

IV ISES – CLA - XVII SPES  
Cusco, 1 – 5 de noviembre 2010

# ¿LOS “MUROS TROMBE” SIRVEN EN EL PERU?

Natividad Alvarado Juan  
Ocupa Florián Daniel  
Manfred Horn

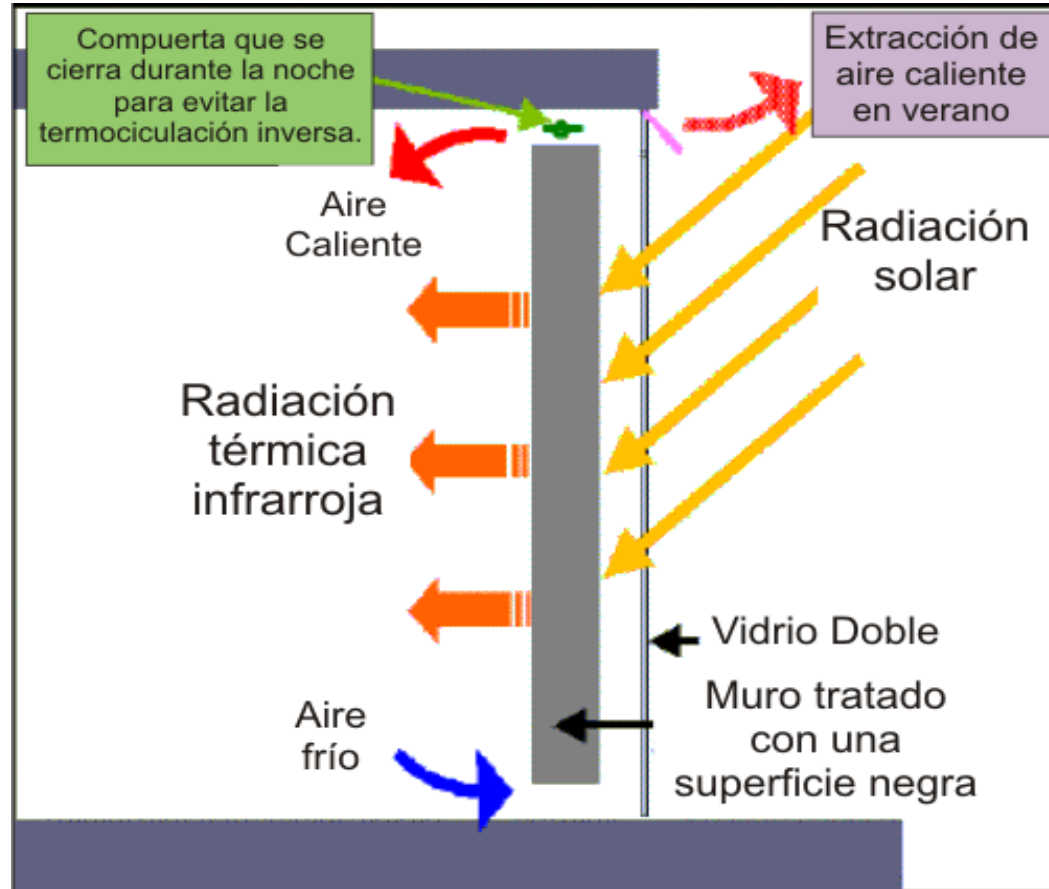


Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ciencias  
Lima, Perú

# INTRODUCCIÓN

- ¿Qué es un “muro Trombe”?
- ¿Cómo funciona?
- ¿Para que sirve?

# ¿Qué es un “muro Trombe”?



Fuente: [www.outilssolaires.com/Glossaire/pop-Trombe.htm](http://www.outilssolaires.com/Glossaire/pop-Trombe.htm)

El “muro Trombe” sirve para calentar un ambiente de una casa, aprovechando la energía solar absorbida en una pared externa, protegida por una cobertura transparente

