

Proyecto desarrollado en el Instituto de Física de la Facultad de Ingeniería (2011-2012)

Investigadores

- Dr. Ricardo Marotti, E. Dalchiele
Superficies Selectivas
- Dr. Horacio Failache
Concentrador parabólico lineal
- Dr. Gonzalo Abal (Responsable)
Modelado de radiación solar
- Dr. Pedro Curto (IIMPI)
Modelado de ciclos de potencia
- Dr. José Cataldo (IMFIA)
Red de Medidas de radiación solar

Objetivos generales:

- generación de información sobre el **recurso solar** en Uruguay
- desarrollo de una herramienta para el diseño de **superficies selectivas**
- diseñar, construir y evaluar un primer prototipo de **concentrador solar**

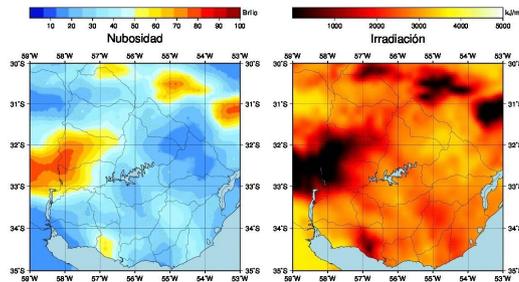
Aplicaciones de Energía Solar Térmica

Primer proyecto vinculado a temas de energía solar ejecutado en el Instituto de Física en más de 20 años ...

3 Equipos de trabajo: (aprox. 20 personas)

Recurso solar (9)

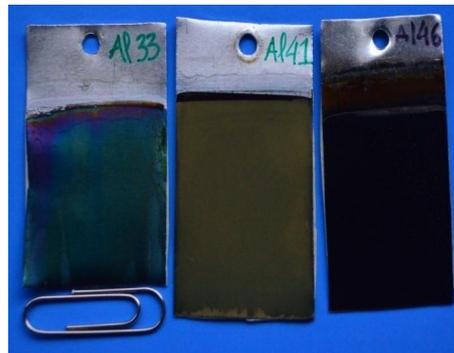
Dr. G. Abal, Dr. J. Cataldo, Dr. P. Musé,
Dr. J.C. Ceballos (INPE), Ing. R. Alonso,
Ing. Ricardo Siri, Ing. M. D'Angelo,
Ing. P. Toscano, Ing. D. Aicardi



Fecha: 02/12/2010 Hora local: 14

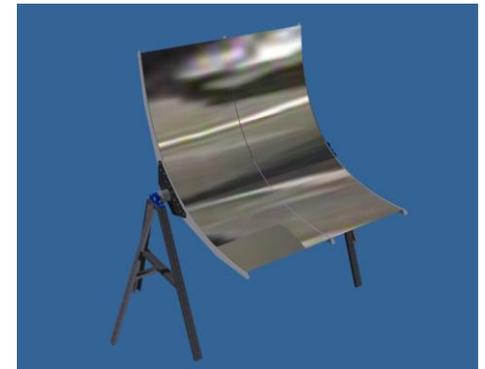
Superficies selectivas (5)

Dr. E. Dalchiele, Dr. R. Marotti
Ing. F. Davoine, Lic. D. Gau,
Lic. L. Amy.



Concentración (7)

Dr. H. Failache, Dr. P. Curto
Antonio Sáez, Ing. N. Laudato,
I. Pelusso, A. Lezama, I. Caggiani



Permitió consolidar tres nuevas líneas y equipos de trabajo que continúan hasta hoy.

Modelado y medida del Recurso solar en el Uruguay



Primeras calibraciones de radiómetros bajo norma ISO 9848 realizadas en la azotea de la Facultad de Ingeniería

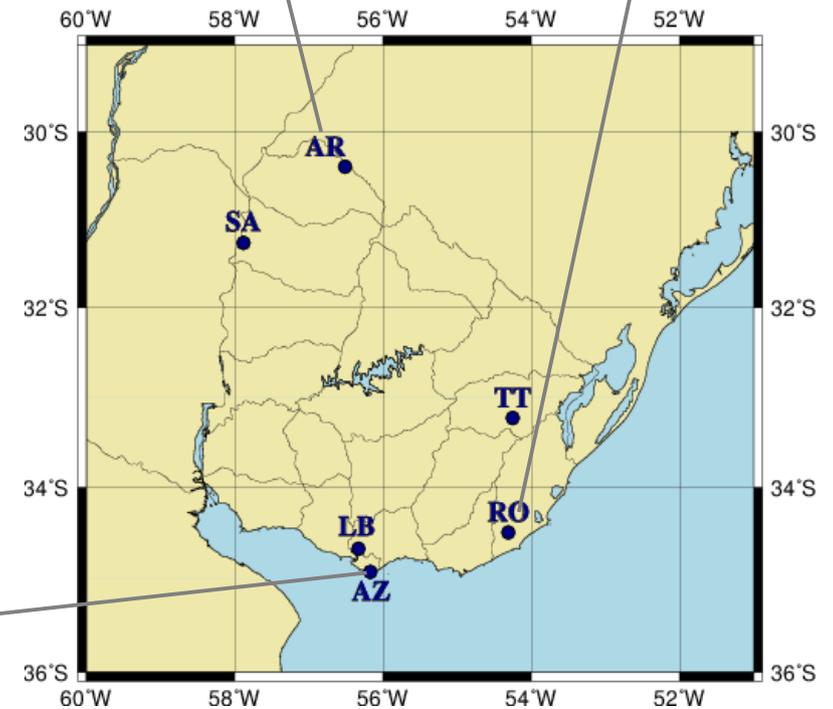
- Consolidación y ampliación (de 3 a 6 puntos) de la red de medidas continuas de superficie mantenida por Facultad de Ingeniería
- Año meteorológico típico para el Sudoeste del Uruguay
- Banco de imágenes satelitales GOES East (2000-actual)
- Modelo de Tarpley mejorado, ajustado con datos de superficie.

Participantes:

Dr. G. Abal, Dr. J. Cataldo,
Dr. P. Musé,
Dr. J.C. Ceballos (INPE),
Ing. R. Alonso,
Ing. Ricardo Siri,
Ing. M. D'Angelo,
Ing. P. Toscano, Ing. D. Aicardi

Red de medidas de radiación solar

- Se mide continuamente (registrando medias a cada minuto) **irradiación solar global sobre plano horizontal**
- Piranómetros Kipp & Zonen CMP6 y CMP11
- Adquisidores **Adq-vx** montados en el IIE/FING y LOGBOX-SD de Kipp & Zonen.
- 6 Estaciones en Uruguay
- Capacidad de calibración de piranómetros (estándar secundario CMP22)



Red de medidas de radiación solar

Hasta 2010, Uruguay prácticamente no contaba con medidas sistemáticas de radiación solar

El Mapa Solar del Uruguay v1 se realiza integrando información histórica con otra más moderna de países vecinos

