



Generación de modelo de control predictivo usando Matlab

Raúl Andres Villao Vera¹

1 Universidad Estatal Península de Santa Elena, rvillao@upse.edu.ec

RESUMEN

Los Modelos de Control Predictivo (MCP) son alternativas prometedoras en la gestión eficiente de la energía y los recursos en las edificaciones. Crear un modelo de construcción preciso que sea lo suficientemente simple como para permitir que el problema de MCP resultante sea manejable es una tarea desafiante pero crucial en el desarrollo del control.

En este artículo muestra el Modelado de Resistencia-Capacitancia para Edificios (MRCE) en Matlab Toolbox que facilita el modelado físico de edificios. Toolbox proporciona un medio para la generación rápida de modelos de resistencia (capacitancia) lineal a partir de datos básicos de geometría de edificios, construcción y sistemas. Además, admite la generación de los correspondientes costos y restricciones potencialmente variables en el tiempo. Toolbox se basa en principios de modelado previamente validados. En un estudio de caso, se generó automáticamente un modelo MRCE a partir de un archivo de datos de entrada EnergyPlus y se compararon sus capacidades predictivas con el modelo EnergyPlus. Los análisis energéticos en régimen estacionario en Matlab son tan precisos como los resultados generados en las herramientas computacionales destinadas exclusivamente a este propósito. La herramienta computacional Matlab se consolida en cada nueva versión como una plataforma más completa y óptima para el análisis ingeniería y de matemáticas aplicadas.

Palabras claves: Eficiencia energética, Modelado termo-energético, Matlab, EnergyPlus



Generation of predictive control model using Matlab.

ABSTRACT

Predictive Control Models (PCM) are promising alternatives in the efficient management of energy and resources in buildings. Creating a precise construction model that is simple enough to allow the resulting PCM problem to be manageable is a challenging but crucial task in the development of control.

In this article, we show the Resistance-Capacitance Modeling for Buildings (RCMB) in Matlab Toolbox that facilitates the physical modeling of buildings. Toolbox provides a means for the rapid generation of linear resistance (capacitance) models from basic data of building geometry, construction and systems. In addition, it admits the generation of the corresponding costs and restrictions potentially variable in time. Toolbox is based on previously validated modeling principles. In a case study, an RCMB model was automatically generated from an EnergyPlus input data file and its predictive capabilities were compared with the EnergyPlus model. The energy analyzes in steady state in Matlab are as accurate as the results generated in the computational tools intended exclusively for this purpose. The Matlab computational tool is consolidated in each new version as a more complete and optimal platform for the analysis of engineering and applied mathematics.

Keywords: Energy efficiency, Thermo-energy modeling, Matlab, EnergyPlus



1. INTRODUCCIÓN

La aplicación del modelo de control predictivo (MCP) para el control de la calefacción, la refrigeración, la ventilación y el posicionamiento ciego en edificios recientemente ha ganado mucha atención dentro de la comunidad de control, véase las contribuciones (Reynolds, Rezgui, Kwan, & Piriou, 2018; Weeratunge, Narsilio, de Hoog, Dunstall, & Halgamuge, 2018; Zhang, Wang, & Bao, 2018; Y. Zhao, Ye, Pinson, Tang, & Lu, 2018). En comparación con los enfoques de control convencionales, la mayoría de los estudios informan potenciales significativos de ahorro de energía y, a menudo, también mejoras de confort debido a la integración sistemática de todos los actuadores y sus interacciones, así como a los pronósticos meteorológicos y de ocupación (Xue, Todd, Ula, Barth, & Martinez-Morales, 2016).

