

RESSSPI. CÓDIGO PARA LA SIMULACIÓN RÁPIDA DE APLICACIONES SOLARES EN CALOR DE PROCESO

Frasquet M*, Bannenberg J**

* Solatom CSP, Muelle aduana sn, Valencia, 46024, España,
miguel.frasquet@solatom.com

** Fontys University of Applied Sciences, De Lismortel 25, 5612 AR, Eindhoven, 5612,
The Netherlands, j.bannenberg@student.fontys.nl

RESUMEN

Ressspi es un código abierto para la simulación de aplicaciones solares en calor de proceso. Aunque está basado en el motor de cálculo utilizado en SHIPcal, Ressspi ha solucionado las carencias de su antecesor en términos de mayor flexibilidad en la simulación (incluyendo 12 sistemas de integración), así como en lo relativo a la estructura necesaria para garantizar el desarrollo abierto del código, por parte de la comunidad de investigadores. La principal línea de investigación actual está en reducir el tiempo de cálculo necesario para una simulación completa. Y aunque ya se han conseguido tiempos cercanos a los 3 minutos gracias al uso de algoritmos de optimización ávidos, se están validando nuevas alternativas. Hasta la fecha se han solicitado 267 simulaciones tanto en España como en diversos países de América del Sur.

PALABRAS CLAVE: Energía Solar, Calor Proceso, Simulador, Optimización

ABSTRACT

Ressspi is an open-source simulation code for solar process heat applications. Although it is based on SHIPcal engine, Ressspi has solved SHIPcal's main limitations in terms of flexibility (adding 12 integration schemes) and managing issues (adding a git control system to allow open-source development). The main line of work at this moment is reducing the computing time needed in order to perform a complete annual simulation. And, although simulation times closed to 3 min have already been achieved using greedy algorithms, new alternatives are also being tested. At this moment, more than 267 simulations has been performed in Spain and several countries in South America.

KEYWORDS: Solar Energy, Process heat, Market Potential, Geolocation

INTRODUCCIÓN

El uso de calculadoras on-line (CO) tiene un largo recorrido en sectores como el fotovoltaico o el del calentamiento de agua caliente sanitaria, en los que numerosas aplicaciones están disponibles on-line (Un ejemplo puede encontrarse en www.solarcalculator.com.au). Aunque no deben utilizarse como herramientas de diseño, este tipo de herramientas ha demostrado ser muy útil como soporte en la toma de decisiones. Ya que permite que usuarios finales sin un extenso conocimiento técnico de la tecnología solar, estimen de manera rápida y sencilla, los resultados económicos y energéticos, de una instalación.

El uso de estas herramientas es aconsejable principalmente cuando existe suficiente estandarización en la aplicación final. Ya que esto consigue que aunque las simulaciones tengan características diferentes (tamaño, ubicación, etc.), compartan todas ellas una estructura básica similar, y por tanto sean fácilmente simuladas. Esto limita su utilización para aplicaciones solares de calor de proceso, donde existe un gran número de procesos industriales diferentes. De hecho, los OC actualmente disponibles para calor de proceso disponen de un reducido número de esquemas de integración. Este es el caso de la herramienta de diseño InSun (desarrollada durante el proyecto Europeo con el mismo nombre, y disponible en www.fp7-insun.eu/DesignTool/), o de la herramienta AppSol (centrada en el mercado Chileno y disponible en www.appsol.cl). En ambos casos, el código de simulación no es de acceso libre.

Ressspi utiliza como base de simulación el código SHIPcal (Frasquet, 2016). SHIPcal demostró en su validación con TRNSYS ser capaz de simular producciones anuales con errores de entre el 3% (día soleado) y el 10% (día nublado con transitorios). Estos valores, aunque le descartan como herramienta de diseño, permiten obtener resultados válidos para su uso como OC. El prematuro cierre del Centro Tecnológico de Energías Renovables (Diario de Almería, 2016), paralizó el desarrollo de SHIPcal, limitando el número de esquemas de integración implementados en 3, y sin una plataforma de desarrollo que permitiera a la comunidad de investigadores continuar el desarrollo conjuntamente.

El objetivo de Ressspi es por una parte aportar la flexibilidad suficiente como para poder simular la mayor parte de procesos industriales disponibles, y por otra el permitir el fácil acceso y cooperación entre investigadores para el desarrollo futuro del código.