# Muro Trombe instalado en una casa Francesa (Lat. 48°)

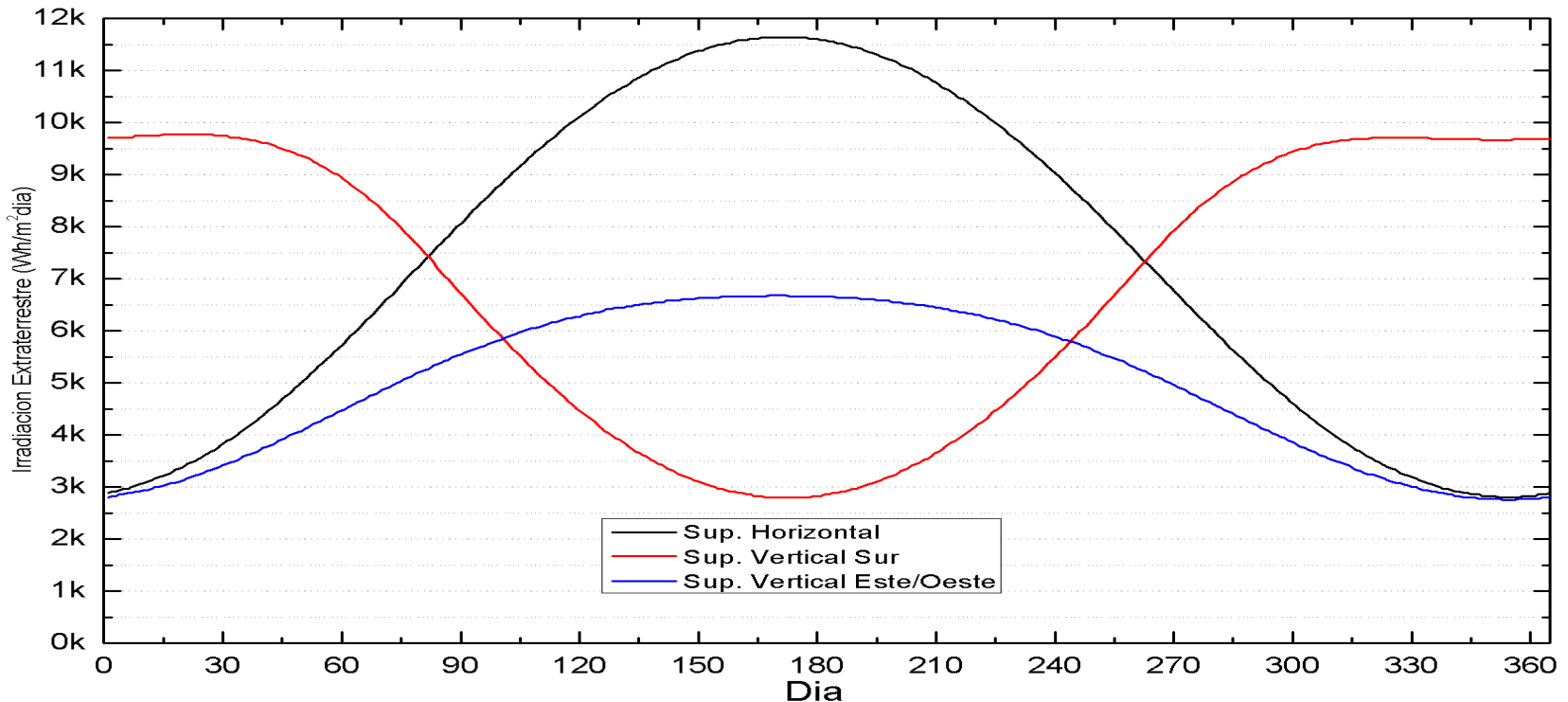


París – Francia Fuente: <http://www.construiresolaire.com>

**Se observa como el sol incide sobre el “muro Trombe” (cuadrado negro)  
(pared al sur, hemisferio norte, Lat. 48 )**

# Irradiación solar extraterrestre diaria anual Montreal – Canadá Lat. 45

Variación Anual de la Radiación Extraterrestre (Latitud = 45°N)



Fuente: M. Iqbal, "An Introduction to Solar Radiation", Academic Press

Para la lat. 45 norte, la irradiación solar sobre una pared sur es durante el invierno (octubre - marzo) mayor, en comparación con la radiación sobre una pared de cualquier otra orientación, justificando un "muro Trombe" en esta pared

# Muros Trombe en el Perú



Puno. Fuente: [www.andina.com.pe](http://www.andina.com.pe)

**Se observa que la pared con el “muro Trombe” (pared norte) está en sombra**

- Para mitigar las bajas temperaturas en las casas rurales en la sierra del Perú, SENCICO (\*) implementó “muros Trombe” ( 2008 - 2009).
- Posteriormente se generaron dudas y críticas a este proyecto, se manifiestan fallas en los sistemas construidos por diferentes factores.
- En particular, se observó: Mala ubicación del muro, materiales ineficientes para almacenar el calor, poca radiación solar que incide en el muro.

(\*) SENCICO: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, una institución del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

# Principales causas de la falla de un “muro Trombe”

- La radiación solar que llega a la pared es poca.  
(Ubicación inadecuada del “muro Trombe”)
- Una construcción ineficiente del “muro Trombe”.

