



Proyecto Final

Instrucciones de entrega

- Recuerde que esta evaluación está suscrita al Código de Honor de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Se debe entregar un informe en formato PDF describiendo los supuestos, metodología de cálculo, gráficos explicativos, diagramas y referencias, junto con un archivo .zip que contenga todos los códigos computacionales.
- Plazo máximo de entrega: 28 de noviembre, hasta las 23:59.

Pregunta 1

La geometría de un conjunto de celda fotovoltaica -compuesto por coberturas de vidrio, material encapsulante y la propia celda fotovoltaica- se muestra en la Figura 1. Las propiedades de los diferentes materiales se muestran en la Tabla 2.

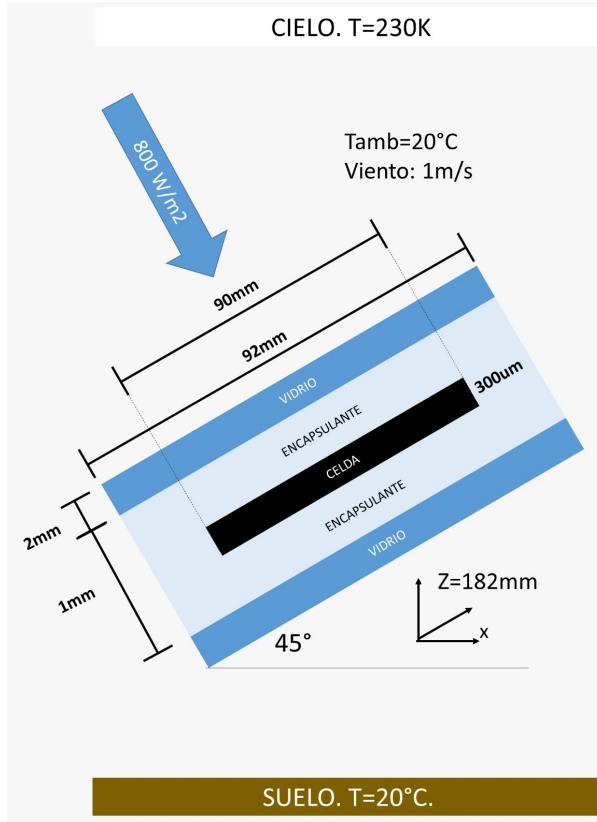


Figura 1: Diagrama del conjunto de celda fotovoltaica

En condiciones de operación nominales, la celda recibe, por la superficie superior, un flujo de calor de 800 W/m^2 , como se muestra también en la Figura 1. La superficies superior del conjunto de celda intercambia calor con el ambiente ($T_{amb} = 20^\circ\text{C}$) por convección combinada (viento circula en dirección del eje X) y la superficie inferior del conjunto intercambia calor por convección natural (indistintamente del criterio Gr/Re^2).

Para el cálculo del coeficiente de convección combinada, considere:

$$h_{comb}^{3+\cos(\theta)} = h_{nat}^{3+\cos(\theta)} + h_{forz}^{3+\cos(\theta)}$$

Ambas superficies intercambian calor por radiación con los alrededores correspondientes. Los factores de vista para el cálculo de la radiación están dados por:

- Superficie superior y cielo:

$$F = \frac{1 + \cos(\theta)}{2}$$

- Superficie superior y suelo:

$$F = 1 - \frac{1 + \cos(\theta)}{2}$$

- Superficie inferior y cielo:

$$F = 0$$

- Superficie inferior y suelo:

$$F = 1$$

Nota importante 1: Para las longitudes características utilizadas en el cálculo de los coeficientes de convección, considere las dimensiones totales del panel fotovoltaico: 2,416 m de alto en la vertical y 1,09 m de ancho en la horizontal. Adicionalmente, para estos cálculos, encontrará las propiedades del aire como función de la temperatura en la Tabla 1.

Nota importante 2: Desprecie la radiación que emiten la celda y el encapsulante. Para éstos solo considere el calor que ganan por la radiación que absorben y el que ganan o pierden por conducción.

