

Integració de sistemes actius en façanes. Mètodes experimentals

J. Cipriano¹

¹CIMNE-Building Energy and Environment Group, Gaia Building-UPC Campus
Terrassa, c/Rambla St Nebridi 22. 08222. Terrassa

Índex

1 Instal·lacions experimentals

- Instal·lacions a escala real

2 Objectius del treball

3 Descripció del TRE-L

- Geometria i materials
- Campanya de monitorització

4 Resultats experimentals

- Evaluació de les temperatures del panell FV i el canal d'aire
- Producció tèrmica i elèctrica

Índex

- 1 Instal·lacions experimentals
 - Instal·lacions a escala real

- 2 Objectius del treball

- 3 Descripció del TRE-L
 - Geometria i materials
 - Campanya de monitorització

- 4 Resultats experimentals
 - Evaluació de les temperatures del panell FV i el canal d'aire
 - Producció tèrmica i elèctrica

Lleida Outdoor test Cell (LOT)



Unitat d'assaig a mida real (6m x 4m x 4m)

Lleida Outdoor test Cell (LOT)



Lleida Outdoor test Cell (LOT)



Pell doble semi transparent amb

FV



Lleida Outdoor test Cell (LOT)



Pell doble semi transparent amb

FV



Accionament per a moure la
façana

Test Reference Environment (TRE-L)



TRE-L amb dos mòduls FVde referència

Índex

- 1 Instal·lacions experimentals
 - Instal·lacions a escala real
- 2 Objectius del treball
- 3 Descripció del TRE-L
 - Geometria i materials
 - Campanya de monitorització
- 4 Resultats experimentals
 - Evaluació de les temperatures del panell FV i el canal d'aire
 - Producció tèrmica i elèctrica

Objectius

- Augmentar el coneixement del comportament elèctric i tèrmic de components fotovoltaics integrats en façanes o teulades

Objectius

- Augmentar el coneixement del comportament elèctric i tèrmic de components fotovoltaics integrats en façanes o teulades
- Realitzar un anàlisi sensitiu de l'efecte de la inclinació, el grau de ventilació i el tipus de material sobre el que s'instal·la el component FV integrat

Objectius

- Augmentar el coneixement del comportament elèctric i tèrmic de components fotovoltaics integrats en façanes o teulades
- Realitzar un anàlisi sensitiu de l'efecte de la inclinació, el grau de ventilació i el tipus de material sobre el que s'instal·la el component FV integrat
- Contribuir a la definició d'un Estàndard Europeu per a a l'assaig de sistemes FV integrats en condicions reals exteriors

Objectius

- Augmentar el coneixement del comportament elèctric i tèrmic de components fotovoltaics integrats en façanes o teulades
- Realitzar un anàlisi sensitiu de l'efecte de la inclinació, el grau de ventilació i el tipus de material sobre el que s'instal·la el component FV integrat
- Contribuir a la definició d'un Estàndard Europeu per a a l'assaig de sistemes FV integrats en condicions reals exteriors
- Avançar en el camí dels edificis de consum zero (nZEB) mitjançant l'acoplament de l'aire escalfat amb bombes de calor en mode calefacció

Índex

- 1 Instal·lacions experimentals
 - Instal·lacions a escala real
- 2 Objectius del treball
- 3 **Descripció del TRE-L**
 - Geometria i materials
 - Campanya de monitorització
- 4 Resultats experimentals
 - Evaluació de les temperatures del panell FV i el canal d'aire
 - Producció tèrmica i elèctrica

Geometria i materials



TRE-L: vista frontal i vista posterior

Geometria i materials

Caixa de fusta

- Mides: 206 x 236 x 37 cm
- Capa aïllament:
20 cm gruix EPS
- Abertura orientada a sud:
97.6 x 150.7 cm
- Estructura mòbil.
Inclinació variable



Geometria i materials

Caixa de fusta

- Mides: 206 x 236 x 37 cm
- Capa aïllament:
20 cm gruix EPS
- Abertura orientada a sud:
97.6 x 150.7 cm
- Estructura mòbile.
Inclinació variable



Geometria i materials

Materials posteriors

- Làmina negra:
ALANOD-Mirotherm
95 ± 1 % Absorció solar
5 ± 2 % emissivitat infraroig
- Làmina blanca reflexió
difusa:r
DuPont DLR80
96.3% índex reflectivitat



Geometria i materials

Materials posteriors

- Làmina negra:
ALANOD-Mirotherm
95 ± 1 % Absorció solar
5 ± 2 % emissivitat infraroig
- Làmina blanca reflexió
difusa:r
DuPont DLR80
96.3% índex reflectivitat



Geometria i materials

Producció elèctrica FV

- Mòdul FV semi transparent
vidre-tedlar
28 cèl·lules; packing factor:
0.46
- Dos mòduls de referència
Completament aïllat (10
cm); Comportament lliure



Geometria i materials

Producció elèctrica FV

- Mòdul FV semi transparent vidre-tedlar
28 cèl·lules; packing factor:
0.46
- Dos mòduls de referència
Completament aïllat (10
cm); Comportament lliure



Geometria i materials

Flux d'aire

- Espessor canal d'aire: 11.5 cm
- Aire circula d'abaix cap a dalt
Convecció forçada ventilador
velocitat variable
- Entrada laminar garantida
Matriu de tubs de plàstic
(0.5cm ϕ)



