



Universidad de Oviedo

Memoria del Trabajo Fin de Máster realizado por

DANIEL ANGULO DUQUE

para la obtención del título de

Máster en Ingeniería de Automatización e Informática Industrial

**APLICACIÓN PARA AUTOMATIZAR EL  
APAGADO EN RAMPAS DE COQUE**

JULIO 2016

## Índice

1	INTRODUCCIÓN .....	5
1.1	OBJETIVO.....	8
2	ANÁLISIS .....	10
2.1	ANÁLISIS PREVIO .....	13
2.2	MODELADO .....	18
2.2.1	CONFIGURACIÓN DE LA APLICACIÓN .....	19
2.2.2	CONFIGURACIÓN DE LAS ZONAS.....	19
2.2.3	CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR OPC.....	29
2.2.4	PROGRAMA PLC.....	30
3	DISEÑO .....	33
3.1	HARDWARE .....	34
3.1.1	CAMARA .....	35
3.1.2	PLC .....	38
3.1.3	CAÑÓN DE AGUA.....	39
3.1.4	ORDENADOR.....	40
3.2	SOFTWARE .....	40
4	DESARROLLO .....	41
4.1	ENTORNO DE DESARROLLO .....	41
4.1.1	FLIR SDK 2.6 .....	42
4.1.2	VISUAL STUDIO 2013 PROFESSIONAL.....	43
4.1.3	TIA PORTAL 2013 .....	43
4.1.4	OPC .NET WRAPPER 2.0.....	44
4.1.5	KEPWARE OPC SERVER V5.....	45
4.2	APLICACIÓN.....	46
4.2.1	CONFIGURACIÓN .....	47
4.2.2	ALGORITMO.....	55
4.2.3	RUTINA DE ENFRIADO .....	57
4.2.4	RUTINA DE VACIADO .....	60

4.2.5	OPC EN LA APLICACIÓN .....	61
4.2.6	PUBLICACIÓN SUBSCRIPCIÓN .....	64
4.2.7	FUNCIONAMIENTO .....	65
4.2.8	MODO MANUAL .....	70
5	RESULTADOS .....	75
5.1	ALGORITMO .....	76
5.2	FLEXIBILIDAD DE LA APLICACIÓN .....	77
5.3	APAGADO Y VACIADO .....	77
5.4	ROBUSTEZ .....	78
6	CONCLUSIONES .....	79
6.1	FUTURAS LINEAS .....	82
7	BIBLIOGRAFIA.....	83
	PRESUPUESTO .....	85
	COSTES DE ODENADOR Y COMPLEMENTOS .....	86
	COSTES DEL SOFTWARE ASOCIADO AL PROYECTO .....	86
	COSTES DE DISEÑO .....	87
	CALCULO DEL COSTE POR HORA .....	87
	COSTE TOTAL DEL PROYECTO .....	89
	ANEXO I .....	90
	MANUAL DE USUARIO .....	90
	TIPO DE APLICACIÓN .....	90
	CONFIGURACIÓN DE CÁMARAS Y ZONAS .....	91
	CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR OPC.....	93

Ilustración 1 - Coque de carbón ( <a href="http://www.mooseforge.com">http://www.mooseforge.com</a> )	6
Ilustración 2- Hornos de coque ( <a href="http://www.mooseforge.com">http://www.mooseforge.com</a> )	7
Ilustración 3- Vista de la planta coquera	11
Ilustración 4- Hornos donde se calienta el coque hasta temperaturas superiores a 1000°C	12
Ilustración 5- Rampa de apagado	13
Ilustración 6- Estados de la rampa	15
Ilustración 7 - Detalle de la rampa y de las trampillas	16
Ilustración 8- Etapas para enfriar el coque	17
Ilustración 9 - Configuración de la aplicación	19
Ilustración 10 - Configurar cámaras	19
Ilustración 11 - Interfaz ICamara	20
Ilustración 12 - Configuración de las zonas de interés	21
Ilustración 13 – Modelo lógico de la rampa	22
Ilustración 14 - Ejemplo de 2 cámaras con 3 cañones	23
Ilustración 15 - Rampa con 2 cámaras y 3 trampillas	23
Ilustración 16- Diagrama de clases del modelo de la rampa	24
Ilustración 17 - Proceso de obtención y procesado de imágenes	25
Ilustración 18 - Diagrama de clases del modelo de la rampa	28
Ilustración 19 - Casos de uso configuración servidor OPC y programa del PLC	30
Ilustración 20 - Esquema modo automático del cañón	31
Ilustración 21 - Modo manual del cañón de agua	32
Ilustración 22 - Arquitectura del sistema	34
Ilustración 23- Cámara termográfica A310 ( <a href="http://www.flir.es">www.flir.es</a> )	35
Ilustración 24- CPU S7-1500 ( <a href="http://www.siemens.com">www.siemens.com</a> )	39
Ilustración 25 - Esquema de una aplicación que implementa MVC	46
Ilustración 26- Proceso de la aplicación	47
Ilustración 27 - Selección del tipo de aplicación y numero de cámaras de la aplicación	48
Ilustración 28 - Adición de una subzona en la aplicación	50
Ilustración 29 - Configuración zonas de apagado	51
Ilustración 30 - Configuración zonas de vaciado	52
Ilustración 31- Transiciones aplicadas por el algoritmo de cada zona	56
Ilustración 32- Diagrama de secuencia del algoritmo	57
Ilustración 33 - Rutina de enfriado en el PLC	59
Ilustración 34- Recorrido de una matriz de temperaturas para una subzona	60
Ilustración 35 - Recorrido de una zona de temperaturas con más de una subzona	60
Ilustración 36 - Esquema rutina de vaciado	61
Ilustración 37 - Esquema OPC	62
Ilustración 38- Esquema de una posible arquitectura de control	63
Ilustración 39- Visualización del cliente OPC en la aplicación	64

Ilustración 40- Ejemplo de comunicación asíncrona con el modelo de publicación – suscripción	64
Ilustración 41 - Aplicación con dos equipos de supervisión	65
Ilustración 42- Ventana de opciones	66
Ilustración 43 - Opciones de visualización	67
Ilustración 44 - Aplicación enfriando dos zonas al mismo tiempo	68
Ilustración 45 - Funcionamiento de la aplicación	69
Ilustración 46 - Casos de uso modo de funcionamiento manual	70
Ilustración 47 - Funcionamiento manual de una zona en la aplicación	72
Ilustración 48- Funcionamiento manual de un grupo de trampillas	73
Ilustración 49 - Esquema de zonificación sobre la rampa real	81
Ilustración 50 - Asistente de configuración	90
Ilustración 51- Configuración de cámaras y zonas	92



## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

# 1 INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales se caracterizan por ser procesos muy exigentes, donde una sola diferencia puede suponer una gran ventaja con respecto a los competidores. Esta es una de las razones por la cual cualquier compañía actual intenta realizar mejoras en sus procesos productivos. Estas mejoras vienen de la mano de la investigación y del desarrollo de nuevas tecnologías que aumenten el rendimiento económico de su actividad.

La tecnología actualmente aumenta a una gran velocidad esto hace que muchos de los anteriores procesos vayan quedando anticuados y por ello que sea necesario introducir mejoras, como pueda ser por ejemplo la automatización de tareas que antes eran llevadas a cabo por personas.

Además las tecnologías disponibles actualmente pueden ser utilizadas como herramientas que nos ayuden a obtener información de dichos procesos, ya sea mediante la adquisición de datos perceptibles o proveyendo a los operarios de herramientas que faciliten la interacción con el proceso o mediante ambas.

El presente proyecto se enfoca en la industria del coque de carbón, cuyo proceso permanece inalterado desde hace una gran cantidad de años, pero en el que las mejoras de la maquinaria interviniente se realizan de manera continua.



*Ilustración 1 - Coque de carbón (<http://www.mooseforge.com>)*

Actualmente la mayor parte de la energía consumida en el mundo (cerca de un 35%) procede del carbón, aunque es cierto que su uso ha decrecido en los últimos años, existen todavía muchas instalaciones que utilizan esta materia prima como fuente de energía y con perspectivas de que así va a seguir siendo en un futuro cercano.

En Asturias debido a la gran cantidad explotaciones de carbón, la industria que utiliza esta materia es muy amplia y variada, y abarca instalaciones de todo tipo, desde minas donde se extrae, hasta plantas que lo consumen, pasando por lavaderos, coquerías, etc...

Su uso más ampliamente extendido consiste en la combustión de este para la obtención de energía calorífica, sobre todo en las grandes industrias, aunque todavía existen zonas donde se utiliza como calefacción para viviendas éstas suponen un muy pequeño porcentaje.

Dentro de la industria merece especial mención la fabricación de acero, donde el 100% del combustible utilizado es de origen fósil (carbón o petróleo) debido a sus propiedades caloríficas que permiten alcanzar temperaturas muy elevadas.

Para conseguir estas temperaturas es necesario que este combustible este previamente tratado, para elevar la concentración del combustible y conseguir mejores combustiones. En el caso del carbón, uno de sus derivados que se emplean para estos fines es el coque, obtenido en coquerías y objeto de este proyecto.

El coque es un residuo sólido obtenido de la combustión química del carbón a altas temperaturas que oscilan entre 500°C y 1300°C, lo que hace que este solo pueda producirse en entornos industriales con instalaciones apropiadas para poder soportar dichas temperaturas.

Para la obtención de este material se deben cumplir varios requisitos:

- El carbón no debe entrar en contacto con el aire.
- Conseguir una temperatura superior a 500°C.

Los anteriores requisitos deben ser satisfechos durante un período mínimo de 12 horas aproximadamente antes de que el carbón se convierta en coque.

La principal diferencia entre el carbón y el coque es que el primero es la materia prima, que podemos encontrar en la naturaleza, y el segundo es su derivado que contiene mayor concentración de carbón lo que le convierte en una materia con un poderoso poder calorífico, y le permite poder ser empleado en procesos con una elevada demanda de temperatura.

Existen otras diferencias cuantitativas importantes que lo hacen mucho más idóneo para los procesos industriales, como que este es mucho más pesado, tiene mayor resistencia mecánica, además de que la cantidad de cenizas después de la combustión es menor, tiene menor cantidad de azufre y su grado de humedad es inferior.

Una vez el carbón se ha calentado y se ha fundido formando una placa dentro del horno se transporta mediante un carro guía que empuja el horno y deposita la placa de coque todavía caliente sobre una rampa, donde se rebaja la temperatura mediante agua hasta unos 300°C, temperatura a la que se pone fin a la ignición del coque y a la cual este puede ser transportado.



Ilustración 2- Hornos de coque  
(<http://www.mooseforge.com>)

El apagado del coque, con agua, en la llamada rampa de apagado es muy importante, pues durante este se rebaja la energía desprendida en el proceso de la combustión y evitando que el coque siga absorbiendo calor y acabe consumiéndose, lo que supondría la obtención de una cantidad menor de coque.

En definitiva realizar un buen apagado resulta muy efectivo ya que de esta manera se consigue incrementar el rendimiento del proceso productivo al obtener mayor cantidad de producto.

Actualmente el proceso de apagado es realizado por un operario que armado con un cañón de agua, enfría la masa de coque, y abre las trampillas para así poder depositarlo en la cinta transportadora. El problema es que a medida que se va reduciendo la temperatura del coque este pierde su color incandescente y va obteniendo un color grisáceo-negro, esto hace que el operario no pueda distinguir las zonas más calientes una vez pierde este estado de incandescencia.

## 1.1 OBJETIVO

El objetivo del presente proyecto consiste en la realización de una aplicación de software y hardware que automatice el proceso de apagado desde que el coque es depositado en la rampa hasta que se lleva a la cinta transportadora además de facilitar una herramienta para el operario que permita poder disponer de la información de las temperaturas del coque en la rampa.

Esta aplicación no deberá ser dependiente de ningún tipo de rampa concreta ya que deberá poder ser instalada en cualquier rampa de coque de manera sencilla e intuitiva.

Con ello se pretende incorporar al proceso de apagado del coque de una importante mejora que permitirá:

- Apagar el coque de manera más eficaz al tener control sobre la temperatura de la rampa.
- Automatizar el proceso con todo lo que ello supone.
- Ahorrar agua debido a la utilización del agua únicamente en las zonas calientes.
- Obtener información del proceso para su posterior procesado.
- Importante ahorro económico.

Esta aplicación deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Ser parametrizable mediante una configuración que permita ser utilizada en cualquier otra coquería.
- Ser modular con el objetivo de que los elementos de hardware puedan ser intercambiados en la medida de lo necesario por otros de otros fabricantes.
- Seguir estándares normalizados para facilitar su mantenimiento y su escalabilidad.
- Monitorizar el proceso para poder ser controlado por un operador.



## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

Por lo tanto y a modo de resumen la aplicación deberá ser capaz de controlar todo el proceso de apagado y vaciado de la rampa, desde que se deshorna un horno hasta que se evacua el coque.



## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

## 2 ANÁLISIS

Durante el proceso de apagado del coque el coque se deposita en la rampa a una temperatura de unos 500 a 1200°C después de vaciar el horno sobre esta. Cabe destacar que el vaciado de un horno no es suficiente para rellenar toda la rampa normalmente, sino que está preparada para soportar el deshorne de varios hornos al mismo tiempo y que cada horno deshorna en una parte distinta de la rampa pudiéndose mezclar el coque depositado en la rampa por hornos contiguos.



*Ilustración 3- Vista de la planta coquera*

Además existe la posibilidad en algunos tipos de rampas de que exista uno o más bordillos de pequeña altura que separen la rampa.

El coque depositado en la rampa puede alcanzar una profundidad de hasta un metro, lo que hace que sea imposible determinar la temperatura de la masa de coque de manera superficial. Una vez el coque está listo para ser transportado, es decir, una vez que el coque ha sido enfriado se vacía a través de una compuertas situadas en la zona inferior de la rampa llamadas trampillas.

Normalmente estas trampillas se abren de manera automatizada y controladas por un operador. La razón por la que existen varias trampillas en lugar de sola una que evacue la totalidad de la rampa es que existe la posibilidad de que el sistema de enfriamiento de la rampa este trabajando en paralelo, es decir que exista una zona de coque ya fría y preparada para ser vaciada y otra caliente que todavía necesita ser enfriada. De esta manera mientras se enfría una zona la otra puede ser vaciada al mismo tiempo, de manera que no se evacua material caliente.



*Ilustración 4- Hornos donde se calienta el coque hasta temperaturas superiores a 1000°C*

Es muy importante de cara a la seguridad de la instalación que no se vacíe material a muy alta temperatura, ya que si no la cinta transportadora en la parte baja de la rampa podría quemarse.



*Ilustración 5- Rampa de apagado*

El orden de apertura de las trampillas será siempre en sentido inverso a la cinta transportadora pues de lo contrario al abrir las sucesivas trampillas depositarían el material sobre el material que está siendo transportado (a causa del movimiento de la cinta) y no sobre la cinta transportadora. Tampoco podrá darse la situación que dos trampillas estén abiertas al mismo tiempo, pues lo ideal es evitar que se amontone el material en la rampa y que este vaya lo más uniforme posible.

## 2.1 ANÁLISIS PREVIO

Como se ha comentado anteriormente la aplicación deberá poder funcionar de manera autónoma es decir las entradas de la aplicación no vendrán dadas a través de la interacción humana si no que vendrán a través de sensores u otros dispositivos que nos permitan conocer el estado de la rampa.

La entrada más importante será la temperatura del coque en la rampa. Para ello se ha tomado como mejor opción medirla a través de cámaras termográficas instaladas en la parte superior de la rampa. Pues de esta manera se puede obtener una imagen termográfica de la superficie del coque.



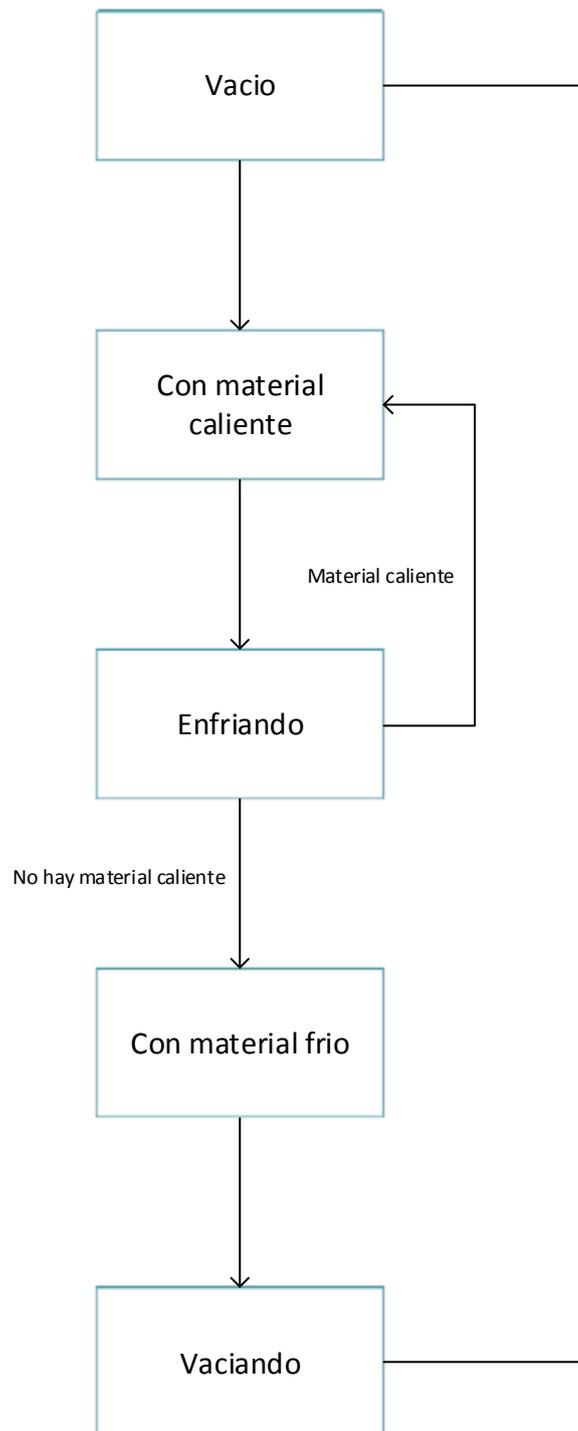
## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

Se espera además que dependiendo de la longitud de la rampa y de la distancia de esta a la cámara sea necesario instalar más de una cámara.

Las imágenes termográficas son imágenes bidimensionales que contienen información de la temperatura reflejada en el sensor de la cámara, a diferencia de las cámaras convencionales que obtienen imágenes del color de la superficie.

Conociendo la temperatura de la superficie de la rampa, se tendrá suficiente información como para conocer el estado de la rampa en cada momento. Estos estados serán los siguientes:

- Vacío
- Con material caliente
- Enfriando
- Con material frío
- Vaciando



*Ilustración 6- Estados de la rampa*

Para conocer dichos estados a partir de la imagen recibida por la cámara será necesario implementar algún tipo de algoritmo de visión de artificial.

Los actuadores de la aplicación se componen de:

- Sistema de enfriado.

- Sistema de vaciado.

Se pretende enfriar el material de la rampa a través de un cañón de agua a presión que pueda ser controlado por un procesador de manera que sea la aplicación quien decida qué zonas se deben enfriar, durante cuánto tiempo, etc...

Como pasaba con las cámaras es probable también que un solo cañón no sea suficiente para abarcar la totalidad de la rampa, por lo tanto la aplicación deberá soportar la utilización de varios cañones.

Utilizar un cañón de agua añade la problemática de que cuando se echa agua sobre una superficie a temperaturas tan altas como las que se encuentran en la zona de la rampa, gran parte de agua se vaporiza de manera instantánea y por lo tanto esto provoca que las medidas obtenidas por la cámara sean erróneas, pues la temperatura medida pertenecerá en una gran parte al vapor de agua y no a la superficie del coque.

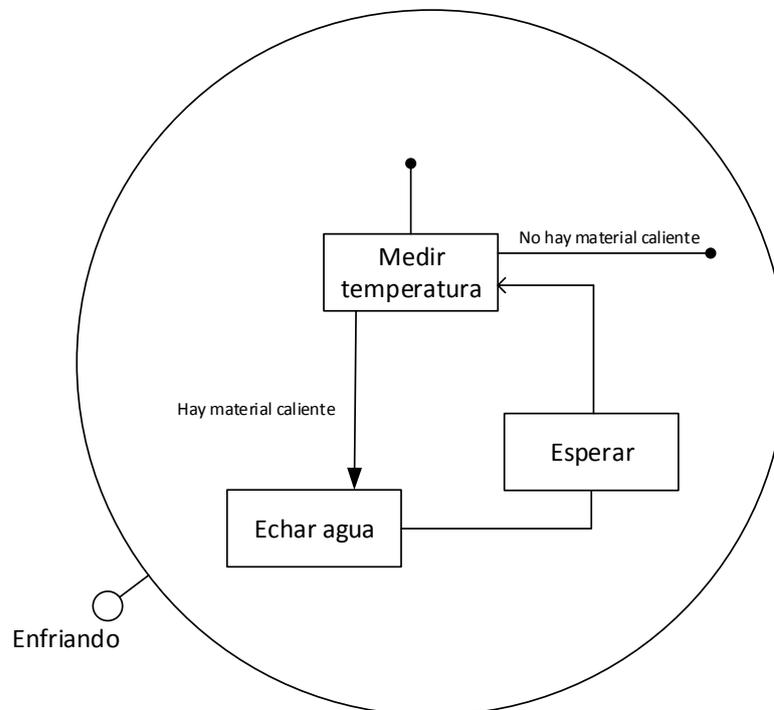


*Ilustración 7 - Detalle de la rampa y de las trampillas*

Además hay que tener en cuenta que con esto solo se enfría la superficie, por lo tanto, para obtener unos buenos resultados será necesario esperar un tiempo para que la zona inferior del material caliente la superficie y se pueda disponer de una medición más exacta. De hecho al observar este proceso en la realidad, al rociar con agua al coque incandescente durante un periodo de unos 10 segundos este obtiene un color negro,

pero después recupera su estado de incandescencia si la parte inferior del material permanece todavía a altas temperaturas.

El coque durante este estado de incandescencia después de ser horneado está en un proceso de combustión química estable, esto quiere decir que se sigue quemando y que permanecerá así hasta que su temperatura baje, es lo mismo que ocurre con el fuego y la madera, si no se apaga, la madera seguirá quemándose hasta que se calcine. De ahí la importancia de bajar la temperatura del material de manera tan rápida, ya que de otra manera la producción de coque será menor.



*Ilustración 8- Etapas para enfriar el coque*

Una vez el material está frío este debe ser evacuado a través de las trampillas. Para ello existen una serie de requisitos antes de que el material pueda ser evacuado:

- No debe haber material caliente sobre la trampilla que se va a abrir.
- No puede haber otra trampilla abierta.

Cuando una trampilla se abre, el coque se revuelve y se pueden apreciar trozos de material que se encuentran incandescentes y a más temperatura que la medida antes de vaciar. La velocidad a la que se descarga no permitirá al cañón de agua enfriar dichas zonas. Para ello se pretende instalar una serie de aspersores sobre las trampillas de

manera que cuando las trampillas se abran estos aspersores se activarán intentando descender la temperatura del material todavía caliente. Aunque este efecto es muy difícil de evitar, el objetivo es que este material caliente sea una cantidad muy pequeña.

Para cumplir el objetivo de la aplicación de poder ser instalada en cualquier tipo rampa la aplicación deberá disponer de un alto grado de configurabilidad, dicha configuración será imprescindible para poder hacerla funcionar por primera vez.

Esta configuración deberá incluir el número de cámaras a instalar además del número de cañones a instalar y el número de rejillas con las que cuenta la rampa.

## 2.2 MODELADO

Los casos de uso describen las funcionalidades de la aplicación y la interacción de los diferentes elementos presentes en ella con el núcleo de la aplicación.

Debido al requisito de que la aplicación debe ser lo suficientemente flexible como para poder ser instalada en cualquier rampa de estas características, una parte muy importante de la aplicación se basará en la configuración de la aplicación, a continuación se procede a identificar cuáles son los diferentes elementos que podrán variar en las diferentes rampas, debido a su tamaño o disposición:

- **Número de cámaras:** debido a múltiples factores como pueda ser la distancia de la cámara a la rampa o la longitud de la rampa se deberá colocar un número u otro de cámaras.
- **Número de cañones:** dependiendo de la longitud de la rampa y distancia a esta será necesario instalar un número u otro de cañones cubriendo la totalidad de la rampa.
- **Número de rejillas:** las rampas tienen diferente número de rejillas dependiendo de su longitud, etc...

Para ello será el usuario quien introduzca el número de cámaras, número de cañones y rejillas.

La configuración de la aplicación constará de los siguientes pasos:

- Configuración de la aplicación.
- Configuración de las diferentes zonas de la aplicación (cañones y trampillas)
- Configuración del servidor OPC

## 2.2.1 CONFIGURACIÓN DE LA APLICACIÓN

En este paso el usuario configurará el número de cámaras de la aplicación y cañones que se van a utilizar.