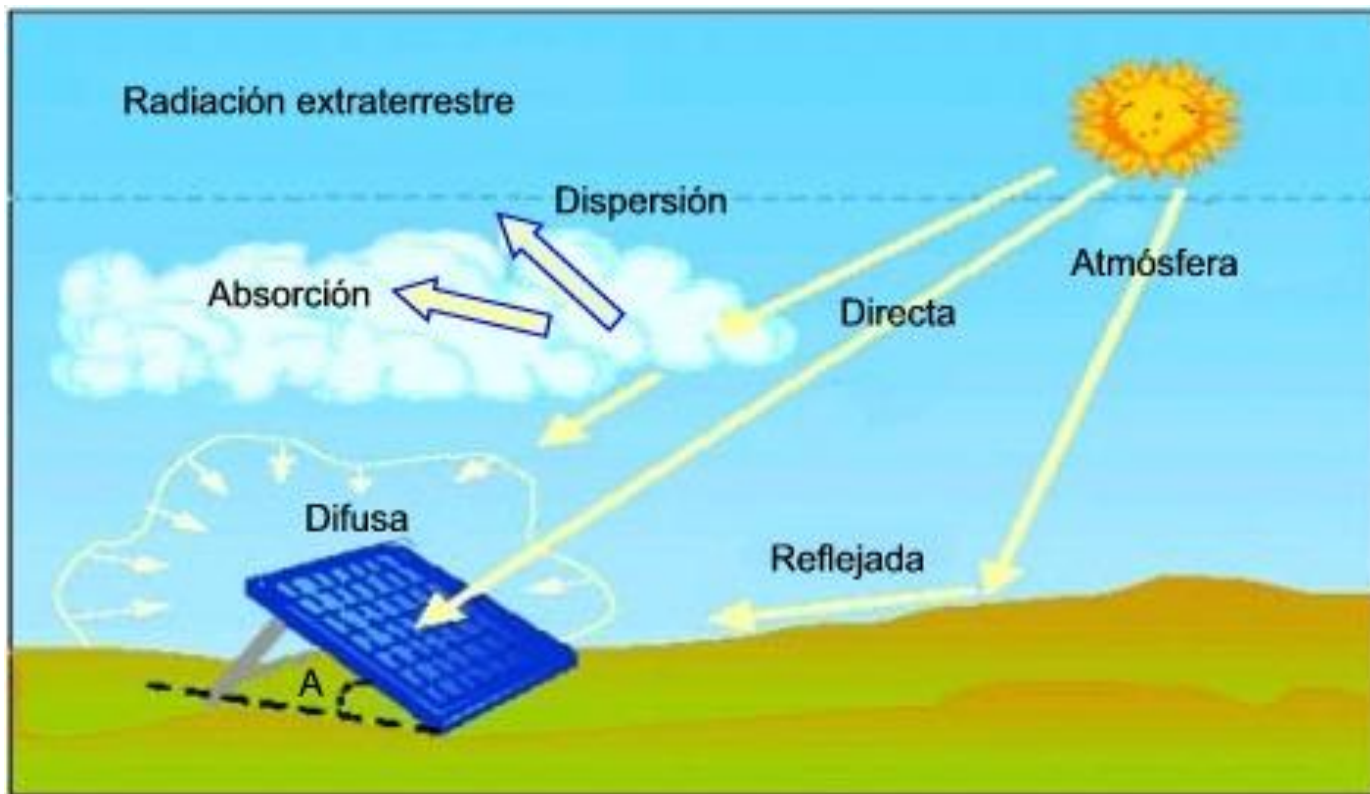
# FUNDAMENTO TEORÍCO

En el presente trabajo se evaluó la radiación solar que incide sobre paredes de diferentes orientaciones y en latitudes del sur del Perú, basándose mayormente en las formulas indicadas en el libro de M. Iqbal (\*)

(\*) M. Iqbal, An Introducción to Solar Radiation, Academic Press, 1983

# Radiación Solar Incidente

Radiación solar directa, difusa y albedo.



Fuente: [ampliadas2ciencia.blogspot.com](http://ampliadas2ciencia.blogspot.com)