METODOLOGÍA

Plataforma de Cooperación

SHIPcal se desarrolló en GNU Octave (código libre compatible con Matlab), con el objetivo de que cualquier investigador pudiera contribuir al desarrollo mediante sus propios códigos escritos en Matlab. Al no existir una plataforma de desarrollo común, la comunicación entre investigadores se realizaba mediante email. Durante los primeros meses de SHIPcal se comprobó la dificultad de unificar los diferentes códigos que los investigadores aportaban. Además se hizo patente que muchas de las funciones disponibles en Matlab no estaban en Octave, lo que generaba numerosos errores de compilación. Finalmente un sistema de desarrollo común basado en comunicación por email resultó no ser operativo.

Para Ressspi, el motor de cálculo se ha traducido por completo a Python3 (cuya comunidad de usuarios es significativamente mayor que Octave/Matlab). El sistema de comunicación basado en emails se ha descartado y sustituido por Git. Git es un sistema de control de versiones público ampliamente utilizado en el desarrollo de software libre, como Linux o Moodle. De esta manera, cada vez que un investigador realiza una modificación al código, se abre una copia o “rama” del código master. La nueva rama es chequeada para comprobar que no existen errores y una vez validada, se incluye en el código master. El código y las diferentes ramas existentes están almacenadas en el repositorio público Github.

Esquemas de Integración

Para conseguir simular la mayor parte de procesos industriales, se ha seguido la metodología propuesta en el grupo de trabajo 49 del programa SHC (Muster B., et al., 2015) de la IEA (International Energy Agency). Esta metodología clasifica los procesos industriales en 12 esquemas de integración, divididos en dos niveles, proceso (cuando la energía solar se aplica directamente en el proceso industrial), y suministro (cuando la energía solar se utiliza indirectamente mediante un fluido intermedio). Estos esquemas de integración se han incorporado en el código de simulación solar RESSSPI (Red de Sistemas Solares Simulados en Procesos Industriales). Actualmente Ressspi cuenta con los siguientes esquemas de integración:

Tabla. 1. Esquemas de integración disponibles en Ressspi

Código	Nivel de integración	Medio de transporte del calor	Integración	Almacena miento	Estado en Ressspi
SL_L_P	Suministro	Líquido	Integración directa	No	Operativo
SL_L_PS	Suministro	Líquido	Integración directa	Si	Operativo
SL_L_RF	Suministro	Líquido	Precalentamiento de retorno	No	Operativo
SL_L_S	Suministro	Líquido	Calentamiento de almacenamiento térmico	Si	Operativo
SL_S_PD	Suministro	Vapor	Integración directa	No	Operativo
SL_S_PI	Suministro	Vapor	Integración indirecta	No	En pruebas
SL_S_FW	Suministro	Vapor	Precalentamiento de condensados	No	Operativo
SL_S_FWS	Suministro	Vapor	Precalentamiento de condensados	Si	Operativo
PM_E_PM	Proceso	Líquido	Calentamiento directo a proceso	No	Operativo
PM_E_PM_Past	Proceso	Líquido	Integración en pasteurizadores	Si	Operativo
PM_E_PM_Sew	Proceso	Líquido	Integración en EDAR	Si	Operativo
PM_E_IC	Proceso	Líquido	Calentamiento fluido intermedio	Si	En desarrollo

Dado que los esquemas de integración no son excluyentes, el código utiliza 24 variables de entrada (introducidas por el usuario mediante un formulario), para crear una lista de diseños potenciales. Posteriormente se realiza una simulación anual con cada diseño, y se calcula el coste nivelado de la energía (LCOE por sus siglas en inglés), seleccionándose el esquema que minimiza el LCOE.

$$\min LCOE(s) = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I(s)_t + M(s)_t + F(s)_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E(s)_t}{(1+r)^t}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde s representa el candidato de estudio, n el número de años evaluados, r la tasa de descuento, E la energía generada en kWh, F el gasto de combustible en €, M el gasto de operación y mantenimiento e I la inversión acometida.