Geometria i materials

Flux d'aire

- Espessor canal d'aire: 11.5 cm
- Aire circula d'abaix cap a dalt
Convecció forçada ventilador
velocitat variable
- Entrada laminar garantida
Matriu de tubs de plàstic
(0.5cm ϕ)



Geometria i materials

Flux d'aire

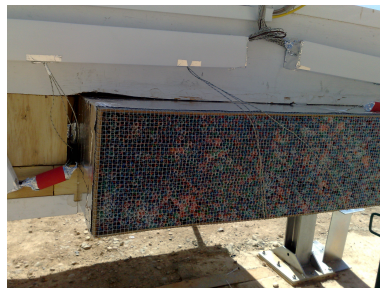
- Espessor canal d'aire: 11.5 cm
- Aire circula d'abaix cap a dalt
Convecció forçada ventilador
velocitat variable
- Entrada laminar garantida
Matriu de tubs de plàstic
(0.5cm ϕ)



Geometria i materials

Flux d'aire

- Espessor canal d'aire: 11.5 cm
- Aire circula d'abaix cap a dalt
Convecció forçada ventilador
velocitat variable
- Entrada laminar garantida
Matriu de tubs de plàstic
(0.5cm ϕ)



Equip de monitorització

Temperatura panell FV i canal d'aire

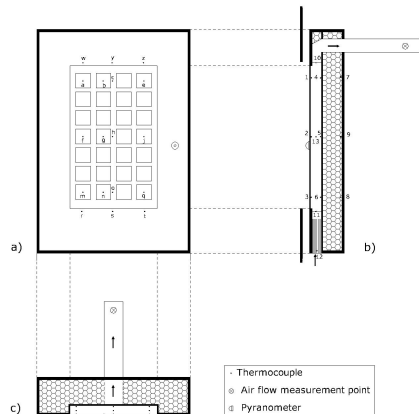
- 31 termoparell tipus J connectats a un data-logger (Campbell CR1000)
Recol·lecció de dades cada 30 seconds (10-minutes anàlisi):
 - 10 termoparell tipus J per a temperatures d'aire
 - 18 termoparells temperatures FV i material posterior
 - 3 termoparells posterior TRE-L
- 1 piranòmetre per radiació solar incident
- Sensors protegits amb cilindres d'alumini



Equip de monitorització

Temperatura panell FV i canal d'aire

- 31 termoparell tipus J connectats a un data-logger (Campbell CR1000)
Recol·lecció de dades cada 30 seconds (10-minutes anàlisi):
 - 10 termoparell tipus J per a temperatures d'aire
 - 18 termoparells temperatures FV i material posterior
 - 3 termoparells posterior TRE-L
- 1 piranòmetre per radiació solar incident
- Sensors protegits amb cilindres d'alumini



Equip de monitorització

Temperatura panell FV i canal d'aire

- 31 termoparell tipus J connectats a un data-logger (Campbell CR1000)
Recol·lecció de dades cada 30 seconds (10-minutes anàlisi):
 - 10 termoparell tipus J per a temperatures d'aire
 - 18 termoparells temperatures FV i material posterior
 - 3 termoparells posterior TRE-L
- 1 piranòmetre per radiació solar incident
- Sensors protegits amb cilindres d'alumini



Equip de monitorització

Mesura producció elèctrica FV

- Conexions especials per a mesurar cada línia de cèl·lules FV
- Mesures de: I_{SC} and V_{OC}
4 minuts en V_{OC} i 1 minut en I_{SC}
- $P_{PV} = \sum FF V_{OC} I_{SC}$



Equip de monitorització

Mesura producció elèctrica FV

- Conexions especials per a mesurar cada línia de cèl·lules FV
- Mesures de: I_{SC} and V_{OC}
4 minuts en V_{OC} i 1 minut en I_{SC}
- $P_{PV} = \sum FF V_{OC} I_{SC}$



Equip de monitorització

Mesura producció elèctrica FV

- Conexions especials per a mesurar cada línia de cèl·lules FV
- Mesures de: I_{SC} and V_{OC}
4 minuts en V_{OC} i 1 minut en I_{SC}
- $P_{PV} = \sum FF V_{OC} I_{SC}$



Equip de monitorització

Condicions climàtiques

- 1 estació meteorològica (2 m alçada) formada per:
 - 1 anemòmetre de cassoletes
 - 1 termo higròmetre
 - 1 termòtre de bulb sec
- 1 estació meteorològica de back up a 10 m alçada
- 1 periliòmetre per a mesura de radiació solar directa

Període i tests

- La campanya de monitorització es va portar a terme a Lleida (latitud de 41.6°N)
- Tests de dos dies de duració entre Agost 2010 i Setembre 2011
- Tres inclinacions analitzades (90° , 60° and 30°)
 60° és la inclinació òptima a l'hivern; 30° es la inclinació òptima a l'estiu

Període i tests

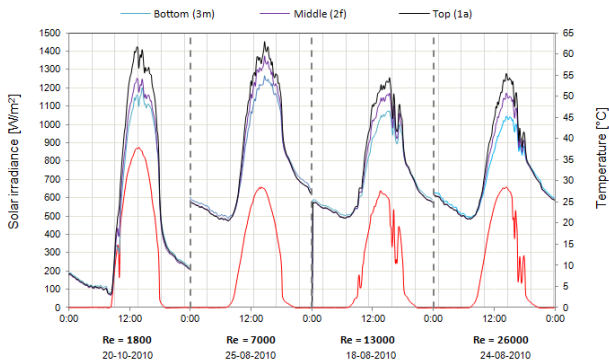
Volumetric air flow rate	Cavity air velocity	Reynolds number
$[m^3/h]$	$[m/s]$	$[-]$
34	0.09	1200
51	0.13	1800
94	0.23	3000
195	0.50	7000
354	0.92	13000
560	1.46	20000
731	1.91	26000