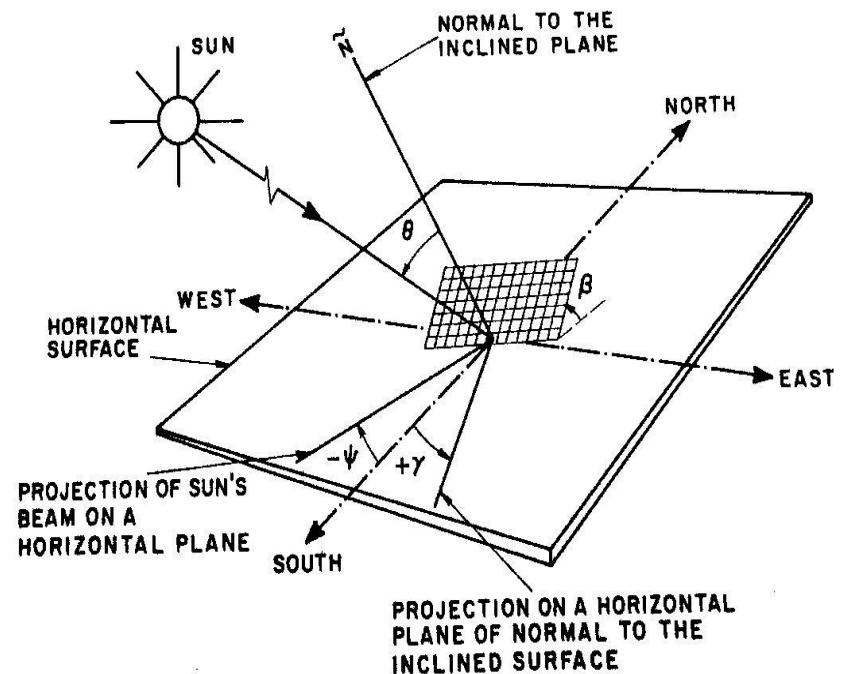
# Calculo de la energía

La energía que recibe una superficie de  $1 \text{ m}^2$ , durante un día se calcula con la siguiente formula:

$$E = \int_{t-}^{t+} I_n \cos(\theta) dt$$

$\theta$  : Ángulo de incidencia, formado entre la normal a la superficie y los rayos solares.

$I_n$  : Radiación Solar Directa ( $\text{W}/\text{m}^2$ )



Posición del sol relativo a un plano inclinado.  
Fuente: Iqbal, An Introduction Solar Radiation

# Irradiancia directa en cielo despejado

$$I_n = 0.9751 I_{ext} \tau_r \tau_o \tau_g \tau_w \tau_a$$

$\tau_r$  es la transmitancia por Rayleigh.

$\tau_o$  es la transmitancia por ozono.

$\tau_g$  es la transmitancia de los gases mezclados uniformemente.

$\tau_w$  es la transmitancia por vapor de agua.

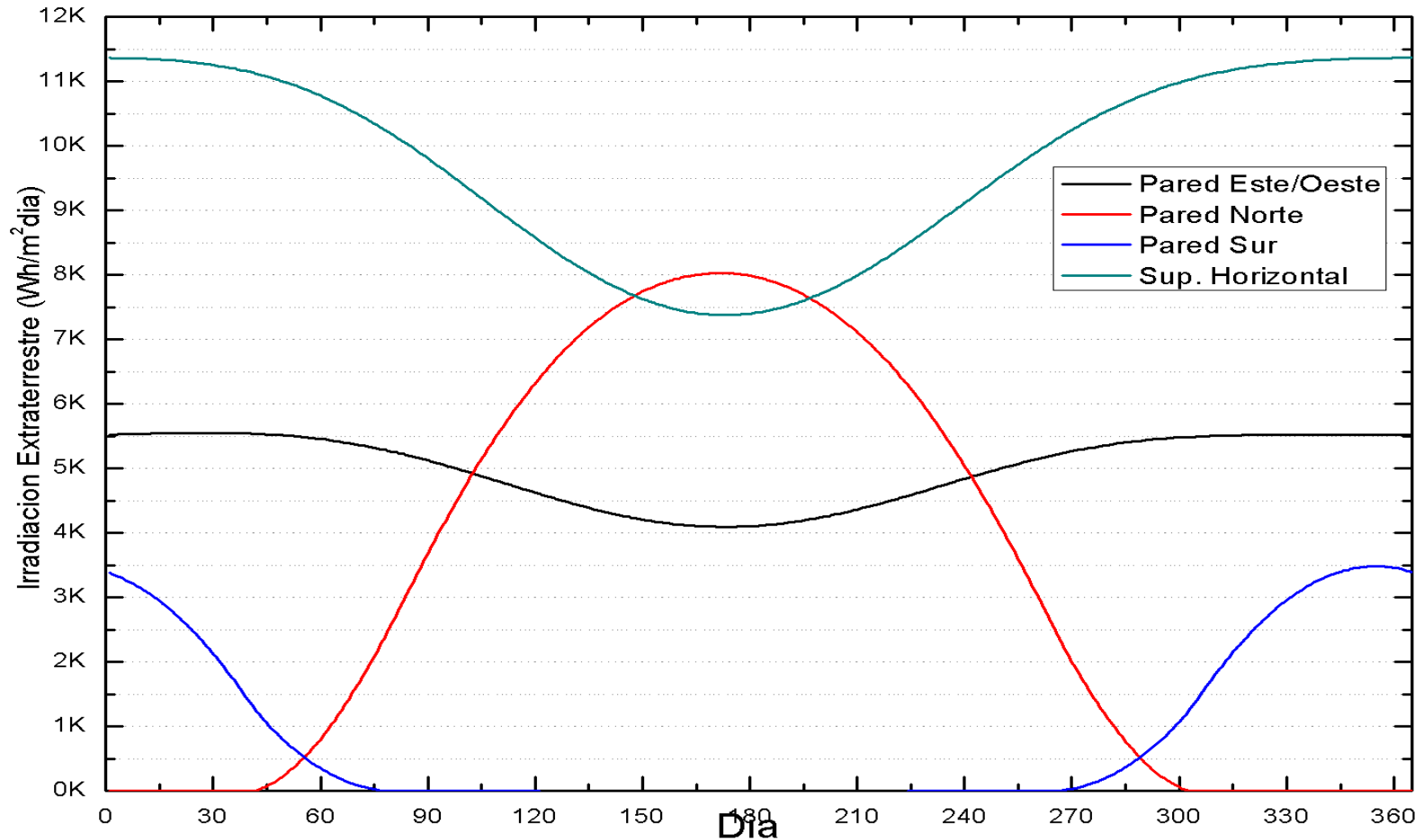
$\tau_a$  es la transmitancia por aerosoles.