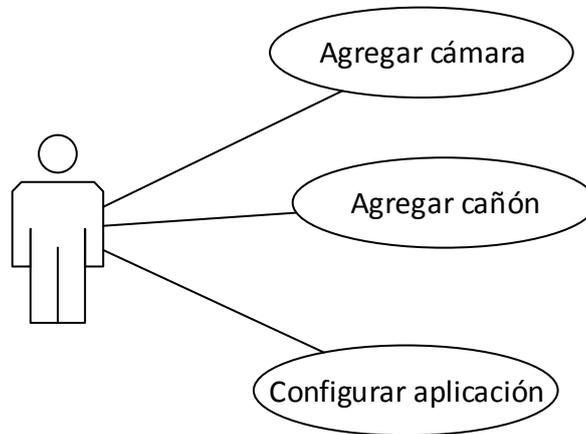


Ilustración 9 - Configuración de la aplicación

## 2.2.2 CONFIGURACIÓN DE LAS ZONAS

En este paso el usuario introducirá la configuración relativa a la conexión con las cámaras (dirección IP, etc...) además de configurar algunos ajustes de las cámaras como el enfoque, etc...

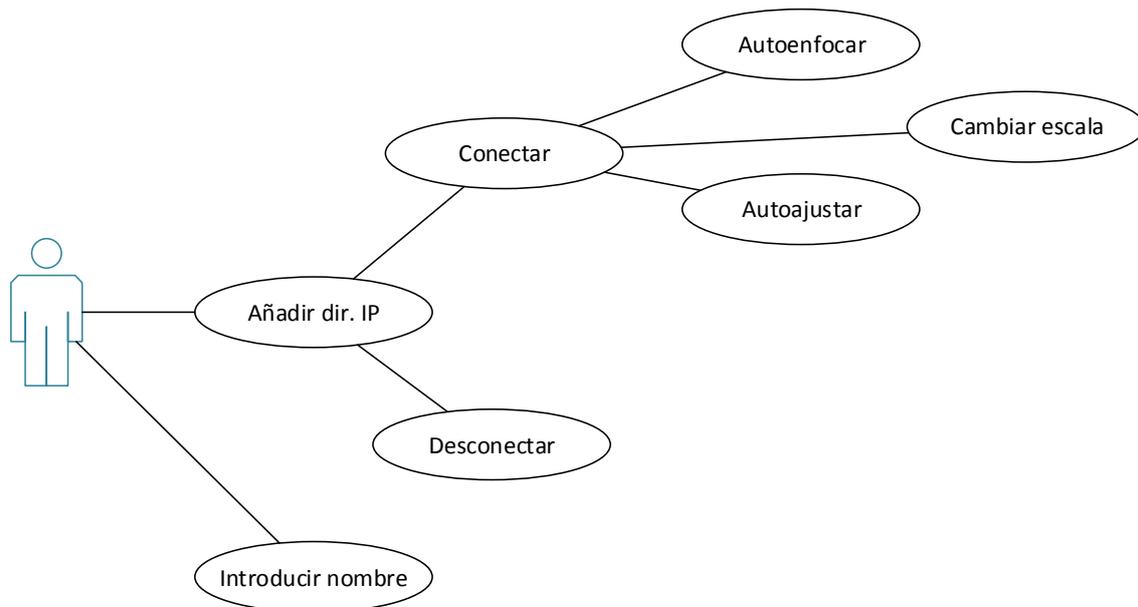


Ilustración 10 - Configurar cámaras

### 2.2.2.1 CÁMARAS

Si bien es cierto que esta aplicación no será dependiente del modelo de cámara, la utilización de otra cámara requerirá la realización específica de la capa de conexión y obtención de imágenes para dicha cámara. Para el desarrollo de esta aplicación se realizará un módulo compatible para todas las cámaras de la marca FLIR.

Con el objetivo de permitir dicha flexibilidad y hacer posible la utilización de diferentes cámaras y de diferentes fabricantes se ha especificado un interfaz llamado ICamara. Cualquier otra cámara de un fabricante distinto a FLIR deberá implementar esta interfaz. Las propiedades y métodos definidos por este son:

- Propiedades:
  - Nombre: Definirá el nombre de la cámara a modo de poder ser identificada tanto en la instalación como en el programa.
  - Ancho: Ancho de las imágenes obtenidas por la cámara en pixeles
  - Alto: Alto de las imágenes obtenidas por la cámara en pixeles.
- Métodos:
  - Conectar: Definirá un método de conexión o inicialización con la cámara.
  - Desconectar: utilizado para desconectar o liberar los recursos a esta cuando la cámara no se utilice.
  - GetImage: proporcionará una captura de la imagen.

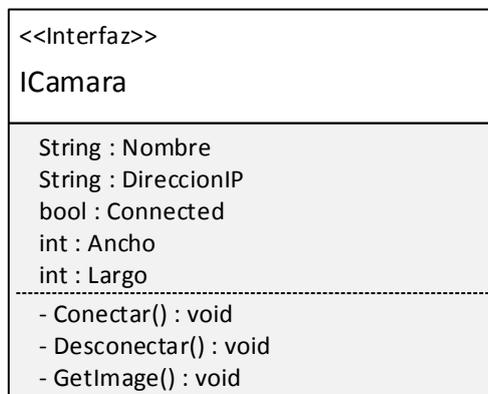


Ilustración 11 - Interfaz ICamara

La implementación de esta interfaz deberá garantizar una conexión robusta con la cámara y estable.

### 2.2.2.2 ZONAS

También deberá configurar las diferentes zonas de interés en la cámara, como definir las zonas que abarcarán cada cañón y cada rejilla.

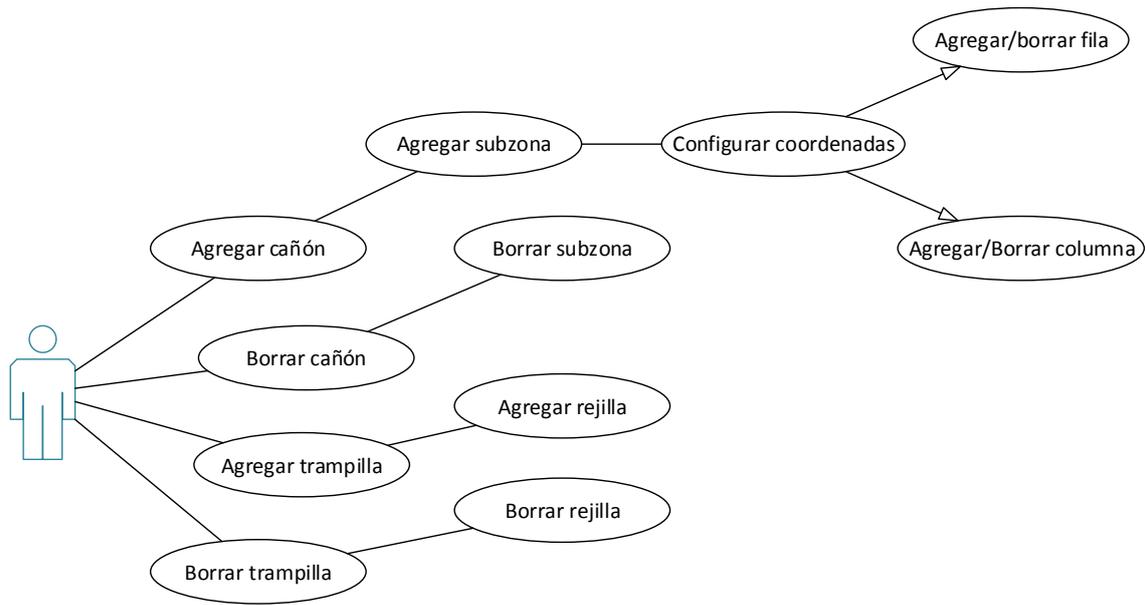


Ilustración 12 - Configuración de las zonas de interés

Las cámaras únicamente proveerán de la información de temperaturas de las rampas, por lo tanto, y con el objetivo de crear una capa de abstracción en la aplicación y puesto que la zona de alcance de un cañón o de una rejilla puede estar en una o más cámaras, se ha dispuesto del siguiente modelo en la imagen termográfica:

- **Zona:** es la zona de interés que representará un elemento del sistema real, es decir un cañón o una rejilla, y no tendrá relación con ninguna de las cámaras de manera directa, si no que contendrá los datos de las imágenes una vez estas hayan sido procesadas. Se compondrá de subzonas y dispondrá de los siguientes elementos:
  - Temperatura máxima
  - Temperatura media
  - Temperatura mínima.
  
- **Subzona:** Representará un área de interés en la rampa, pertenecerá a una única cámara, y a una única zona. Las zonas podrán a su vez podrán contener varias subzonas. Las subzonas contendrán también:
  - Temperatura máxima
  - Temperatura media
  - Temperatura mínima

Por el lado de la cámara, las subzonas definirán una serie de parámetros que serán utilizados para su identificación dentro de una imagen:

- **Punto inicial:** Será utilizado como punto de referencia dentro de la imagen, este punto contendrá coordenadas (x, y) y será medido en píxeles.
- **Width:** Ancho de la subzona en píxeles.
- **Height:** Alto de la subzona en píxeles

De esta manera las subzonas serán definidas mediante un rectángulo dentro de la imagen, que el usuario tendrá que configurar.

Las zonas de interés del cañón se dividirá en diferentes coordenadas que permitirán al cañón apuntar a los diferentes puntos de la rampa, por lo que cada subzona a su vez se compondrá de una matriz definida por un numero de columnas y filas que representarán las diferentes coordenadas del cañón, cada coordenada se ha llamado **elemento de temperatura**.

Por otro lado las zonas de interés de las trampillas se dividirán también en elementos de temperaturas pero con la única diferencia de que estas no tendrán filas, únicamente columnas.

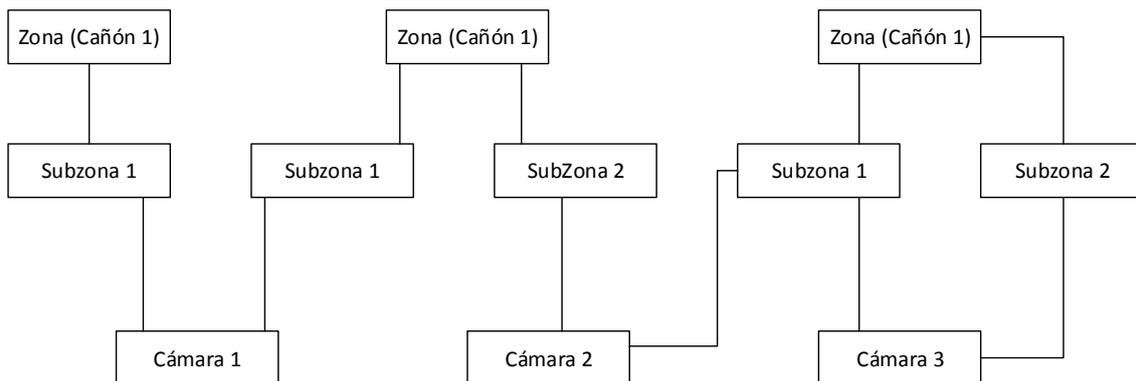


Ilustración 13 – Modelo lógico de la rampa

- **Elemento de temperatura:** Contiene la información relativa a una coordenada de una zona de interés. Estará compuesto por los siguientes elementos:
  - Temperatura máxima
  - Temperatura media
  - Temperatura mínima

Este modelo será rellenado con la información contenida en las imágenes termográficas, las cuales deberán estar sincronizadas de manera que cuando todas las imágenes hayan sido recibidas, se rellenen los objetos del modelo, de manera que si alguna cámara es desconectada por alguna razón, los objetos no podrán disponer de las temperaturas actualizadas.

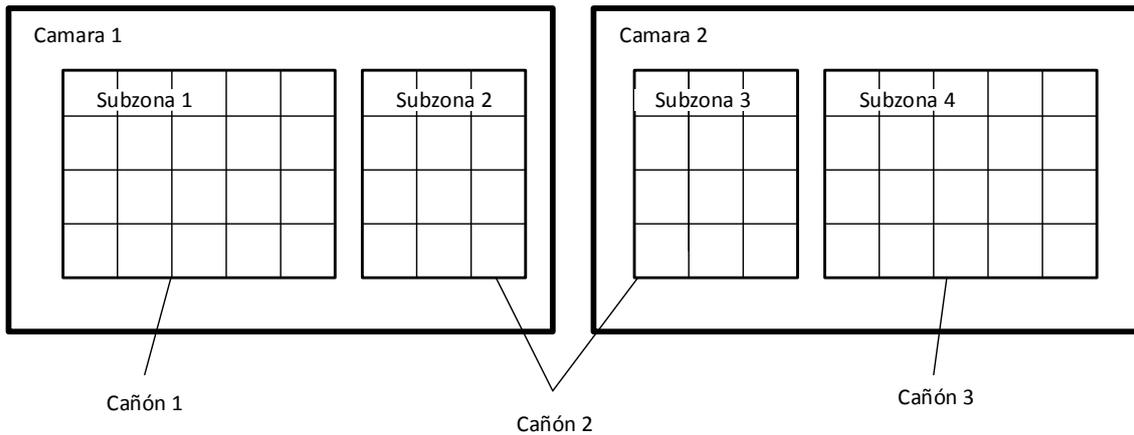


Ilustración 14 - Ejemplo de 2 cámaras con 3 cañones

El PLC que será el encargado de controlar la rampa en el nivel inferior, contendrá, en el ejemplo anterior contendrá 3 cañones que estarán compuestos en su memoria de:

- Cañón 1 → Una matriz de 5x4 elementos conteniendo las temperaturas de cada elemento de temperatura
- Cañón 2 → Dos matrices de 3x4 elementos de temperatura
- Cañón 3 → Una matriz de 5x3 elementos de temperatura.