EVOLUCIÓN

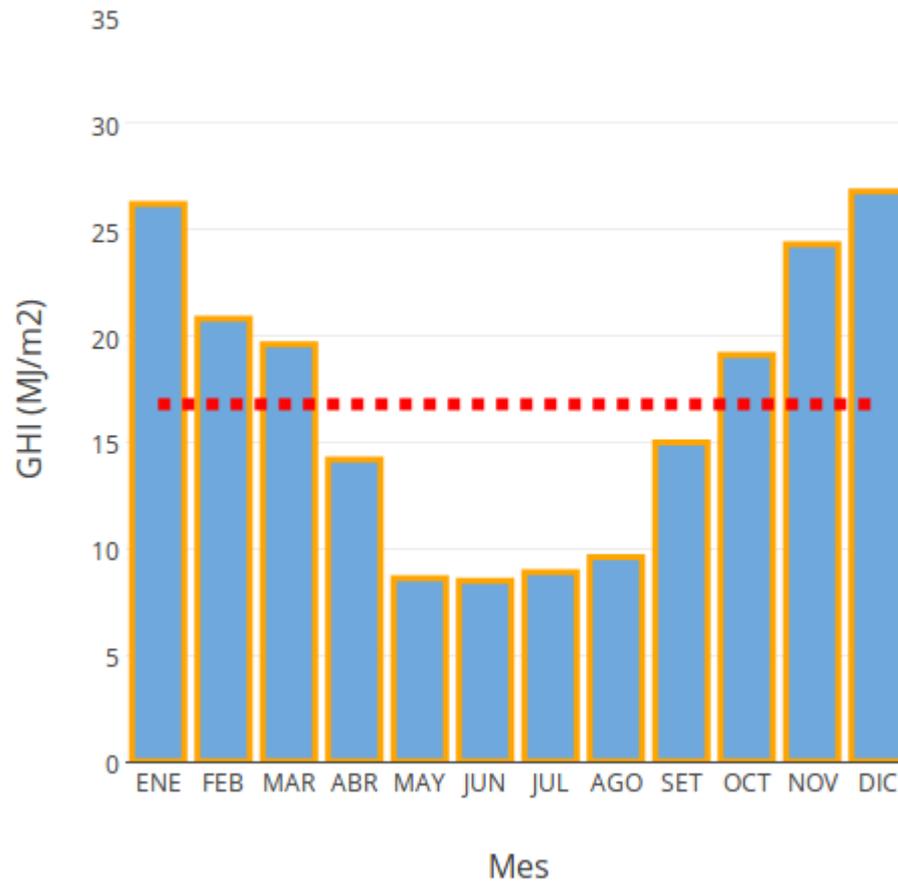
- **2010: Primeros 3 puntos: Las Brujas, Salto, Treinta y Tres**
Convenio MIEM/DNE-FING: Evaluación del potencial solar térmico en Uruguay (Resp. J. Cataldo, V. Nunes): 2008-2010
- **2011-2012: Expansión a 6 puntos: FING, Artigas y Rocha**
Proyecto ANII FSE_2009_10 (Resp. G. Abal)
- **2013: Soporte y mantenimiento de la red**
 - Convenio MIEM/DNE-FING: Mantenimiento de la red de medidas continuas de radiación solar (Resp. G. Abal)
 - Proy. FSE_ANII_10919 (2014-2015) (Resp. G. Abal)
- **2014: Renovación del equipamiento y ampliación de tipos de medidas**
Proyecto ANII FSE_2013_5976 (Resp. G. Abal)
- **2015: Se centraliza administración y mantenimiento de la red en el Laboratorio de Energía Solar/UDELAR (Salto Grande)**



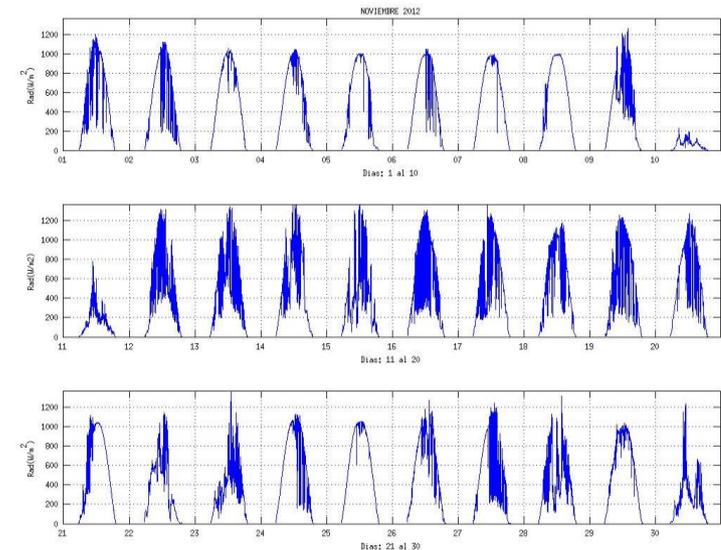
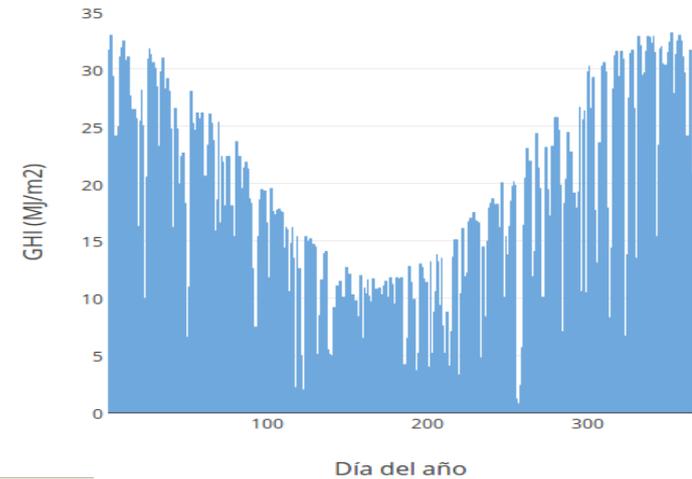
Red de medidas de radiación solar

Totales diarios y otra información generada esta disponible públicamente en el sitio www.les.edu.uy

Irradiación diaria promedio mensual - TT (al 12/2013)



Irradiación diaria anual - 2013 - TT



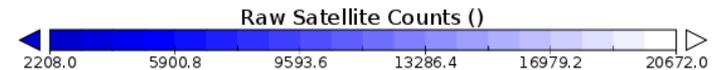
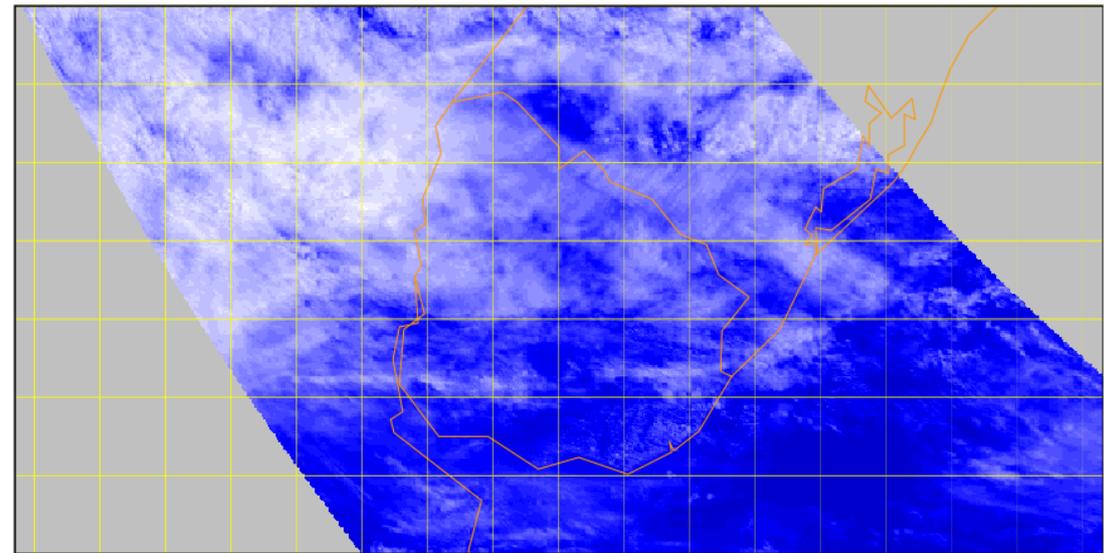
Banco de imágenes GOES (NOAA)

•información sobre **distribución espacial y temporal de la nubosidad**

- Imágenes diurnas año 2000 en adelante
- 5 canales (1 VIS + 4 IR)
- Una imagen cada 30 min aprox.
- Resolución espacial: aprox. 2 km
- Único banco en el país: +100 000 archivos – 10 Tb ...

