14 de marzo de 2019

Laura Aguilera Checa

Ignacio Aguilera Gómez

Grado en ingeniería informática

Universidad de Almería

Práctica 1. Introducción a la programación en tiempo real

Sistemas de tiempo real

Contenido

[1. Autores 2](#_Toc3460490)

[2. Introducción 2](#_Toc3460491)

[2. Actividades a realizar 2](#_Toc3460492)

[2.1. Ejercicio 1 2](#_Toc3460493)

[2.1.1. Sistemas y subsistemas externos relacionados 2](#_Toc3460494)

[2.1.2. Funcionalidad de los elementos del sistema 2](#_Toc3460495)

[2.1.3. Funcionalidad de los elementos de seguridad 3](#_Toc3460496)

[2.2. Ejercicio 2 3](#_Toc3460497)

[2.3. Ejercicio 3 6](#_Toc3460498)

[3. Conclusión 7](#_Toc3460499)

[Anexo. Descripción del problema: Control de una instalación de destilación por membranas 8](#_Toc3460500)

# 1. Autores

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Apellidos | Aguilera | Checa |
| Nombre | Laura |  |
| Titulación | Grado de Ingeniería Informática | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Apellidos | Aguilera | Gómez |
| Nombre | Ignacio |  |
| Titulación | Grado de Ingeniería Informática | |

# 2. Introducción

En esta práctica se utilizarán los aspectos básicos aprendidos en el lenguaje de programación Ada para resolver un problema sobre el control de una instalación de destilación por membranas. Para ello, en primer lugar, se analizarán los elementos y funcionalidades del sistema en base a la descripción del problema que se encuentra en el anexo. Por otra parte, se montará un simulador de la planta, mediante el cual, introduciendo los datos de entrada, podremos analizar el rendimiento del campo.

# 2. Actividades a realizar

## 2.1. Ejercicio 1

En primer lugar, se realizará una descripción general del proceso, detallando los sistemas y subsistemas externos relacionados, las funcionalidades de los elementos del sistema y las funcionalidades de los elementos de seguridad.

### 2.1.1. Sistemas y subsistemas externos relacionados

Los sistemas externos y subsistemas relacionados, organizados en tres tipos (elementos de control, sensores e indicadores), son los siguientes:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Elemento de control | Sensores | Indicadores |
| Control de la temperatura de salida del campo solar (ST2) | Sensor de radiación (SR1) | Visualización por pantalla de los estados de todos los actuadores de la instalación |
| Control del caudal de entrada del campo solar (SC1) | Sensor de temperatura ambiente (ST4) |
| Control del caudal de entrada al módulo de destilación (SC2) | Sensor de temperatura de entrada al campo (ST1) |
| Bomba 1 | Sensor de la temperatura del agua del mar (ST3) |
| Bomba 2 | Sensor de temperatura que llega desde el campo (ST2) |
| Sensor de destilado (SD1) |

### 2.1.2. Funcionalidad de los elementos del sistema

El sistema cuenta con cuatro elementos principales: el campo solar térmico, el módulo de destilación, el módulo de adquisición de datos y el módulo de gestión de consola.

#### Funcionalidad del campo solar térmico

|  |  |
| --- | --- |
| Identificador | Descripción |
| R2.1 | Mantener una temperatura de salida inferior a 200°C |
| R2.2 | Mantener una temperatura de operación de 80°C |
| R2.3 | Variar el caudal de entrada en función de los niveles de irradiancia |

#### Funcionalidad del módulo de destilación

|  |  |
| --- | --- |
| Identificador | Descripción |
| R2.4 | Mantener un nivel de producción de 25L/h |
| R2.5 | Variar el caudal en función de la temperatura del agua del mar y la temperatura del campo |
| R2.6 | Mantener la temperatura de entrada inferior a 85°C |

#### Funcionalidad del módulo de adquisición de datos

|  |  |
| --- | --- |
| Identificador | Descripción |
| R2.7 | Medir periódicamente la temperatura |
| R2.8 | Medir periódicamente el caudal |
| R2.9 | Almacenar información en un histórico |

#### Funcionalidad del módulo de gestión de consola

|  |  |
| --- | --- |
| Identificador | Descripción |
| R2.10 | Mostrar los estados de los actuadores de la instalación |