En los proyectos de investigación (Arun Kumar, Geetha, Chandran, & Sanjeevikumar, 2018; Xypolytou, Meisel, & Sauter, 2017; L. P. Zhao et al., 2017) se implementó MCP para controlar durante varios meses la calefacción, la refrigeración, el aire acondicionado y el posicionamiento de persianas de edificaciones completamente equipadas. Los proyectos demostraron claramente que la generación de un modelo adecuado es la tarea más desafiante y lenta en el desarrollo del controlador MCP. Este fue también el hallazgo de otras implementaciones de MCP en edificios reales (Wanjiru, Sichilalu, & Xia, 2017; Wu et al., 2017). Sin embargo, para que MCP se convierta en una alternativa interesante para el uso comercial de amplia difusión, el esfuerzo de modelado debe ser pequeño. Por lo tanto, existe una gran necesidad de métodos confiables y eficientes para generar MCP adecuados.

Existen varias formas de modelar las edificaciones (Reynolds, Rezgui, & Hippolyte, 2017; Silva, Godina, Rodrigues, Pouresmaeil, & Catalao, 2017; Strzalka, Strzalka, Kalina, & Eicker, 2017; Xue et al., 2016). El uso de modelos físicos en la construcción de MCP junto con una adaptación en línea de unos pocos parámetros que generalmente están relacionados con la dinámica más rápida del modelo, es el que se emplea en esta contribución.

En la literatura sobre modelado de edificios simplificado, el enfoque principal es modelar zonas (espacios que se supone que tienen temperatura uniforme) y elementos de construcción (paredes, suelos, techos y masas internas) linealmente usando estados



Generación de modelo de control predictivo usando Matlab

Revista Publicando, #(#). #####, ##-##. ISSN 1390-9304 <Estos datos se especifican en el proceso de Edición>

agrupados que describen su temperatura, y calcular resistencias y calor capacidades que definen la transferencia de calor entre ellos (Clarke, 2017; Mei, Li, & Qi, 2016; Y. Zhao, Lu, Yan, & Wang, 2015).

En este artículo presentamos el Building RC Modeling (BRCM) Matlab Toolbox que facilita la generación rápida de modelos de construcción utilizables MCP a partir de datos básicos de geometría, construcción y sistemas de construcción. Además de la generación del modelo, Toolbox también proporciona funciones parametrizadas para generar los costos y restricciones (potencialmente variables en el tiempo) requeridos por MCP. Los principios de modelado utilizados se basan en los enfoques validados con éxito (Lee, Horesh, & Liberti, 2016; Madsen, Søndberg-Jeppesen, Sayed, Peschl, & Lohse, 2017; L. P. Zhao et al., 2017). Los datos de entrada se recuperan de un conjunto de archivos bien definidos que, en gran parte, también se pueden generar directamente a partir de los archivos de datos de entrada EnergyPlus. La Caja de herramientas proporciona además una funcionalidad básica para la visualización tridimensional de la geometría del edificio objetivo, y para la simulación de una representación en tiempo discreto del modelo en modos de lazo abierto y cerrado. Figura 1 muestra tal visualización del edificio controlado. Toolbox es de código abierto y se puede usar bajo la licencia GPLv3. La documentación detallada y las instrucciones de instalación se pueden encontrar en el sitio web de BRCM2. Esta contribución muestra las potencialidades del software Matlab para el modelado de control predictivo mediante un caso de estudio.