Raw Satellite Counts

GOES13 - 02.01.2009:1309

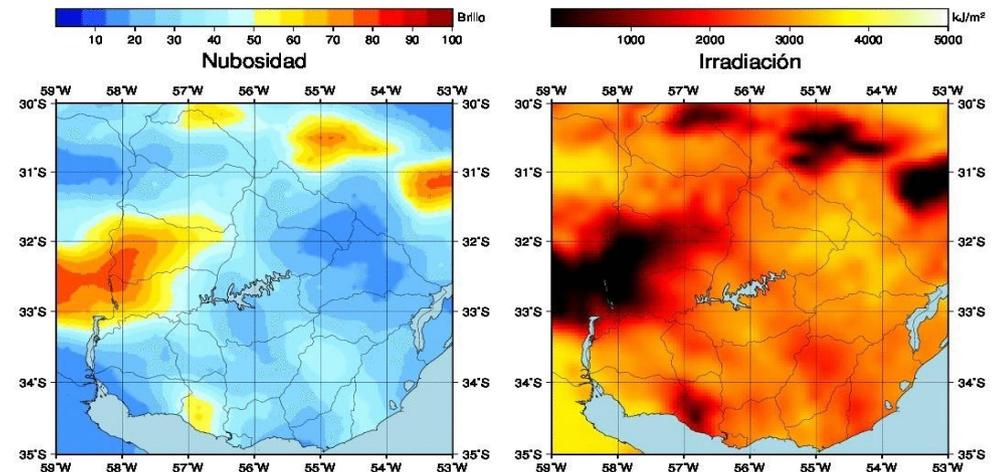


Equirectangular (Regional) projection centered on -56.00°E 32.50°N

Data Min = 2208.0, Max = 20672.0

Modelo de Tarpley mejorado: radiación solar en superficie

- Irradiación global sobre plano horizontal horaria,
- diaria y media mensual
- Resolución espacial: 5 km
- Generar estimativos horarios al 12%,
- diarios al 7 % y promedios mensuales al 2 %
- en cualquier punto del territorio



Fecha: 02/12/2010 Hora local: 14

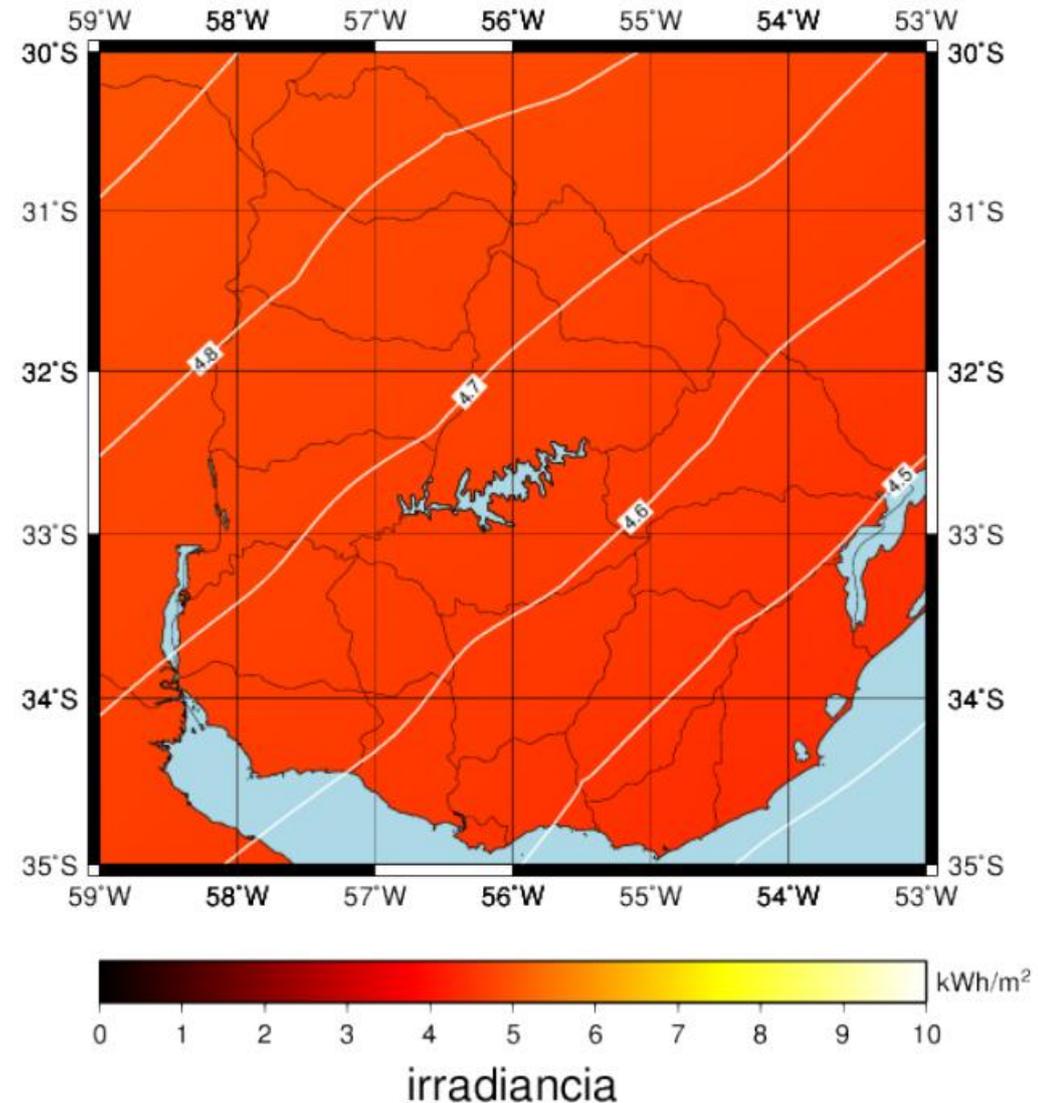
En la actualidad: Mapa Solar del Uruguay - v2

Contar con datos de superficie y modelos validados permite un nuevo Mapa Solar (ahora en fase final de chequeo)

- Disponible en **diciembre 2014**
- Estimativos de radiación solar (media diaria) basados en años de **datos satelitales**
- Resolución espacial de 5 km
- Incertidumbre promedios en torno a 2% (PH)

Contiene información más detallada:

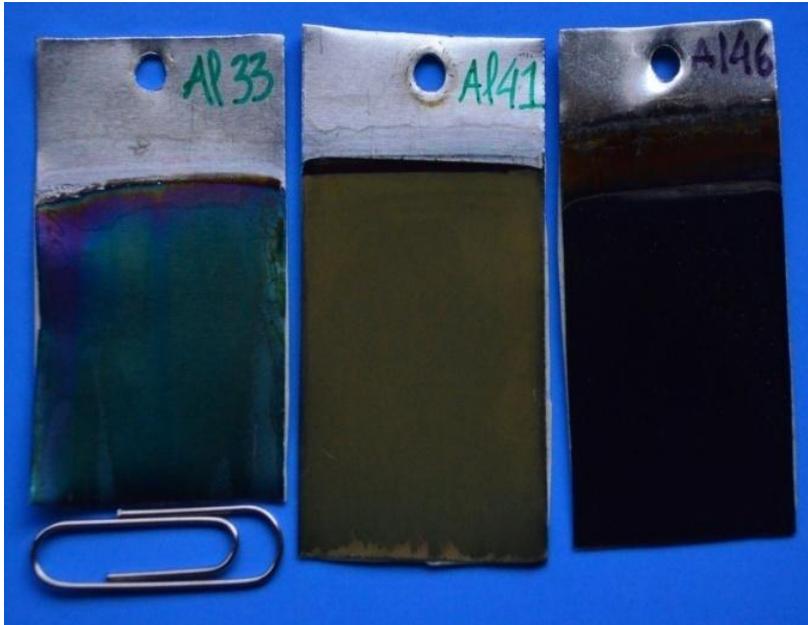
- Irradiación diaria media sobre plano horizontal: global, directa y difusa
- Irradiación diaria media sobre plano inclinado: global, directa y difusa
- Irradiación media en incidencia normal
- (DNI) – para CSP (concentradores)



Media anual: 4.7 kWh/m² (7 % mayor al MSU v1)
RMSE con modelo SSE/NASA: aprox. 1%

Superficies selectivas

Mejoran la eficiencia térmica de dispositivos de captación de energía solar.
Son indispensables en aplicaciones de media y alta temperatura.



Participantes:

Dr. Enrique Dalchiele,
Ing. Federico Davoine,
Daniel Gau, Lucía Amy,
Dr. Ricardo Marotti

Grupo de Física del Estado Sólido
Instituto de Física,
Facultad de Ingeniería

- Preparación y caracterización de superficies selectivas
- Modelado y optimización de las propiedades ópticas de las superficies
- Diseño, preparación y caracterización de la superficie mejorada

Superficies selectivas

Superficies Selectivas
Nanoestructuradas (Inclusiones
metálicas en matrices dieléctricas
nanoporosas) para captación de energía
solar preparadas por métodos
electroquímicos.

Surface & Coatings Technology 204 (2010) 2197–2201



Contents lists available at ScienceDirect

Surface & Coatings Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/surfcoat



Origin of solar thermal selectivity and interference effects in nickel–alumina nanostructured films

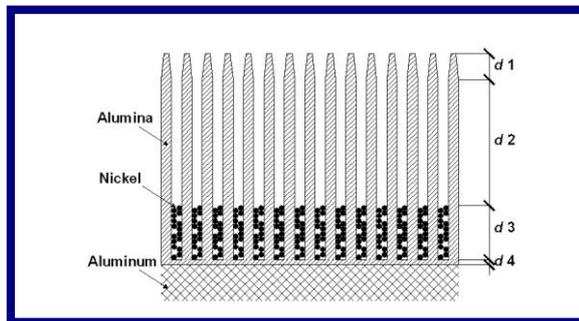
P.A. Galione^a, A.L. Baroni^b, J.R. Ramos-Barrado^c, D. Leinen^c, F. Martín^c, R.E. Marotti^{d,*}, E.A. Dalchiele^d

^a Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial, Facultad de Ingeniería, J. H. y Reissig 565, CC 30, CP 11000, Montevideo, Uruguay

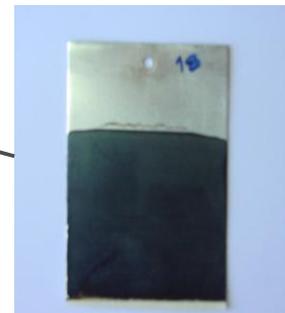
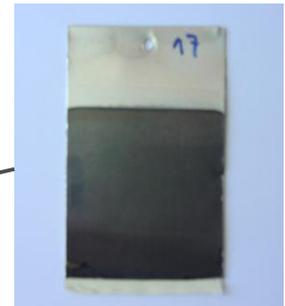
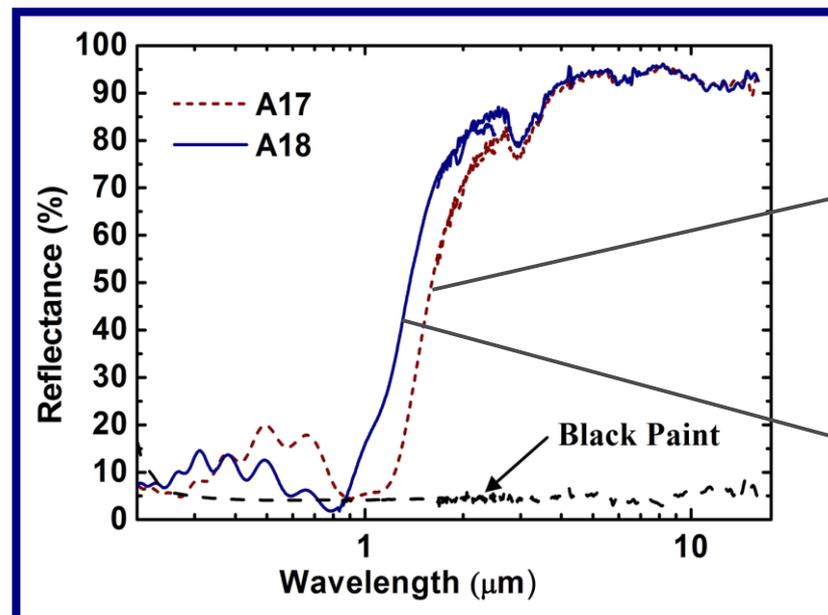
^b Tiempo S.R.L., Perseverancia 5093, Montevideo, Uruguay

^c Laboratorio de Materiales y Superficie (Unidad Asociada al CSIC), Departamentos de Física Aplicada & Ingeniería Química, Universidad de Málaga, Málaga, Spain

^d Instituto de Física, Facultad de Ingeniería, J. H. y Reissig 565, CC 30, CP 11000, Montevideo, Uruguay