Modelo de Parametrización basado en los estudios de Bird y Hulstrom [M. Iqbal, An Introduction to Solar Radiation]

# RESULTADOS

En los siguientes gráficos se presentan los resultados de los cálculos, para todos los días del año, de la radiación solar incidente durante un día sobre planos de diferentes orientaciones (en Wh/m<sup>2</sup>día) para la latitud 15 sur (Puno), para las condiciones extraterrestre, terrestre ( a 4000 m de altura, Puno) y atrás de un vidrio (caso de los “muro Trombe” ).

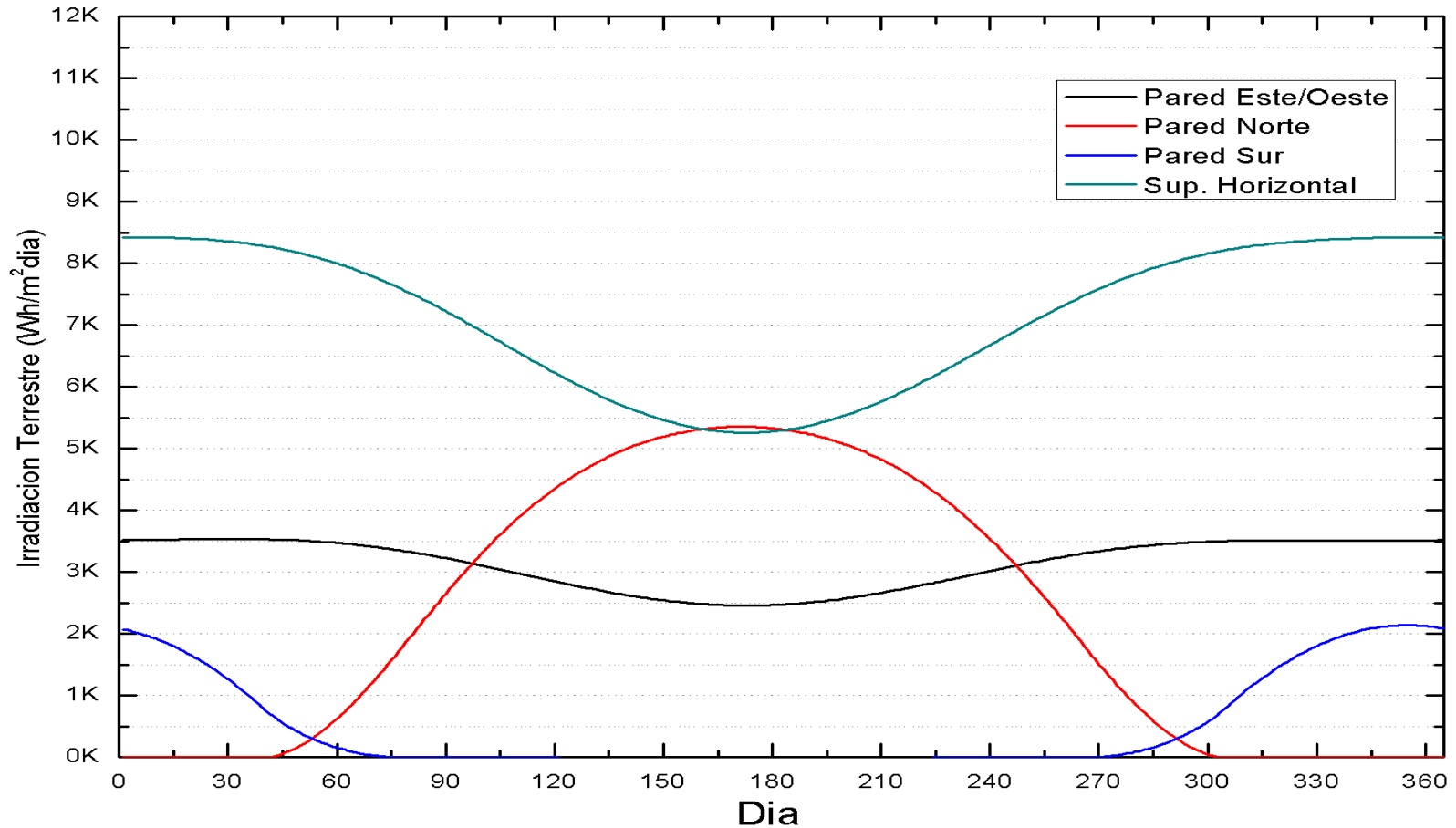
# Radiación extraterrestre



La radiación solar extraterrestre diaria, para todos los días de un año, para la lat. 15° sur (Puno)

Se observa que la radiación solar sobre una pared al norte es solamente durante poco tiempo del año mayor que sobre una superficie horizontal

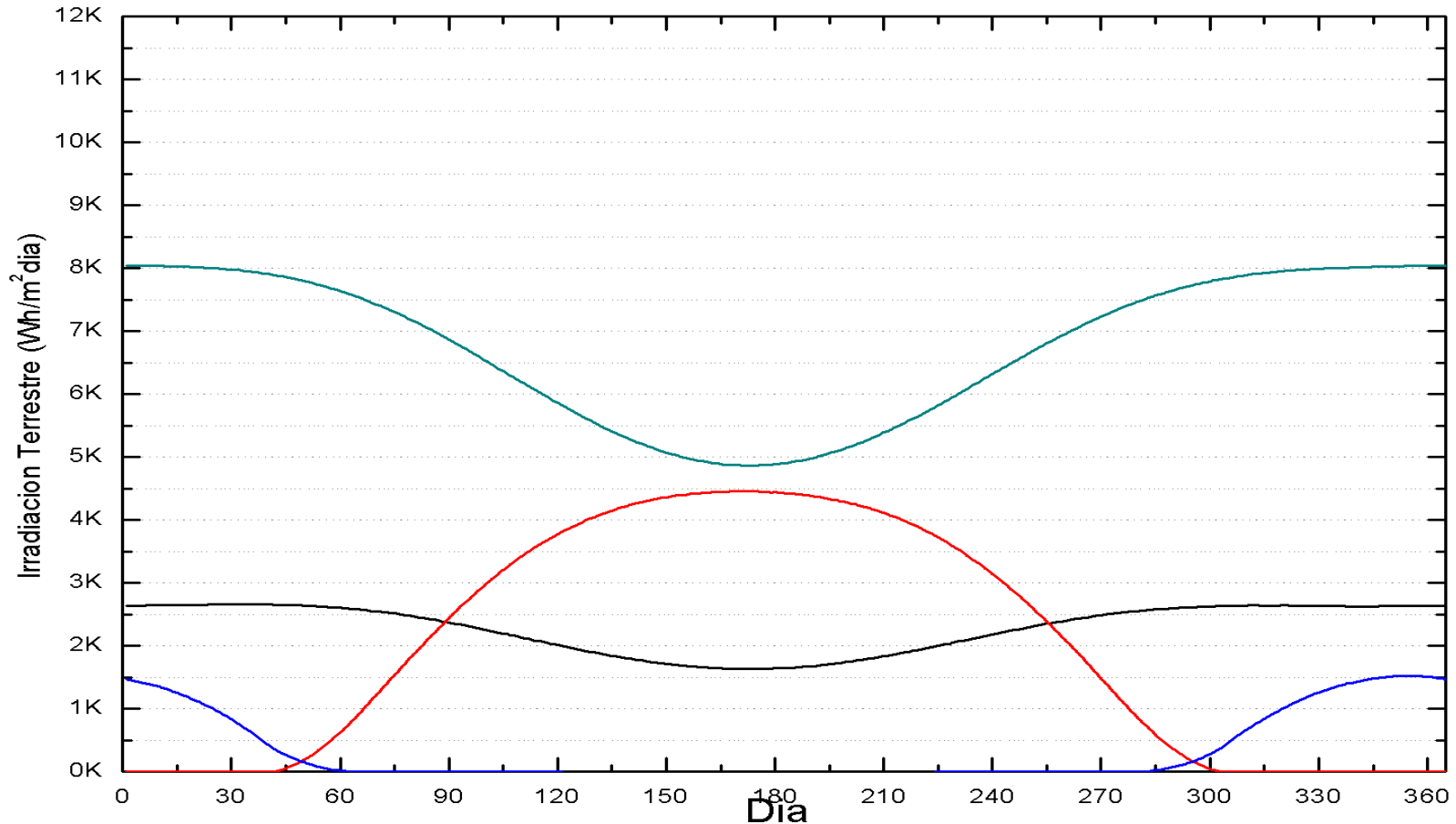
# Radiación terrestre



La radiación solar terrestre directa diaria, para todos los días de un año, en Puno (lat. 15°, altitud 4000 msnm)

