

Organiza:



V ENCUESTRO Ingeniería de la Energía

Patrocinadores:



Asociación Nacional
de Productores
de Energía Renovable



Cátedra
Takasago Industria y
Mantenimiento 4.0



CÁTEDRA DEL AGUA
Y LA SOSTENIBILIDAD



ACTAS DEL CONGRESO

V ENCUESTRO DE INGENIERÍA DE LA ENERGÍA DEL CAMPUS MARE NOSTRUM



Editores:

Mariano Alarcón García (Editor)

Manuel Seco Nicolás (Co-editor)

© Mariano Alarcón García

ISBN: 978-84-09-29971-3

Dirección web de congreso: V-EIECMN

Universidad de Murcia

Campus Mare Nostrum

Del 23 al 26 de
noviembre de 2020

Quinta edición del Encuentro orientado a servir de espacio de reunión para tratar las distintas facetas de las aplicaciones de la Energía en los ámbitos académico y profesional, así como de instituciones y empresas en el que compartir trabajos, se muestren avances creando un espacio virtual de debate y reflexión en el que plantear soluciones a los importantes retos que la Sociedad tiene en el ámbito de la Energía, englobado en el ODS-7, *Energía asequible y no contaminante*, desde una vocación tecnológica pero a la vez con sensibilidad social.





SISTEMA DE EVAPORACIÓN DE SALMUERA MEDIANTE TORRE DE REFRIGERACIÓN

Helena Gómez García ^(1*); Francisco Vera García ⁽¹⁾

helena.gomez.garcia@hotmail.com *

⁽¹⁾ Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos

RESUMEN

El tratamiento y almacenamiento del flujo de rechazo de la desalinización mediante ósmosis inversa, muy extendida en la Región de Murcia requiere de un gran espacio y un coste elevado, al ser imposible su eliminación mediante evaporación natural la Universidad Politécnica de Cartagena ha adquirido un sistema de evaporación de salmuera mediante torre de refrigeración. El objeto de este artículo es obtener unos puntos teóricos de funcionamiento capaces de predecir el comportamiento de la torre de refrigeración, principal componente de la instalación, también se ha modelizado el comportamiento de una caldera de biomasa, dispuesta para proporcionar energía térmica a la salmuera y que esta tenga capacidad de evaporación. La modelización del sistema-prototipo completo mediante el software TRNSYS se ha realizado en diferentes situaciones para comprobar su funcionamiento, eficacia y consumo energético del sistema de evaporación de salmuera.

Palabras clave: Torre de refrigeración; Salmuera; Evaporación.

1. Introducción

La Universidad Politécnica de Cartagena dispone de un sistema-prototipo para el tratamiento del flujo de rechazo procedente de la desalinización mediante ósmosis inversa de aguas salobres extraídas de pozo. La desalinización mediante ósmosis inversa está muy extendida en la Región de Murcia debido al alto porcentaje en sales que tienen las aguas bombeadas de los pozos. El sector agrícola necesita esta agua para regar sus plantaciones, pero cada vez se produce más flujo de rechazo que se tiene que tratar. Este flujo de rechazo tiene una alta salinidad y su vertido está controlado por la administración, siendo necesario su almacenamiento en balsas para su evaporación. Mediante procesos de evaporación natural es imposible la eliminación de este rechazo por motivos de espacio y de inversión necesaria. Mediante sistemas de evaporación forzada, este proceso puede ser más rápido y evita el almacenamiento excesivo de agua con alta salinidad procedente del rechazo de la osmosis.

2. Descripción de la instalación

El sistema-prototipo en estudio se basa en la evaporación de salmueras mediante torre de refrigeración. El sistema, así como cada uno de sus componentes se describen a continuación:

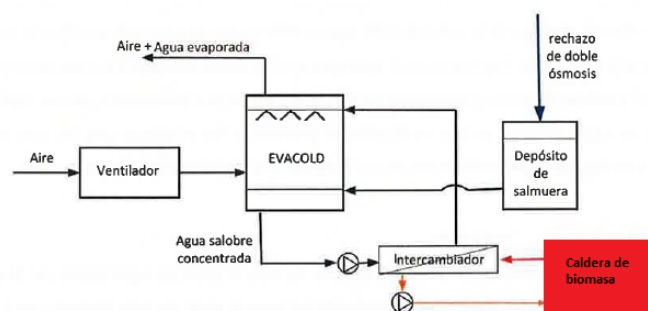


Figura 1: Esquema del sistema-prototipo.