Table: Règims de ventilació dins el canal d'aire

Índex

- 1 Instal·lacions experimentals
 - Instal·lacions a escala real
- 2 Objectius del treball
- 3 Descripció del TRE-L
 - Geometria i materials
 - Campanya de monitorització
- 4 Resultats experimentals
 - Evaluació de les temperatures del panell FV i el canal d'aire
 - Producció tèrmica i elèctrica

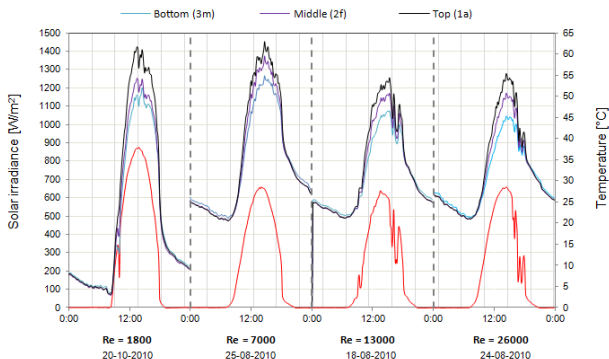
Distribució vertical temperatures panell FV



Inclinació: 90°

Material posterior:
Negre absorbent

Distribució vertical temperatures panell FV

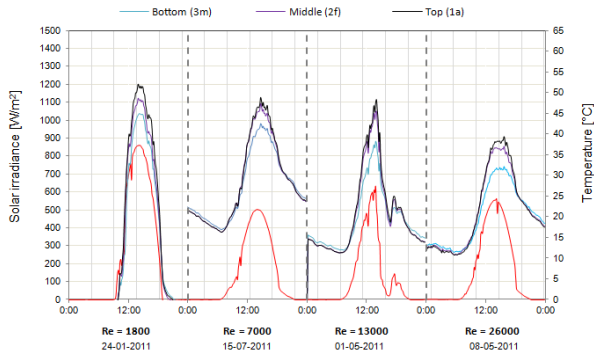


Inclinació: 90°

Material posterior:
Negre absorbent

- La temperatura augmenta verticalment independentment del Re
- Gradient vertical màxim: 10 °C

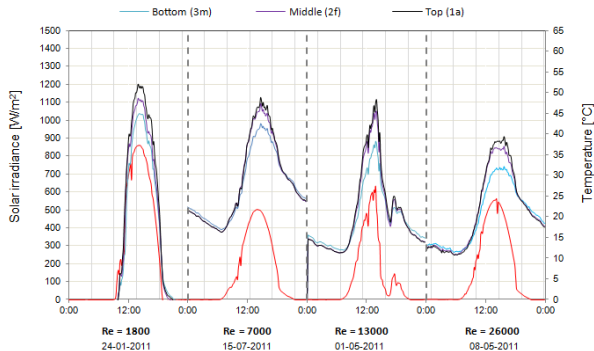
Distribució vertical temperatures panell FV



Material posterior: Blanc reflectant

- El gradient vertical de temperatures és menor amb el blanc reflectant
- Temperatura mitja del FV amb reflector blanc és 8°C menor
- L'eficiència elèctrica FV augmenta (+0.5%)

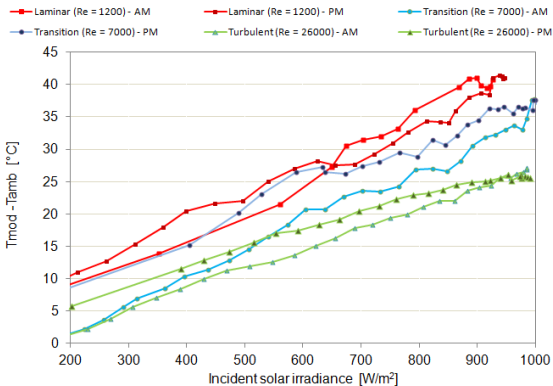
Distribució vertical temperatures panell FV



Material posterior:
Blanc reflectant

- El gradient vertical de temperatures és menor amb el blanc reflectant
- Temperatura mitja del FV amb reflector blanc és 8°C menor
- L'eficiència elèctrica FV augmenta (+ 0.5%)

Diferència de temperatura entre FV i temperatura ambient

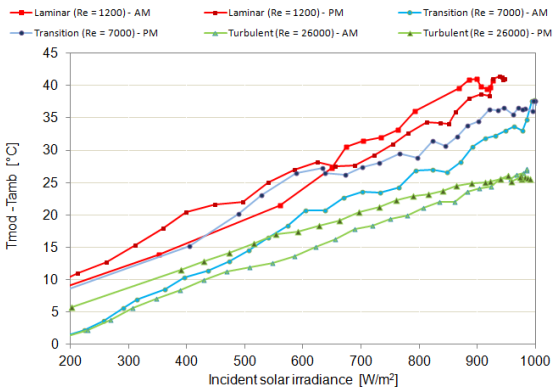


Inclinació: òptima

Material posterior:
Negre absorbent

- La inèrcia tèrmica FV causa la histèresi en la T
- La temperatura mitja del FV disminueix amb el Re
- El règim turbulent provoca diferències de T menors