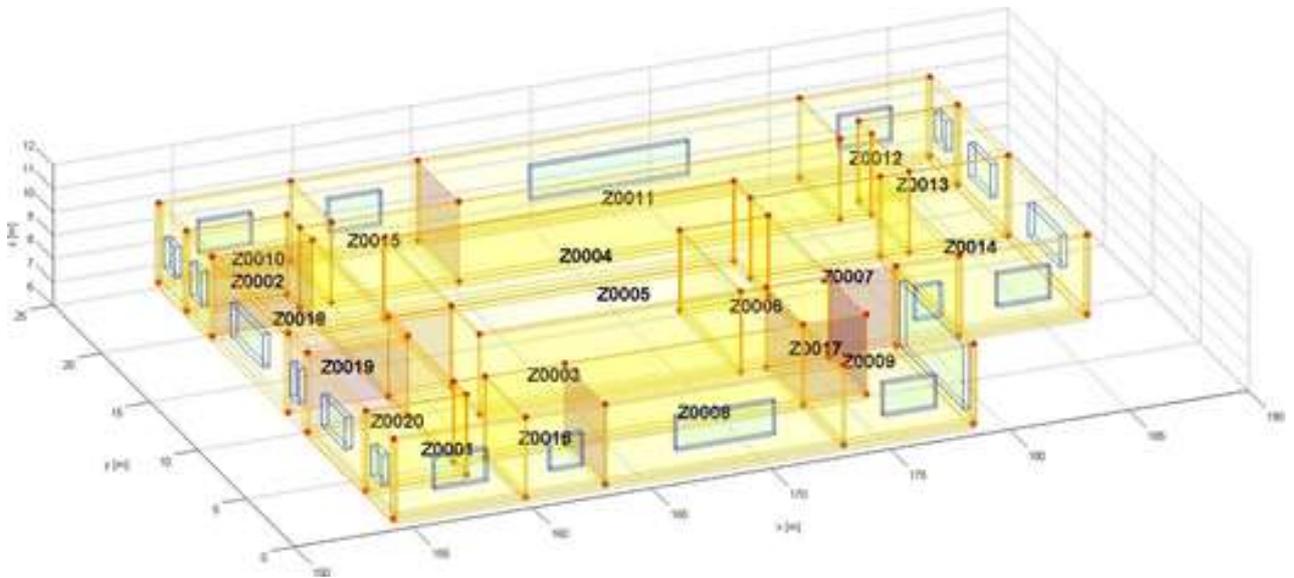


Figura 1. Edificio analizado.

2. METODOS

MATLAB (abreviatura de MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices") es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux .

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets).

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal o crear código VHDL.



En primer lugar, se presenta el problema de optimización de MPC y los requisitos resultantes que un modelo debe cumplir para poder utilizarlo en un controlador MPC (Xue et al., 2016). En la segunda parte se esboza a nivel conceptual el enfoque de modelado utilizado en la Caja de herramientas. En la tercera parte, se describe los supuestos de modelado subyacentes del modelo térmico y los Modelos d Flujo de Calor Externo MFC (Menon, Maréchal, & Paolone, 2016).

En la figura 2 se da una descripción esquemática del enfoque de modelado modular. Se genera un modelo térmico lineal a partir de datos de construcción y geometría. A esto se agrega un conjunto (dependiendo del caso en cuestión) de modelos EHF modulares parametrizados con geometría, construcción y datos de sistemas. Una descomposición del modelo combinado produce el modelo completo.