Optimización del Diseño Final

El diseño resultante todavía debe ser sometido a una proceso de optimización en el que variables como el tamaño del almacenamiento (en el caso de tenerlo), número de filas, número de colectores por fila, etc. tiene que ser determinado. Inicialmente RESSPI iteraba sobre todo el conjunto de posibles soluciones, seleccionando la alternativa con un menor LCOE. Aunque esto garantizaba la localización del mínimo absoluto en todos los casos, el tiempo computacional hacía inviable su utilización como OC. Posteriormente el uso de un algoritmo de optimización de escalada simple permitió reducir el tiempo de optimización a 7 min. Actualmente, a través de una colaboración con la universidad Holandesa de ciencias aplicadas Fontys, se está estudiando el uso de algoritmos de cristalización simulada (Gutiérrez, M.A., et al., 1998) y búsqueda Tabú (Cvijović, D., et al. 1995) para acelerar el proceso de optimización (responsable del 81% del tiempo computacional). Los primeros resultados utilizando algoritmos ávidos han conseguido reducciones del 54% respecto al algoritmo de escalada simple. Aunque es una mejora significativa, es necesario continuar estudiando otras alternativas para conseguir una completa

Salida de Resultados

Una vez identificado el diseño que minimiza el LCOE, el código realiza una simulación anual en base horaria, y genera un fichero pdf donde se presentan los resultados. El fichero generado resume en 3 hojas los principales resultados económicos y energéticos de la simulación. En la primera página del fichero resultado se describe la instalación solar, el colector utilizado, el esquema de integración y las propiedades del fluido en diseño. La Fig. 1. Muestra las imágenes del resultado obtenido tras la simulación de una industria de zumo en Canarias.

La segunda página del informe de resultados muestra un resumen mensual de la producción solar, el porcentaje de esta respecto a la demanda total, así que como un detalle de las primeras semanas de Enero y Junio. Este detalle se utiliza como referencia para entender el comportamiento típico de la instalación en verano e invierno. La Fig. 2. Muestra el comportamiento de una instalación con almacenamiento térmico de 2000 litros, en una industria de alimentación con una demanda de agua caliente durante sólo 4 horas al día de lunes a viernes. Como se puede ver, cuando la producción solar ocurre en horas en las que no existe demanda, el almacenamiento se carga (amarillo), y por consiguiente el estado de

carga del almacenamiento se incrementa (línea roja punteada). Cuando existe demanda y la producción solar (morado) no es suficiente, el almacenamiento térmico se descarga (verde) observando consecuentemente un descenso del estado de carga del almacenamiento.