Depósito de salmuera: El depósito de salmuera recibe la salmuera procedente del rechazo de la doble ósmosis y tiene como objeto alimentar con mezcla fresca a la torre de refrigeración

Torre de refrigeración: La torre de refrigeración es el componente principal donde la salmuera se inyecta a alta temperatura con objeto de obtener un mayor salto térmico entre agua y aire y que esto favorezca el intercambio de energía entre ambos fluidos.

Ventilador: Se trata de un ventilador axial situado en la zona superior de la torre de refrigeración que favorece el movimiento del aire en el interior de esta induciendo el aire que entra por la zona inferior hacia la zona superior.

Caldera de biomasa: Se trata de una caldera de biomasa cuyo objetivo es mantener el agua con salmuera a una determinada temperatura gracias al intercambio de energía en el intercambiador de calor.

Intercambiador de calor: Se trata de una serie de intercambiadores de carcasa y tubo instalados en paralelo donde confluyen las corrientes de agua con salmuera proveniente del sumidero de la torre y la corriente de agua caliente proveniente de la caldera de biomasa.



3. Modelo matemático torre de refrigeración

Para la obtención de los puntos de funcionamiento de la torre de refrigeración se ha utilizado el modelo propuesto por S.J. Bluhm y A. Whillier [1] que se basa en la segunda ley de la termodinámica, teniendo en cuenta la máxima energía intercambiada entre las corrientes de aire y agua. Se ha completado este modelo con el indicado en el Manual de equipos de ASHRAE [2]

Los dos parámetros en los que se basa el modelo son:

El rendimiento de aire (η_a) que se define como el salto energético actual entre el salto energético máximo en la corriente de aire:

$$\eta_a = \frac{\sum_{ao} - \sum_{ai}}{\sum_{ao} - \sum_{wi}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Siendo:

$$\sum = h - c_{pw} \cdot W \cdot t \quad \text{Ecuación 2}$$

El rendimiento del agua (η_w) que se define como la relación entre el salto de temperatura en la torre de refrigeración de la corriente de agua y el máximo salto de temperatura posible:

$$\eta_w = \frac{t_{wi} - t_{wo}}{t_{wi} - t_{ai}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Para obtener puntos de funcionamiento de la torre de forma analítica será necesario además del factor de capacidad de la torre R y del número de unidades de transferencia.

$$R = \frac{m_w \cdot c_{pw} \cdot (t_{wi} - t_{ai})}{m_a \cdot (\sum_{wi} - \sum_{ai})} \quad \text{Ecuación 4}$$

El número de unidades de transferencia depende del factor de capacidad de la torre (R) y el denominado factor of merit (F).

$$NTU = \frac{F}{(1 - F) \cdot (R^{0.4})} \quad \text{Ecuación 5}$$

Por lo que podemos escribir el rendimiento del agua como:

$$\eta_w = \frac{(1 - e^{-NTU(1-R)})}{(1 - R \cdot e^{-NTU(1-R)})} \quad \text{Ecuación 6}$$

3. Validación del modelo de la torre de refrigeración

Los puntos de funcionamiento se obtenidos se utilizan para validar el modelo mediante el sistema simulado TRNSYS que se muestra en la Figura 2:

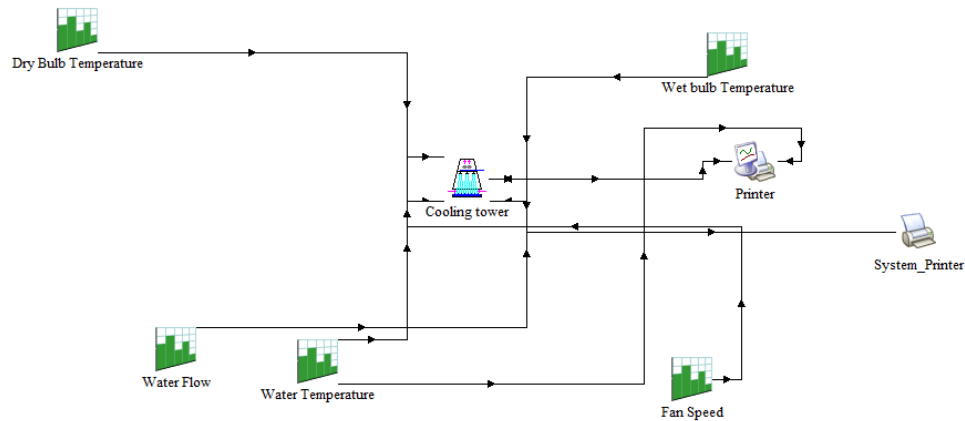
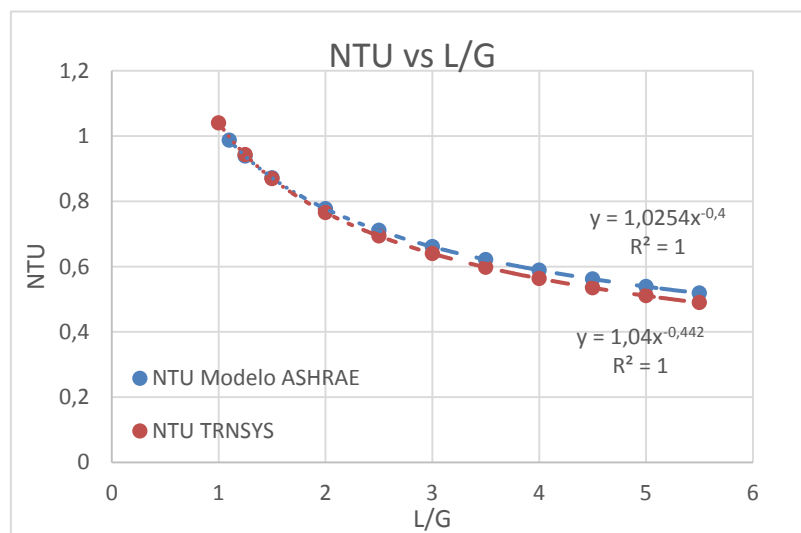


Figura 2. Sistema simulado para la validación del modelo de la torre de refrigeración

La curva que relaciona las NTU y la relación $(\frac{L}{G})$, siendo L y G los caudales de aire y agua respectivamente se muestra en la gráfica 1 para los coeficientes C y n obtenidos aplicando el modelo matemático de S.J. Bluhm y A. Whillier [1] y los coeficientes C y n obtenidos de la simulación de la torre en TRNSYS.



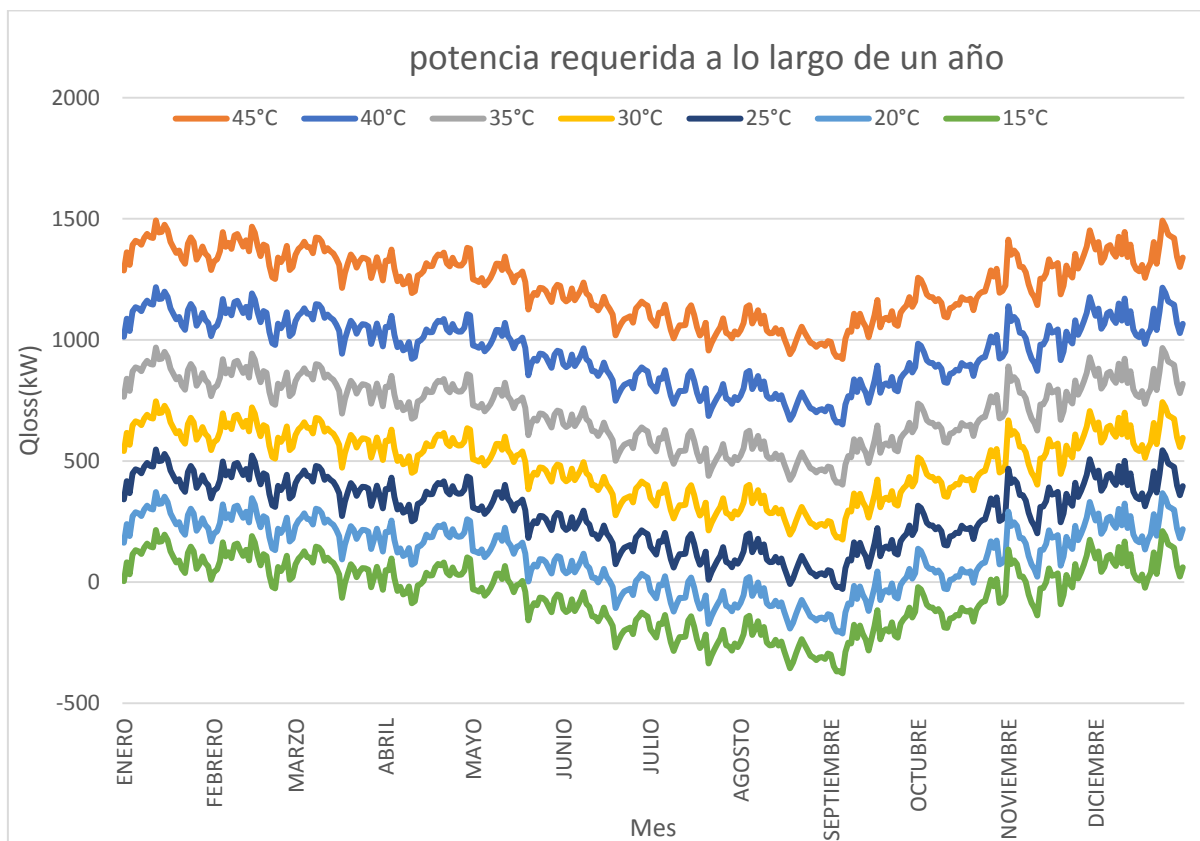
Gráfica 1: NTU VS $(\frac{L}{G})$.