Se observa la absorción de la radiación solar en la atmósfera, al comparar estos datos con los del gráfico anterior

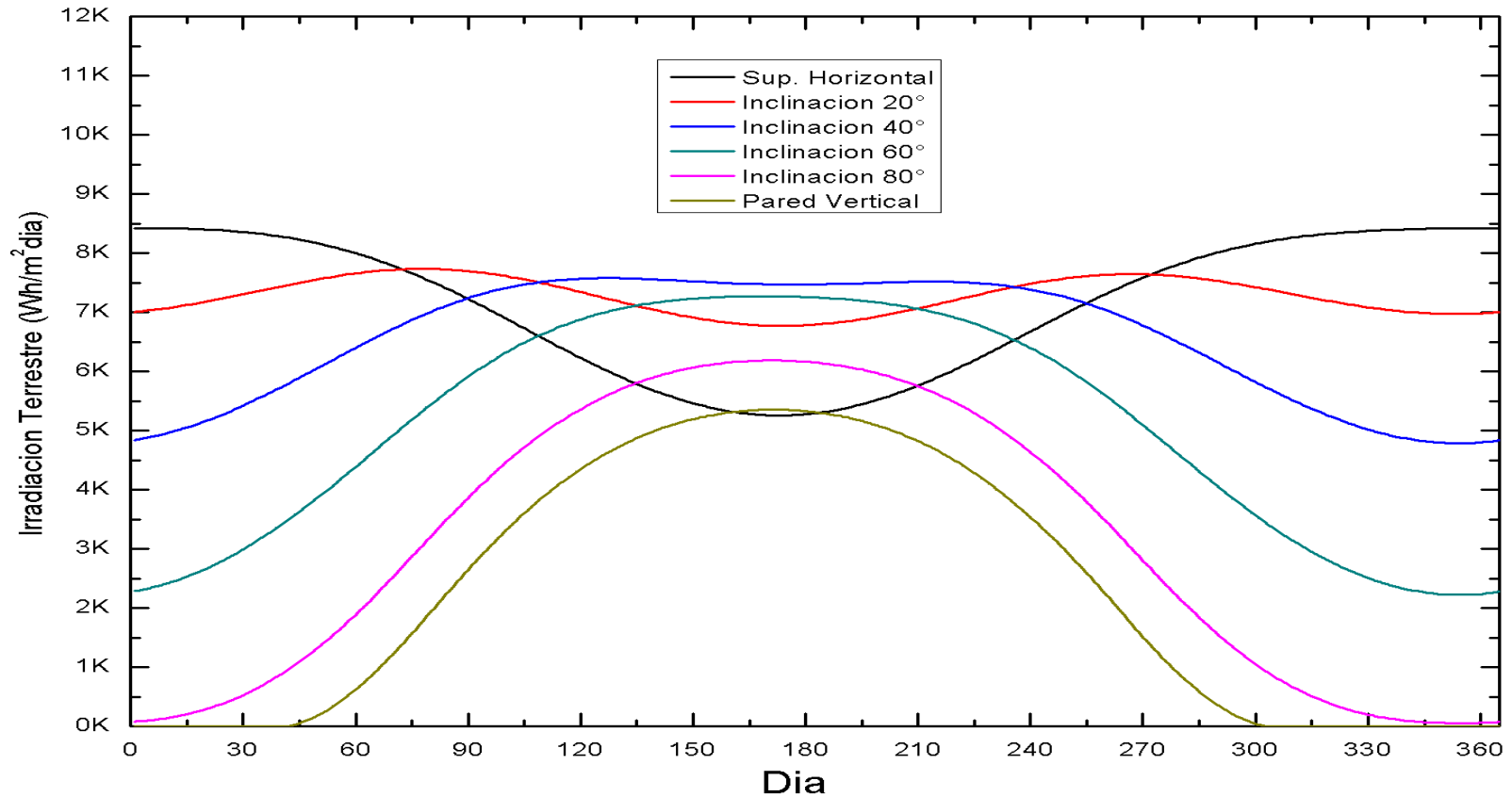
# Radiación solar terrestre atrás de un vidrio



La radiación solar terrestre directa diaria, después de haber pasado por un vidrio, para todos los días de un año, en Puno (lat. 15°, altitud 4000 msnm)

Debido a la reflexión parcial de la luz en el vidrio (depende del ángulo de incidencia), se observa una disminución mayor de la radiación en la pared norte. Una superficie horizontal recibe más radiación que una pared norte durante todo el año.