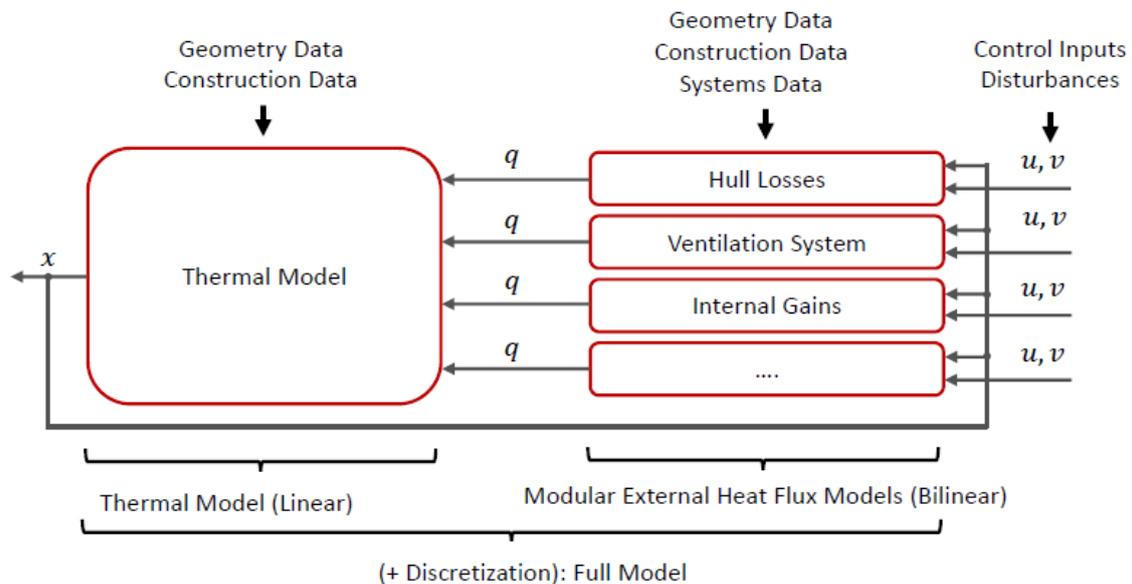


Figura 2. Estructura en bloque de modelo.

3. RESULTADOS

El objetivo de Toolbox no es competir con la gran cantidad de sofisticados marcos de simulación de edificios, creemos que es importante conocer las diferencias en el modelado. Aquí comparamos el enfoque de modelado de Toolbox con EnergyPlus. Sin considerar las diferencias en el modelado de los sistemas de construcción, las siguientes



son las principales diferencias (asumiendo las configuraciones predeterminadas de EnergyPlus): i) parámetros constantes del modelo; ii) radiación térmica dentro de las zonas consideradas en un coeficiente combinado de convección / radiación; iii) ventanas modeladas estáticamente y que dependen de la radiación solar incidente previamente calculada en los elementos y ventanas de la fachada del edificio. En cuanto a i): EnergyPlus utiliza algoritmos especializados para calcular los coeficientes de convección en función de la distribución de temperatura en una zona. Las simulaciones detalladas en las que se fijaron estos coeficientes en EnergyPlus y se usaron las mismas en el modelo BRCM mostraron que esta aproximación es la principal fuente de discrepancias del modelo, como se muestra, por ejemplo, en la Figura 3.