### 2.1.3. Funcionalidad de los elementos de seguridad

|  |  |
| --- | --- |
| Identificador | Descripción |
| RS1 | Si se detecta que la temperatura de salida del campo es mayor de 100°C, se parará la bomba 1 |
| RS2 | Si la temperatura de entrada del módulo MD es superior a 85°C, se parará la bomba 2 |

## 2.2. Ejercicio 2

A continuación, se montará un simulador de la planta programado en Ada. En función a los datos de entrada dados, obtenemos la siguiente tabla, en la que se representa el valor de los sensores que intervienen en el sistema.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| k | ST1 | ST2 | ST3 | ST4 | SC1 | SC2 | SR1 | SD1 |
| 1 | 176,311 | 187,311 | 20 | 21 | 20 | 400 | 600 | 11,208 |
| 2 | 236,298 | 247,298 | 19,6 | 21 | 20 | 400 | 604 | 69,4576 |
| 3 | 158,169 | 169,169 | 19,8 | 21,1 | 20 | 400 | 610 | -16,0541 |
| 4 | 160,705 | 171,705 | 20 | 21 | 20 | 400 | 620 | -16,152 |
| 5 | 150,347 | 161,347 | 20 | 21 | 20 | 400 | 580 | -16,152 |
| 6 | 137,399 | 148,399 | 20,5 | 21 | 20 | 400 | 530 | -16,3968 |
| 7 | 116,683 | 127,683 | 20 | 21 | 20 | 400 | 450 | -16,152 |
| 8 | 109,021 | 120,021 | 20 | 21,2 | 20 | 400 | 420 | -16,152 |
| 9 | 119,273 | 130,273 | 21 | 21 | 20 | 400 | 460 | -16,6416 |
| 10 | 103,736 | 114,736 | 20 | 21 | 20 | 400 | 400 | -16,152 |
| 11 | 116,683 | 127,683 | 19,5 | 21 | 20 | 400 | 450 | -15,9072 |
| 12 | 124,611 | 135,611 | 19 | 21,3 | 20 | 400 | 480 | -15,6624 |
| 13 | 103,736 | 114,736 | 19,5 | 21 | 20 | 400 | 400 | -15,9072 |
| 14 | 103,736 | 114,736 | 20 | 21 | 20 | 400 | 400 | -16,152 |
| 15 | 90,7879 | 101,788 | 21 | 21 | 20 | 400 | 350 | -16,6416 |

Se realizará un análisis detallado para cada tipo de sensor en función a los resultados obtenidos.

En primer lugar, analizaremos los valores de los sensores de temperatura ST1, ST2, ST3 y ST4. Los valores de ST3 y ST4, que representan la temperatura del mar y la temperatura ambiente respectivamente, tienen valores prácticamente constantes dados por los datos de entrada, por lo que no serán relevantes para el problema. Por lo tanto, nos centraremos en los valores de ST1 y ST2, que representan los valores de entrada y salida del campo, por lo que ambos son similares.

Para el sensor de temperatura de entrada del campo (ST1), el valor debe ser de menos de 85°C. Como el valor inicial cuando k es igual a 2 es mucho mayor al deseado, se parará la bomba 2 y la temperatura empezará a descender hasta alcanzar el valor óptimo cuando k es igual a 15.

En cuanto al sensor de temperatura de salida (ST2), el comportamiento es similar. En este caso, como la temperatura es mayor de 100°C, se para la bomba 1 y el valor de ST2 desciende.

Gráfica 1. Valor en °C de los distintos sensores de temperatura a lo largo de la ejecución.

En segundo lugar, se analizará el resultado de los sensores de caudal SC1, que representa el caudal de entrada del campo solar, y SC2, que muestra el valor del caudal de entrada al módulo de destilación. Como podemos ver, la gráfica no muestra un resultado muy interesante, ya que ambos valores son dados como constantes en la descripción del problema. Esto representa un problema, ya que, según las funcionalidades de los elementos de seguridad mencionadas en el apartado 2.1.3, las bombas deberían pararse cuando se detectan ciertos valores de temperatura anteriormente especificado y, como se indica en el análisis de los sensores de temperatura, los valores exceden el límite para ambos sensores. Por tanto, como se están incumpliendo las restricciones de seguridad, el campo no tendría un funcionamiento óptimo.

Gráfica 2. Valor en L/h de los sensores de caudal SC1 y SC2 a lo largo de la ejecución.