Además, se sabe que, en condiciones nominales, la eficiencia a la que opera la celda fotovoltaica y la corriente que se genera son dependientes de la temperatura, de acuerdo con las siguientes funciones:

$$\eta(T_c) = 0,2183 \cdot \left(1 - \frac{0,34}{100} \cdot (T_c - 25) \right)$$

$$I(T_c) = 12,87 \text{ A} \cdot \left(1 + \frac{0,04}{100} (T_c - 25) \right) \cdot \frac{\dot{q}_{rad}}{1000 \text{ W/m}^2}$$

donde \dot{q}_{rad} corresponde a la radiación recibida por el conjunto completo de celda, es decir, el flujo incidente en el vidrio superior y no el que finalmente le llega a la celda misma.

Por otro lado, la definición de eficiencia de la celda es

$$\eta = \frac{\dot{w}_{elec}}{\dot{q}_{rad}}$$

con \dot{w}_{elec} la potencia eléctrica generada en la celda.

Finalmente, considere que el calor total generado para todo el volumen de la celda es:

$$\dot{Q}_{gen} = I^2 \cdot R$$

donde I es la corriente generada y R la resistencia de la celda.

Se pide, en estado estacionario:

- a) Modelar la distribución de temperatura en el conjunto de celda, en condiciones de operación NOCT, es decir, con $\eta = 0$ y $I = 0$, sin la dependencia de la temperatura de la celda.
- b) Modelar la distribución de temperatura en en conjunto de celda, en condiciones de operación nominales. En este caso, la eficiencia de la celda y la corriente generada son dependientes de la temperatura, de acuerdo con las funciones descritas anteriormente.
- c) Modelar la distribución de temperatura en el conjunto de celda, en condición de operación anómala, producto de un sombreado. En este caso, considere que la radiación que recibe el conjunto de celda baja a 100 W/m^2 . Para este caso, considere la misma corriente del inciso b).

Por simplicidad, en su discretización en la celda considere un único elemento diferencial de espesor. Además, considere como punto inicial que todo el conjunto se encuentra a 40°C .

Propiedad	Valor
$\rho (\text{kg/m}^3)$	$352,977/(T + 273,15)$
$c_p (\text{J/kg} \cdot {}^\circ\text{C})$	$1003,7 - 0,032067 \cdot T + 0,00035238 \cdot T^2$
$k (\text{W/m} \cdot {}^\circ\text{C})$	$0,0241126 + 0,000075843 \cdot T$
$\mu (\text{Pa} \cdot \text{s})$	$(1,7418 + 0,0049427 \cdot T - 3,5 \cdot 10^{-6} \cdot T^2) \cdot 10^{-5}$

Tabla 1: Propiedades termodinámicas del aire

Vidrio	
Propiedad	Valor
Densidad	2500 kg/m ³
Calor específico	840 J/kg · K
Conductividad térmica	1 W/m · K
Reflectividad	0.05
Absortividad	0.01
Emisividad	0.85
Encapsulante	
Propiedad	Valor
Densidad	940 kg/m ³
Calor específico	2100 J/kg · K
Conductividad térmica	0,4 W/m · K
Reflectividad	0.01
Transmisividad	0.98
Emisividad	0.9
Celda	
Propiedad	Valor
Densidad	20 g/cm ³
Calor específico	0,71 J/g · K
Conductividad térmica	148 W/m · K
Reflectividad	0.05
Transmisividad	0.01
Emisividad	0.9
Resistencia eléctrica	215 mΩ

Tabla 2: Propiedades de los materiales que componen el conjunto de celda fotovoltaica.

Bonus Track

Pueden resolver éste problema por una bonificación de hasta +1 punto. Para acceder a esta posibilidad, deben haber respondido de forma completa todos los incisos de la pregunta principal del proyecto. No se considerarán Bonus Track si la pregunta principal del proyecto queda incompleta. Los puntos de bonus acumulados en el proyecto se sumarán al final del semestre a la evaluación (cuálquiera) que otorgue el mayor beneficio.

- a) Resuelva el problema analíticamente en el espesor del conjunto de celda para el inciso a) y compare con la solución obtenida en ese inciso.
- b) Considerando el inciso b), calcule el coeficiente de transferencia de calor global del módulo (recuerde no considerar en este balance la energía eléctrica que sale de la celda) y construya un gráfico U vs v_{viento} , variando la velocidad del viento desde 0 hasta 3 m/s, en incrementos de 1 m/s.