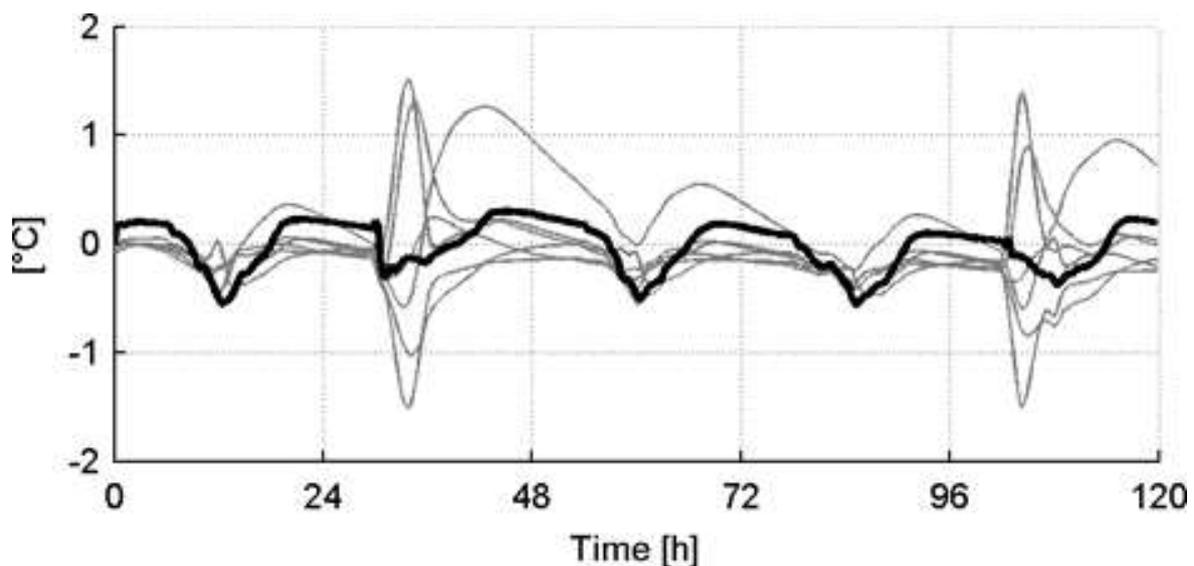


Figura 3. Diferencias de temperatura de la superficie del elemento de construcción RC-EP en gris. Diferencia de temperatura ambiente RC-EP en negrita.

En la figura 4 se muestra la temperatura del aire ambiente y la radiación solar global en la fachada. En la figura 5, se muestran la temperatura ambiente de ambos modelos.

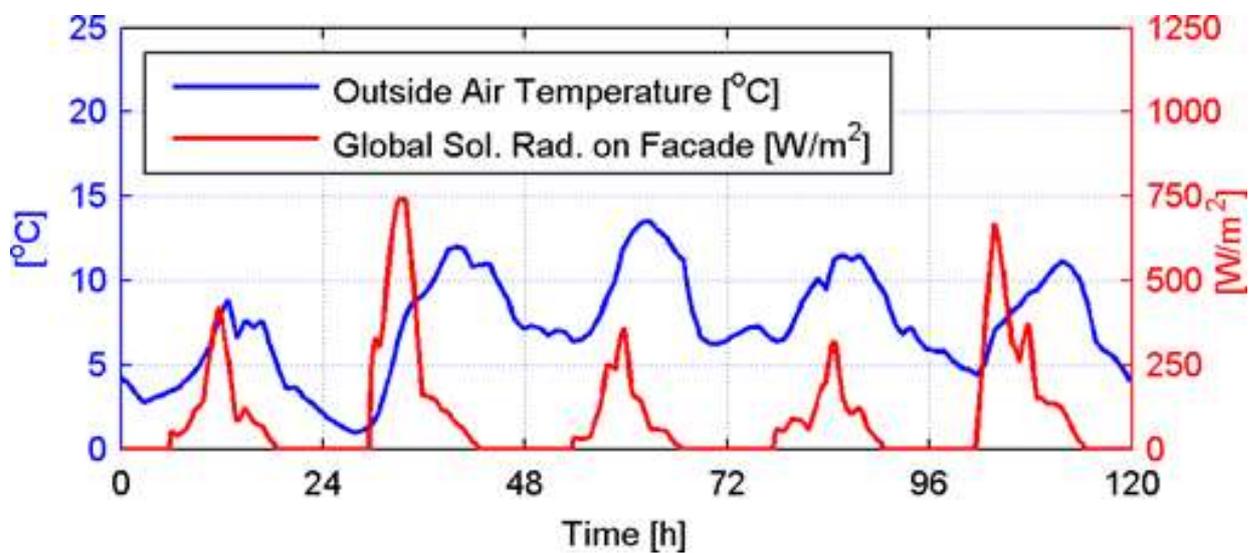


Figura 4. Entradas de simulación RC. Temperatura exterior y radiación solar global en la fachada.

