3 Muntatge d'estructures metàl·liques.

E1C O4 Connexió.

E1C O5 Unions.

E1C O6 Acabaments.

E1C O7 Instal·lacions de baixa tensió.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E1 Instal·lacions d'alta o tensió mitjana

Fase E1D Proves i posada en servei

- Operacions

E1D O1 Inspecció visual prèvia.

E1D O2 Senyalització i avís a personal propi i aliè.

E1D O3 Comprovació aïllament.

E1D O4 Medicions de posta a terra.

E1D O5 Redactar procediment de treball per a realitzar les proves i la coordinació.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E1 Instal·lacions d'alta o tensió mitjana

Fase E1E Explotació i manteniment

- Operacions

E1E O1 Inspeccions visuals en les instal·lacions en càrrega.

E1E O2 Comprovacions amb aparells.

E1E O3 Manteniment i reparacions sense tensió.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E2 Centrals generadores d'energia

Fase E2A Muntatge de la central

- Operacions

E2A O1 Càrrega, assegurament i transport d'elements.

E2A O2 Descàrrega i distribució a l'obra.

E2A O3 Muntatge d'estructures metàl·liques.

E2A O4 Connexió.

E2A O5 Unions.

E2A O6 Acabaments.

E2A O7 Instal·lacions de baixa tensió.

E2A O8 Muntatge i manipulació de màquines rotatives.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E2 Centrals generadores d'energia

Fase E2B Proves i posada en servei

- Operacions

E2B O1 Senyalització i avís a personal propi i aliè.

E2B O2 Comprovació aïllament.

E2B O3 Mesures posta a terra.

E2B O4 Inspecció visual prèvia.

E2B O5 Establir programa de proves i coordinació.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E2 Centrals generadores d'energia

Fase E2C Explotació i manteniment

- Operacions

E2C O1 Inspeccions visuals en les instal·lacions en càrrega.

E2C O2 Comprovacions amb aparells.

E2C O3 Manteniment i reparacions sense tensió.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E3 Instal·lacions de baixa tensió, instal·lacions d'enllaç i interiors

Fase E3C Muntatge de quadres elèctrics

- Operacions

E3C O1 Càrrega, assegurament i transport d'elements.

E3C O2 Descàrrega i distribució a l'obra.

E3C O3Muntatge d'estructures i suports metàl·lics.

E3C O4Muntatge de barres col·lectores.

E3C O5Connexió.

E3C O6Unions.

E3C O7Acabaments.

E3C O8Estesa de cables sota canalitzacions.

E3C O9Fixació d'aparells a les parets o estructures.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E3Instal·lacions de baixa tensió, instal·lacions d'enllaç i interiors

Fase E3EInstal·lacions interiors

- Operacions

E3E O1Càrrega, assegurament i transport d'elements.

E3E O2Descàrrega i distribució a l'obra.

E3E O3Muntatge d'estructures i suports metàl·lics.

E3E O4Muntatge de barres col·lectores.

E3E O5Connexió.

E3E O6Unions.

E3E O7Acabaments.

E3E O8Estesa de cables sota canalitzacions.

E3E O9Fixació d'aparells a les parets o estructures.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E3 Instal·lacions de baixa tensió, instal·lacions d'enllaç i interiors

Fase E3F Proves i posada en servei

- Operacions

E3F O1 Inspecció visual prèvia.

E3F O2 Senyalització i avís a personal propi i aliè.

E3F O3 Comprovació aïllament.

E3F O4 Mesures posta a terra.

E3F O5 Establir programa de proves i coordinació.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E3 Instal·lacions de baixa tensió, instal·lacions d'enllaç i interiors

Fase E3G Explotació i manteniment

- Operacions

E3G O1 Inspeccions visuals en les instal·lacions en càrrega.

E3G O2 Comprovacions amb aparells.

E3G O3 Manteniment i reparacions sense tensió.

K.1.1.7 Definició dels riscos i les mesures de prevenció i protecció.

- Sectors Sector B Construcció

Subsector B1 Obra nova

Fase B1A Preparació de la zona de treball

- Equip tècnic

1. Eines normals.

2. Vehicles per transportar materials i elements modulars i auxiliars.

3. Dispositius per desplaçaments horitzontals de càrregues.

4. Dispositius per desplaçaments verticals de càrregues.

- Identificació de riscos

B1A R1 Danys a les mans.

B1A R2 Danys als peus.

B1A R3 Cops al cap.

B1A R4 Cossos estranys als ulls.

B1A R5 Atrapaments.

B1A R6 Atropellaments per vehicles o màquines automotrius.

B1A R7 Electrocutacions.

B1A R8 Sobreesforços.

B1A R9 Caigudes al mateix nivell.

B1A R10 Caiguda d'objectes.

- Riscos específics

No n'hi ha.

- Prevenció (P)

B1A R5 PEntrenar als operaris en efectuar les feines amb risc d'atrapament amb un ordre preestablert i controlar l'acompliment del mateix.

B1A R6 P1Controlar que els desplaçaments de màquines automotrius i vehicles es realitzi en llocs preestablerts.

B1A R6 P2Abalisar les zones de moviment de vehicles i màquines.

B1A R7 PComprovar la bona qualitat dels aïllaments.

B1A R9 PMantenir netes i il·luminades les zones de moviment del personal.

B1A R10 PComprovar la subjecció de les càrregues que es desplacin elevades i l'integrat dels canvis de subjecció.

- Sectors Sector B Construcció

Subsector B1Obra nova

Fase B1CMoviment de terres

- Equip tècnic

1.Palatractor.

2.Retroexcavadores.

3.Motonivelladora.

4.Tragella.

5.Compactadora.

6.Dumpers.

7.Camions.

8.Eines normals.

- Identificació de riscos

B1C R1Eslavissada de terres.

B1C R2Despreniment de terres.

B1C R3Caigudes a diferent nivell.

B1C R4Caigudes al mateix nivell.

B1C R5Bolc de maquinària.

B1C R6Atropellaments.

B1C R7Electrocucions.

B1C R8Desplomament d'estructures adjacents.

B1C R9Caigudes d'objectes.

B1C R10Asfixia o intoxicació per emanacions gasoses als pous.

B1C R11Danys als peus.

B1C R12Danys a les mans.

B1C R13Cossos estranys als ulls.

B1C R14Humitat.

B1C R15Sorolls.

- Riscos específics

B1C R1Eslavissada de terres.

B1C R2Despreniment de terres.

B1C R8Desplomament d'estructures adjacents.

B1C R10Asfixia o intoxicació per emanacions gasoses als pous.

B1C R14Humitat.

- Prevenció (P)

B1C R1 PApuntalar els talussos si el pendent es de 1/1 i el terreny és movedís o esllavissadís o si el pendent és de 1/2 i el terreny es tou però resistent o, finalment, si el pendent es 1/3 i el terreny és molt compacte.

B1C R2 P1Eliminar les viseres i les acumulacions de sorres o roques amb risc de despreniment com a conseqüència de l'acció de excavadores.

B1C R2 P2Prohibir l'acumulació de terres a menys de dos metres de la nova excavació.

B1C R2 P3Evitar que el front d'excavació traspassi més d'un metre l'alçada màxima d'atac del braç de la màquina.

B1C R2 P4Senyalitzar mitjançant una línia (feta amb guix o calç) la distància màxima d'aproximació a la vora d'una excavació perquè no l'ultrapassin ni persones sense protecció ni màquines.

B1C R2 P5Col·locar testimonis d'avís de despreniment.

B1C R2 P6No romandre ni treballar al peu d'un front d'excavació obert recentment si no ha estat encara sanejat.

B1C R2 P7En cas de presència d'aigua per qualsevol causa, procedir immediatament a la seva eliminació.

B1C R2 P8Prohibir la circulació interna de vehicles posats a menys de 4 m i de lleugers a menys de 3 m de la vora de coronació d'un desmuntatge o terrabuit.

B1C R2 P9Quan s'hagi de fer un talús vertical caldrà escapçar en bisell la part superior d'acord amb la graduació de la mesura B1CR1.P respecte al pendent del bisell.

B1C R2 P10En el cas d'excavació de pous les màquines d'elevació es posaran sobre un entarimat ben afermat entorn de la boca del pou.

B1C R2 P11Quan la profunditat d'un pou o d'una rasa sigui superior a 1.5 m caldrà apuntalar-la d'acord amb la mesura B1CR1.P.

B1C R3 P1Per sanejar els talussos manualment, es farà amb arnès de seguretat.

B1C R3 P2Per acostar-se a menys de 2 m de la vora del talús cal portar arnès de seguretat fixat a un punt estable natural o artificial.

B1C R3 P3A la part de dalt d'un talús, pou o rasa de profunditat superior a 2 m on hagin de passar treballadors s'hi posarà una barana de 0,90 m amb entornpeus.

B1C R4 PEs conservaran els camins de circulació interna cobrint clots, suprimint els blans i compactant-los amb escòries o llast.

B1C R5 P1Les màquines no treballaran en inclinacions superiors a les màximes establertes d'acord amb les càrregues.

B1C R5 P2Les màquines que, accidentalment podrien bolcar hauran de portar un sistema de protecció del conductor contra esclafament.