En caso de tratarse de trampillas las zonas serían definidas de la misma manera con la única diferencia de que estas no contendrán filas en su matriz de elementos de temperatura. Los elementos de temperatura representarán en este caso las rejillas que se abrirán para descargar el material, esto es así ya que en algunos tipos de rampa el control mediante PLC diferencia entre diferentes grupos de rejillas y en otros tipos de rampas los grupos de rejillas pueden estar separados por un bordillo de hormigón.

Cada rejilla (elemento de temperatura en la cámara) ocupará la zona de la trampilla en la imagen más la zona superior vertical de esta.

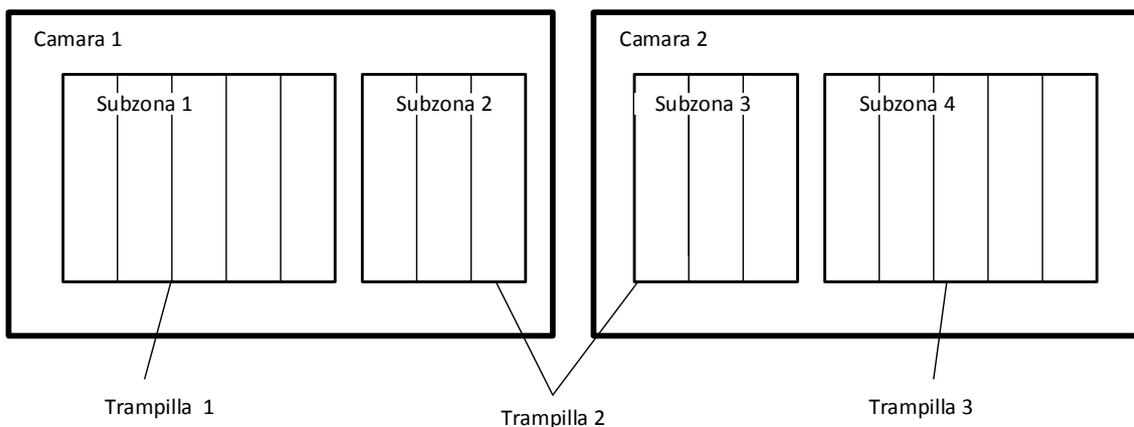


Ilustración 15 - Rampa con 2 cámaras y 3 trampillas

Como se puede apreciar el modelo de los cañones y las trampillas sigue un patrón definido, para ello se ha diseñado una clase Zona que servirá como base para el cañón y la trampilla.

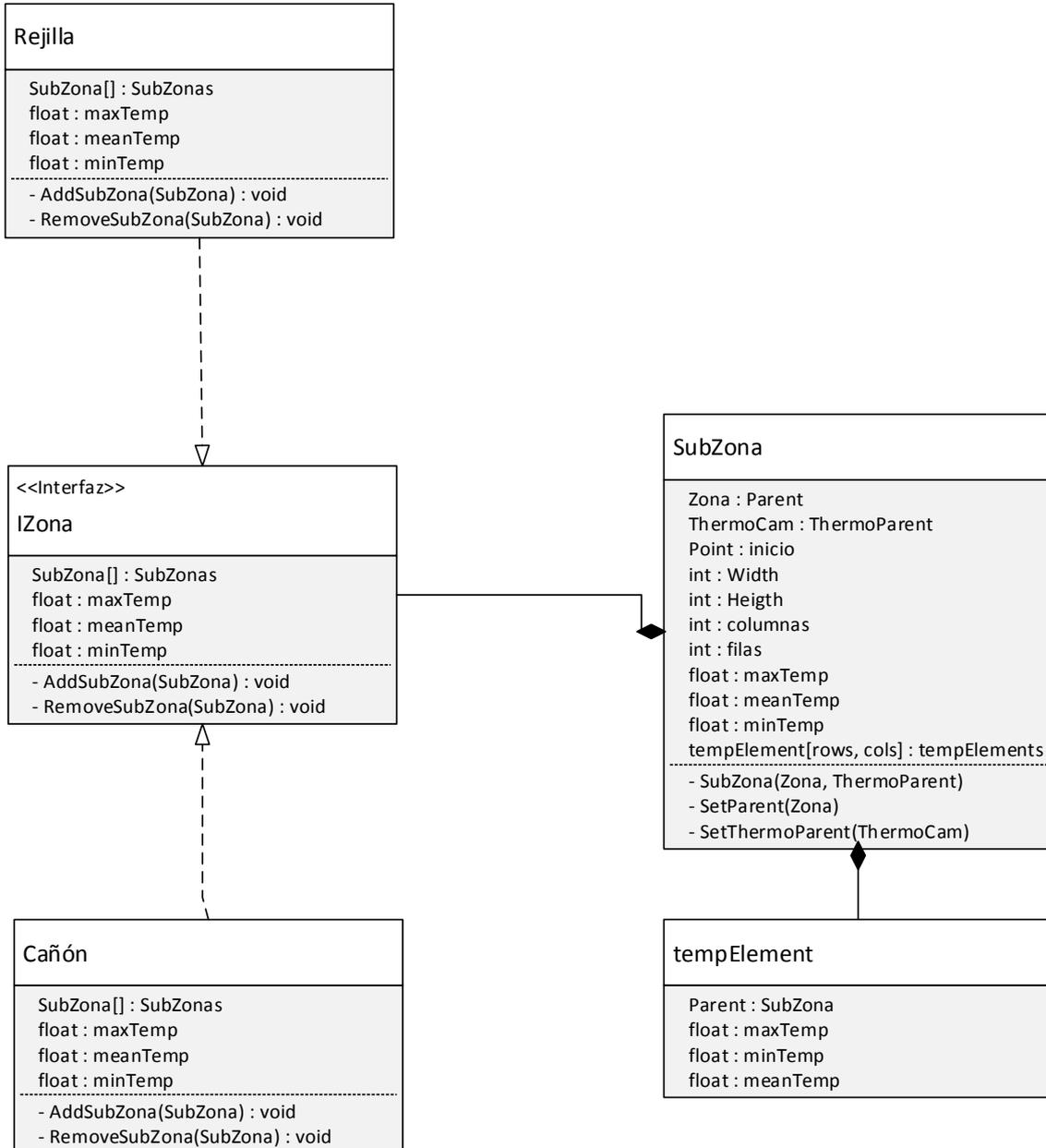


Ilustración 16- Diagrama de clases del modelo de la rampa

La aplicación en el PC y el programa del PLC contendrán una zona de memoria compartida en el que se encontrará toda la información anterior mencionada, esta información deberá estar replicada en ambos sistemas y es en esta capa donde entra OPC DA.

### 2.2.2.3 MODELO DE LA APLICACIÓN

En un nivel lógico superior a las zonas y superior a las cámaras se propone un módulo de procesamiento de las imágenes que servirá de nexo para las zonas y las cámaras, su función principal será la de leer las imágenes y rellenar el modelo con la información de temperatura.

El proceso es el siguiente:

1. Capturar una imagen de cada una de las cámaras.
2. Procesar las imágenes y rellenar las zonas con la información obtenida.

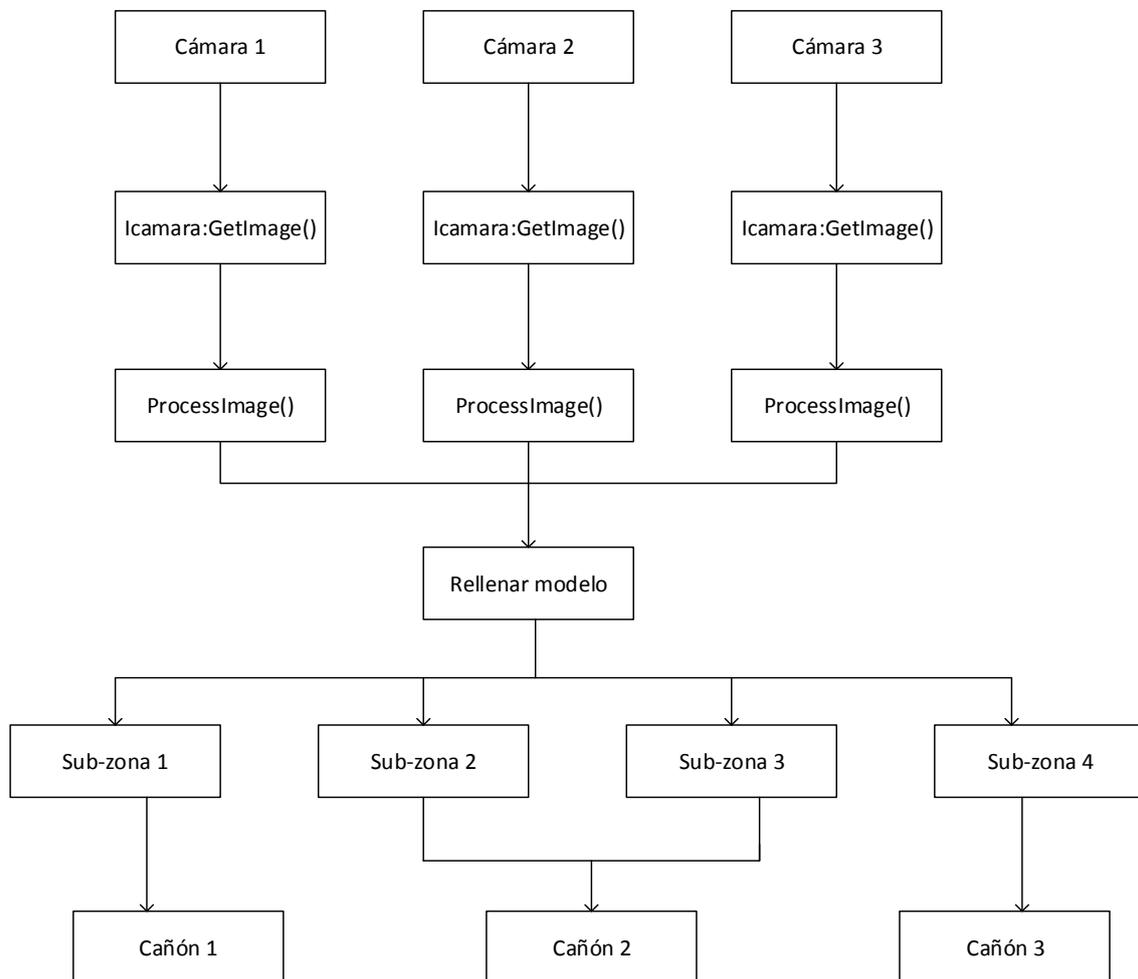


Ilustración 17 - Proceso de obtención y procesado de imágenes

Este proceso se ha abstraído en una única capa, llamada ThermoCam, donde se encuentra la lógica utilizada para añadir o borrar zonas, iniciar el proceso de adquisición y procesado de imágenes, etc... y representará lógicamente a una cámara.

Los elementos que conforman este nuevo elemento son:

- Subzonas: subzonas contenidas en las imágenes obtenidas por una cámara.
- ICamara: representación de la cámara cuyas imágenes son procesadas en el módulo.