Diferència de temperatura entre FV i temperatura ambient

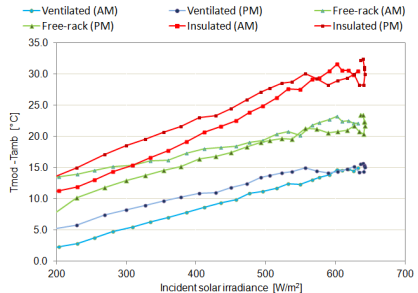
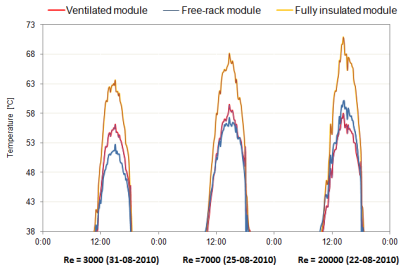


Inclinació: òptima

Material posterior:
Negre absorbent

- La inèrcia tèrmica FV causa la histèresi en la T
- La temperatura mitja del FV disminueix amb el Re
- El règim turbulent provoca diferències de T menors

Comparació temperatura FV del TRE-L i mòduls de referència

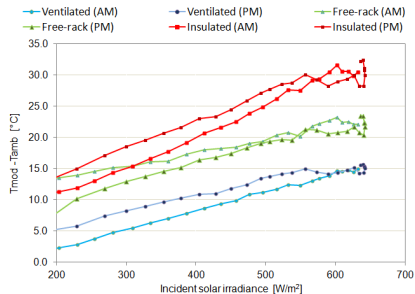
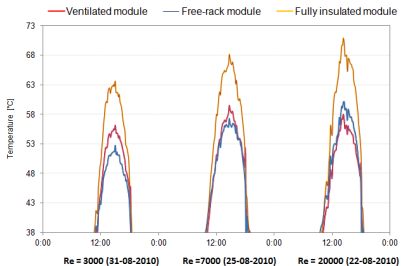


Absorbidor negre. Període estiu

- $Re > 7000 \rightarrow$ FV del TRE-L és el mòdul més fred
15°C menys que el mòdul FV aïllat
- $Re < 7000 \rightarrow$ FV del TRE-L està al mig del lliure i l'aïllat

group

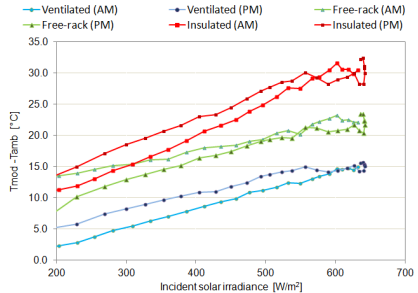
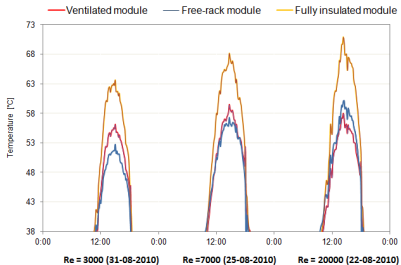
Comparació temperatura FV del TRE-L i mòduls de referència



Absorbidor negre. Període estiu

- $Re > 7000 \rightarrow$ FV del TRE-L és el mòdul més fred
15°C menys que el mòdul FV aïllat
- $Re < 7000 \rightarrow$ FV del TRE-L està al mig del lliure i l'aïllat

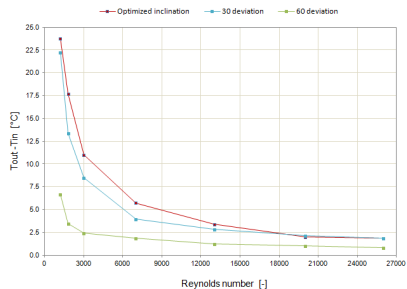
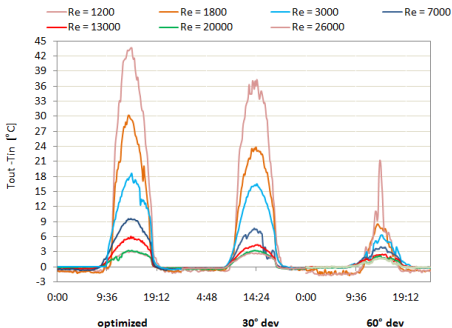
Comparació temperatura FV del TRE-L i mòduls de referència



Absorbidor negre. Període estiu

- $Re > 7000$ → FV del TRE-L és el mòdul més fred
15°C menys que el mòdul FV aïllat
- $Re < 7000$ → FV del TRE-L està al mig del lliure i l'aïllat

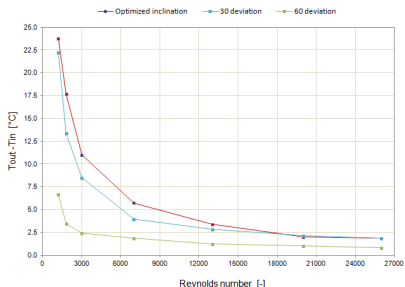
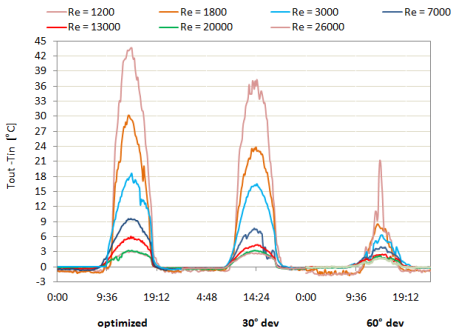
Temperatura d'entrada i sortida del canal d'aire