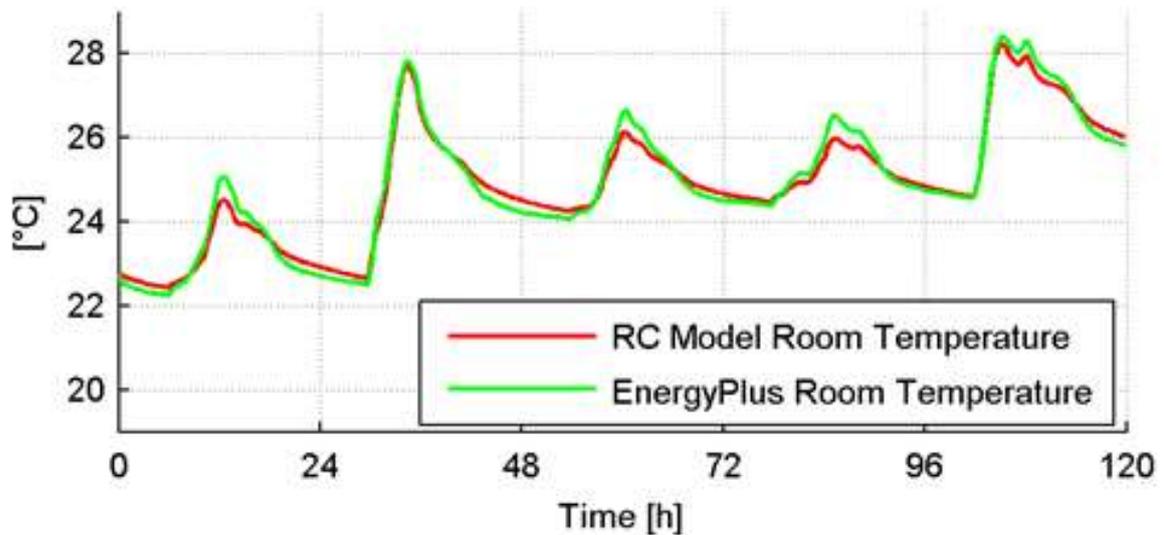


Figura 5. Temperaturas de la habitación del modelo RC y EP.

Finalmente, la Figura 3 muestra las diferencias (RC-EP) de las temperaturas de la superficie del elemento de construcción y la diferencia de temperatura ambiente. Las temperaturas de la superficie variaron en el mismo rango que la temperatura ambiente. Durante el período de cinco días, la diferencia de temperatura del aire de la zona estaba dentro de 0.5°C , mientras que las temperaturas del elemento de construcción de la pared en general coincidían bien también, excepto en los tiempos con alta radiación solar. Esto se debe al modelado de la radiación térmica indirectamente mediante un coeficiente convectivo de transferencia de calor modificado.



4. CONCLUSIONES

En este documento se presentó una caja de herramientas de Matlab capaz de generar modelos de construcción lineales, así como los costos y restricciones para MCP. Este es el primer marco que apunta a generar modelos de construcción completos para MCP. Toolbox ha sido probado exhaustivamente y todas las funcionalidades documentadas funcionan bien. La limitación actualmente más restrictiva es que depende de radiaciones solares calculadas externamente. La herramienta computacional MATLAB se consolida en cada nueva versión como una plataforma más completa y óptima para el análisis ingeniería y de matemáticas aplicadas.



5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arun Kumar, P., Geetha, M., Chandran, K. R., & Sanjeevikumar, P. (2018) PEM fuel cell system identification and control. *Vol. 435. Lecture Notes in Electrical Engineering* (pp. 449-457).
- Clarke, R. (2017) Introduction: Cancer gene networks. *Vol. 1513. Methods in Molecular Biology* (pp. 1-9).
- Lee, Y. M., Horesh, R., & Liberti, L. (2016). Simulation and optimization of energy efficient operation of HVAC system as demand response with distributed energy resources. Paper presented at the Proceedings - Winter Simulation Conference.
- Madsen, A. L., Søndberg-Jepesen, N., Sayed, M. S., Peschl, M., & Lohse, N. (2017) Applying object-oriented bayesian networks for smart diagnosis and health monitoring at both component and factory level. *Vol. 10351 LNCS. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (pp. 132-141).
- Mei, Y., Li, X., & Qi, Y. (2016). *A model predictive control method for three-level bi-directional DC-DC converter in renewable generation system*. Paper presented at the 2015 18th International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS 2015.
- Menon, R. P., Maréchal, F., & Paolone, M. (2016). Intra-day electro-thermal model predictive control for polygeneration systems in microgrids. *Energy, 104*, 308-319. doi:10.1016/j.energy.2016.03.081
- Reynolds, J., Rezgui, Y., & Hippolyte, J. L. (2017). Upscaling energy control from building to districts: Current limitations and future perspectives. *Sustainable Cities and Society, 35*, 816-829. doi:10.1016/j.scs.2017.05.012
- Reynolds, J., Rezgui, Y., Kwan, A., & Piriou, S. (2018). A zone-level, building energy optimisation combining an artificial neural network, a genetic algorithm, and model predictive control. *Energy, 151*, 729-739. doi:10.1016/j.energy.2018.03.113
- Silva, J. M. F., Godina, R., Rodrigues, E. M. G., Pouresmaeil, E., & Catalao, J. P. S. (2017). *Residential MPC controller performance in a household with PV*