B1C R6 PNo circular per les zones de desplaçament de les màquines que estaran abalisades.

B1C R7 P1Preveure i mesurar la situació de conduccions elèctriques ensorrades.

B1C R7 P2Comprovar l'aïllament de les eines elèctriques de les conduccions i de les corresponents preses de corrent.

B1C R8 PEstintolament acurat d'aquelles estructures l'estabilitat de les quals pugui debilitar-se per raó dels moviments de terres.

B1C R9 PNo circular per les proximitats o sota de les parts de les màquines que portin runa en elevació o de les màquines de transport vertical.

B1C R10 P1No fer funcionar motors d'explosió a l'interior de pous o zones sense ventilació.

B1C R10 P2En els pous de profunditat superior a 1.5 m, disposar d'un detector d'oxigen format per donar alarma per sota del 18%.

- Protecció col·lectiva (PC)

B1C PC1Senyalització o abalisament de la zona de treball.

B1C PC2Impedir que les construccions adjacents puguin patir danys per causa de moviment de terres, mitjançant els estintolaments que calguin.

- Protecció individual (PI)

B1C R3 PIÀrnès de seguretat subjecte a punts sòlids i estables naturals o artificials.

B1C R4 PICalçat antilliscant.

B1C R7 PICalçat aïllant.

B1C R9 PICasc.

B1C R10 PIEquip respiratori autònom o amb aire fresc a pressió positiva.

B1C R11 PICalçat de seguretat amb la protecció plantar i puntera metàl·lica.

B1C R12 PIGuants de protecció mecànica.

B1C R13 PIUlleres de protecció mecànica.

B1C R14 PIBotes d'aigua amb proteccions plantars i de puntera.

B1C R15 PIProtecció auricular.

- Sectors Sector B Construcció

Subsector B1Obra nova

Fase B1DFonamentació, estructures i altres treballs amb formigó

- Equip tècnic

1.Serra circular.

2.Corbadora pels ferros d'armadura.

3.Eines normals.

4.Formigonera.

5.Bomba de formigonat.

6.Compressor.

7.Vibrador pel formigó.

8.Equip de soldadura elèctrica.

9.Equip d'oxitallada.

10.Excavadora de cullera bivalva.

11.Estacadora.

12.Maquinària d'elevació.

- Identificació de riscos

B1D R1Despreniments per apilat defectuós de fustes i altres components.

B1D R2Caigudes a diferent nivell.

B1D R3Caigudes al mateix nivell.

B1D R4Danys a les mans.

B1D R5Electrocucions.

B1D R6Sobreesforços.

B1D R7Dermatosis per contactes amb el ciment.

B1D R8Caiguda d'objectes.

B1D R9Treballs en ambients humits.

B1D R10Fallada d'estintolaments.

B1D R11Atrapaments.

B1D R12Vibracions per maneig d'agulles vibrants o martells picadors.

B1D R13Sorolls.

B1D R14Focs.

B1D R15Bolc de la maquinària.

B1D R16Atropellaments.

B1D R17Danys als ulls (cossos estranys, radiacions ultra- violeta, soldadura oxiacetilènica).

B1D R18 Danys als peus.

B1D R19 Cremades per soldadura

- Riscos específics

B1D R1 Despreniments per apilat defectuós de fustes.

B1D R7 Dermatitis per contactes amb el ciment.

B1D R10 Fallada d'estintolaments.

B1D R12 Vibracions per maneig d'agulles vibrants o martells picadors.

- Previsió (P)

B1D R1 P1 Els taulers de fusta, les barres d'armadures i els altres components, s'apilaran acuradament s'aplicaran dispositius per impedir el seu despreniment.

B1D R1 P2 Tot el material necessari per les operacions d'aquesta fase es situarà en llocs prèviament determinats a prop del lloc d'ús.

B1D R2 P1 Per pujar o baixar dels encofrats es farà mitjançant escales de mà en bon estat i ben afermades.

B1D R2 P2 S'instal·laran llistons de fusta sobre els fons de fusta dels encofrats o lloses d'escala per evitar relliscades.

B1D R2 P3 Instal·lar tanques de seguretat als llocs dels quals es pugui caure al buit.

B1D R2 P4 Prohibir fer qualsevol operació amb risc de caiguda a diferent nivell sense haver situat correctament i ben afermada la xarxa de seguretat.

B1D R2 P5 Es posaran camins segurs per accedir als punts d'encofrat o formigonat i es circularà per ells amb un arnès de seguretat provist d'un anell que permeti desplaçar-se per un cable horitzontal ben afermat.

B1D R2 P6 Les plataformes de treball disposaran d'una tanca de 90 cm. d'alçada i entornpeu amb la porta d'accés tancada i assegurada.

B1D R2 P7L'accés i l'estada a les plataformes de treball es farà amb l'arnès de seguretat posat i subjecte a un cable fermament subjecte a dos punts.

B1D R2 P8Prohibir grimpar per les armadures en cap circumstància.

B1D R2 P9Tan bon punt el forjat ho permeti es construirà, entorn als buits una tanca definitiva amb maons.

B1D R2 P10Quan el forat per posar després un piló, passi de 2 m. es rodejarà d'una tanca feta amb barres.

B1D R3 PMantenir ordre i neteja a les zones de treball.

B1D R4 P1Instal·lar cobridors de fusta sobre les barres d'espera per evitar punxades.

B1D R4 P2Per dirigir les armadures suspeses cap el seu lloc d'instal·lació no es farà amb les mans sinó amb cordes.

B1D R5 PComprovar el correcte aïllament de les màquines elèctriques, dels cables de connexió i de les preses.

B1D R8 P1Senyalitzar la zona de possible caiguda de càrregues durant el seu transport vertical.

B1D R8 P2Per hissar qualsevol càrrega es farà prèvia una correcta subjecció. En el cas de hissar cossos allargats, es fixaran per dos punts.

B1D R10 PAbans de formigonar cal revisar acuradament els estintolaments.

B1D R11 PEvitar mitjançant senyalització o abalisament la presència de persones als llocs amb risc d'atrapament.

B1D R15 P1Senyalitzar mitjançant un tros de color groc el nivell màxim de la càrrega dels catúfols de formigonar.

B1D R15 P2Efectuar el moviment vertical de càrregues sense sacsejades i sempre en sentit realment vertical.

B1D R15 P3Afermar acuradament les màquines d'elevació.

B1D R15 P4No sobrepassar les càrregues màximes permeses en funció a la posició del braç de les guies.

B1D R16 P Senyalitzar les zones de moviment de màquines i vehicles.

B1D R18 P1 Els claus que hi hagin a les fustes es trauran o reblaran.

B1D R18 P2 Eliminar del terra els claus solts o arrencats i qualsevol runa en especial que pugui lesionar els peus o altres parts.

- Protecció col·lectiva (PC)

B1D PC1 Situar viseres de protecció mecànica per evitar la caiguda accidental d'objectes o parts de material sobre els nivells inferiors de la zona de treball o sobre les zones de pas de terceres persones.

B1D PC2 Senyalització o abalisament de la zona on poden caure objectes o parts de material.

- Protecció individual (PI)

B1D R2 PI Arnès de seguretat que permeti una caiguda màxima de 1.5 m subjecte a estructures sòlides i estables.

B1D R3 PI Calçat antilliscant.

B1D R4 PI Guants de protecció mecànica.

B1D R5 PI1 Guants dielèctrics.

B1D R5 PI2 Calçat aïllant.

B1D R6 PI Faixa de protecció lumbar.

B1D R7 PI Guants de protecció química.

B1D R8 PI Casc de seguretat.

B1D R9 PI Botes d'aigua amb protecció per les torçades de peus, puntera metàl·lica i plantilla antipunxades.

B1D R12 PI1 Protecció antivibratòria pels canells.

B1D R12 PI2 Amortidors de vibracions a les màquines manegades per persones.

B1D R13 PI Protecció auricular.

B1D R14 PMàscara buconasal.

B1D R17 PI1 Ulleres de protecció mecànica.

B1D R17 PI2 Pantalles per soldadura elèctrica (vidres anactínics).

B1D R17 PI3 Ulleres amb vidres de protecció per soldadura oxiacetilènica.

B1D R18 PIBotes amb protecció per les torçades de peus, puntera metàl·lica i plantilla antipunxades.

B1D R19 PI1 Guants antitèrmics de cuir.

B1D R19 PI2 Polaines de cuir.

B1D R19 PI3 Davantal de cuir.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E1 Instal·lacions d'alta o tensió mitjana

Fase E1A Muntatge de línies aèries

- Equip tècnic

1. Mitjans auxiliars de càrrega, descàrrega i distribució (grues, carretons elevadors).

2. Dispositius de subjecció.

3. Vehicles de transport.

4. Mitjans auxiliars per l'hissat i estesa de cables.

5. Dispositius de tensat de cables.

6. Bastides o plataformes.

7. Escales.

8. Equips de soldadura amb gasos.

9. Equips de soldadura elèctrica.

10. Eines manuals.

- Identificació de riscos

E1A R1 Caiguda d'objectes o càrregues.

E1A R2 Caigudes de persones a diferent nivell.

E1A R3 Caigudes de persones al mateix nivell.

E1A R4 Projecció de partícules als ulls.