Y sus métodos:

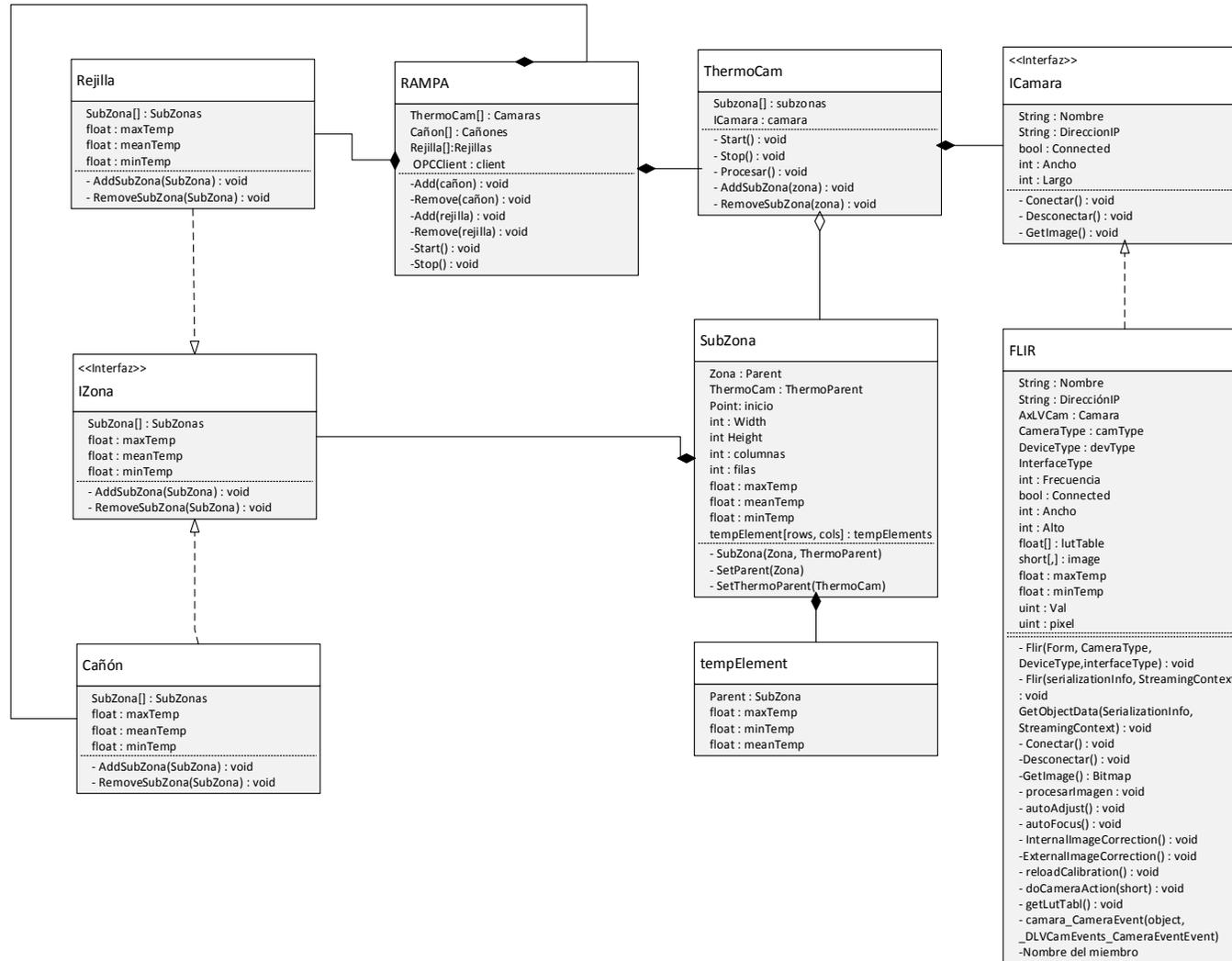
- Añadir subzona: añade una subzona
- Borrar subzona: borra una subzona
- Start: Inicia el proceso de adquisición y procesado de imágenes
- Stop: para el proceso de adquisición y procesado de imágenes.

Todo el modelo anterior supone la representación lógica de la rampa, es decir el cañón o cañones de agua, las trampillas para vaciar el coque, y las cámaras. Aun así falta describir el sistema en su conjunto que será definido mediante la clase Rampa.

Esta clase representará la totalidad de esta y estará compuesta por:

- Propiedades:
  - ThermoCams.
  - Cañones
  - Trampillas.
- Métodos:
  - Start: Inicia la ejecución del proceso de apagado de toda la rampa
  - Stop: Finaliza la ejecución del proceso de apagado.
  - Añadir cañón.
  - Borrar cañón.
  - Añadir trampilla.
  - Borrar trampilla.

## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque





## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

*Ilustración 18 - Diagrama de clases del modelo de la rampa*

### 2.2.3 CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR OPC

El control de la rampa será llevado en última instancia por un PLC, éste será programado bajo el estándar IEC-61131-3. Esto crea una problemática en cuanto a flexibilidad se refiere, pues los PLCs no pueden reservar memoria en tiempo de ejecución, si no que las diferentes variables interviniente en el sistema deben de ser cargadas y prefijadas en el programa. Esto quiere decir que no se pueden redefinir arrays al añadir una zona o borrar una zona.

Se pretende, que el mismo modelo interviniente en la aplicación sea también el que ejecute el PLC mediante la utilización de una memoria compartida por la aplicación y el programa en el PLC este modelo incluirá:

- Cañones
- Trampillas

Se utilizarán las subzonas con los elementos de temperatura para almacenar la temperatura de la rampa, y se utilizará OPC como tecnología para leer y escribir estos datos en el PLC.

Con el objetivo de poder acoplar este sistema a servidores ya existentes en las diferentes plantas en las que se vaya a utilizar esta aplicación, se creará un paso de configuración de este, donde el usuario podrá seleccionar qué servidor quiere utilizar y dónde se encontrará el grupo donde estarán los ítems utilizados por la aplicación.

Además permitirá exportar las variables utilizadas a un fichero entendible por el servidor OPC, ya que la cantidad de variables a introducir puede ser elevada y es muy importante que los nombres de estas coincidan con los esperados por la aplicación.

Por lo tanto el programa del PLC variará dependiendo de los cañones y trampillas configuradas, siguiendo un patrón repetitivo en la ejecución de este indiferentemente de la cantidad de cañones o trampillas presente. Por ello la aplicación deberá ser capaz también de poder generar un programa para el PLC que el usuario únicamente deberá de cargar en el PLC.

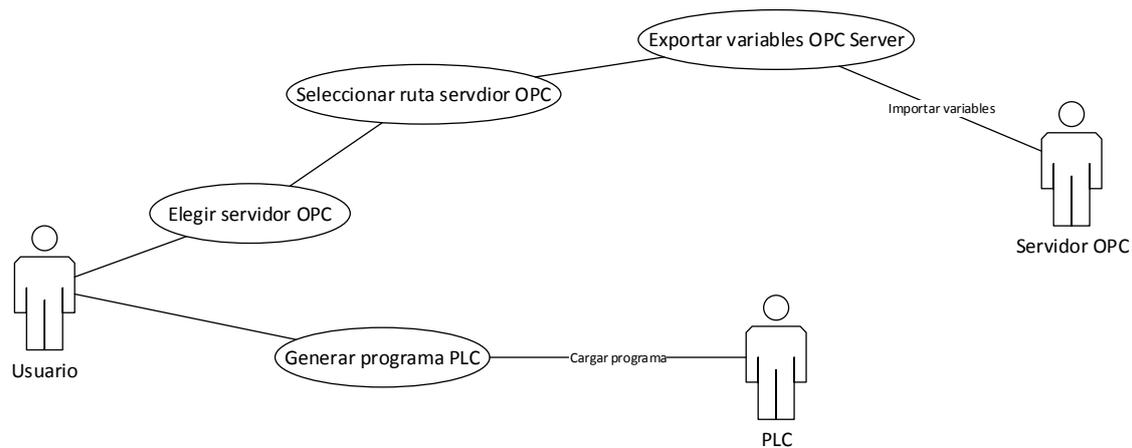


Ilustración 19 - Casos de uso configuración servidor OPC y programa del PLC

## 2.2.4 PROGRAMA PLC

El PLC será el elemento de hardware encargado de controlar la rampa en última instancia, será el encargado de tareas como activar el cañón, apuntar el cañón a una determinada zona, abrir las trampillas etc...

Anteriormente este tipo de tareas eran tareas de alto nivel, es decir, enfriar zona x, vaciar trampilla x, iniciar rutina de enfriado, etc... Cuando de este nivel se trata estas órdenes pasan a ser más específicas, pues por ejemplo para empezar la rutina de enfriado es necesario llevar a cabo más tareas:

1. Recibir orden de enfriar.
2. Recibir matriz de temperaturas.
3. Mover cañón a la primera zona de enfriado.
4. Activar cañón durante un periodo de tiempo proporcional a la temperatura de esa zona.
5. Mover cañón a la siguiente zona a enfriar.
6. Repetir pasos 4 y 5 hasta que no haya ninguna zona más para enfriar.

Con el objetivo de poder configurar más de un cañón de agua y más de un conjunto de trampillas se van a crear una serie de bloques funcionales con el objetivo de poder reproducir la lógica de ambos.

También se va a crear una estructura de datos con el fin de poder almacenar las matrices de temperatura, esta es:

- TempElement:
  - MaxTemp: será una palabra donde se almacenarán la temperatura más elevada de la subzona.
  - MeanTemp: será una palabra donde se almacenará la temperatura media de la subzona.

- MinTemp: será una palabra donde se almacenará la temperatura mínima de la subzona.

Los bloques funcionales se encargarán del control del cañón y del conjunto de las trampillas:

El bloque funcional destinado al control del cañón se encargará de mover el cañón para posicionarlo en las diferentes subzonas y contará con dos modos de funcionamiento:

- Modo automático: este modo de funcionamiento está destinado a que el sistema funcione de forma automática en su conjunto, su función será esperar la orden de iniciar rutina de enfriado, frente a la cual iniciará la rutina de enfriado a no ser que reciba una orden de cambio a modo manual y a modo parada de emergencia.

En este modo el cañón se posicionará de manera autónoma según este considere.

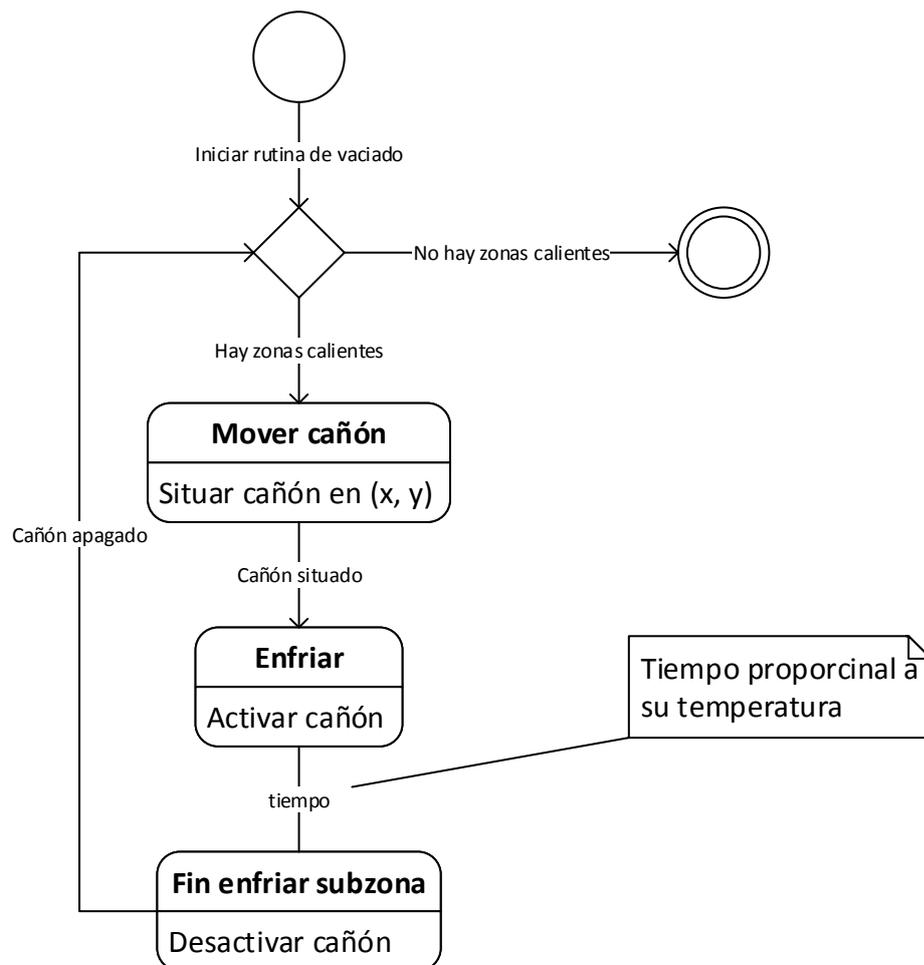
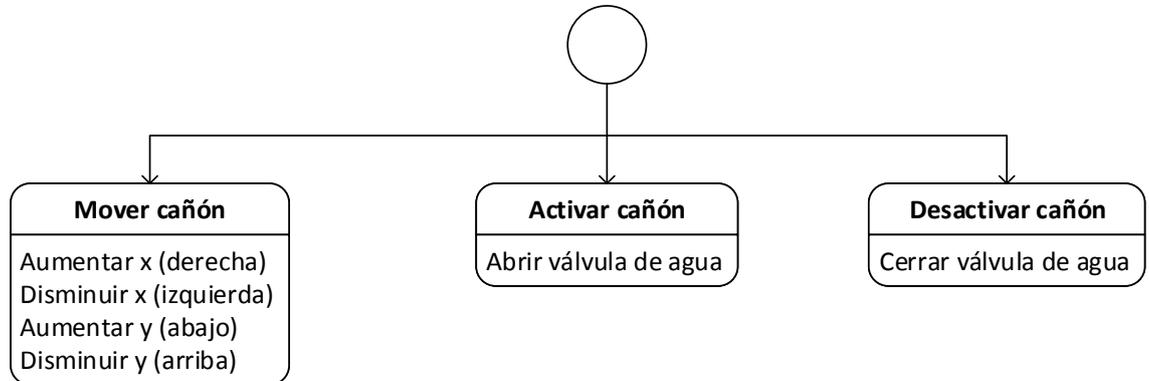


Ilustración 20 - Esquema modo automático del cañón

- **Modo manual:** En el modo manual, el sistema permanecerá en reposo hasta que el operario decida enviar una orden al sistema, tal como mover cañón, activar cañón, etc...