Absorbidor negre. Període estiu

- ΔT_{aire} disminueix quan augmenta el flux d'aire
 ΔT_{aire} màxima = 40°C flux d'aire més petit; inclinació òptima
- ΔT_{aire} disminueix quan augmenta desviació de la inclinació òptima
 Inclinació òptima, ΔT_{aire} pot ser negativa per pèrdues radiatives

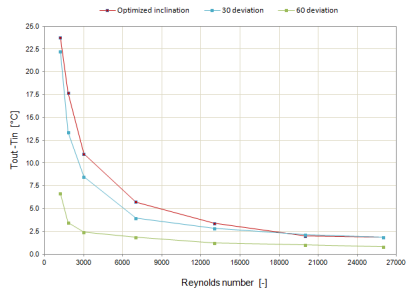
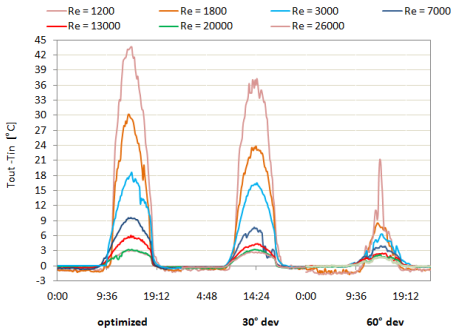
Temperatura d'entrada i sortida del canal d'aire



Absorbidor negre. Període estiu

- ΔT_{aire} disminueix quan augmenta el flux d'aire
 ΔT_{aire} màxima = 40°C flux d'aire més petit; inclinació òptima
- ΔT_{aire} disminueix quan augmenta desviació de la inclinació òptima
 Inclinació òptima, ΔT_{aire} pot ser negativa per pèrdues radiatives

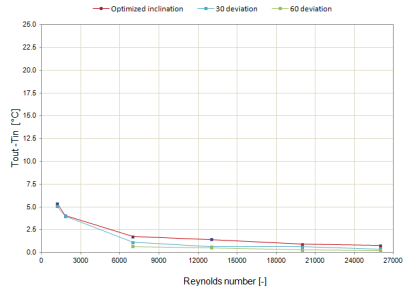
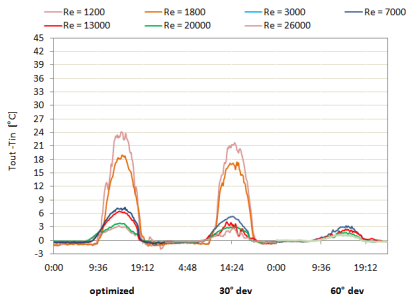
Temperatura d'entrada i sortida del canal d'aire



Absorbidor negre. Període estiu

- ΔT_{aire} disminueix quan augmenta el flux d'aire
 ΔT_{aire} màxima = 40°C flux d'aire més petit; inclinació òptima
- ΔT_{aire} disminueix quan augmenta desviació de la inclinació òptima
 Inclinació òptima, ΔT_{aire} pot ser negativa per pèrdues radiatives

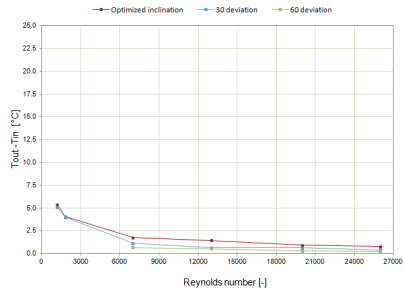
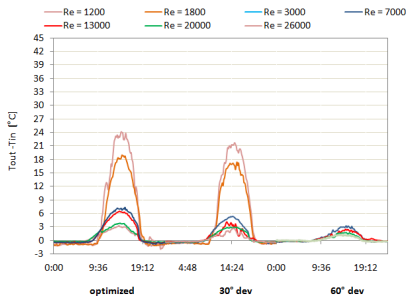
Temperatura d'entrada i sortida del canal d'aire



White diffuser. Summer period

- ΔT_{aire} disminueix amb blanc reflector sempre

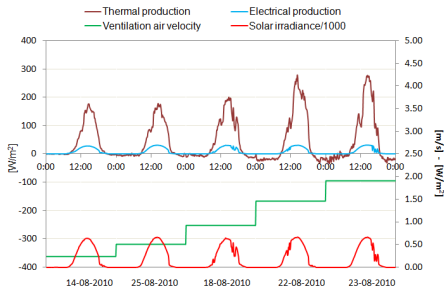
Temperatura d'entrada i sortida del canal d'aire