$$NTU = C \cdot \left(\frac{L}{G}\right)^{1-n}$$

Ecuación 7

3.1 Estudio de la torre de refrigeración en TRNSYS

Simulando en TRNSYS la torre y fijando la temperatura de la corriente de agua a la entrada de la torre de refrigeración, variando la misma para las distintas simulaciones obtenemos los resultados mostrados en la Gráfica 2.



Gráfica 2: Potencia térmica extraída en la torre

Por lo que la torre tiene una capacidad de evaporación con una potencia máxima de 1500 kW.

4. Modelización del sistema en TRNSYS

Implantando el modelo explicado en el apartado 2 en el programa TRNSYS se simula la instalación completa, Figura 3, para conocer los volúmenes de agua evaporados, así como la energía consumida por la instalación durante su operación.

Se han analizado los modelos matemáticos de cada uno de los componentes, así como las variables necesarias para su definición completa siguiendo la guía de TRNSYS [3]

4.2 Estudio energético de la instalación

Se ha simulado la instalación para distintos caudales de funcionamiento de salmuera (50 m³/hr-70 m³/hr) obteniendo valores del consumo energético de la instalación para la evaporación de 1 kg de salmuera. Estos valores para los distintos caudales de funcionamiento se muestran en la Gráfica 3. Donde se observa como la diferencia de consumo energético en los distintos caudales de funcionamiento es mínima y como el consumo energético necesario para evaporar 1 kg de salmuera es considerablemente alto.