Absortancia VIS ~ 82 %
Emitancia IR ~ 7 %



Modelo para predecir propiedades ópticas



Available online at www.sciencedirect.com

SciVerse ScienceDirect

Solar Energy 91 (2013) 316–326

SOLAR ENERGY

www.elsevier.com/locate/solener

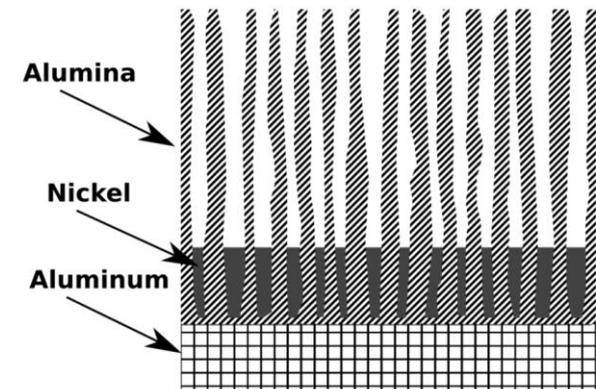
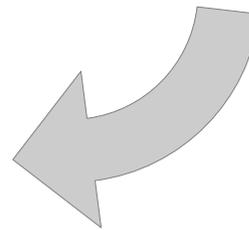
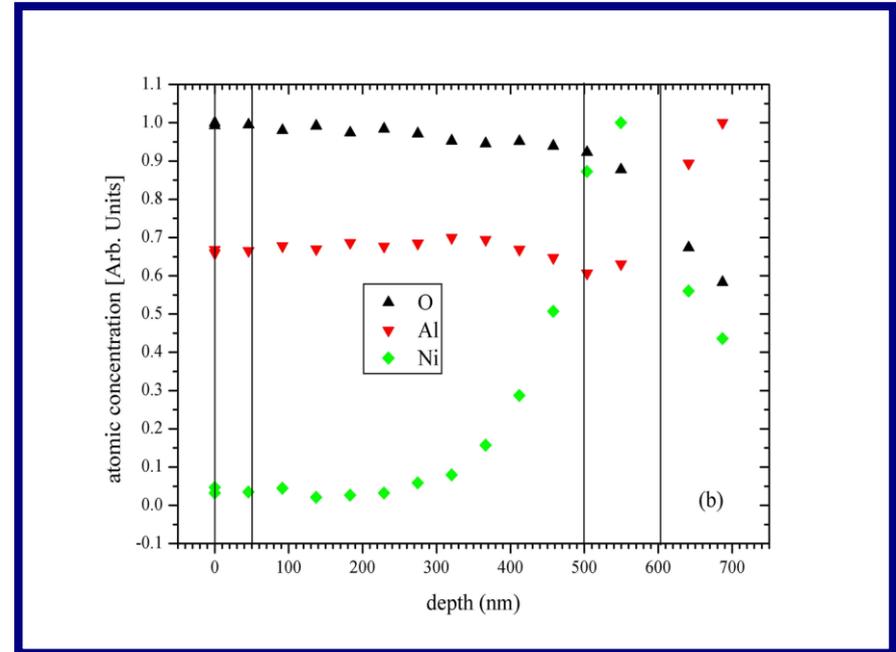
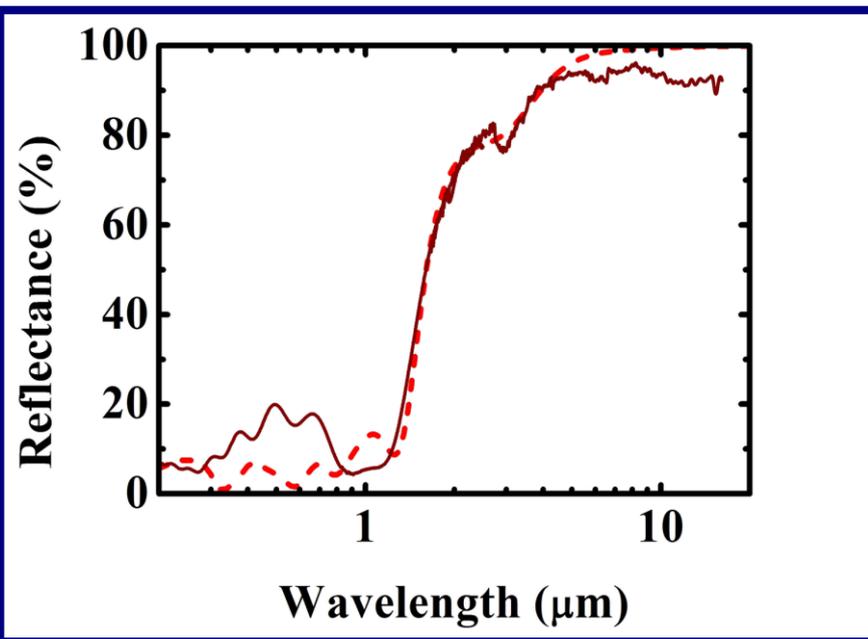
Modeling of gradient index solar selective surfaces for solar thermal applications

F. Davoine^{a,*}, P.A. Galione^b, J.R. Ramos-Barrado^c, D. Leinen^c, F. Martín^c,
E.A. Dalchiele^a, R.E. Marotti^a

^aInstituto de Física and CINQUIFIMA, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República J. H. y Reissig 565, CC 30, CP 11000, Montevideo, Uruguay

^bInstituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial, Facultad de Ingeniería, J. H. y Reissig 565, CC 30, CP 11000, Montevideo, Uruguay

^cLaboratorio de Materiales y Superficie (Unidad Asociada a CSIC), Departamentos de Física Aplicada & Ingeniería Química, Universidad de Málaga, Málaga, Spain

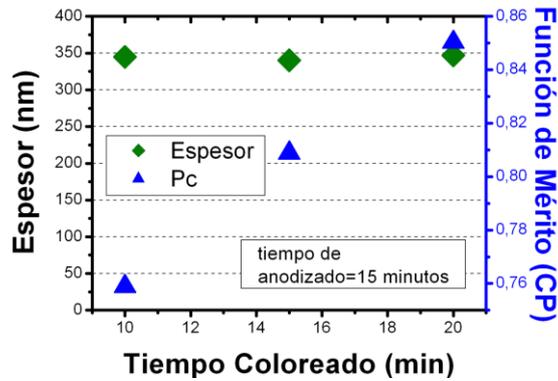
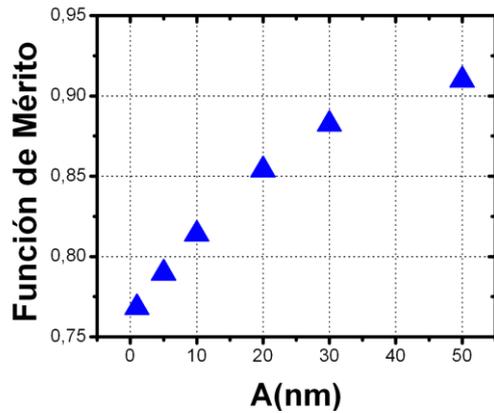


Herramienta para el diseño y preparación de superficies mejoradas

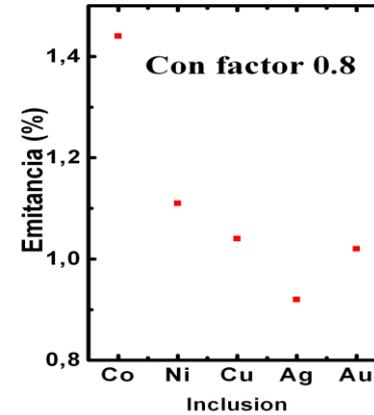
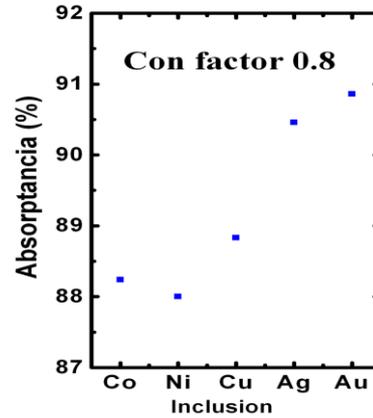
Aumento contenido de Ni:

Simulación y Resultados

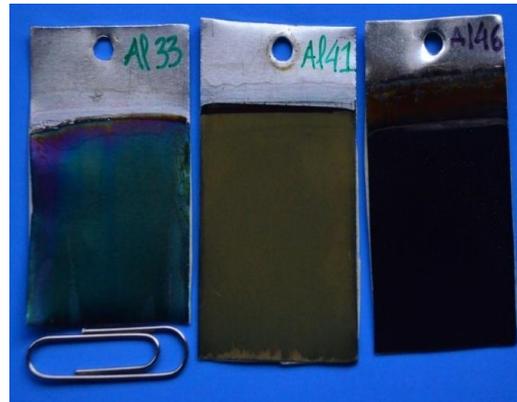
Función de Mérito: $\alpha - 0.5 \varepsilon$