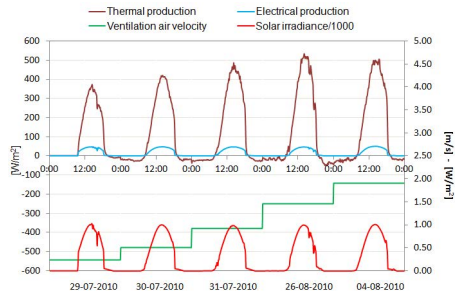
White diffuser. Summer period

- ΔT_{aire} disminueix amb blanc reflector sempre

Potència tèrmica i elèctrica



Inclinació 90°



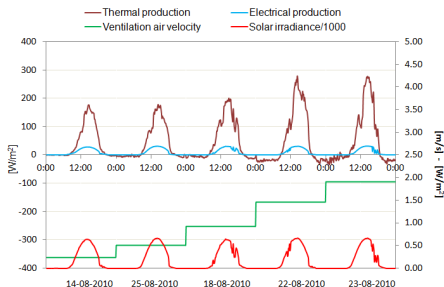
Inclinació òptima

Material absorbidor negre. Període estiu

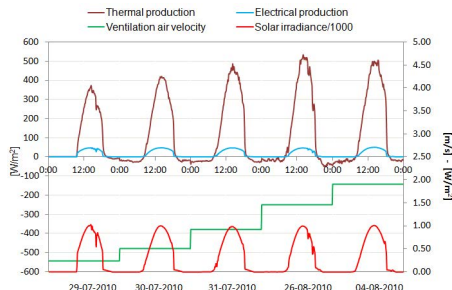
- La potència tèrmica és dominant respecte l'elèctrica
- Potència elèctrica i tèrmica augmenten si augmenta el cabal
- Potència elèctrica i tèrmica màximes es amb inclinació òptima (30°C)

group

Potència tèrmica i elèctrica



Inclinació 90°



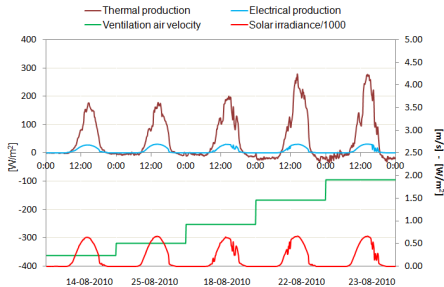
Inclinació òptima

Material absorbidor negre. Període estiu

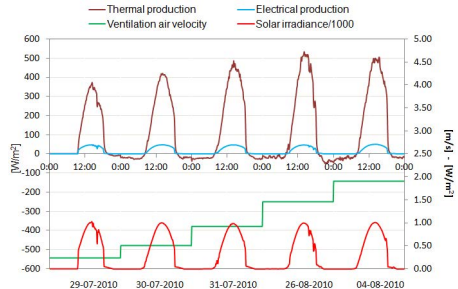
- La potència tèrmica és dominant respecte l'elèctrica
- Potència elèctrica i tèrmica augmenten si augmenta el cabal
- Potència elèctrica i tèrmica màximes es amb inclinació òptima (30°C)

group

Potència tèrmica i elèctrica



Inclinació 90°



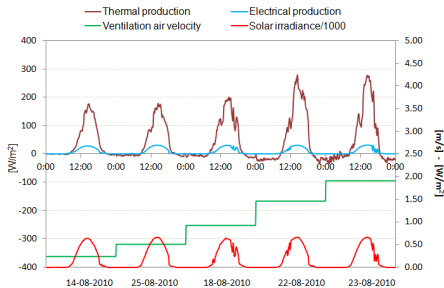
Inclinació òptima

Material absorbidor negre. Període estiu

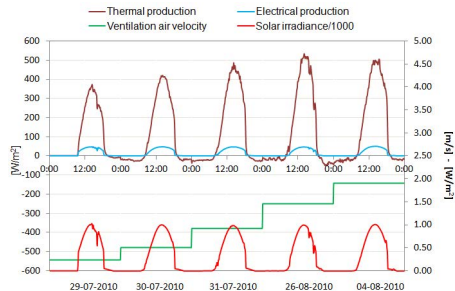
- La potència tèrmica és dominant respecte l'elèctrica
- Potència elèctrica i tèrmica augmenten si augmenta el cabal
- Potència elèctrica i tèrmica màximes es amb inclinació òptima (30°C)

group

Potència tèrmica i elèctrica



Inclinació 90°



Inclinació òptima

Material absorbidor negre. Període estiu

- La potència tèrmica és dominant respecte l'elèctrica
- Potència elèctrica i tèrmica augmenten si augmenta el cabal
- Potència elèctrica i tèrmica màximes es amb inclinació òptima (30°C)

group

Eficiència tèrmica

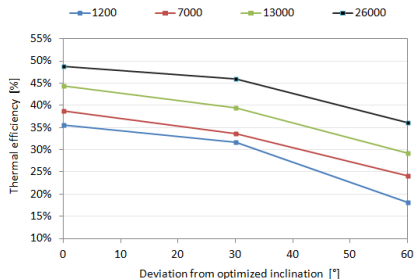
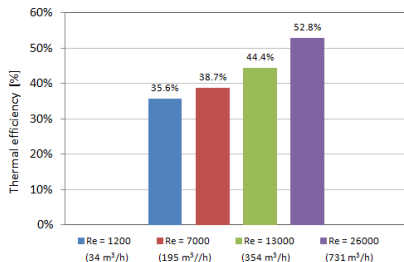
Eficiència tèrmica

- Es defineix una eficiència tèrmica per a poder evaluar el rendiment tèrmic:

$$\eta_{th} = \frac{Q_{th}}{G A} = \frac{\dot{m} \rho c_p (T_{out} - T_{in})}{G A}$$

- G = Radiació solar global incident
- A = Superfície FV
- Mesures amb baixa velocitat de vent (< 5 m/s)