# Radiación terrestre en superficies inclinadas



La radiación solar terrestre directa diaria, incidente en una superficie mirando al norte y con una inclinación con respecto a la horizontal, para todos los días de un año, en Puno (lat. 15°, altitud 4000 msnm)

Para captar más energía solar durante todo el año, se observa que la mejor orientación es una superficie (techo) inclinada 0 – 40 hacia el norte

# CONCLUSIONES

- Los “muros Trombe” en paredes verticales (incluyendo mirando al norte) tienen poca utilidad en el Perú, debido a la limitada radiación solar incidente sobre estas paredes durante casi todo el año.
- Para captar más energía solar en el Perú durante todo el año, se debe aprovechar la radiación solar incidente sobre el techo, preferiblemente con una orientación al norte y inclinada  $0 - 40^\circ$ .

1. En el Perú los **muros de Trombe** son **ineficientes**. La radiación solar no es aprovechada al máximo.



Collacachi – Puno. Fuente: [sallavor.org/resources/MUro%2Btrombe%2B.Proceso%2By%2Bconstrucci%C3%B3n.pdf](http://sallavor.org/resources/MUro%2Btrombe%2B.Proceso%2By%2Bconstrucci%C3%B3n.pdf)



Coachico – Puno. Fuente: <http://www.muladarnews.com/2010/07/caritas-del-peru-campana-calor-patrio-2010/>

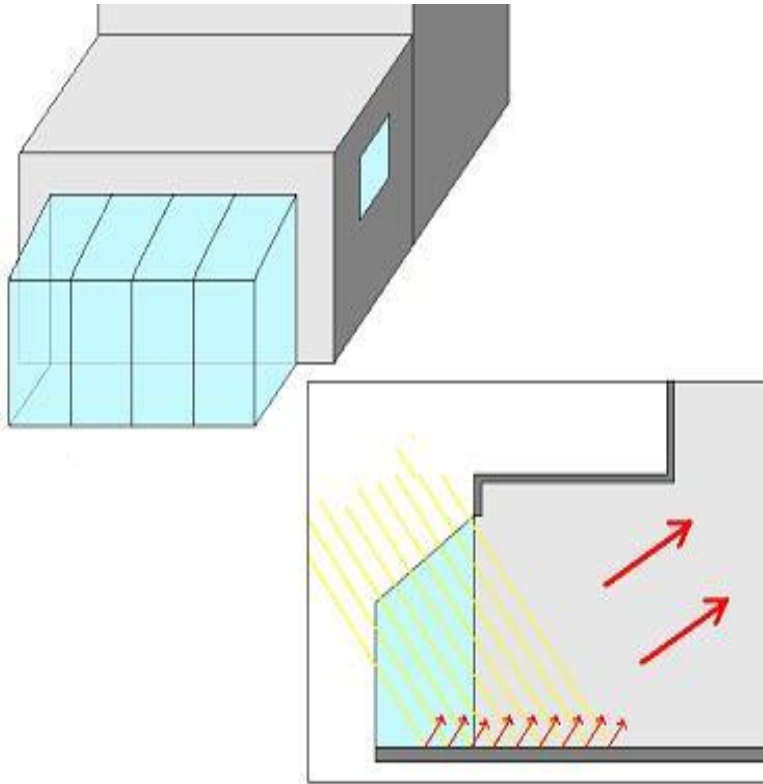
2. En este caso, **solo se inclinó el plástico**, el muro (absorbedor de la radiación) sigue siendo vertical, por lo cual la **ineficiencia aún existe**. Solo se gana algo de radiación, incidente sobre el suelo en la parte interior, atrás del vidrio.



Tacna .Pared CERT

3. Para inclinaciones de la pared, de  $10^{\circ}$  a  $20^{\circ}$  respecto de la vertical, **la eficiencia mejora algo**, pero **no se aprovecha al máximo** toda la radiación solar disponible.

4. Usar invernaderos adosados a las casas **mejora considerablemente la eficiencia** del sistema.



Fuente:  
[www.sitiosolar.com/arquitecturasolarpasiva.htm](http://www.sitiosolar.com/arquitecturasolarpasiva.htm)

Fuente:  
[foroenergias.blogspot.com/2010\\_05\\_01\\_archive.html](http://foroenergias.blogspot.com/2010_05_01_archive.html)

5. Usando **tragaluces** se **aprovecha al máximo la energía solar**.

Esta es una casa denominada: 'Maternidad solar', ubicada en la localidad de Huanchay-Huaraz. El tragaluz está orientado hacia el norte, aproximadamente tiene una inclinación de  $35^{\circ}$ , respecto al suelo. De esta manera la radiación solar que ingresa a la casa es la mas alta y constante durante todo el año.



Maternidad solar. Huanchay – Huaraz, Ancash.

# GRACIAS