microgeneration. Paper presented at the 2017 IEEE Manchester PowerTech, Powertech 2017.

Strzalka, R., Strzalka, A., Kalina, J., & Eicker, U. (2017). *Effective system integration of decentralised biomass cogeneration plants*. Paper presented at the European Biomass Conference and Exhibition Proceedings.

Wanjiru, E. M., Sichilalu, S. M., & Xia, X. (2017). Model predictive control of heat pump water heater-instantaneous shower powered with integrated renewable-grid energy systems. *Applied Energy*, 204, 1333-1346.
doi:10.1016/j.apenergy.2017.05.033

Weeratunge, H., Narsilio, G., de Hoog, J., Dunstall, S., & Halgamuge, S. (2018). Model predictive control for a solar assisted ground source heat pump system. *Energy*, 152, 974-984. doi:10.1016/j.energy.2018.03.079

Wu, C., Gu, W., Jiang, P., Li, Z., Cai, H., & Li, B. (2017). Combined Economic Dispatch Considering the Time-Delay of a District Heating Network and Multi-Regional Indoor Temperature Control. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. doi:10.1109/TSTE.2017.2718031

Xue, Y., Todd, M., Ula, S., Barth, M. J., & Martinez-Morales, A. A. (2016). *A comparison between two MPC algorithms for demand charge reduction in a real-world microgrid system*. Paper presented at the Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference.

Xypolytou, E., Meisel, M., & Sauter, T. (2017). *Short-term electricity consumption forecast with artificial neural networks - A case study of office buildings*. Paper presented at the 2017 IEEE Manchester PowerTech, Powertech 2017.

Zhang, X., Wang, R., & Bao, J. (2018). A novel distributed economic model predictive control approach for building air-conditioning systems in microgrids. *Mathematics*, 6(4). doi:10.3390/math6040060

Zhao, L. P., Carlsson, A., Larsson, H. E., Forsander, G., Ivarsson, S. A., Kockum, I., . . . Lernmark, Å. (2017). Building and validating a prediction model for paediatric type 1 diabetes risk using next generation targeted sequencing of class II HLA genes. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 33(8).
doi:10.1002/dmrr.2921



Generación de modelo de control predictivo usando Matlab

Revista Publicando, #(#). ####, ##-##. ISSN 1390-9304 <Estos datos se especifican en el proceso de Edición>

Zhao, Y., Lu, Y., Yan, C., & Wang, S. (2015). MPC-based optimal scheduling of grid-connected low energy buildings with thermal energy storages. *Energy and Buildings*, 86, 415-426. doi:10.1016/j.enbuild.2014.10.019

Zhao, Y., Ye, L., Pinson, P., Tang, Y., & Lu, P. (2018). Correlation-Constrained and Sparsity-Controlled Vector Autoregressive Model for Spatio-Temporal Wind Power Forecasting. *IEEE Transactions on Power Systems*. doi:10.1109/TPWRS.2018.2794450