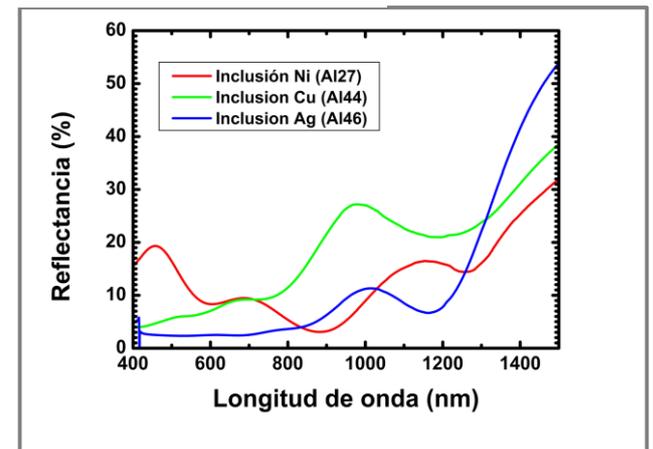
Aumento de Absorptancia con inclusión.



| | | | | | |
|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
| 27 | 2,3 | 28 | 2,3 | 29* | 2,1 |
| 58,93 | Co | 58,69 | Ni | 63,54 | Cu |
| | cobalto | | níquel | | cobre |
| 45* | 3,2,4 | 46* | 2,4 | 47* | 1 |
| 102,9 | Rh | 106,4 | Pd | 107,9 | Ag |
| | rodio | | paladio | | plata |
| 77 | 4236 | 78* | 4,2 | 79* | 3,1 |
| 192,2 | Ir | 195,1 | Pt | 197 | Au |
| | iridio | | platino | | oro |



α : 0.85 0.84 0.90

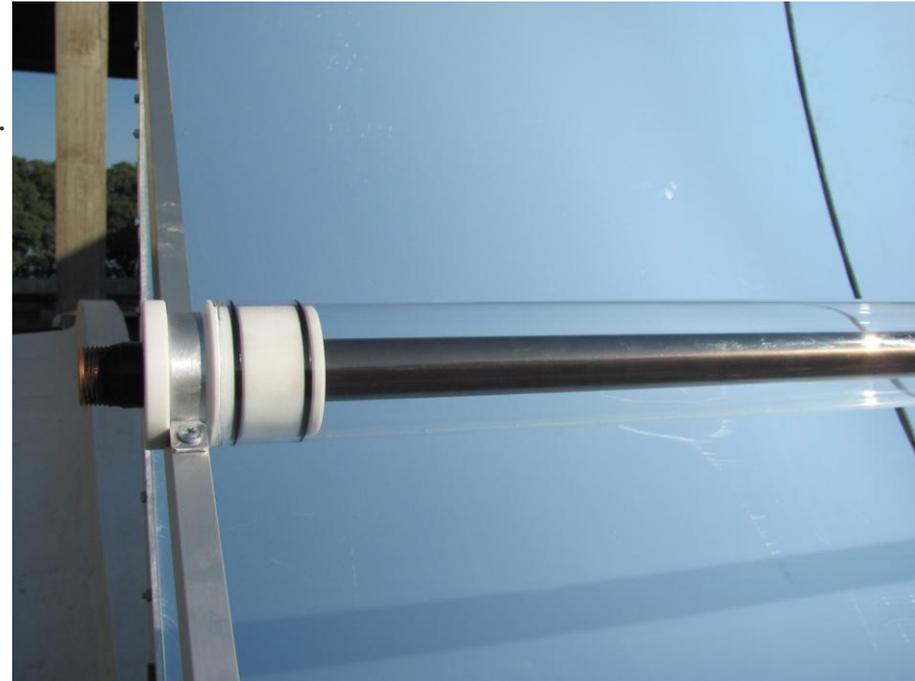
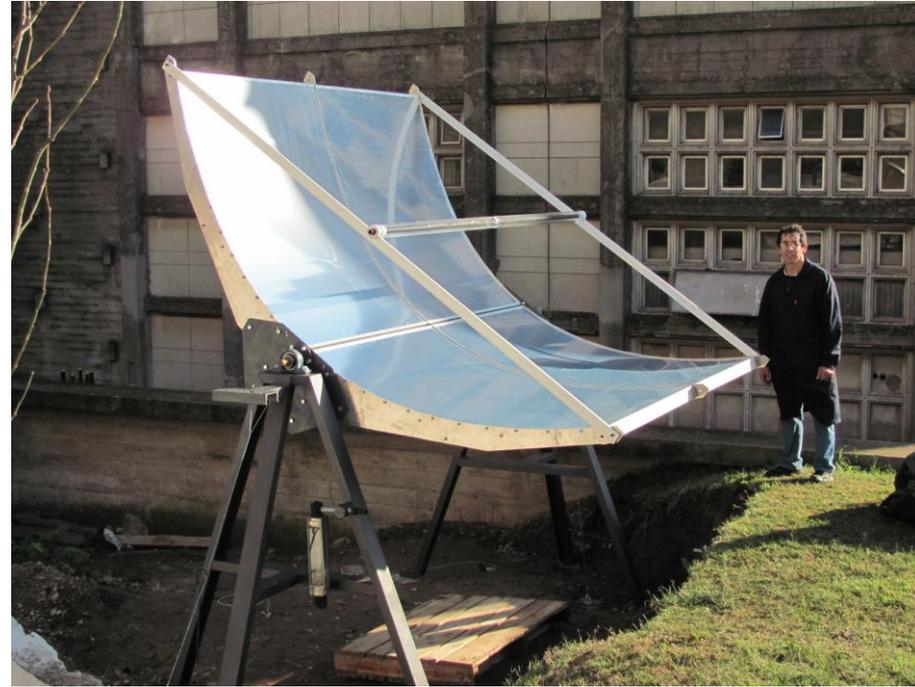


Concentrador solar

Participantes: Dr. Horacio Failache,
Antonio Saez, Ignacio Pelusso, Arturo Lezama (h), Ivo Caggiani,
Ing. Nicolás Laudato.