*Ilustración 21 - Modo manual del cañón de agua*

- **Modo parada de emergencia:** Será un modo en el que el cañón se situará en un modo de reposo, que será seguro para los operarios y para la instalación.

### 3 DISEÑO

El diseño de la aplicación se centra en dos partes claramente diferenciadas, la primera hace referencia al hardware de la aplicación, esto es todo lo relativo a los medios físicos que se van a utilizar y la segunda, referente al software de la aplicación relativo a las herramientas, frameworks y demás librerías que se van a utilizar.

Es muy importante en toda aplicación establecer las plataformas de destino así como su ámbito de utilización y sus especificaciones funcionales.

### 3.1 HARDWARE

El hardware son todas aquellas partes de la aplicación que se refieren a la parte física del sistema, esto incluye todos los sensores y actuadores que van a formar parte.

La configuración del sistema se compondrá de cámaras para poder medir la temperatura del coque en la rampa, un ordenador que procesará dichas imágenes con técnicas de visión por computador, cañones de agua para enfriar el coque y de las trampillas para evacuar este.

Se podría decir que esta configuración hace que esta aplicación sea una aplicación distribuida, pues el procesamiento se realiza en el ordenador al que está conectado la cámara y el control en el PLC.

La comunicación entre el PC y la cámara se realiza a través de Ethernet al igual que la comunicación entre el PC y el PLC. Los protocolos de comunicación utilizados se detallarán más adelante pero son los siguientes:

- RTSP: RealTime Streaming Protocol entre la cámara y el PLC.
- OPC entre el ordenador y el PLC

La arquitectura del sistema vendrá por lo tanto dada por los siguientes elementos:

- Cámara/s termográficas.
- PLC
- Ordenador
- Switch

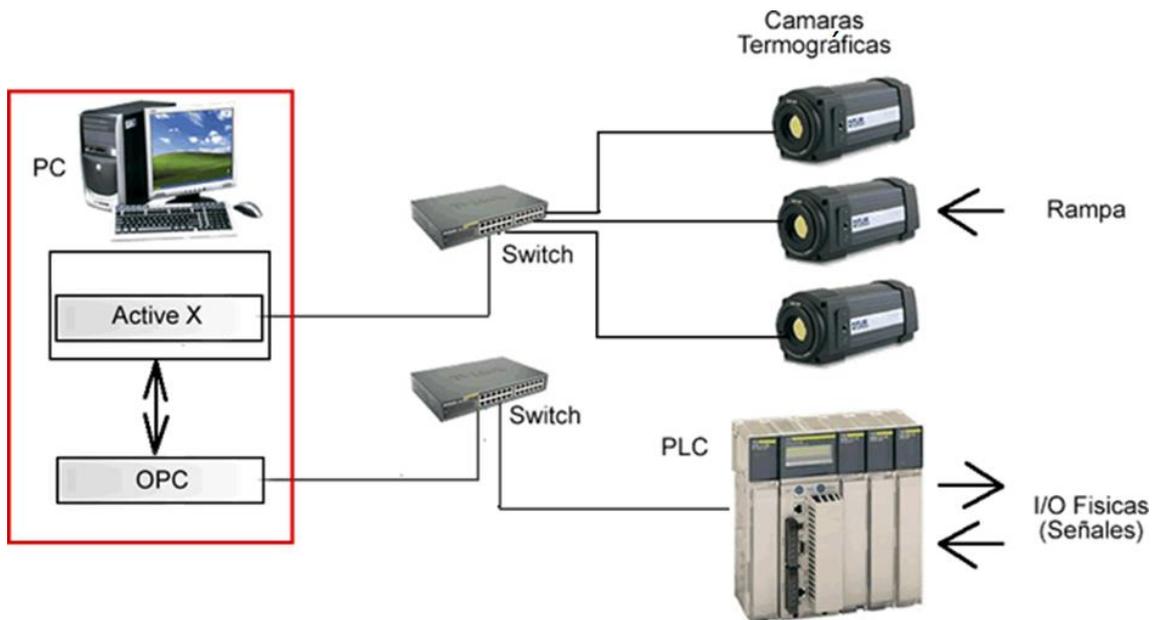


Ilustración 22 - Arquitectura del sistema

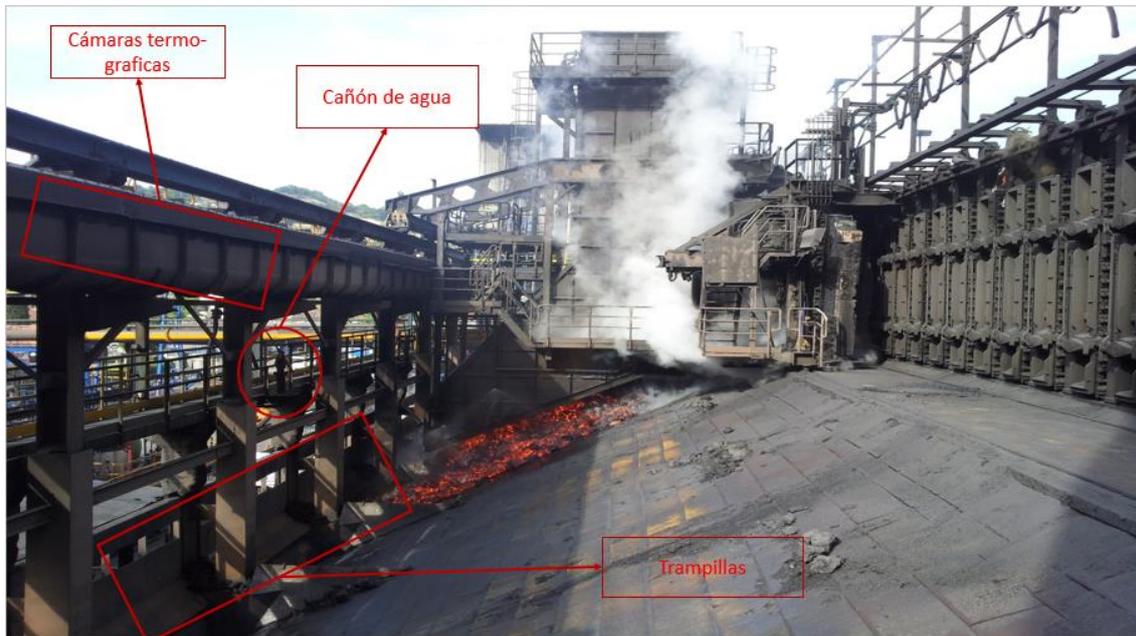


Ilustración 23 - Esquema de la instalación del hardware en la rampa

### 3.1.1 CAMARA

La cámara elegida para desarrollar la aplicación ha sido la FLIR A310, es una cámara diseñada para procesos exigentes de automatización industrial, cuenta con una protección IP 66 y un rango de medida de entre 0 y 1000°C con una precisión de 2°C. Lo que la convierten en una cámara ideal para este tipo de aplicaciones.



Ilustración 24- Cámara termográfica A310 ([www.flir.es](http://www.flir.es))

Se ha elegido esta cámara ya que FLIR es el mayor fabricante de soluciones para este tipo de aplicaciones (aplicaciones termográficas) y ya que cumple con todos los requisitos en cuanto a protección posibilidad de comunicaciones y rango de medida.

Es muy importante para este tipo de cámaras termo graficas su calibración para ello existen empresas especializadas que las calibran mediante software.

Las especificaciones físicas de la cámara son:

**FLIR A310**

<b>Análisis de medición</b>	
<b>Punto de medida</b>	10
<b>Área</b>	10 recuadros con máx./mín./promedio/posición
<b>Isoterma</b>	1, superior, inferior, intervalo
<b>Opción de medición</b>	Measurement Mask Filter Programa de resultados: Envío de archivos (ftp), correo electrónico (SMTP)
<b>Diferencia de temperatura</b>	Variación de temperatura entre funciones de medición o con respecto a la temperatura de referencia
<b>Temperatura de referencia</b>	Establecida manualmente o tomada de alguna función de medición
<b>Corrección de la transmisión atmosférica</b>	Automática, basada en las entradas de distancia, temperatura atmosférica y humedad relativa
<b>Corrección de la transmisión óptica</b>	Automática, basada en señales de sensores internos
<b>Corrección de emisividad</b>	Variable de 0,01 a 1,0
<b>Corrección de temperatura aparente reflejada</b>	Automática, en función de los datos de temperatura reflejada
<b>Corrección externa de ópticas/ventanas</b>	Automática, basada en los datos recibidos de transmisión y temperatura de la óptica/ventana IR
<b>Correcciones de mediciones</b>	Parámetros de objetos globales e individuales
<b>Alarma</b>	
<b>Funciones de alarma</b>	6 alarmas automáticas en cualquier función de medición seleccionada, entrada digital, temperatura de la cámara, temporizador
<b>Salida de alarma</b>	Salida digital, registro, almacenar imagen, envío de archivo (ftp), correo electrónico (SMTP), notificación
<b>Ethernet</b>	
<b>Ethernet</b>	Control, resultado e imagen
<b>Ethernet, protocolos</b>	Ethernet/IP, Modbus TCP, TCP, UDP, SNTP, RTSP, RTP, HTTP, ICMP, IGMP, ftp, SMTP, SMB (CIFS), DHCP, MDNS (Bonjour), uPnP
<b>Ethernet, transferencia de imágenes</b>	16 bits 320 × 240 píxeles a 7-8 Hz. Radiométrica
<b>Información gráfica y óptica</b>	
<b>Campo visual (FOV) /distancia focal mínima</b>	25° × 18,8° / 0,4 m
<b>Identificación de lente</b>	Automática
<b>Sensibilidad térmica/NETD</b>	< 0,05°C a +30°C / 50 mK

<b>Enfoque</b>	Automática o manual (motor incorporado)
<b>Número F</b>	1.3
<b>Frecuencia de imagen</b>	30 Hz
<b>Zoom</b>	1–8× continuo, digital, zoom interpolador sobre las imágenes
<b>Datos del detector</b>	
<b>Resolución IR</b>	320 × 240 píxeles
<b>Separación entre detectores</b>	25 µm
<b>Constante de tiempo del detector</b>	Típica 12 ms
<b>Matriz de plano focal (FPA) / Rango espectral</b>	Microbolómetro sin refrigerar / 7,5–13 µm
<b>Medición</b>	
<b>Intervalo de temperaturas del objeto</b>	–20 a +120°C 0 a +1000°C (Con filtro)
<b>Precisión</b>	±2°C o ±2% de lectura
<b>Configuración</b>	
<b>Gamas de colores</b>	Gamas de colores (blanco y negro, blanco y negro inv., hierro, arcoiris)
<b>Órdenes de configuración</b>	Fecha y hora, temperatura en °C
<b>Almacenamiento de imágenes</b>	
<b>Tipo de almacenamiento de la imagen</b>	Memoria incorporada para el almacenamiento de imágenes
<b>Formatos de archivos</b>	JPEG estándar, incluye 16 bit de datos de medición
<b>Vídeo compuesto</b>	
<b>Vídeo</b>	Salida de vídeo compuesto, compatible con PAL y NTSC
<b>Vídeo, estándar</b>	CVBS (ITU-R-BT.470 PAL/SMPTE 170M NTSC)
<b>Entrada/salida digital</b>	
<b>Entrada digital</b>	2 con aislamiento óptico, 10–30 VCC
<b>Salida digital, propósito</b>	Como función de ALARMA, Salida a dispositivo externo (programable)
<b>Salida digital</b>	2 con aislamiento óptico, 10–30 VCC, máx. 100 mA
<b>Entrada/salida digital, tensión de aislamiento</b>	500 VRMS
<b>Entrada/salida digital, tensión de alimentación</b>	12/24 VCC, máx 200 mA
<b>Entrada/salida digital, tipo de conector</b>	Borne roscado para conectar a 6 polos
<b>Entrada digital, propósito</b>	Etiqueta de imagen (inicio, detención, general), dispositivo externo de entrada (leído por medio de un programa)
<b>Ethernet</b>	
<b>Ethernet, estándar</b>	IEEE 802.3
<b>Ethernet, tipo de conector</b>	RJ-45

<b>Ethernet, tipo</b>	100 Mbps
<b>Ethernet, comunicación</b>	TCP/IP por conector de la marca FLIR
<b>Ethernet, transferencia de vídeo</b>	MPEG-4, ISO/IEC 14496-1 MPEG-4 ASP@L5
<b>Ethernet, alimentación</b>	Alimentación por Ethernet, PoE IEEE 802.3af clase 0
<b>Sistema de alimentación</b>	
<b>Funcionamiento con alimentación externa</b>	12/24 VCC, 24 W de máx. absoluto
<b>Alimentación externa, tipo de conector</b>	Borne roscado para conectar a 2 polos
<b>Tensión</b>	Intervalo permitido 10–30 VCC
<b>Información ambiental</b>	
<b>Intervalo de temperaturas de almacenamiento</b>	–40°C a +70°C
<b>Humedad (funcionamiento y almacenamiento)</b>	IEC 60068-2-30/24 h, humedad relativa del 95%, de +25°C a +40°C
<b>EMC</b>	• EN 61000-6-2:2001 (Inmunidad)
	• EN 61000-6-3:2001 (Emisión)
	• FCC 47 CFR Parte 15 Clase B (Emisión)
<b>Vibración</b>	2 g (IEC 60068-2-6)
<b>Datos físicos</b>	
<b>Material del estuche</b>	Aluminio

### 3.1.2 PLC

Los PLCs son computadores cuyo uso es mayoritariamente industrial, ya que permiten la programación de sistemas a bajo nivel de manera sencilla, al contar con salidas y entradas y físicas a las que se accede a través de su programación por software. Esto permitirá conectar y controlar el/los cañones de agua y controlar la apertura y cierre de las trampillas.