E1A R5 Danys als ulls per arc elèctric (soldadura o d'altres).

E1A R6 Danys a les extremitats.

E1A R7 Sobreesforços.

E1A R8 Cops contra objectes.

E1A R9 Atrapament per objectes o màquines.

E1A R10 Cremades.

E1A R11 Electrocutacions.

E1A R12 Atropellament per vehicles.

E1A R13 Ambient polsegós.

E1A R14 Bolc de la grua.

E1A R15 Contactes directes de grues amb altres línies elèctriques en tensió.

- Riscos específics

E1A R15 Contactes directes de grues amb altres línies elèctriques en tensió.

- Prevenció (P)

E1A R1 P1 Impedir el pas sota llocs on hi hagi risc de caiguda d'objectes.

E1A R1 P2 Col·locar xarxes de seguretat.

E1A R1 P3 El terra de les plataformes i bastides sense forats o escletxes que permetin la caiguda d'eines o altres objectes.

E1A R1 P4 Bastides amb entornpeus.

E1A R1 P5 Impedir el pas en les àrees d'abast de les plomes de la grua.

E1A R1 P6 Comprovar l'estrop de les càrregues.

E1A R1 P7 Comprovar l'estat de ganxos, cables, grillons o qualsevol altre mitjà auxiliar d'elevació.

E1A R2 P1 Bastides amb baranes ben afermades.

E1A R2 P2 Escalles ben afermades.

E1A R3 P0 Ordre i neteja de la zona de treball.

E1A R8 P0 Efectuar les operacions amb un ordre preestablert amb l'objectiu d'evitar cops i ensopegades.

E1A R9 P1 Abalisament de les zones d'abast de les parts mòbils de les màquines.

E1A R9 P2 Utilitzar sistemes antiatrapament.

E1A R11 P0 Utilitzar sistemes de bloqueig de les connexions amb la senyalització corresponent per evitar posades en càrrega inadvertida.

E1A R12 P0 Utilitzar senyals acústics als equips de moviments de material per evitar atrapaments.

E1A R14 P0 Estacionament i apuntament acurats per la grua.

E1A R15 P0 Comprovar la inexistència de cablejats elèctrics a les zones d'abast de les parts mòbils de la grua.

- Protecció col·lectiva (PC)

E1A PC1 Senyalització o abalisament de les zones de treball.

E1A PC2 Compliment de les normes de circulació.

- Protecció individual (PI)

E1A R1 PICasc.

E1A R2 PI Arnès de seguretat subjecte a estructures estables que permeti una caiguda màxima de 1,5 m.

E1A R3 PICalçat antilliscant.

E1A R4 PI Ulleres de protecció mecànica.

E1A R5 PI Pantalla de protecció contra raigs UV pel soldador i l'ajudant.

E1A R6 PI1 Guants de protecció mecànica.

E1A R6 PI2 Calçat amb puntera metàl·lica.

E1A R7 PI Faixa lumbar.

E1A R8 PICasc.

E1A R10 PI Guants antitèrmics.

E1A R11 PI1 Guants aïllants.

E1A R11 PI2 Perxes detectores de tensió.

E1A R11 PI3 Banquetes aïllants.

E1A R13 PI Màscara buconasals.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E1 Instal·lacions d'alta o tensió mitjana

Fase E1B Muntatge de línies soterrades

- Equip tècnic

1. Dispositius o màquines d'excavació.

2. Mitjans auxiliars de càrrega i descàrrega.

3. Dispositius de subjecció.

4. Vehícles de transport.

5. Equips de soldadura.

6. Equips per acabaments, unions i connexions.

7. Sistemes per a la protecció física i senyalització de les línies soterrades de tensió mitjana o alta.

8. Eines manuals.

9. Sistema per a la senyalització de les línies soterrades de tensió mitjana o alta.

- Identificació de riscos

E1B R1 Atrapament per esclavissament de terres.

E1B R2 Caiguda d'objectes o càrregues.

E1B R3 Caiguda de persones a diferent nivell.

E1B R4 Caigudes de persones al mateix nivell.

E1B R5 Projecció de partícules als ulls.

E1B R6 Danys als ulls per arc elèctric (soldadura o d'altres).

E1B R7 Danys a les extremitats.

E1B R8 Sobreesforços.

E1B R9 Cops contra objectes.

E1B R10Atrapament per objectes o màquines.

E1B R11Cremades.

E1B R12Electrocucions.

E1B R13Atropellament per vehicles.

E1B R14Ambient polsegós.

E1B R15Bolc de la grua.

E1B R16Interferència amb altres serveis en excavar la rasa.

- Riscos específics

E1B R16Interferència amb altres serveis en excavar la rasa.

- Prevenció (P)

E1B R1 PEstrebar les rases de més de 1,6 m. de fondària o de menys si el terreny està poc compactat.

E1B R2 P1Impedir el pas en les àrees d'abast de les plomes de la grua.

E1B R2 P2Comprovar l'estrop de les càrregues.

E1B R2 P3Comprovar l'estat de ganxos, cables, grillons o qualsevol altre mitjà auxiliar d'elevació.

E1B R3 P1Senyalitzar els punts amb diferències de nivell.

E1B R3 P2Utilitzar escales per accedir a rases de més de 1,6 m. de fondària.

E1B R4 POrdre i neteja de la zona de treball.

E1B R10 P1Efectuar les operacions amb un ordre preestablert amb l'objectiu d'evitar cops i ensopegades.

E1B R10 P2Abalisament de les zones d'abast de les parts mòbils de les màquines.

E1B R10 P3Utilitzar sistemes antiatrapament.

E1B R12 PUtilitzar sistemes de bloqueig de les connexions amb la senyalització corresponent per evitar posades en càrrega inadvertides.

E1B R13 PUtilitzar senyals acústics als equips de moviments de material per evitar atrapaments.

E1B R15 PEstacionament i apuntament acurats per la grua.

E1B R16 PDemanar informació prèvia a les companyies de serveis sobre els traçats que puguin ser afectats per l'obra.

- Protecció col·lectiva (PC)

E1B PCSenyalització o abalisament de la zona de treball.

E1B PC2Compliment de les normes de circulació.

- Protecció individual (PI)

E1B R2 PICasc.

E1B R4 PICalçat antilliscant.

E1B R5 PIUlleres de protecció mecànica.

E1B R6 PIPantalla de protecció contra raigs UV pel soldador i l'ajudant.

E1B R7 PI1Guants de protecció mecànica.

E1B R7 PI2Calçat amb puntera metàl·lica.

E1B R8 PIFaixa lumbar.

E1B R9 PICasc.

E1B R11 PIGuants antitèrmics.

E1B R12 PI1Guants aïllants.

E1B R12 PI2Perxes detectores de tensió.

E1B R12 PI3Banquetes aïllants.

E1B R14 PIMàscares buconasals.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E1 Instal·lacions d'alta o tensió mitjana

Fase E1C Muntatge d'estacions transformadores i subestacions

- Equip tècnic

1. Mitjans auxiliars de càrrega, descàrrega i distribució (grues, carretons elevadors).

2. Dispositius de subjecció.

3. Vehicles de transport.

4. Bastides o plataformes.

5. Escales.

6. Equips de soldadura elèctrica.

7. Equips de soldadura amb gasos.

8. Eines manuals.

- Identificació de riscos

E1C R1 Caiguda d'objectes o càrregues.

E1C R2 Caigudes de persones a diferent nivell.

E1C R3 Caigudes de persones al mateix nivell.

E1C R4 Projecció de partícules als ulls.

E1C R5 Danys als ulls per arc elèctric (soldadura o d'altres).

E1C R6 Danys a les extremitats.

E1C R7 Sobreesforços.

E1C R8Cops contra objectes.

E1C R9Atrapament per objectes o màquines.

E1C R10Cremades.

E1C R11Electrocucions.

E1C R12Atropellament per vehicles.

E1C R13Ambient polsegós.

E1C R14Bolc de la grua.

E1C R15Inhalació de gas tòxic als soterranis.

- Riscos específics

E1C R15Inhalació de gas tòxic als soterranis.

- Prevenció (P)

E1C R1 P1Impedir el pas sota llocs on hi hagi risc de caigudes d'objectes.

E1C R1 P2Col·locar xarxes de seguretat.

E1C R1 P3El terra de les plataformes i bastides sense forats o escletxes que permetin la caiguda d'eines o altres objectes.

E1C R1 P4Bastides amb entornpeus.

E1C R1 P5Impedir el pas en les àrees d'abast de les plomes de la grua.

E1C R1 P6Comprovar l'estrop de les càrregues.

E1C R1 P7Comprovar l'estat de ganxos, cables, grillons o qualsevol altre mitjà auxiliar d'elevació.

E1C R2 P1Bastides amb baranes ben afermades.

E1C R2 P2Escales ben afermades.

E1C R3 POrdre i neteja de la zona de treball.

E1C R9 P1 Efectuar les operacions amb un ordre preestablert amb l'objectiu d'evitar cops i ensopegades.

E1C R9 P2 Abalisament de les zones d'abast de les parts mòbils de les màquines

E1C R9 P3 Utilitzar sistemes antiatrapament.