Influència del flux d'aire i la inclinació en l'eficiència tèrmica

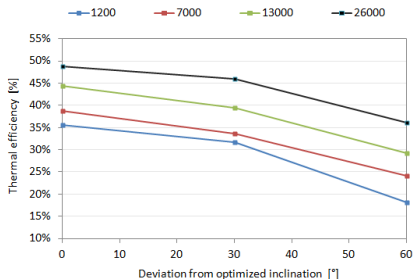
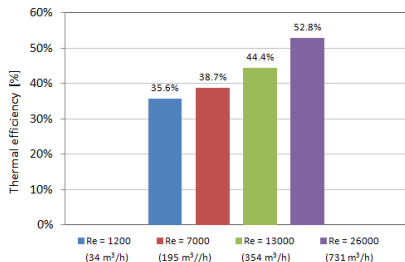


Inclinació òptima

Absorbidor negre. Període estiu

- L'eficiència tèrmica augmenta quan augmenta el flux d'aire
- L'eficiència tèrmica disminueix quan la inclinació es desvia de la inclinació òptima

Influència del flux d'aire i la inclinació en l'eficiència tèrmica

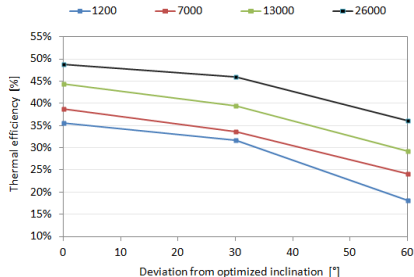
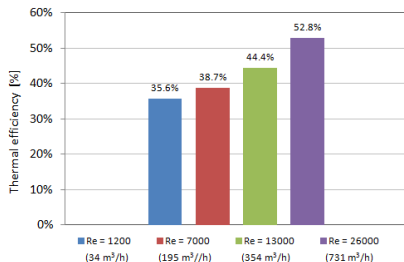


Inclinació òptima

Absorbidor negre. Període estiu

- L'eficiència tèrmica augmenta quan augmenta el flux d'aire
- L'eficiència tèrmica disminueix quan la inclinació es desvia de la inclinació òptima

Influència del flux d'aire i la inclinació en l'eficiència tèrmica

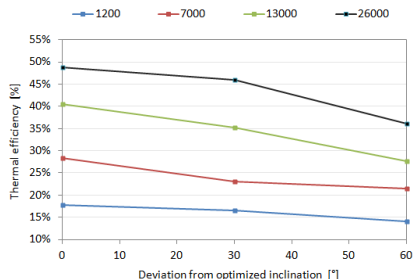
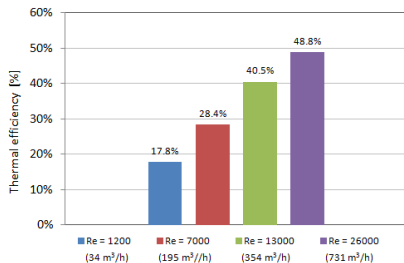


Inclinació òptima

Absorbidor negre. Període estiu

- L'eficiència tèrmica augmenta quan augmenta el flux d'aire
- L'eficiència tèrmica disminueix quan la inclinació es desvia de la inclinació òptima

Influència del flux d'aire i la inclinació en l'eficiència tèrmica



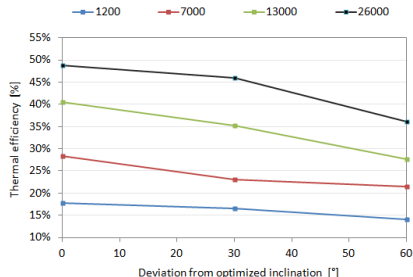
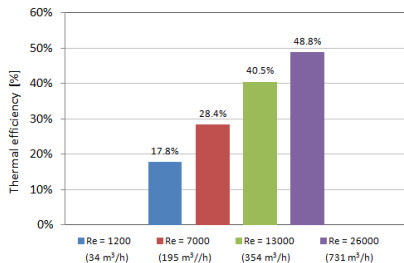
Inclinació òptima

Difusor blanc. Període estiu

- L'eficiència tèrmica augmenta quan augmenta el flux d'aire
- L'eficiència tèrmica disminueix quan la inclinació es desvia de la inclinació òptima
- L'absorbidor negre augmenta l'eficiència tèrmica: 70 % amb baixos cabals; 10 % amb alts cabals d'aire

group

Influència del flux d'aire i la inclinació en l'eficiència tèrmica



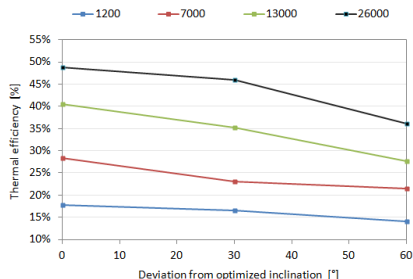
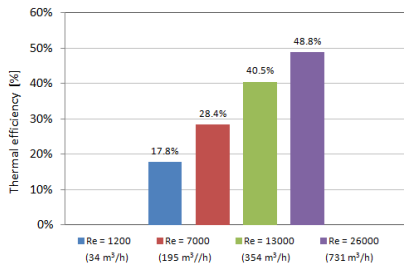
Inclinació òptima