El PLC elegido para el desarrollo de la aplicación ha sido una CPU S7-1500 de SIEMENS, cuenta con dos puertos de comunicaciones Ethernet redundantes y con un display LCD que permite cambiar ciertas configuraciones como dirección IP, idioma, etc.. Los módulos de expansión y la fuente de alimentación se instalan aparte.



Ilustración 25- CPU S7-1500 ([www.siemens.com](http://www.siemens.com))

Las características de este modelo son:

Descripción	CPU 1511-1PN
Tensión de alimentación, rango admisible	20,4 V DC... 28,8 V DC
Numero de bloques	2000
Memoria de trabajo para datos	1 Mb
Memoria de trabajo para código	150 Kbytes
Interfaces	1 x PROFINET
Numero de puertos PROFINET	2
Servidor web soportado	Si
Modo isócrono soportado	Si

### 3.1.3 CAÑÓN DE AGUA

El cañón de agua será el elemento encargado de enfriar el coque, su modelo y características no se definen en este proyecto pero se establecen los siguientes requisitos:

- Deberá poder ser conectada a un PLC.
- Deberá ser automatizable en cuanto a posición mediante un encoder o similar que permite obtener un feedback de su posición y un motor para posicionarle.
- Deberá ser posible regular el caudal del chorro de agua mediante una válvula de tipo analógica.

### 3.1.4 ORDENADOR

El ordenador jugará el rol más importante del cálculo de la aplicación y será el encargado de controlar toda la instalación. Dará las ordenes al PLC sobre cuando enfriar, cuando no enfriar y cuando abrir o no las trampillas. Además en él se instalará el sistema de supervisión de la rampa.

Además supone un punto de conexión intermedia entre el PLC y la cámara, de la cual recibirá las imágenes termográficas y las procesará, por lo tanto este ordenador deberá ser lo suficientemente potente como para poder recibir y procesar las imágenes de todas las cámaras instaladas y además deberá disponer de una tarjeta de red para la comunicación con el PLC y las cámaras.

## 3.2 SOFTWARE

El software de la aplicación será el encargado de obtener las entradas de la aplicación, procesarlas y devolver una salida útil para el sistema.

Es decir el sistema recibirá las imágenes obtenidas por las cámaras, los finales de carrera de las trampillas, etc... para retroalimentar el sistema y cambiar el comportamiento según las necesidades de este.

Cada cañón y cada conjunto de trampillas formarán una máquina de estados independientes uno de otros y controlados por el sistema de supervisión en el PC. Este sistema de supervisión mantendrá de manera actualizada la información relativa a las entradas y salidas que será utilizada por el operario.

Estos estados han sido descritos en el apartado anterior, el flujo del programa se encargará de realizar las transiciones entre los estados.

Para el modo automático se creará un algoritmo que se encargará de las transiciones entre los diferentes estados del cañón y las trampillas. En este algoritmo se aplicarán las restricciones de seguridad tanto para las personas como para la instalación además de los requisitos de la aplicación. Los requisitos más importantes que garantizan la seguridad de la instalación son:

- No podrá existir ninguna trampilla abierta a la vez con el objetivo de no sobrecargar la cinta.
- Una misma zona no podrá estar vaciándose y enfriándose a la vez.

## 4 DESARROLLO

El desarrollo hace referencia a la parte del trabajo que se hace referencia a como se ha realizado la aplicación. En este apartado se explicará detalladamente los pasos realizados para el desarrollo de esta, explicando los problemas enfocados y el porqué de la solución adoptada así como las tecnologías utilizadas y el desarrollo de la aplicación.

### 4.1 ENTORNO DE DESARROLLO

Las herramientas utilizadas para construir el software de la aplicación han sido:

- FLIR SDK 2.6

- Visual Studio 2013 Professional
- TIA Portal 2013
- OPC Wrapper .NET 2.0
- Kepware OPC server

La aplicación va a ser programada utilizando:

- C# como lenguaje de programación.
- .NET Framework 4.5 como conjunto de herramientas para dar soporte a las necesidades de la aplicación (procesado de imágenes etc...)

El programa del PLC se utilizará:

- Versión del IEC 61131-3 de Siemens (KOP, FUP, SCL)

A continuación se describen estas herramientas:

#### 4.1.1 FLIR SDK 2.6

El paquete FLIR SDK es un conjunto de herramientas que permiten integrar la cámara con cualquier aplicación de software, esto es:

- Configuración de la cámara
- Obtención de imágenes.

El SDK está basado en un objeto COM que, como todos los objetos COM, expone un interfaz a través de la cual se pueden ejecutar diversas funciones de manera transparente para el programador.

COM es una tecnología desarrollada por Microsoft basada en objetos que permite a los diferentes procesos ejecutar piezas de código a través de una serie de interfaces que exponen sus elementos y propiedades.

Esto no permitirá configurar la cámara desde el código de la aplicación, como por ejemplo enfocar y desenfocar. Además permitirá obtener las capturas de la cámara para su posterior procesado.

La elección de este SDK viene dada por la elección de la cámara, pues para poder incorporar el control de la cámara mediante código, este código es la única posibilidad. Además dará total flexibilidad a la hora de cambiar la cámara por otro modelo del mismo fabricante.

## 4.1.2 VISUAL STUDIO 2013 PROFESSIONAL

Es un entorno de desarrollo propietario de Microsoft que permite el desarrollo de aplicaciones basadas en .NET. Consta de un editor de texto y de una GUI que permite de manera gráfica y sencilla interactuar con las diferentes configuraciones de la aplicación.

Se ha elegido este entorno de desarrollo ya que es el entorno recomendado por Microsoft para aplicaciones para Windows con C#.

### 4.1.2.1 C#

C# es un lenguaje de programación inventado inicialmente por Microsoft y estandarizado años más tarde, que permite realizar aplicaciones de alto nivel.

Es un lenguaje orientado a objetos, lo que permite realizar aplicaciones modulares y estructuradas. La programación orientada a objetos es un tipo de programación cuya principal idea es representar los elementos del sistema como objetos.

Este tipo de programación orientada a objetos permite al desarrollador abstraer la realidad en clases, con diferentes funcionalidades, lo que se traduce en una mayor estructuración del código, lo que conlleva mayor mantenibilidad y escalabilidad, además de facilitar la creación de modelos complejos.

### 4.1.2.2 .NET

Es un conjunto de librerías que permiten extendidas bajo el sistema operativo de Microsoft Windows que permiten acceder a las diferentes tecnologías y recursos del sistema operativo, como por ejemplo mostrar imágenes en la pantalla, manejar la memoria del ordenador y enviar datos a través de los diferentes protocolos de comunicación soportados.

La plataforma de destino es Windows lo cual justifica la utilización de estas tecnologías, ya que Microsoft Windows es el sistema operativo más extendido en cuanto a ordenadores de uso industrial, lo que permitirá una fácil integración en este tipo de instalaciones.

## 4.1.3 TIA PORTAL 2013

Totally integrated automation 2013 es el entorno de desarrollo de Siemens para desarrollar y cargar programas en PLCs de Siemens.

Los lenguajes de programación que pueden ser utilizados por este entorno están basados en el estándar IEC 61131-3, con algunas particulares, en el entorno de Siemens estos son:

- KOP: Es el llamado lenguaje ladder o escalera (LD).
- FUP: Bloques funcionales (FBD)
- SCL: Lenguaje de texto estructurado (ST)
- AWL: Ensamblador.
- GRAPH: Grafcet.

La versión 2013 es la única actualmente compatible con la CPU S7-1500.

Para poder desarrollar y cargar los programas en la CPU es necesario conectar y configurar está, a través de una red compatible con el PLC.

#### 4.1.4 OPC .NET WRAPPER 2.0

Como interfaz entre el ordenador y el PLC se va a utilizar la tecnología OPC DA, OPC (por sus siglas OLE for Process Control) es un estándar de comunicación desarrollado por Microsoft cuyo uso está muy extendido en el campo del control y la supervisión industrial.

El estándar OPC es una tecnología basada en el modelo cliente servidor, cuyos componentes están separados lógicamente, es decir son módulos diferentes. El cliente sigue un estándar único que permite que cualquier cliente OPC pueda comunicarse con cualquier servidor. De esta manera se crea una abstracción en cuanto a la comunicación se refiere de manera que es el servidor OPC el que integra una comunicación en la capa inferior dependiendo del dispositivo o dispositivos que estén conectados a él, pero siendo la misma en el canal con el servidor.

Por esto son los fabricantes de hardware los que proveen los servidores OPC, desarrollando los componentes de comunicación a bajo nivel.

Esto es una gran ventaja ya que en caso de que se cambie el hardware no supone ningún cambio en la comunicación (solo en servidor OPC) entre el cliente y el servidor.

Esta tecnología permite el acceso a servidores tanto locales como remotos mediante las tecnologías COM (para servidores locales) y DCOM para servidores remotos. Esta última requiere de un sistema de permisos basado en el sistema de autenticación de Windows, lo que aumenta su seguridad y su robustez.

La tecnología COM se basa en exponer interfaces implementadas por objetos, lo que permite instanciar objetos que implementan dichas interfaces de manera que se obtiene acceso a los métodos, eventos y propiedades de estos. En el mundo de los objetos COM cada interfaz y cada objeto tiene una indentificación única que sirve como basada en una serie de bytes llamada CLSID que permite a los programadores acceder a dichos objetos.

En el caso de OPC, OPC Foundation que es la compañía impulsora de la tecnología OPC, ha diseñado una serie de interfaces que son implementados por los servidores OPC. Esto permite mediante la instanciación de dichos objetos en base a los interfaces de OPC poder controlar el servidor OPC.

OPC está compuesto por diferentes módulos:

- OPC DA
- OPC A&E
- OPC HDA
- OPC DX
- OPC XML DA
- OPC UA

En este proyecto se va a utilizar únicamente OPC DA que es el módulo que permite el acceso a datos, lo que es más que suficiente para el propósito deseado.

La arquitectura de OPC DA desde un punto de vista a alto nivel se compone de varios objetos:

- Servidor: Es el encargado del intercambio de información entre el cliente y el hardware.
- Grupos: Utilizados para almacenar los ítems del servidor y organizarlos de forma lógica.
- Ítems: Representan una zona de memoria en el hardware.

En el presente proyecto se va a utilizar un objeto COM como cliente OPC y para ello se pretende crear una librería que actuará como una capa lógica entre la aplicación y el programa.

#### 4.1.5 KEPWARE OPC SERVER V5

El servidor OPC utilizado para la aplicación es el servidor desarrollado por la compañía Ketpware, este servidor contiene los drivers necesarios para comunicar y acceder a las zonas de memoria de los PLCs de Siemens.

Este servidor implementa varios interfaces de la tecnología OPC como son:

- OPC DA
- OPC A&E
- OPC XML-DA
- OPC UA

Soporta una gran cantidad de drivers de diferentes fabricantes, como Siemens, Rockwell, Schneider Electric, etc...

Debido a la flexibilidad de la tecnología OPC en caso de utilizar otro servidor OPC, no será necesario realizar cambios en la aplicación pues al estar basada en la implementación de interfaces, cualquier cliente OPC será compatible con cualquier servidor en las diferentes modalidades OPC DA, HDA, ...

## 4.2 APLICACIÓN

Para el desarrollo de la capa de software se han utilizado una serie de técnicas específicas del mundo de la programación como por ejemplo el uso del Modelo vista controlador (MVVM). Esta técnica es ampliamente recomendada para casi cualquier aplicación y especialmente para aplicaciones complejas como es el caso de la presente.