La gráfica para el sensor de destilado SD1 corrobora la conclusión desarrollada anteriormente. Como la bomba 1 no se ha desactivado al alcanzar ST1 una temperatura superior a 100°C, el agua ha continuado circulando con normalidad, pero al ser la temperatura demasiado alta, el agua se evapora y, por tanto, no se produce la destilación. Como podemos ver en la gráfica, los valores de destilado descienden bruscamente después de alcanzar ST1 su máximo.

Gráfica 3. Valor en L/h del sensor de destilado SD1 a lo largo de la ejecución.

Los valores del sensor de radiación SR1 no son relevantes para el problema ya que se obtienen a partir de la tabla de datos de entrada.

## 2.3. Ejercicio 3

Para que el sistema cumpla con las restricciones de seguridad, se realizarán ahora los cálculos tomando los valores óptimos para los ST2, con un valor de 80°C, y SD1, cuyo valor será de 25L/h. De este modo, se calcularán los valores óptimos para los controladores de caudal SC1 y SC2. Los valores de SR1, ST3 y ST4 se tomarán de la tabla de datos del ejercicio anterior.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| k | ST1 | ST2 | ST3 | ST4 | SC1 | SC2 | SR1 | SD1 |
| 1 | 70,2072 | 81,2072 | 20 | 21 | 8,75932 | 488,485 | 600 | 14,1811 |
| 2 | 71,8832 | 82,8832 | 19,6 | 21 | 20 | 484,776 | 604 | 25,6488 |
| 3 | 73,6305 | 84,6305 | 19,8 | 21,1 | 20 | 486,63 | 610 | 26,5545 |
| 4 | 75,5378 | 86,5378 | 20 | 21 | 20 | 488,485 | 620 | 27,5048 |
| 5 | 76,3133 | 87,3133 | 20 | 21 | 20 | 488,485 | 580 | 28,5366 |
| 6 | 75,759 | 86,759 | 20,5 | 21 | 20 | 493,121 | 530 | 28,9887 |
| 7 | 73,172 | 84,172 | 20 | 21 | 20 | 488,485 | 450 | 28,6563 |
| 8 | 69,959 | 80,959 | 20 | 21,2 | 20 | 488,485 | 420 | 27,2568 |
| 9 | 68,9717 | 79,9717 | 21 | 21 | 17,932 | 497,758 | 460 | 25,5273 |
| 10 | 69,0011 | 80,0011 | 20 | 21 | 13,5693 | 488,485 | 400 | 24,9847 |
| 11 | 69 | 80 | 19,5 | 21 | 15,9476 | 483,849 | 450 | 25,0006 |
| 12 | 69 | 80 | 19 | 21,3 | 17,3808 | 479,212 | 480 | 25 |
| 13 | 69 | 80 | 19,5 | 21 | 13,6028 | 483,849 | 400 | 25 |
| 14 | 69 | 80 | 20 | 21 | 13,6028 | 488,485 | 400 | 25 |
| 15 | 69 | 80 | 21 | 21 | 11,2596 | 497,758 | 350 | 25 |

En este caso, analizaremos las gráficas convenientes en función a los resultados obtenidos en el ejercicio anterior.

En primer lugar, se muestra la gráfica de los sensores de temperatura. Al compararla con la anterior, podemos ver que, en este caso, la temperatura es mucho más constante y los valores rondan en torno a los valores de temperatura ideales como consecuencia de haber implementado las medidas de seguridad.

Gráfica 4. Valor en °C de los sensores de temperatura a lo largo de la ejecución activando las medidas de seguridad.

Por otra parte, podemos comprobar como los valores de los sensores de caudal se mantienen prácticamente constantes. Para SC2, podemos destacar que el valor aumenta un poco respecto al ejercicio anterior, mientras que para SC1 se mantiene prácticamente igual.

Gráfica 5. Valor en L/h de los sensores de caudal a lo largo de la ejecución activando las medidas de seguridad.

Por último y más importante, se analizará la gráfica para los sensores de destilado. En la ejecución anterior habíamos observado que el nivel de destilado descendía hasta alcanzar valores negativos a lo largo de la ejecución debido a que no se aplicaban las medidas de seguridad. En este caso, la temperatura permanece mucho más constante y no supera los valores establecidos para que pueda producirse el destilado, y esto se puede apreciar en la siguiente gráfica. Por tanto, podemos ver que el valor del destilado se mantiene constante en función a la temperatura.