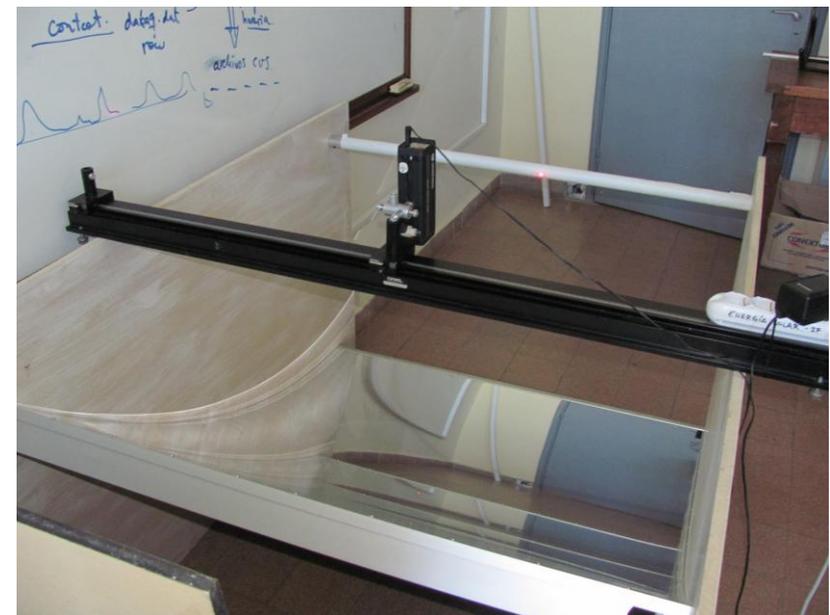
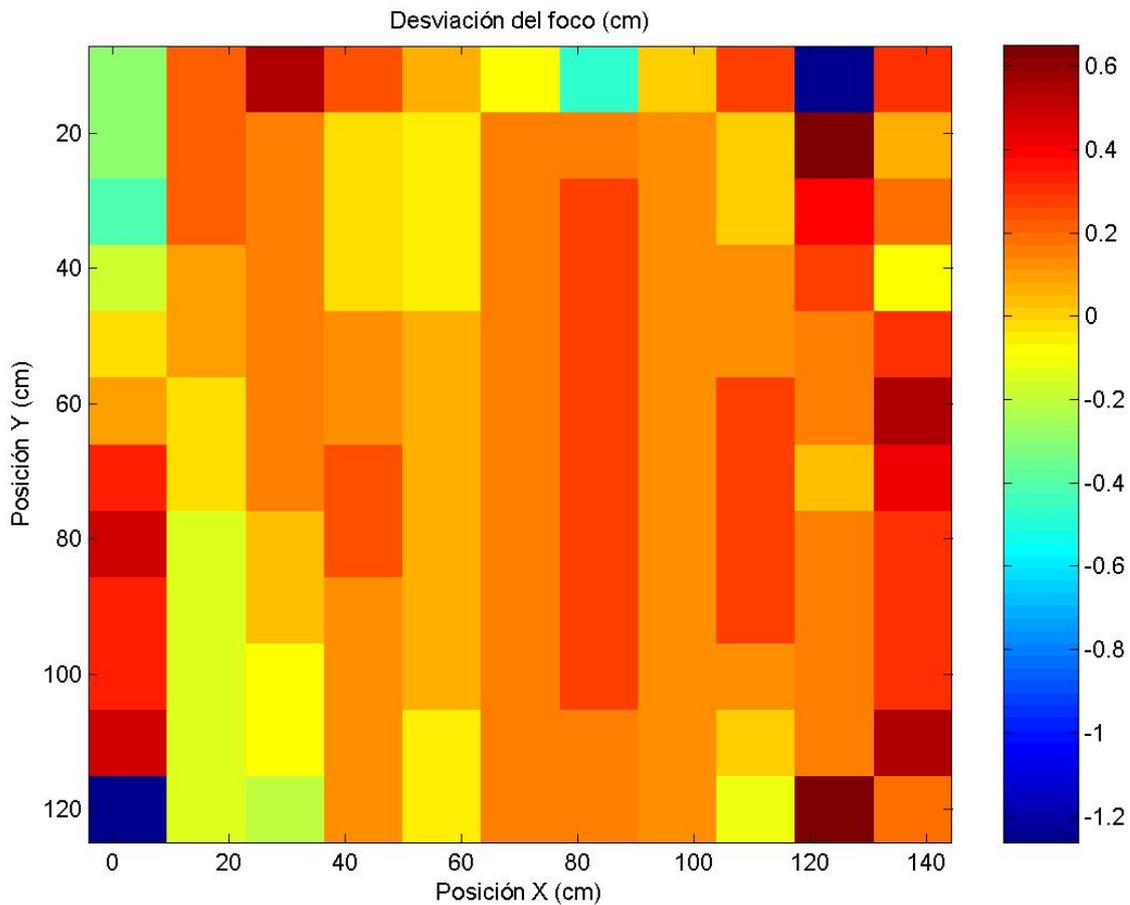
Objetivos

- Desarrollo de tecnología nacional.
- Reducción de costos (prioridad).
- Máxima eficiencia:
 - Optimización de la óptica (espejo) : máxima relación de concentración
 - Colector: reducción de pérdidas, máxima absorción (superficie selectiva).
- Adaptación a las capacidades locales de producción.
- Evaluación en clima del Uruguay.
- Transferencia tecnológica a la industria (?)



Construcción del prototipo CUR-1

- Proceso de producción simple: no se requiere mano de obra especializada.
- Razón de concentración $C=185$ (laboratorio)
- Muy bajo costo.
- Mínima dependencia tecnológica.