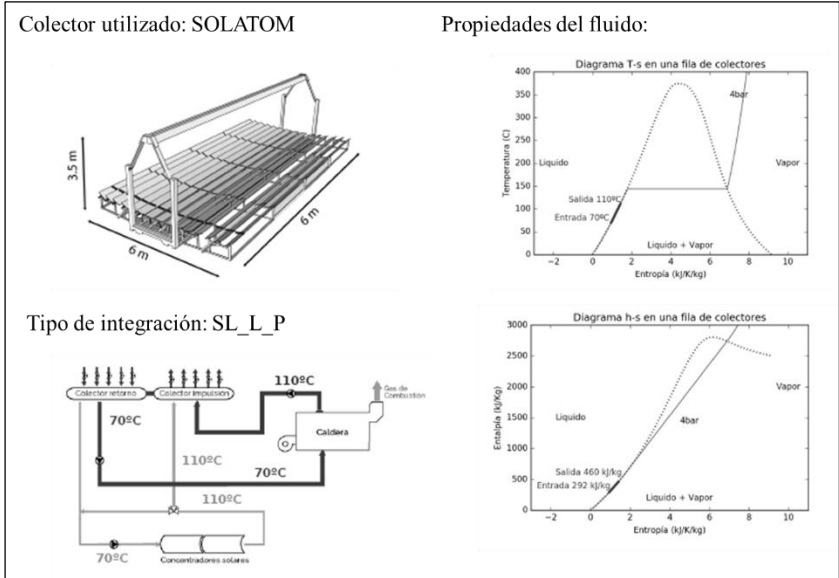


Fig. 1. Imágenes de la primera página del fichero de salida de Respsi

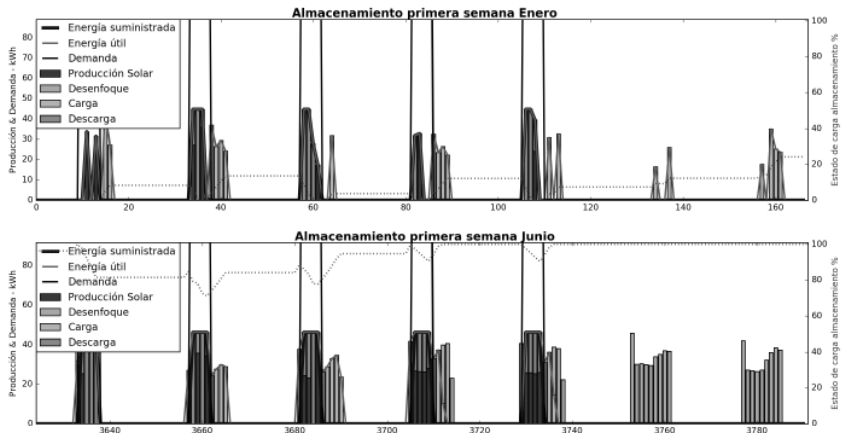


Fig. 2. Comportamiento típico de la instalación solar en Invierno y Verano

La tercera hoja del informe de resultados presenta el informe económico de la instalación solar. En él se muestran los valores de ahorro, inversión y retorno de inversión. La Fig. 3. Muestra el retorno de inversión y flujos de caja para una pequeña fábrica de alimentación situada en Córdoba.

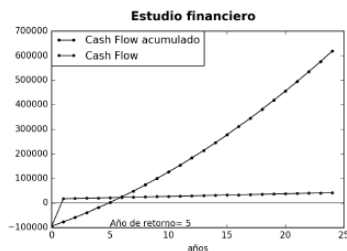


Fig. 3. Diagrama de flujos de caja para una fábrica de alimentación en Córdoba

RESULTADOS

El código RESSSPI está operativo desde 2017 en www.ressspi.com de forma totalmente gratuita, y desde entonces ha llevado a cabo 267 simulaciones en 7 sectores industriales diferentes. Aunque actualmente sólo dispone de archivos meteorológicos para ciudades Españolas, es posible realizar simulaciones en cualquier lugar del mundo bajo demanda (de hecho se han realizado 12 simulaciones para proyectos ubicados en diferentes países de América del Sur). RESSSPI tiene una licencia de uso libre y su código está disponible en el repositorio público GitHub. La Fig. 4. representa la localización de las simulaciones llevadas a cabo mediante Ressspi hasta la fecha.

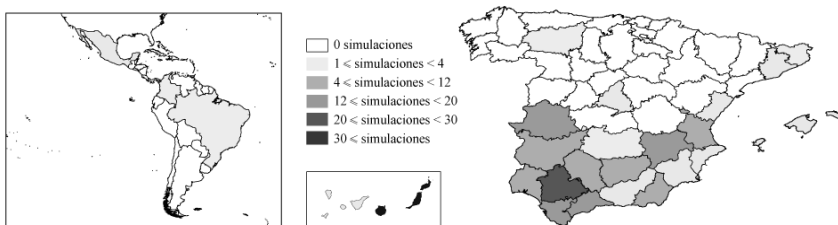


Fig. 4. Distribución de las simulaciones Ressspi realizadas hasta la fecha

CONCLUSIONES

El código RESSSPI ha demostrado ser una herramienta útil para que usuarios sin experiencia solar previa, puedan simular proyectos solares en una gran variedad de procesos industriales distintos. A diferencia de SHIPcal, Ressspi está preparado para ser desarrollado de manera conjunta de manera ordenada y escalable. El uso de RESSSPI como herramienta de pre-

simulación, permite apoyar y agilizar la toma de decisiones en este tipo de proyectos, contribuyendo en última instancia a un mayor desarrollo de esta tecnología. Sin embargo, su todavía elevado tiempo computacional lo sitúan lejos de poder utilizarse como una calculadora on-line. La utilización de algoritmos de optimización más sofisticados (búsquedas Tabú y algoritmos inspirados en el proceso de recocido del acero) promete la reducción de la duración total del proceso.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo y las contribuciones de la comunidad de investigadores que apoya el desarrollo de Resssi.

REFERENCIAS

Frasquet M., (2016). Solar Heat for Industrial Processes Online Calculator. *Energy Procedia*, Volume 91, Pages 611-619, ISSN 1876-6102

Muster B., et al. (2015). Solar Process Heat for Production and Advanced Applications. Integration Guideline. *IEA SHC Task 49*.

Gutiérrez, M.A., de los Cobos, S., Pérez, B., (1998). Optimización con recocido simulado para el problema de conjunto independiente. *Universidad Autónoma Metropolitana*

Cvijovic, D., Klinowski, J., (1995). Taboo Search - An approach to the multiple minima problem. *Science* 267 (5198):664-666