E1C R11 P Utilitzar sistemes de bloqueig de les connexions amb la senyalització corresponent per evitar posades en càrrega inadvertida.

E1C R12 P Utilitzar senyals acústics als equips de moviments de material per evitar atrapaments.

E1C R14 P Estacionament i apuntament acurats per la grua.

E1C R15 P Comprovar prèviament que l'atmosfera és respirable.

- Protecció col·lectiva (PC)

E1C PC1 Senyalització o abalisament de les zones de treball.

E1C PC2 Compliment de les normes de circulació.

- Protecció individual (PI)

E1C R1 PI Casc.

E1C R2 PI Arnès de seguretat subjecte a estructures estables que permeti una caiguda màxima de 1,5 m.

E1C R3 PI Calçat antilliscant.

E1C R4 PI Ulleres de protecció mecànica.

E1C R5 PI Pantalla de protecció contra raigs UV pel soldador i l'ajudant.

E1C R6 PI1 Guants de protecció mecànica.

E1C R6 PI2 Calçat amb puntera metàl·lica.

E1C R7 PI Faixa lumbar.

E1C R8 PICasc.

E1C R10 PI Guants antitèrmics.

E1C R11 PI1 Perxes detectores de tensió.

E1C R11 PI2 Banquetes aïllants.

E1C R13 PI Màscares buconasals.

E1C R15 PI Equip respiratori autònom.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E1 Instal·lacions d'alta o tensió mitjana

Fase E1D Proves i posada en servei

- Equip tècnic

1. Aparells de comprovació d'aïllament.

2. Aparells de mesures de posta a terra.

3. Perxes detectores de tensió.

4. Aparells de mesura de tensions de pas i contacte.

5. Cartells d'avís normalitzats.

6. Perxes de salvament.

- Identificació de riscos

E1D R1 Caigudes de persones a diferent nivell.

E1D R2 Danys als ulls per arcs elèctrics fent proves.

E1D R3 Cops contra objectes.

E1D R4 Electrocutacions.

E1D R5 Cremades.

E1D R6 Provocació d'incendis.

E1D R7 Explosions.

E1D R8 Posada en tensió de zones llunyanes.

- Riscos específics

No n'hi ha.

- Prevenció (P)

E1D R4 P1 Controlar tota la zona susceptible de rebre tensió amb senyalització i avisos.

E1D R4 P2 Comprovació aïllaments.

E1D R4 P3 Comprovació enclavaments mecànics i elèctrics.

E1D R6 P Detecció de presència d'altres serveis en el veïnatge de la instal·lació elèctrica.

E1D R7 P En presència d'atmosferes inflamables, ús de dispositius antideflagrants.

E1D R8 P Comunicació entre llocs llunyans (extrems de línies en proves).

- Protecció col·lectiva (PC)

E1D PC1 Senyalització de posada en tensió de la instal·lació.

- Protecció individual (PI)

E1D R1 PI Arnès de seguretat subjecte a estructures estables que permeti una caiguda màxima de 1'5 m.

E1D R2 PI Ulleres.

E1D R3 PI Casc.

E1D R4 PI1 Guants aïllants.

E1D R4 PI2Perxes detectores de tensió.

E1D R4 PI3Banquetes aïllants.

E1D R5 PI3Guants antitèrmics.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E1 Instal·lacions d'alta o tensió mitjana

Fase E1E Explotació i manteniment

- Equip tècnic

1. Equips de comprovació de tensió, intensitat, resistència de terra, aïllament.

2. Equips de posta a terra.

3. Perxes de salvament.

- Identificació de riscos

E1E R1 Caiguda d'objectes o càrregues.

E1E R2 Caigudes de persones a diferent nivell.

E1E R3 Caigudes de persones al mateix nivell.

E1E R4 Projecció de partícules als ulls.

E1E R5 Danys als ulls per arc elèctric (soldadura o d'altres).

E1E R6 Danys a les extremitats.

E1E R7 Sobreesforços.

E1E R8 Cops contra objectes.

E1E R9 Atrapament per objectes o màquines.

E1E R10 Cremades.

E1E R11 Electrocuacions.

E1E R12 Atropellament per vehicles.

E1E R13 Ambient polsegós.

E1E R14 Bolc de la grua.

- Riscos específics

No n'hi ha.

- Prevenció (P)

E1E R1 P1 Assegurar la no presència de persones sota càrregues en moviment.

E1E R1 P2 Assegurar l'estrop d'objectes i càrregues.

E1E R3 P Mantenir neta i lliure d'obstacles la zona de treball.

E1E R9 P Abalisament de les zones d'abast de les parts mòbils de les màquines.

E1E R11 P1 Identificació de la instal·lació a l'esquema unifilar.

E1E R11 P2 Mantenir les distàncies de seguretat.

E1E R11 P3 Tallat amb tall visible de totes les fonts de tensió*.

E1E R11 P4 Enclavament o bloqueig dels aparells de tall i senyalització*.

E1E R11 P5 Reconeixement de l'absència de tensió*.

E1E R11 P6 Posta a terra i en curt circuit de totes les possibles fonts de tensió*.

E1E R12 P Organització acurada dels treballs. Comunicació.

E1E R14 P Estacionament i apuntament acurats de la grua.

*En cas d'haver de manipular elements sense tensió (tot i que, habitualment, tinguin tensió).

- Protecció col·lectiva (PC)

E1E PC1 Senyalització de posada en tensió de la instal·lació.

E1E PC2 Senyalització de seguretat delimitant la zona de treball.

- Protecció individual (PI)

E1E R1 PICasc.

E1E R2 PI Arnès de seguretat subjecte a estructures estables que permeti una caiguda màxima de 1,5 m.

E1E R3 PICalçat antilliscant.

E1E R4 PIPantalla facial.

E1E R5 PI Ulleres de protecció contra raigs UV .

E1E R6 PI Guants de protecció mecànica.

E1E R7 PI Faixa lumbar.

E1E R8 PICasc.

E1E R10 PI Guants antitèrmics.

E1E R11 PI 1 Guants aïllants.

E1E R11 PI 2 Perxes detectores de tensió.

E1E R11 PI 3 Banquetes aïllants.

E1E R13 PI Màscara buconasal.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E2 Centrals generadores d'energia

Fase E2A Muntatge de la central

- Equip tècnic

1. Mitjans auxiliars de càrrega, descàrrega i distribució (grues, carretons elevadors).

2. Dispositius de subjecció.

3. Vehicles de transport.

4. Bastides o plataformes.

5. Escales.

6. Equips de soldadura elèctrica.

7. Equips de soldadura amb gasos.

8. Eines manuals.

- Identificació de riscos

E2A R1 Caiguda d'objectes o càrregues.

E2A R2 Caigudes de persones a diferent nivell.

E2A R3 Caigudes de persones al mateix nivell.

E2A R4 Projecció de partícules als ulls.

E2A R5 Danys als ulls per arc elèctric (soldadura o d'altres).

E2A R6 Danys a les extremitats.

E2A R7 Sobreesforços.

E2A R8 Cops contra objectes.

E2A R9 Atrapament per objectes.

E2A R10 Atrapament per màquines.

E2A R11 Cremades.

E2A R12 Electrocutacions.

E2A R13 Atropellament per vehicles.

E2A R14 Ambient polsegós.

E2A R15 Bolc de la grua.

- Riscos específics

No n'hi ha.

- Previsió (P)

E2A R1 P1 Impedir el pas sota llocs on hi hagi risc de caigudes d'objectes.

E2A R1 P2 Col·locar xarxes de seguretat.

E2A R1 P3 El terra de les plataformes i bastides sense forats o esclotxes que permetin la caiguda d'eines o altres objectes.

E2A R1 P4 Bastides amb entornpeus.

E2A R1 P5 Impedir el pas en les àrees d'abast de les plomes de la grua.

E2A R1 P6 Comprovar l'estrop de les càrregues.

E2A R1 P7 Comprovar l'estat de ganxos, cables, grillons o qualsevol altre mitjà auxiliar d'elevació.

E2A R2 P1 Bastides amb baranes ben afermades.

E2A R2 P2 Escales ben afermades.

E2A R3 P0 Ordre i neteja de la zona de treball.

E2A R9 P0 Efectuar les operacions amb un ordre preestablert amb l'objectiu d'evitar cops i ensopegades.

E2A R10 P1 Abalisament de les zones d'abast de les parts mòbils de les màquines.

E2A R10 P2 Utilitzar sistemes antiatrapament.

E2A R12 P0 Utilitzar sistemes de bloqueig de les connexions amb la senyalització corresponent per evitar posades en càrrega inadvertides.

E2A R13 P0 Utilitzar senyals acústics als equips de moviments de material per evitar atrapaments.

E2A R15 PEstacionament i apuntament acurats per la grua.

- Protecció col·lectiva (PC)

E2A PC1 Senyalització o abalisament de les zones de treball

E2A PC2 Compliment de les normes de circulació.

- Protecció individual (PI)

E2A R1 PICasc.

E2A R2 PI Arnès de seguretat subjecte a estructures estables que permeti una caiguda màxima de 1,5 m.

E2A R3 PICalçat antilliscant.

E2A R4 PI Ulleres de protecció mecànica.