Gráfica 3. Valor en L/h del sensor de destilado SD1 a lo largo de la ejecución activando las medidas de seguridad.

# 3. Conclusión

Analizando los resultados del problema antes y después de aplicar las medidas de seguridad podemos demostrar como estas son imprescindibles para que el campo funcione de forma óptima. Se ha demostrado como al aplicarlas se ha pasado de obtener valores negativos de nivel de destilado a un valor constante de 25L/h.

# Anexo. Descripción del problema: Control de una instalación de destilación por membranas

En la Figura 1 se presenta el diagrama esquemático de una instalación de destilación por membranas alimentada con energía solar. Esta instalación se basa en una tecnología llamada destilación por membranas, en la cual, a través de un proceso de evaporación se produce agua desalada usando como alimentación agua de mar.

En este tipo de instalaciones se requieren dos procesos fundamentales de control. El primero consiste en el control de la temperatura de salida del campo solar (ST2 en la Fig. 1). Mantener una temperatura adecuada a la salida del campo es determinante para lograr un óptimo funcionamiento de la planta. En este tipo de sistemas la señal de control es el caudal de entrada del campo solar (SC1 en la Fig. 1), el cual se debe ir variando en función de los niveles de irradiancia medidos a través del sensor de radiación (SR1 en la Fig. 1) y las condiciones de operación del campo solar las cuales son la temperatura ambiente, la cual se mide a través del sensor ST4, y la temperatura de entrada al campo, medida a través del sensor ST1. La temperatura óptima de operación del campo solar para esta operación es de 80oC.

La segunda tarea de control consiste en mantener un nivel de producción de destilado determinado, el cual se mide con el sensor de destilado SD1. En este caso la señal de control es el caudal de entrada al módulo de destilación (SC2 en la Fig. 1), el cual debe ir variando en función de la temperatura del agua de mar, medida con el sensor ST3 y la temperatura que le llega desde el campo (ST2). El nivel deseado de producción es de 25 L/h.

Además, este proceso industrial está sujeto a algunas restricciones, las cuales deben tenerse en cuenta como medidas de seguridad. La primera consiste en que la temperatura a la salida del campo no debe ser mayor de 100oC, ya que el fluido es agua y a esa temperatura formaría vapor. Por tanto, si se detecta que la temperatura es mayor de 100oC, se debe parar la bomba 1. Del mismo modo, la temperatura a la entrada del módulo MD, no puede ser mayor de 85oC, si esto ocurre, se debe parar la bomba 2. Por último, como en casi todas las plantas industriales, se requiere una visualización por pantalla de los estados de todos los actuadores de la instalación. También se requiere un almacenamiento histórico de toda esta información.

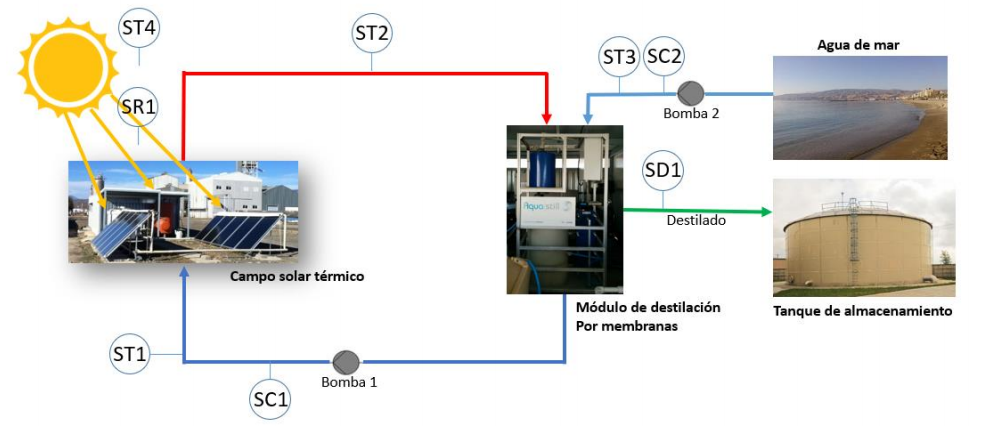


Figura 1. Diagrama esquemático de la instalación de destilación por membranas. ST son sensores de temperatura [oC], SC son sensores de caudal [L/h], SR es un sensor de radiación [W/m2], y SD es un sensor de destilado [L/h].