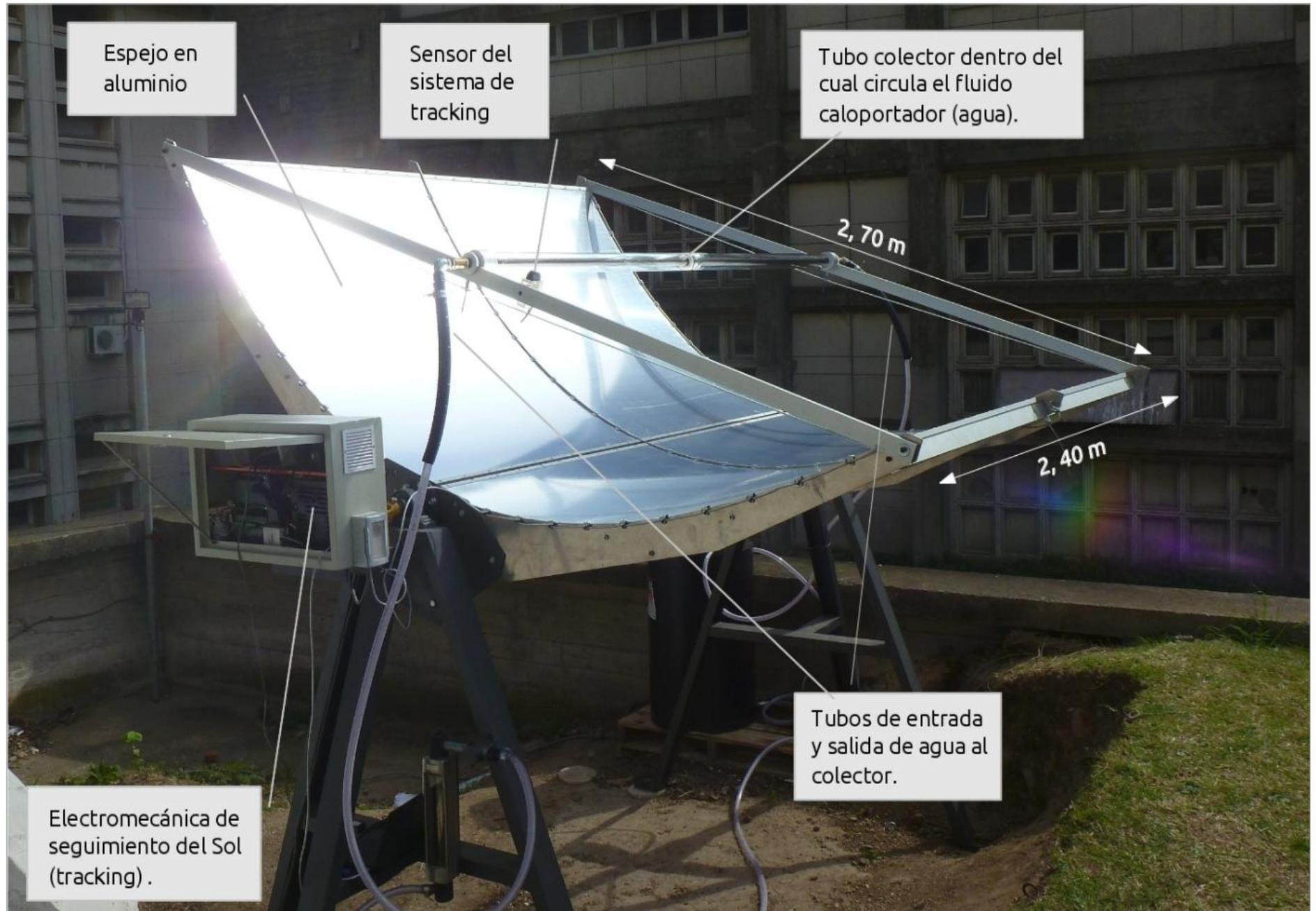


Características técnicas CUR-1

- Construcción simple (“mecano”), estructura modular.
- Colector en cobre con superficie selectiva y cobertura de
- Costo material aprox. U\$S 1500 /mod.
- Apertura: 3,4 m²/mod.
- Diámetro del tubo absorbedor: 28 mm
- Potencia térmica media en enero:
14.4 kW/mod/día
(eficiencia proyectada = 0,55)
- Orientación eje: N-S. Sistema de tracking con control activo por PC (±1°)



CUR-1



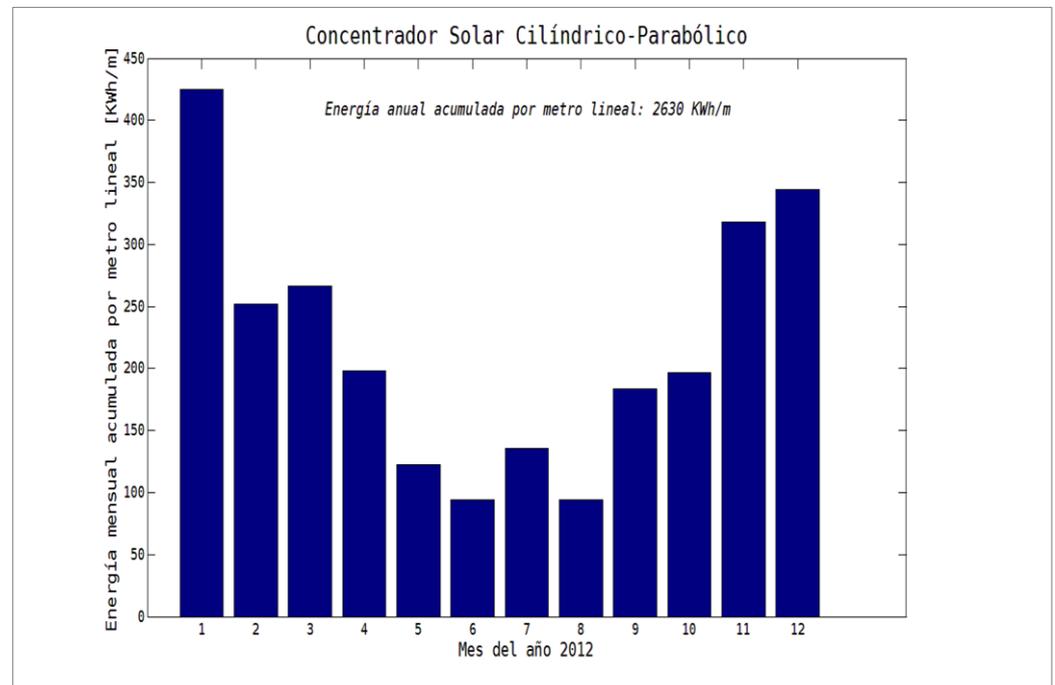
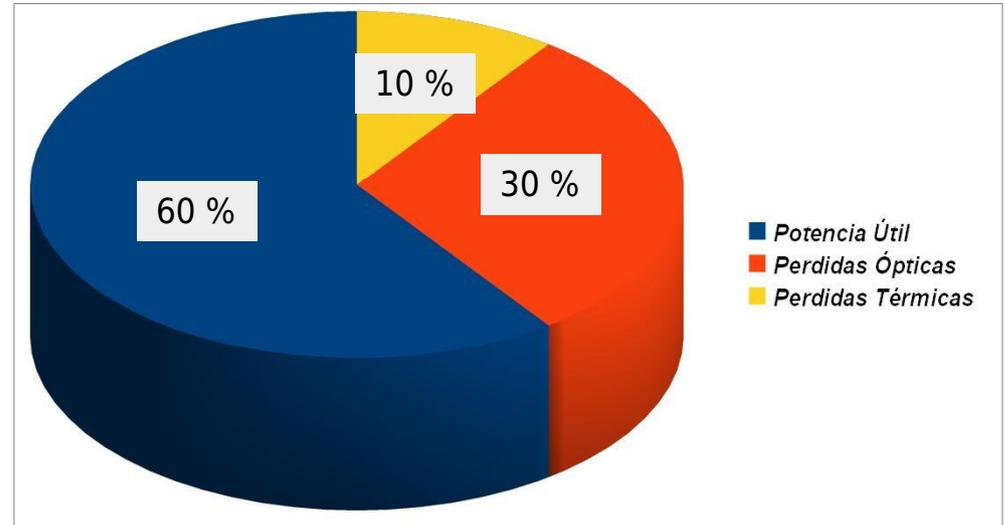
CUR-1: evaluación preliminar (2012)

Energía anual acumulada :
2,6 MWh/m
(en Montevideo, año 2012)

Próximos pasos (2014-2015):

Proy. ANII-FSE_2013_10649
(Resp. Dr. Italo Bove)

- Construir prototipo mejorado **CUR-2**
- Caracterizar su eficiencia térmica en régimen
- Evaluar ambos prototipos durante un año en condiciones reales (LES/ Salto Gande)
- Simulación detallada (TRNSYS)
- Análisis económico



El Proy FSE_2009_10 Desarrollo de Aplicaciones de Energía Solar Térmica:

.Ayudó a consolidar tres líneas de trabajo en energía solar en el IF/FING

- .Medida y modelado de radiación solar
- .Diseño y caracterización de superficies selectivas
- .Prototipo de concentrador solar parabólico lineal

.Formación de RRHH

- .El equipo de trabajo dictó el **Curso de Posgrado** “Fundamentos de Energía Solar” (maestría en Ingeniería de la Energía) en 2010, 2012 y 2014 (34 inscriptos).
- .Participaron en el proyecto varios **estudiantes** de grado, pasantes de iniciación a la investigación y estudiantes de posgrado (un doctorado, dos maestrías).
- .Dictado de **curso de capacitación para técnicos** instaladores de energía solar (2013)

.Producción:

- .**3 publicaciones en revistas** arbitradas (ver les.edu.uy)
- .**varias publicaciones y presentaciones en congresos** regionales e internacionales.

.Continuación:

- .Proy. **ANII FSE_2011_5976, FSE_2013_10919 y FSE_2013_10649** dan continuidad a estas líneas de trabajo.
- .Proyecto UDELAR/MIEM/LATU de creación del **Laboratorio de Energía Solar** en Salto:
 - capacidad de **ensayo bajo norma de eficiencia de colectores solares y sistemas compactos**
 - **calibración bajo norma de piranómetros y de sensores de temperatura**

Muchas gracias!



LABORATORIO DE
ENERGÍA SOLAR
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA



26.08.2014 16:18