E2A R5 PI Pantalla de protecció contra raigs UV pel soldador i l'ajudant.

E2A R6 PI1 Guants de protecció mecànica.

E2A R6 PI2 Calçat amb puntera metàl·lica.

E2A R7 PI Faixa lumbar.

E2A R8 PICasc.

E2A R11 PI Guants antitèrmics.

E2A R12 PI1 Guants aïllants.

E2A R12 PI2 Perxes detectores de tensió.

E2A R14 PI Màscara buconasals.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E2 Centrals generadores d'energia

Fase E2B Proves i posada en servei

- Equip tècnic

1. Aparells de comprovació d'aïllament.

2. Aparells de mesures de posta a terra.

3. Perxes detectores de tensió.

4. Aparells de mesurament de tensions de pas i contacte.

5. Cartells d'avís normalitzats.

- Identificació de riscos

E2B R1 Caigudes de persones a diferent nivell.

E2B R2 Danys als ulls per arcs elèctrics fent proves.

E2B R3 Cops contra objectes.

E2B R4 Atrapament en màquines rotatives.

E2B R5 Electrocutacions.

E2B R6 Cremades.

E2B R7 Provocació d'incendis.

E2B R8 Explosions.

E2B R9 Posada en tensió de zones llunyanes.

- Riscos específics

No n'hi ha.

- Prevenició (P)

E2B R4 P Abalisar les zones d'abast de les parts mòbils de les màquines.

E2B R5 P1 Controlar tota la zona susceptible de rebre tensió amb senyalització i avisos.

E2B R5 P2 Comprovació aïllaments.

E2B R5 P3 Comprovació enclavaments mecànics i elèctrics.

E2B R7 PDetecció de presència d'altres serveis en el veïnatge de la instal·lació elèctrica.

E2B R8 P En presència d'atmosferes inflamables, ús de dispositius antideflagrants.

E2B R9 P Comunicació entre llocs llunyans (extrems de línies en proves).

- Protecció col·lectiva (PC)

E2B PCAvis a tota persona que pugui entrar en contacte amb les instal·lacions provades.

- Protecció individual (PI)

E2B R1 PIArnès de seguretat subjecte a estructures estables que permeti una caiguda màxima de 1,5 m.

E2B R2 PIUlleres de protecció contra raigs UV.

E2B R3 PICasc.

E2B R5 PIGuants aïllants.

E2B R5 P2Perxes detectores de tensió.

E2B R6 PIGuants antitèrmics.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E2Centrals generadores d'energia

Fase E2CExplotació i manteniment

- Equip tècnic

1. Equips de comprovació de tensió, intensitat, resistència de terres, aïllament.

2. Equips de posta a terra.

- Identificació de riscos

E2C R1 Caiguda d'objectes o càrregues.

E2C R2 Caigudes de persones a diferent nivell.

E2C R3 Caigudes de persones al mateix nivell.

E2C R4 Projecció de partícules als ulls.

E2C R5 Danys als ulls per arc elèctric (soldadura o d'altres).

E2C R6 Danys a les extremitats.

E2C R7 Sobreesforços.

E2C R8 Cops contra objectes.

E2C R9 Atrapament per objectes o maquinària mòbil.

E2C R10 Cremades.

E2C R11 Electrocutacions.

E2C R12 Atropellament per vehicles.

E2C R13 Ambient polsegós.

E2C R14 Bolc de la grua.

- Riscos específics

No n'hi ha.

- Prevenció (P)

E2C R1 P1 Assegurar l'absència de persones sota càrregues en moviment.

E2C R1 P2Assegurar l'estrop d'objectes i càrregues.

E2C R3 PMantenir neta i lliure d'obstacles la zona de treball.

E2C R9 PAbalisar les zones d'abast mòbils de màquines o objectes.

E2C R11 P1Identificació de la instal·lació a l'esquema unifilar.

E2C R11 P2Mantenir les distàncies de seguretat.

E2C R11 P3Tallat amb tall visible de totes les fonts de tensió*.

E2C R11 P4Enclavament o bloqueig dels aparells de tall i senyalització*.

E2C R11 P5Reconeixement de l'absència de tensió*.

E2C R11 P6Posta a terra i en curt circuit de totes les possibles fonts de tensió*.

E2C R12 POrganització acurada dels treballs. Comunicació.

E2C R14 PEstacionament i apuntament acurats de la grua.

*En cas d'haver de manipular elements sense tensió (tot i que, habitualment, tinguin tensió).

- Protecció col·lectiva (PC)

E2C PC1Avís a tota persona que pugui entrar en contacte amb les instal·lacions provades.

E2C PC2Senyalització de seguretat delimitant la zona de treball.

- Protecció individual (PI)

E2C R1 PICasc.

E2C R2 PIArnès de seguretat subjecte a estructures estables que permeti una caiguda màxima de 1,5 m.

E2C R3 PICalçat antilliscant.

E2C R4 PIPantalla facial.

E2C R5 PIUlleres de protecció contra raigs UV.

E2C R6 PIGuants de protecció mecànica.

E2C R7 PIFaixa lumbar.

E2C R8 PICasc.

E2C R10 PIGuants antitèrmics.

E2C R11 PI1Guants aïllants.

E2C R11 PI2Perxes detectores de tensió.

E2C R13 PIMàscara buconasal.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E2Centrals generadores d'energia

Fase E2CExplotació i manteniment

- Equip tècnic

1.Mitjans auxiliars de càrrega, descàrrega i distribució (grues, carretons elevadors).

2.Dispositius de subjecció.

3.Vehicles de transport.

4.Bastides o plataformes.

5.Escales.

6.Equips de soldadura elèctrica.

7.Equips de soldadura amb gasos.

8.Eines manuals.

9.Eines aïllants.

10.Comprovadors de tensió i làmpades de proves.

- Identificació de riscos

E3C R1Caiguda d'objectes o càrregues.

E3C R2Caigudes de persones al mateix nivell.

E3C R3Projecció de partícules als ulls.

E3C R4Danys als ulls per arc elèctric (soldadura o d'altres).

E3C R5Danys a les extremitats.

E3C R6Sobreesforços.

E3C R7Cops contra objectes.

E3C R8Cremades.

E3C R9Electrocucions.

E3C R10Ambient polsegós.

E3C R11Bolc de la grua.

- Riscos específics

No n'hi ha.

- Prevenció (P)

E3C R1 P1Impedir el pas sota llocs on hi hagi risc de caiguda d'objectes.

E3C R1 P2Comprovar l'estrop de les càrregues.

E3C R1 P3Comprovar l'estat de ganxos, cables, grillons o qualsevol altre mitjà auxiliar d'elevació.

E3C R2 P1Bastides amb baranes ben afermades.

E3C R2 P2Escales ben afermades.

E3C R2 P3Ordre i neteja de la zona de treball.

E3C R9 PUlitzar sistemes de bloqueig de les connexions amb la senyalització corresponent per evitar posades en càrrega inadvertides.

E3C R11 PEstacionament i apuntament acurats per la grua.

- Protecció col·lectiva (PC)

E3C PC1Senyalització o abalisament de les zones de treball.

E3C PC2Compliment de les normes de circulació.

- Protecció individual (PI)

E3C R1 PICasc.

E3C R2 PICalçat antilliscant.

E3C R3 PIUlleres de protecció mecànica.

E3C R4 PIPantalla de protecció contra raigs UV pel soldador i l'ajudant.

E3C R5 PICalçat amb puntera metàl·lica.

E3C R6 PIFaixa lumbar.

E3C R7 PICasc.

E3C R8 PIGuants antitèrmics.

E3C R9 PI1Guants aïllants.

E3C R9 PI2Perxes detectores de tensió.

E3C R10 PIMàscares buconasals.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E3Instal·lacions de baixa tensió, instal·lacions d'enllaç i interiors

Fase E3EInstal·lacions interiors

- Equip tècnic

1.Mitjans auxiliars de càrrega, descàrrega i distribució (grues, carretons elevadors).

2.Dispositius de subjecció.

3.Vehicles de transport.

4.Bastides o plataformes.

5.Escales.

6.Equips de soldadura elèctrica.

7.Equips de soldadura amb gasos.

8.Eines manuals.

9.Eines aïllants.

10.Comprovadors de tensió i làmpades de proves.

- Identificació de riscos

E3E R1Caiguda d'objectes o càrregues.

E3E R2Caigudes de persones a diferent nivell.

E3E R3Caigudes de persones al mateix nivell.

E3E R4Projecció de partícules als ulls.

E3E R5Danys als ulls per arc elèctric (soldadura o d'altres).

E3E R6Danys a les extremitats.

E3E R7Sobreesforços.

E3E R8Cops contra objectes.

E3E R9Atrapament per objectes o màquines.

E3E R10Cremades.

E3E R11 Electrocutacions.

E3E R12 Atropellament per vehicles.

E3E R13 Ambient polsegós.

- Riscos específics

No n'hi ha.

- Previsió (P)

E3E R1 P1 Impedir el pas sota llocs on hi hagi risc de caiguda d'objectes.

E3E R1 P2 Col·locar xarxes de seguretat.

E3E R1 P3 El terra de les plataformes i bastides sense forats o esclatxes que permetin la caiguda d'eines o altres objectes.