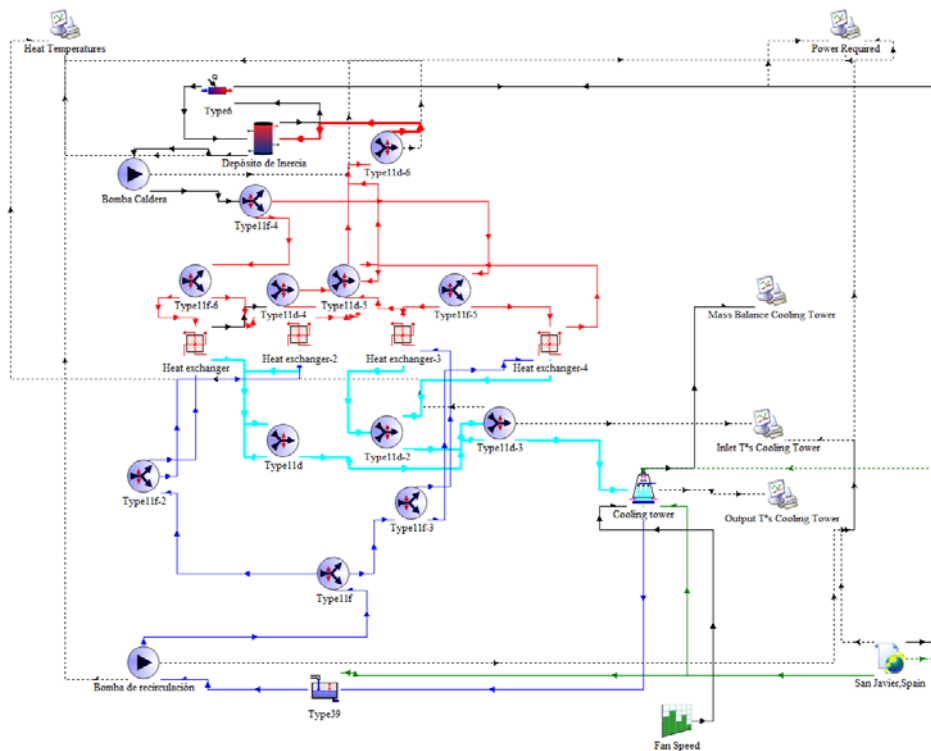
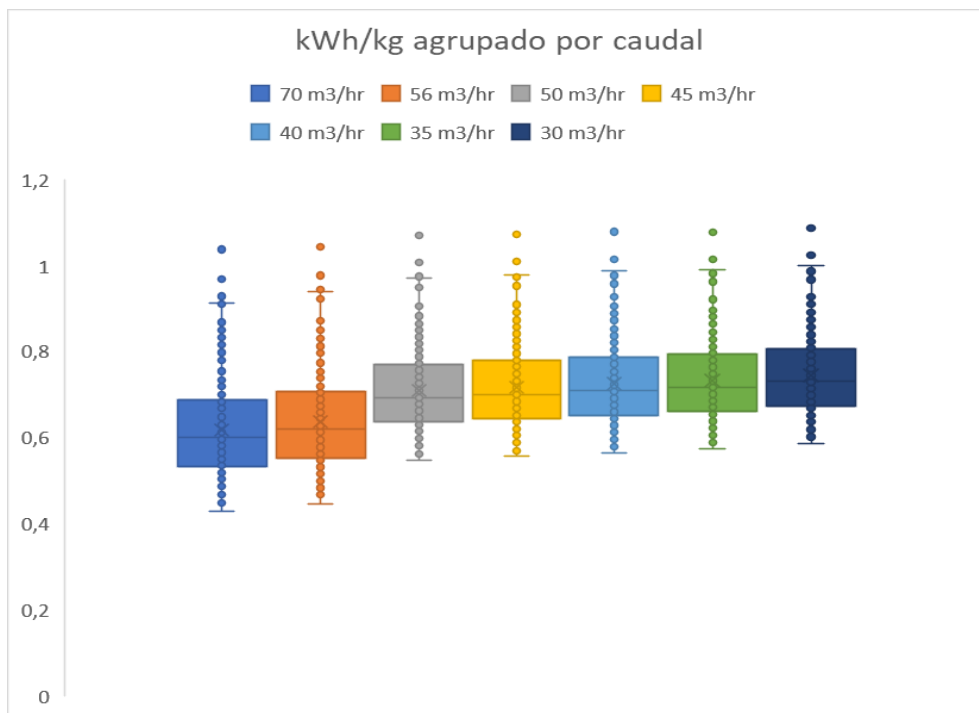


Figura 3: Simulación del sistema en TRNSYS.



Gráfi

ca 3: Variación del consumo energético en función del caudal trabajo



4.2 Dimensionamiento de la caldera

La caldera de biomasa junto con los intercambiadores de calor tiene que cubrir la potencia térmica perdida por el caudal de agua en la torre de refrigeración.

Esta potencia promediada por meses a lo largo de un año se muestra en la tabla 1 junto con los kg/hr de agua con salmuera evaporados.