Difusor blanc. Període estiu

- L'eficiència tèrmica augmenta quan augmenta el flux d'aire
- L'eficiència tèrmica disminueix quan la inclinació es desvia de la inclinació òptima
- L'absorbidor negre augmenta l'eficiència tèrmica: 70 % amb baixos cabals; 10 % amb alts cabals d'aire

group

Influència del flux d'aire i la inclinació en l'eficiència tèrmica



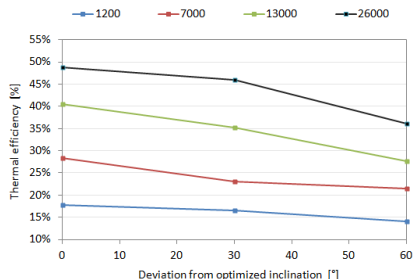
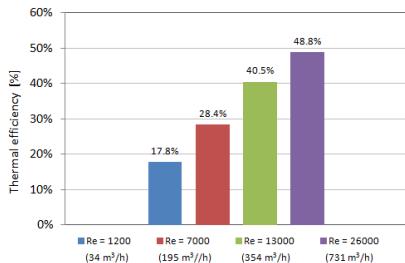
Inclinació òptima

Difusor blanc. Període estiu

- L'eficiència tèrmica augmenta quan augmenta el flux d'aire
- L'eficiència tèrmica disminueix quan la inclinació es desvia de la inclinació òptima
- L'absorbidor negre augmenta l'eficiència tèrmica: 70 % amb baixos cabals; 10 % amb alts cabals d'aire

group

Influència del flux d'aire i la inclinació en l'eficiència tèrmica



Inclinació òptima

Difusor blanc. Període estiu

- L'eficiència tèrmica augmenta quan augmenta el flux d'aire
- L'eficiència tèrmica disminueix quan la inclinació es desvia de la inclinació òptima
- L'absorbidor negre augmenta l'eficiència tèrmica: 70 % amb baixos cabals; 10 % amb alts cabals d'aire

group

Conclusions

- La **producció tèrmica és dominant** en el balança energètic del sistema
- L' **absorbidor negre** produeix una reducció en l'eficiència elèctrica, però un augment en l'eficiència tèrmica, mentre que el reflector blanc produeix l'efecte contrari
- **Majors cabals d'aire** provoquen **augmentos importants** tant en la producció elèctrica com en la tèrmica
- **Desviacions respecte la inclinació òptima** provoquen **reduccions** de l'eficiència tèrmica i elèctrica
- Les condicions d'operació de sistemes FV integrats ventilats són molt diferents de **les condicions STC i NOCT de les normatives**

Conclusions

- La **producció tèrmica és dominant** en el balança energètic del sistema
- L' **absorbidor negre** produeix una reducció en l'eficiència elèctrica, però un augment en l'eficiència tèrmica, mentre que el reflector blanc produeix l'efecte contrari
- **Majors cabals d'aire** provoquen **augments importants** tant en la producció elèctrica com en la tèrmica
- **Desviacions respecte la inclinació òptima** provoquen **reduccions** de l'eficiència tèrmica i elèctrica
- Les condicions d'operació de sistemes FV integrats ventilats són molt diferents de **les condicions STC i NOCT de les normatives**

Conclusions

- La **producció tèrmica és dominant** en el balança energètic del sistema
- L' **absorbidor negre** produeix una reducció en l'eficiència elèctrica, però un augment en l'eficiència tèrmica, mentre que el reflector blanc produeix l'efecte contrari
- **Majors cabals d'aire** provoquen **augments importants** tant en la producció elèctrica com en la tèrmica
- **Desviacions respecte la inclinació òptima** provoquen **reduccions** de l'eficiència tèrmica i elèctrica
- Les condicions d'operació de sistemes FV integrats ventilats són molt diferents de **les condicions STC i NOCT de les normatives**

Conclusions

- La **producció tèrmica és dominant** en el balança energètic del sistema
- L' **absorbidor negre** produeix una reducció en l'eficiència elèctrica, però un augment en l'eficiència tèrmica, mentre que el reflector blanc produeix l'efecte contrari
- **Majors cabals d'aire** provoquen **augments importants** tant en la producció elèctrica com en la tèrmica
- **Desviacions respecte la inclinació òptima** provoquen **reduccions** de l'eficiència tèrmica i elèctrica
- Les condicions d'operació de sistemes FV integrats ventilats són molt diferents de **les condicions STC i NOCT de les normatives**

Conclusions

- La **producció tèrmica és dominant** en el balança energètic del sistema
- L' **absorbidor negre** produeix una reducció en l'eficiència elèctrica, però un augment en l'eficiència tèrmica, mentre que el reflector blanc produeix l'efecte contrari
- **Majors cabals d'aire** provoquen **augmentos importants** tant en la producció elèctrica com en la tèrmica
- **Desviacions respecte la inclinació òptima** provoquen **reduccions** de l'eficiència tèrmica i elèctrica
- Les condicions d'operació de sistemes FV integrats ventilats són molt diferents de **les condicions STC i NOCT de les normatives**

Properes investigacions

- Incloure anàlisi del comportament amb Re molt baixos
- Realitzar els anàlisis per a situacions en convecció natural
- Ampliar els estudis a mòduls d'altres característiques vidre/vidre o mòduls opacs
- Començar els assaigs a escala real (LOT) i incloure l'acoplament amb bombes de calor per a aplicacions en edificis de consum zero (NZEB)

Contact details

International Centre for Numerical Methods in Engineering
(CIMNE)(www.cimne.com)

Building energy and environment Group
(www.cimne.com/beegroup)

Jordi Cipriano: cipriano@cimne.upc.edu