E3E R1 P4 Bastides amb entornpeus.

E3E R1 P5 Impedir el pas en les àrees d'abast de les plomes de la grua.

E3E R1 P6 Comprovar l'estrop de les càrregues.

E3E R1 P7 Comprovar l'estat de ganxos, cables, grillons o qualsevol altre mitjà auxiliar d'elevació.

E3E R2 P1 Bastides amb baranes i ben afermades.

E3E R2 P2 Escales ben afermades.

E3E R3 P0 Ordre i neteja de la zona de treball.

E3E R9 P1 Efectuar les operacions amb un ordre preestablert amb l'objectiu d'evitar cops i ensopagades.

E3E R9 P2 Abalisament de les zones d'abast de les parts mòbils de les màquines.

E3E R9 P3 Utilitzar sistemes antiatrapament.

E3E R11 PUtilitzar sistemes de bloqueig de les connexions amb la senyalització corresponent per evitar posades en càrrega inadvertides.

E3E R12 PUtilitzar senyals acústics als equips de moviments de material per evitar atrapaments.

- Protecció col·lectiva (PC)

E3E PC1 Senyalització o abalisament de les zones de treball.

E3E PC2 Compliment de les normes de circulació.

- Protecció individual (PI)

E3E R1 PICasc.

E3E R2 PIArnès de seguretat subjecte a estructures estables que permeti una caiguda màxima de 1,5 m.

E3E R3 PICalçat antilliscant.

E3E R4 PIUlleres de protecció mecànica.

E3E R5 PIPantalla de protecció contra raigs UV pel soldador i l'ajudant.

E3E R6 PI1Guants de protecció mecànica.

E3E R6 PI2Calçat amb puntera metàl·lica.

E3E R7 PIFaixa lumbar.

E3E R8 PICasc.

E3E R10 PIGuants antitèrmics.

E3E R11 PI1Guants aïllants.

E3E R11 PI2Perxes detectores de tensió.

E3E R13 PIMàscares buconasals.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E3 Instal·lacions de baixa tensió, instal·lacions d'enllaç i interiors

Fase E3F Proves i posada en servei

- Equip tècnic

1. Aparells de comprovació d'aïllament.

2. Aparells de mesures de posta a terra.

3. Perxes detectores de tensió.

4. Aparells de mesurament de tensions de pas i contacte.

5. Cartells d'avís normalitzats.

- Identificació de riscos

E3F R1 Caigudes de persones a diferent nivell.

E3F R2 Danys als ulls per arcs elèctrics fent proves.

E3F R3 Cops contra objectes.

E3F R4 Electrocutacions.

E3F R5 Cremades.

E3F R6 Provocació d'incendis.

E3F R7 Explosions.

E3F R8 Posada en tensió de zones llunyanes.

- Riscos específics

No n'hi ha.

- Prevenció (P)

E3F R4 P1 Controlar tota la zona susceptible de rebre tensió amb senyalització i avisos.

E3F R4 P2 Comprovació aïllaments.

E3F R4 P3 Comprovació enclavaments mecànics i elèctrics.

E3F R6 PDetecció de presència d'altres serveis en el veïnatge de la instal·lació elèctrica.

E3F R7 PEn presència d'atmosferes inflamables, ús de dispositius antideflagrants.

E3F R8 PComunicació entre llocs llunyans (extrems de línies en proves).

- Protecció col·lectiva (PC)

E3F PCSenyalització de posada en tensió de la instal·lació.

- Protecció individual (PI)

E3F R1 PIArnès de seguretat subjecte a estructures estables que permeti una caiguda màxima de 1'5 m.

E3F R2 PIUlleres de protecció mecànica.

E3F R3 PICasc.

E3F R4 PI1Guants aïllants.

E3F R4 PI2Perxes detectores de tensió.

E3F R5 PIGuants antitèrmics.

- Sectors Sector E Instal·lacions elèctriques

Subsector E3Instal·lacions de baixa tensió, instal·lacions d'enllaç i interiors

Fase E3GExplotació i manteniment

- Equip tècnic

1. Equips de comprovació de tensió, intensitat, resistència de terra, aïllament.

2. Equips de posta a terra.

3. Plaques separadores dielèctriques.

4. Caputxons.

- Identificació de riscos

E3G R1 Caiguda d'objectes o càrregues.

E3G R2 Caigudes de persones a diferent nivell.

E3G R3 Caigudes de persones al mateix nivell.

E3G R4 Projecció de partícules als ulls.

E3G R5 Danys als ulls per arc elèctric (soldadura o d'altres).

E3G R6 Danys a les extremitats.

E3G R7 Sobreesforços.

E3G R8 Cops contra objectes.

E3G R9 Atrapament per objectes o màquines.

E3G R10 Cremades.

E3G R11 Electrocutacions.

E3G R12 Atropellament per vehicles.

E3G R13 Ambient polsegós.

E3G R14 Bolc de la grua.

- Riscos específics

No n'hi ha.

- Prevenció (P)

E3G R1 P1Assegurar la no presència de persones sota càrregues en moviment.

E3G R1 P2Assegurar l'estrop d'objectes i càrregues.

E3G R3 PMantenir neta i lliure d'obstacles la zona de treball.

E3G R9 PAbalisar les zones d'abast mòbils de màquines o objectes.

E3G R11 P1Identificació de la instal·lació a l'esquema unifilar.

E3G R11 P2Mantenir les distàncies de seguretat.

E3G R11 P3Tallat amb tall visible de totes les fonts de tensió*.

E3G R11 P4Enclavament o bloqueig dels aparells de tall i senyalització*.

E3G R11 P5Reconeixement de l'absència de tensió*.

E3G R11 P6Posta a terra i en curt circuit de totes les possibles fonts de tensió*.

E3G R12 POrganització acurada dels treballs. Comunicació.

E3G R14 PEstacionament i apuntament acurats de la grua.

*En cas d'haver de manipular elements sense tensió (tot i que, habitualment, tinguin tensió).

- Protecció col·lectiva (PC)

E3G PCAvis a tota persona que pugui entrar en contacte amb les instal·lacions provades.

E3G PCSenyalització de seguretat delimitant la zona de treball.

- Protecció individual (PI)

E3G R1 PICasc.

E3G R2 PI Arnès de seguretat subjecte a estructures estables que permeti una caiguda màxima de 1,5 m.

E3G R3 PICalçat antilliscant.

E3G R4 PIPantalla facial.

E3G R5 PIUlleres de protecció contra raigs UV .

E3G R6 PIGuants de protecció mecànica.

E3G R7 PIFaixa lumbar.

E3G R8 PICasc.

E3G R10 PIGuants antitèrmics.

E3G R11 PI1Guants aïllants.

E3G R11 PI2Perxes detectores de tensió.

E3G R13 PIMàscara buconasal.

K.1.2 Plec de condicions

Totes les feines de construcció de l'obra de construcció de la instal·lació de generació d'energia elèctrica a partir d'energia solar tèrmica mencionada hauran d'estar d'acord amb la normativa que es detalla a continuació, i els elements de protecció hauran de complir les normes que s'indiquen a l'últim apartat d'aquest plec de condicions.

K.1.2.1 Normativa.

- Normes genèriques

Ley de Prevención de Riesgos Laborales. Llei 31/1995, de 8 de novembre, de Prevenció de Riscos Laborals. (BOE 10-11-1995).

Instrucció de 26 de febrer de 1996, per a l'aplicació de la Llei 31/1995, de 8 de novembre, de Prevenció de Riscos Laborals, en l'Administració de l'Estat. (BOE 8-3-1996).

Llei 21/1992, de 16 de juliol, d'Indústria. (BOE 22-7-1997).

Reial Decret 2200/1995 de 28 de setembre, aprova el reglament de la infraestructura per a la qualitat i la seguretat industrials. (BOE 6-2-1996).

Reial Decret 1/1995 Estatuto de los Trabajadores de 24 de maig, pel qual s'aprova el Text Refós de la Llei de l'Estatut dels Treballadors. (BOE 29-3-1995).

Reial Decret 39/1997, de 17 de gener, pel que s'aprova el Reglament dels Serveis de Prevenció. (BOE 31-1-1997).

Ordre de 9 de març de 1971, per la que s'aprova l'Ordenança General de Seguretat e Higiene en el Treball (BOE 16-3-1971), derogada pràcticament en la seva totalitat, excepte el capítol VI "Treballs amb electricitat".

Llei 13/1987 de 9 de juliol de Seguretat de les instal·lacions Industrials. (DOGC 27-7-1987).

Decret 2414/1961 Reglament d'activitats molestes, insalubres, nocives i perilloses. (BOE 7-12-1961).

- Condicions del lloc de treball

Decret 3.565/1972, de 23 de desembre, sobre normes tecnològiques de l'edificació. (BOE 15-1-1973).

Reial Decret 1.316/1989, de 27 d'octubre, sobre mides de protecció dels treballadors en front als riscos derivats a la seva exposició al soroll. (BOE 2-11-1989). Correcció d'errades. (BOE 9-12-1989 i 26-5-1990).

Reial Decret 88/1990, de 26 de gener, sobre protecció dels treballadors per mitjà de la prohibició de determinats agents específics o determinades activitats. (BOE 27-1-1990).