Tabla 1: Potencia térmica demandada por la instalación

	m_{ev}	Q_{fluid}
Mes	kg/hr	kW
Enero	191,47	190,27
Febrero	194,27	189,28
Marzo	197,27	186,98
Abril	204,19	184,37
Mayo	212,79	179,30
Junio	215,06	172,58
Julio	222,64	167,13
Agosto	221,37	165,46
Septiembre	212,46	168,56
Octubre	210,24	175,98
Noviembre	200,21	184,22
Diciembre	193,75	189,27
Media Anual	206,31	179,45

Por lo que una caldera de 190 kW de potencia calorífica real será suficiente para cubrir la demanda de la instalación.

5. Conclusiones y consideraciones finales

En esta comunicación se presenta el trabajo de modelización realizado para la predicción del funcionamiento de una instalación destinada a la eliminación de salmuera mediante el uso de enfriamiento evaporativo con torre de refrigeración, instalación situada en la finca experimental Tomás Ferro de la universidad politécnica de Cartagena.

Se ha obtenido un modelo capaz de predecir el funcionamiento de la torre de refrigeración e implementado este modelo en TRNSYS. Se ha validado para distintos puntos de funcionamiento medidos en la instalación real dentro de los rangos que ha sido posible poner en funcionamiento este sistema.

Con el modelo en TRNSYS se ha sido capaz de predecir el funcionamiento de la instalación de evaporación de salmuera si se cambian las condiciones de temperatura de entrada de la salmuera. Se han aportado soluciones a los problemas y a las limitaciones encontradas en la instalación actual para implementar equipos que suplan estas limitaciones. Por último, se ha calculado el coste energético y económico derivado de su funcionamiento actual y del coste mínimo esperado con diferentes niveles de evaporación trabajando a diferentes temperaturas, caudales y otros variables de funcionamiento de la salmuera.



6. Agradecimientos

Me gustaría mostrar mi agradecimiento a Francisco Vera García, que me ha guiado durante el desarrollo de este trabajo de modelado, así como a Juan José Martínez Sánchez director de la Cátedra agricultura sostenible Campo de Cartagena, entidad a cargo de la instalación objeto de estudio de este artículo.

7. Referencias

- [1] S.J. BLUHM y A.WHILLER, «The design of spray chambers for bulk cooling of air in mines,» 1978.
- [2] American Society of Heating.Refrigerating and Air Conditioning, «ASHRAE Equipment Guide,» Atlanta, 1993.
- [3] S. e. a. Klein, «TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program,» Solar Energy Laboratory,University of Wisconsin ,Madison,U.S.A, 2009.



Comités del V Congreso Encuentro de Ingeniería de la Energía del Campus Mare Nostrum

Comité organizador

Mariano Alarcón García (Presidente)
Manuel Seco Nicolás
Francisco del Cerro Velázquez
Juan Pedro Luna Abad
Alfonso P. Ramallo González
Fernando Lozano Rivas

Comité científico

Alfonso P. Ramallo González (UM)
Antonia Baeza Caracena (UM)
Antonio González Carpena (UM)
Antonio Urbina Yeregui (UPCT)
Antonio Viedma Robles (UPCT)
Félix Cesáreo Gómez de León Hijes (UM)
Fernando Illán Gómez (UPCT)
Francisco del Cerro Velázquez (UM)
Francisco Vera García (UPCT)
Gloria Alarcón García (UM)
Gloria Villora Cano (UM)
Joaquín Zueco Jordán (UPCT)
José A. Almendros Ibáñez (UCLM)
José Miguel Martínez Paz (UM)
José Ramón García Cascales (UPCT)
Juan Pedro Luna Abad (UPCT)
Juan Pedro Montávez Gómez (UM)
Manuel Lucas Miralles (UMH)
Manuel Seco Nicolás (UM)
Mariano Alarcón García (UM)
Miguel Ángel Zamora Izquierdo (UM)
Pedro J. Vicente Quiles (UMH)
Teresa Maria Navarro Caballero (UM)
Teresa Vicente Vicente (UM)

ley. Dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

**ACTAS DEL CONGRESO V ENCUENTRO DE
INGENIERÍA DE LA ENERGÍA DEL CAMPUS MARE
NOSTRUM**

**PROCEEDINGS OF THE V MEETING OF ENERGY ENGINEERING OF
CAMPUS MARE NOSTRUM**

Editor

Mariano Alarcón García

Co-editor

Manuel Seco Nicolás

Murcia 2021