Reial Decret 485/1997, de 14 d'abril, pel que s'estableixen les disposicions mínimes de senyalització de seguretat i salut en el treball. (BOE 23-4-1997).

Reial Decret 486/1997, de 14 d'abril, pel que s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut als llocs de treball. (BOE 23-4-1997).

Reial Decret 664/1997, de 12 de maig, sobre la protecció dels treballadors contra els riscos relacionats amb l'exposició a agents biològics durant el treball. (BOE 24-5-1997).

Reial Decret 665/1997, de 12 de maig, sobre la protecció dels treballadors contra els riscos relacionats amb l'exposició a agents cancerígens durant el treball. (BOE 24-5-1997).

Reial Decret 487/1997, de 14 d'abril, pel què s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut relatives a la manipulació manual de càrregues que comportin riscos, en particular dors i lumbar per als treballadors. (BOE 23-4-1997).

- Seguretat en màquines i equips de treball

Reial Decret 1.435/1992, de 27 de novembre, pel què es dicten disposicions d'aplicació de la Directiva del Consell 89/392/CEE relativa a l'aproximació de les legislacions dels Estats membres sobre màquines, modificat per Reial Decret 56/1995 (BOE 8-2-1995). (BOE 11-12-1992).

Reial Decret 1.407/1992, de 20 de novembre, pel qual es regulen les condicions per la comercialització i lliure circulació intracomunitària dels equips de protecció individual. (BOE 28-12-1992).

Reial Decret 773/1997 de 30 de maig sobre disposicions mínimes de seguretat i salut per a la utilització d'equips de treball. (BOE 12-6-1997).

Reial Decret 1215/1997 de 18 de juliol sobre disposicions mínimes de seguretat i salut per a la utilització per part dels treballadors d'equips de treball. (BOE 7-8-1997).

- Benzè

Conveni de la OIT de 23 de juny de 1971, número 136, sobre benzè. (BOE 5-2-1975).

Ordre de 14 de setembre de 1959, sobre fabricació i utilització de productes que continguin benzè. (BOE 18-9-1959).

Resolució de 15 de febrer de 1977, sobre utilització de dissolvents i altres compostos que continguin benzè. (BOE 11-5-1977).

- Clorur de vinil

Ordre de 9 d'abril de 1986, per la qual s'aprova el reglament per la prevenció de riscos i protecció de la salut per la presència de clorur de vinil monòmer a l'ambient de treball. (BOE 6-5-1986).

- Plom metàl·lic

Ordre de 9 d'abril de 1986, per la qual s'aprova el Reglament per la prevenció i protecció de la salut dels treballadors per la presència de plom metàl·lic i els seus components iònics al centres de treball. (BOE 24-4-1986).

B. Construcció

- Legislació estatal

Ordre de 31 de gener de 1940, per la qual s'aprova el Reglament sobre seguretat i higiene de l'edificació. (BOE 3-2-1940).

Ordre de 20 de maig de 1952, per la qual s'aprova el Reglament sobre seguretat en el treball en la indústria de la construcció i obres públiques. (BOE 15-6-1952).

Ordre de 23 de maig de 1977. Reglament d'aparells elevadors per obres (BOE 14-6-1977) modificat per Ordre de 7 de març de 1981. (BOE 14-3-1981).

Reial Decret 1627/1997 de 24 d'octubre pel que s'estableixen disposicions mínimes de seguretat i de salut a les obres de construcció. (BOE 25-10-1997).

Ordenança de treball per a les indústries de la construcció, vidre o ceràmica (BOE 7-9-1970) i modificacions (BOE 31-7-1973).

- Legislació a Catalunya

Resolució de 4 de novembre de 1988 sobre compliment de les distàncies reglamentàries d'obres i construccions a línies elèctriques. (DOGC 30-11-1988).

Ordre de 12 de gener de 1998 per la qual s'aprova el Llibre d'Incidències en obres de construcció. (DOGC 27-1-1998).

E. Electricitat

- Legislació estatal

Baixa tensió

Reglament electrotècnic per a baixa tensió Decret 432/2002 que aprova el Reglament electrotècnic per a baixa tensió i instruccions tècniques complementàries.

Ordre de 25 d'octubre de 1979 que implanta el Document de Qualificació Empresarial per a instal·ladors. (BOE 5- 11- 1979).

Reial Decret 7/1988 de 8 de gener de 1988 sobre exigències de seguretat del material elèctric destinat a ser utilitzat en determinats límits de tensió (BOE 14- 1- 88) modificat per Reial Decret 154/1995 (BOE 3- 3- 1995) i desenvolupat per ordre 6- 6- 1989. (BOE 21- 6- 1989).

Reial Decret 400/1996 d'1 de març que dicta disposicions d'aplicació de la directiva del Parlament Europeu i del Consell 94/9/CE, relativa a aparells i sistemes de protecció per a l'ús en atmosferes potencialment explosives. (BOE 8- 4- 1996).

Línies elèctriques aèries d'alta tensió

Decret 3151/68 de 28 de novembre que aprova el Reglament de línies elèctriques aèries d'alta tensió. (BOE 7- 12- 1968).

Centrals elèctriques i estacions de transformació

Reglament Centrals Elèctriques, Subestacions i Centres de Transformació, Reial Decret 3275/1982 de 12 de novembre sobre condicions tècniques i garanties de seguretat en centrals elèctriques, subestacions i estacions de transformació (BOE 1- 12- 1982) correcció d'errades. (BOE 18- 1- 1983).

Reglament Centrals Elèctriques, Subestacions i Centres de Transformació Ordre del 6 de juliol de 1984 aprova les ITC del Reglament sobre condicions tècniques i garantia de seguretat en centrals elèctriques, subestacions i centres de transformació (BOE 1- 8- 1984) modificada per ordre 18- 10- 1984 (BOE 25- 10- 1984) i diferents modificacions de les ITC.

- Legislació a Catalunya

Decret 351/1987 de 23 de novembre pel qual es determinen els procediments administratius aplicables a les instal·lacions elèctriques. (DOG 20- 12- 1987).

Ordre de 14 de maig de 1987 que regula el procediment d'actuació i ús per a l'aplicació del Reglament per a Baixa tensió mitjançant la intervenció de les entitats d'inspecció i control (DOGC 12- 6- 1987) modificada per ordre 30- 7- 1987. (DOGC 12- 8- 1987).

Ordre de 2 de febrer de 1990 que regula el procediment d'actuació administrativa per a l'aplicació dels reglaments per a Alta tensió a les instal·lacions privades. (DOGC 14- 3- 1990).

Resolució de 4 de novembre de 1988 que estableix un certificat sobre compliment de les distàncies reglamentàries d'obres i construccions a línies elèctriques. (DOGC 30- 11- 1988).

F. Sistemes de protecció contra incendis

- Legislació estatal

Reial Decret 1277/1996 de 4 d'octubre, pel qual s'aprova la norma bàsica de l'edificació NBE-CPI-1996 sobre condicions de protecció contra incendis als edificis. (BOE 29-10-1996).

Reial Decret 1942/1993 de 5 de novembre que aprova el reglament d'instal·lacions de protecció contra incendis (BOE 14-12-1993) modificat per ordre 16-4-1998. (BOE 28-4-1998).

Decret 30 de novembre de 1961 aprova el reglament d'activitats molestes, insalubres, nocives i perilloses. (BOE 7-12-1961).

Ordre de 15 de març de 1963 aprova les ITC per l'aplicació del Reglament d'activitats molestes, insalubres, nocives i perilloses. (BOE 2-4-1963).

- Legislació a Catalunya

Decret 241/1994 de 26 de juliol sobre condicions urbanístiques i de protecció contra incendis en els edificis complementaris de la NBE - CPI/91 (DOGC 30-9-1994) correcció d'errades. (DOGC 30-1-1995).

K.1.3 Plec de condicions particulars

K.1.3.1 Elements de seguretat

- 1.- Arnès.
- 2.- Botes professionals de treball.
- 3.- Banqueta aïllant.
- 4.- Casc de seguretat.
- 5.- Catifes aïllants.
- 6.- Cinturó de seguretat.
- 7.- Guants de tot tipus de treball.
- 8.- Guants aïllants.
- 9.- Guants de treball de pell.
10. Pantalla facial.
11. Perxes aïllants.
12. Senyalització.
13. Ulleres de seguretat.

K.1.3.2 DETALLS D'ELEMENTS DE SEGURETAT

1. Arnès: Sistema anticaigudes

Amb certificat CE EN-361.

Sistema de subjecció i suspensió, amb faixa dorsal reforçada.

Cingla de poliamida reforçada de 40 mm d'ample.

Resistència al trencament: 2.000 daN mínim.



Sivella dorsal.

Sivelles i anelles d'acer moldejat.

Per treballs en alçada.

2. Botes professionals de treball

Conformes a la norma CE EN 345.

Fetes amb cautxú, interior de poliester: absorbent, imputrescible, antimicòtic.

Puntera i sola antiperforació acer.

Sola antilliscant.



3. Banqueta aïllant

Conforme a la norma espanyola UNE-81-005-78.

Material aïllant moldejat, monobloc.

Plataforma 50 x 50 cm o similar.

Tensió d'utilització 40.000 V interior, 45.000 V exterior.

Potes amb tacs de goma.



4. Casc de seguretat

Amb marcatge CE, segons RD 1407/92.

Conforme a la norma europea EN 397.

Casc de seguretat de polietilè amb airejació regulable.

Allargament per protecció de la nuca.



Badana frontal de 37 mm.

Barbuqueig regulable de 2 en 2 cm.

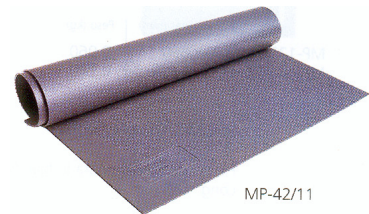
10 amortidors incorporats.

Pes: 0,33 kg.

5. Catifes aïllants

De cautxú d'alta qualitat dielèctrica.

Tensió d'utilització < 33 kV, espessor 3 mm, 1 x 1 m.



6. Cinturó de seguretat

Amb certificat CE EN 358.

M06: Cinturó amb faixa enconxada, corda d'amarrament regulable (de 14 mm de ϕ amb tub protector de PVC transparent) i dos mosquetons d'acer amb tancament i bloqueig automàtic.



MO06B: Cinturó amb faixa enconxada, bandola d'amarrament regulable (poliester, 45 mm d'ample) i dos mosquetons d'acer amb tancament i bloqueig automàtic.

7. Guants de tot tipus de treball

Guants d'ús corrent.

Palmell en flor, dors de tela reforçada de cotó.

Llengüeta per ajustatge del guant al dors de la mà.

Puny protector de tela molt resistent de cotó.

Protector d'arteries.



8. Guants aïllants

D'acord amb les normes UNE-EN 60903/CEI 903.

Categoria M definida per la norma: guants de gran resistència mecànica.

Tractats especialment per obtenir característiques dielèctriques molt altes, fabricats de làtex pur, amb dits i buits pel palmell de la mà lleugerament flexionats en posició natural.

Tensió d'utilització 36 kV, espessor mitjà 3,6 mm, pes aproximat 800 g.



9. Guants de treball de pell

D'acord amb la norma CE EN 388.

Guants de pell flor, molt flexibles.

Conserven la precisió dels moviments dels dits.

Model tipus americà.

Protector de costures.

Llengüeta als dors de la mà per ajustar el guant.



10. Pantalla facial

Marcatge CE.

Conforme a la norma europea EN 166.

Acoblament als cascs de seguretat sense modificar les seves característiques.



Composta per un adaptador de nylon i un visor policarbonat incolor abatible.

Tots els seus elements són dielèctrics, resistint tensions superiors a 32.000 V/mm sense perforació.

Anticalòrica: resisteix fins a 160 °C sense deformar-se i rebutja els materials fosos.

Antiàcids.

Antipartícules: resistència al impacte IZOD amb entalladura de 855 J/m.

11. Perxes aïllants

Compostes per dos elements introduïts un dintre de l'altre.

Assegurança amb botó polsador.

Material composite de fibra de vidre/resina poliester.

Per ambients secs:

Tensió d'utilització 66 kV, ϕ 36/28 mm, longitud replegada/desplegada 0,8/1,5 m, pes 0,75 kg.

Sota pluja:

Formada per dos elements.

Inferior: en composite de fibra de vidre/resina poliester.

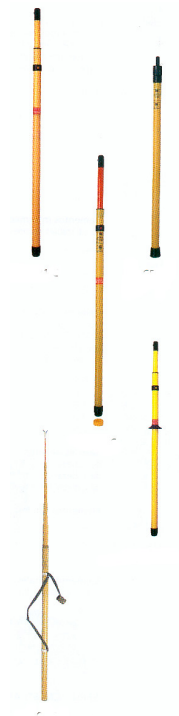
Superior: composite fibra de vidre/resina epoxy, plena de poliuretà.

El tram superior compleix amb la norma CEI 855.

Tensió d'utilització 75 kV, ϕ 41/32 mm, longitud replegada/desplegada 1,15/2 m.

Sota pluja model reforçat compleix norma CEI 1235.

Tensió d'utilització 90 kV, ϕ 41/32 mm.



12. Senyalització

Delimitació:

Cadena de delimitació de zona de treball (vermell i blanc).

Barrera de fusta extensible tipus acordeó (vermell).

Cinta de abalisament (vermell, blanc, vermell).

Prohibició:

Recomanació UNESA P 0204 A:

“Instal·lació en tensió. Perill de mort”. (1000x200 mm) .

“Prohibit el pas” (1000x 200 mm).



Senyalització

Senyals alumini risc elèctric:

210 mm de costat.

140 mm de diàmetre.

210 mm de diàmetre.

Senyals d'alumini per armaris alta tensió:

350 x 500 mm

300 x 200 mm

260 x 40 mm



13. Ulleres de seguretat

Marcatge CE en compliment de les Directrius i del Reial Decret d'Equips de Protecció Individual.

D'acord amb la norma europea EN 166.

Classe òptica 1

Nivell de resistència a l'impacta: F.

Protecció 100 % UV



MO-110



K.1.4 Pressupost

K.1.4.1 Pressupost de proteccions col·lectives, sector construcció.

Unitats	Descripció element	Cost unitari (euros)	Cost total (euros)
20	Cons abalisament zona de treball	9,02	180,30
2	Senyal zona de maniobres maquines o vehicles	9,02	18,03
2	Senyal zona possible caiguda d'objectes	9,02	18,03
TOTAL			216,36

K.1.4.2 Pressupost de proteccions col·lectives, sector instal·lacions elèctriques.

Unitats	Descripció element	Cost unitari (euros)	Cost total (euros)
2	Avís a tothom que pugui entrar en contacte inst provades	9,02	18,03
15	Cons per abalisament zona de treball	9,02	135,23
4	Senyal delimitant zona de seguretat	9,02	36,06
4	Senyal posada en tensió de la instal·lació	9,02	36,06
TOTAL			225,38

K.1.4.3 Pressupost de proteccions individuals, sector construcció.

Unitats	Descripció element	Cost unitari (euros)	Cost total (euros)
4	Arnés de seguretat caiguda màxima 1,5 m HA 002, 1 ancoratge	33,06	132,24
4	Botes d'aigua, puntera metàl·lica, plantilla antipunxades	18,03	72,12
4	Botes puntera metàl·lica, plantilla antipunxades Quiron S2	25,84	103,36
4	Calçat aïllant Bota Silex S3	38,33	153,32
4	Calçat antilliscant Vesta S2	24,23	96,92
4	Casc de seguretat, PE blanc	2,88	11,52
4	Corda regulable 1 m a 1,8 m amb 2 mosquetons	33,06	132,24
4	Davantall de cuir serratge	9,02	36,08
4	Faixa de protecció lumbar, Aldaniz universal	23,92	95,68
4	Guants de protecció mecànica, 17LVE serratge	0,81	3,24
4	Guants de protecció química, pluma PVC Roig 27 cm	3,32	13,28
4	Guants dielèctrics 2500 V	25,45	101,8
4	Guants tèrmics de cuir, Vulrizo 250°C	3,97	15,88
4	Màscara buconasal, 3M 8710 paper	0,75	3
4	Pantalla soldadura elèctrica (vidres anactínics)	15,33	61,32
4	Polaines de cuir, serratge	8,41	33,64
4	Protecció auricular, Silenta	11,84	47,36
4	Ulleres amb vidre de protecció soldadura oxiacetilènica	15,03	60,12
4	Ulleres de protecció mecànica, MA-in incolora	1,80	7,2
TOTAL			1180,32

K.1.4.4 Pressupost de proteccions individuals, sector instal·lacions elèctriques.

Unitats	Descripció element	Cost unitari (euros)	Cost total (euros)
2	Arnés de seguretat caiguda màxima 1,5 m HA 002, 1 ancoratge	33,06	66,11
2	Calçat amb puntera metàl·lica, Bota Silex S3	38,33	76,65
2	Calçat antilliscant Vesta S2	24,23	48,45
2	Casc de seguretat, PE blanc	2,88	5,76
2	Corda regulable 1 m a 1,8 m amb 2 mosquetons	31,25	62,51
2	Faixa de protecció lumbar, Aldaniz universal	23,92	47,84
2	Guants dielèctrics 2500 V	25,45	50,91
2	Guants de protecció mecànica, 17LVE serratge	0,81	1,62
2	Màscara buconasal, 3M 8710 paper	0,75	1,50
2	Pantalla facial soldadura Ma	15,33	30,65
2	Perxes detectores de tensió	60,00	120,00
2	Ulleres de protecció contra raigs UV	15,03	30,05
TOTAL			542,05

K.1.4.5 Pressupost total proteccions.

Descripció	
Proteccions col·lectives, sector construcció	216,36
Proteccions col·lectives, sector inst elèctriques	225,38
SUBTOTAL PROTECCIONS COL·LECTIVES	441,74
Proteccions individuals, sector construcció	1180,32
Proteccions individuals, sector inst elèctriques	542,05
SUBTOTAL PROTECCIONS INDIVIDUALS	1722,37
TOTAL PROTECCIONS	2164,11

Miquel Martí Carolà

19 de juny de 2007