El modelo vista controlador, establece un sistema de arquitectura a alto nivel basado en tres niveles:

- Modelo: Donde se encuentra todo lo relacionado con la estructura de los datos intervinientes en la aplicación.
- Controlador: En este nivel se encuentra la lógica interviniente en la aplicación, esto es: los cálculos y la funcionalidad de la aplicación.
- Vista: Es la capa de más alto nivel desde el punto del usuario y se encarga de mostrar el modelo al usuario a través de la GUI y de implementar la interacción del programa con el usuario.

La implementación de esta técnica es muy ventajosa de cara a la mantenibilidad del software, a la flexibilidad y a la escalabilidad. Cabe remarcar, que todos los niveles son dependientes unos de otros y la diferencia entre estos recae en su funcionalidad.

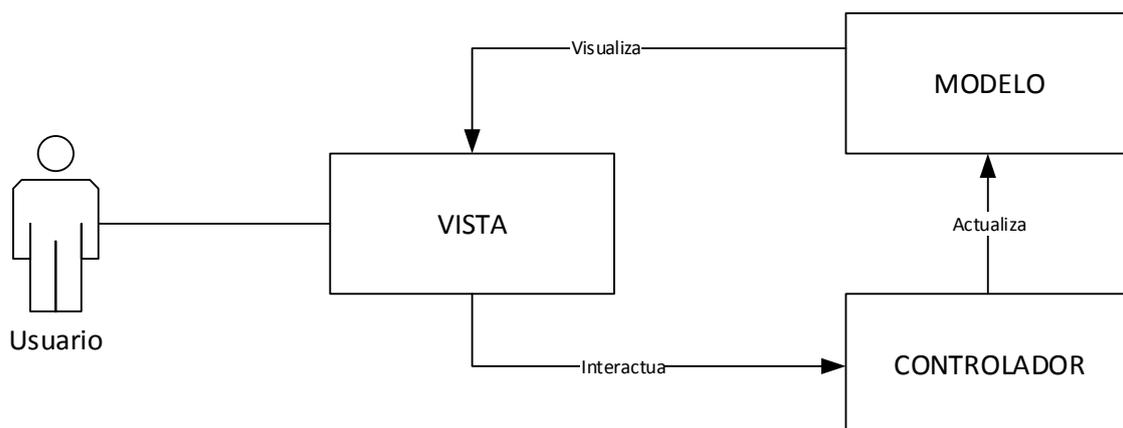
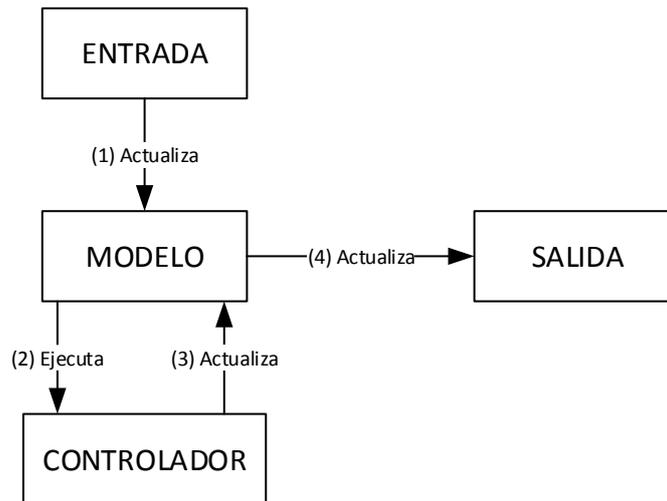


Ilustración 26 - Esquema de una aplicación que implementa MVC

El modelo implementa los objetos lógicos y reales inherentes al sistema, esto es cañones, PLC trampillas, zonas, subzonas, etc... Al ser un sistema de control distribuido

las señales utilizadas en el control del proceso están mapeadas y sincronizadas tanto en el PLC como en el PC, para ello se ha creado una capa de abstracción gracias al servicio de subscripción OPC, y a su vez sincronizadas con la vista del programa.

En el controlador se ha implementado la lógica de la aplicación y los diferentes algoritmos utilizados para el funcionamiento de la aplicación, el controlador se comporta de manera similar a un PLC, dadas unas entradas produce unas salidas.



*Ilustración 27- Proceso de la aplicación*

El funcionamiento es ejecutado de manera cíclica y es el siguiente:

1. Se leen las entradas que actualizan el modelo.
2. Se ejecuta el programa en el controlador.
3. Se actualiza el modelo
4. Se actualizan las salidas

La vista se encarga de mostrar al usuario información relativa al modelo, permitiendo interactuar con el controlador mediante la interacción con controles como puedan ser botones, etc... del programa.

### 4.2.1 CONFIGURACIÓN

Para cumplir los requerimientos funcionales especificados en al principio de este documento, que eran entre otros los de crear una aplicación adaptable a la gran mayoría de las rampas, es necesario crear una aplicación modular y configurable.

Modular para poder ser fácilmente escalable en el futuro, en el caso de que se requiera realizar algún cambio en la aplicación.

Configurable para permitir esa adaptación entre los diferentes tipos de rampas. También es importante remarcar que esta aplicación será instalada en su gran mayoría en rampas de coque en uso ya diseñadas y por lo tanto es la aplicación quien tiene que

adaptase a la rampa y no al revés, esto puede en algún caso suponer problemas para posicionar las cámaras etc...

La configuración de la aplicación constará de varias etapas:

- Tipo de aplicación.
- Configuración de cámaras y zonas.
- Configuración del servidor OPC y de PLC.

#### 4.2.1.1 CONFIGURACIÓN DEL TIPO DE APLICACIÓN

En esta etapa se configura el número de cámaras que serán utilizadas por la instancia actual y el tipo de aplicación que se desea utilizar. Esta hace referencia a futuros posibles usos de la aplicación que están por desarrollar

Los tipos de aplicación son los siguientes:

- Aplicación estándar: Este tipo está pensado para aplicaciones de rampas en las que se use el programa como sistema de supervisión en donde no haya instalados actuadores en la rampa y lo utilice el operario como fuente de información para realizar el apagado y el vaciado. Puede emitir alarmas y está pensada como un paso previo a la implantación de la aplicación de rampas.
- Aplicación de rampas: Es la aplicación más completa para la que se ha realizado el presente proyecto y que tiene toda la funcionalidad de la aplicación estándar y además la funcionalidad autónoma del sistema mediante los diferentes actuadores.
- Aplicación de tuberías: Este tipo de aplicación está pensado para ser desarrollada en el futuro y se explicara con más detalle más adelante.

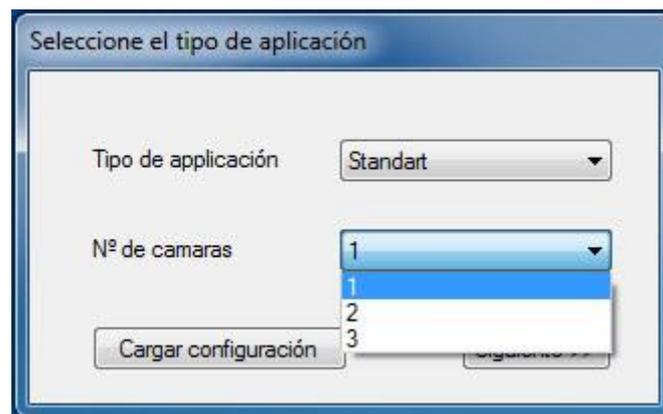


Ilustración 28 - Selección del tipo de aplicación y numero de cámaras de la aplicación

De la misma manera las diferentes configuraciones podrán ser exportadas e importadas de manera que no sea necesario configurar esta nuevamente en caso de reinstalar el programa etc...

Debido a la limitación de la resolución solo es posible elegir hasta 3 cámaras ya que la aplicación está diseñada para pantallas con una resolución mínima de 1920 píxeles de ancho.

#### **4.2.1.2 CONFIGURACIÓN DE CÁMARAS Y ZONA**

La configuración más importante y que le da toda la potencialidad a la aplicación es la configuración de las cámaras y zonas.

En cuanto a las cámaras es posible:

- Introducir la dirección de la cámara.
- Enfocar y desenfocar tanto automáticamente como manualmente.
- Autoajustar
- Elegir la frecuencia de adquisición.

Todo ello con el objetivo de obtener una imagen nítida y sin distorsión alguna.

Para ello se cuenta con un control personalizado y creado en el marco de esta aplicación, que aparecerá tantas veces como cámaras se hayan seleccionado en la etapa anterior.

La configuración de las diferentes zonas permite definir la zonificación real de la rampa especificando la cantidad de cañones a utilizar (cada zona de apagado representará un cañón) y la cantidad de grupos de trampillas (zonas de vaciado).

A cada zona tanto de vaciado como de apagado se le asignará un nombre y se le añadirán sus correspondientes subzonas.

Las subzonas son definidas clicando con el ratón directamente sobre la imagen de una cámara con la única restricción de que únicamente pueden pertenecer a una única zona y a una única cámara. Por otra parte una cámara puede tener subzonas pertenecientes a diferentes zonas y una zona puede tener subzonas en diferentes cámaras.

## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

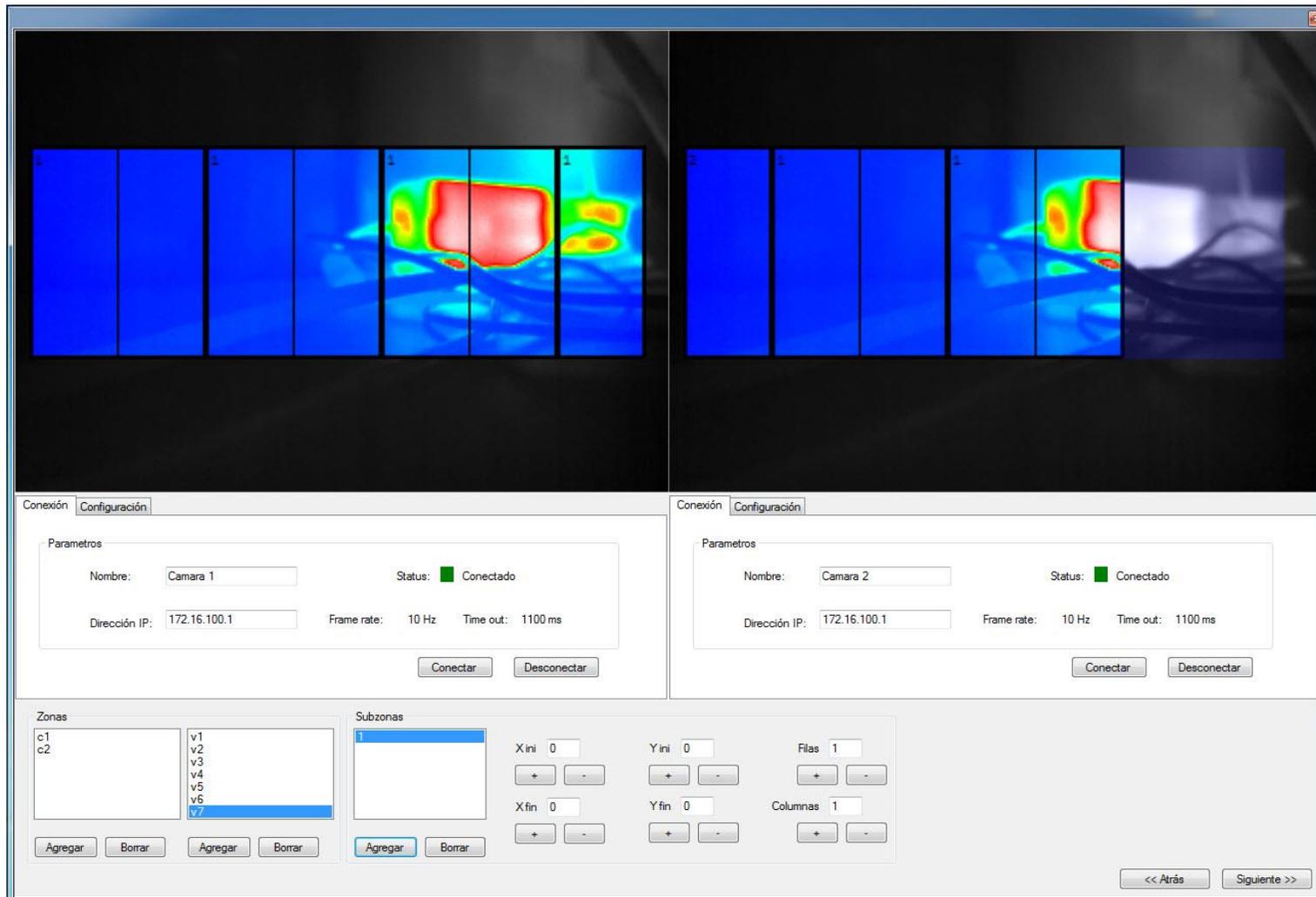


Ilustración 29 - Adición de una subzona en la aplicación

## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

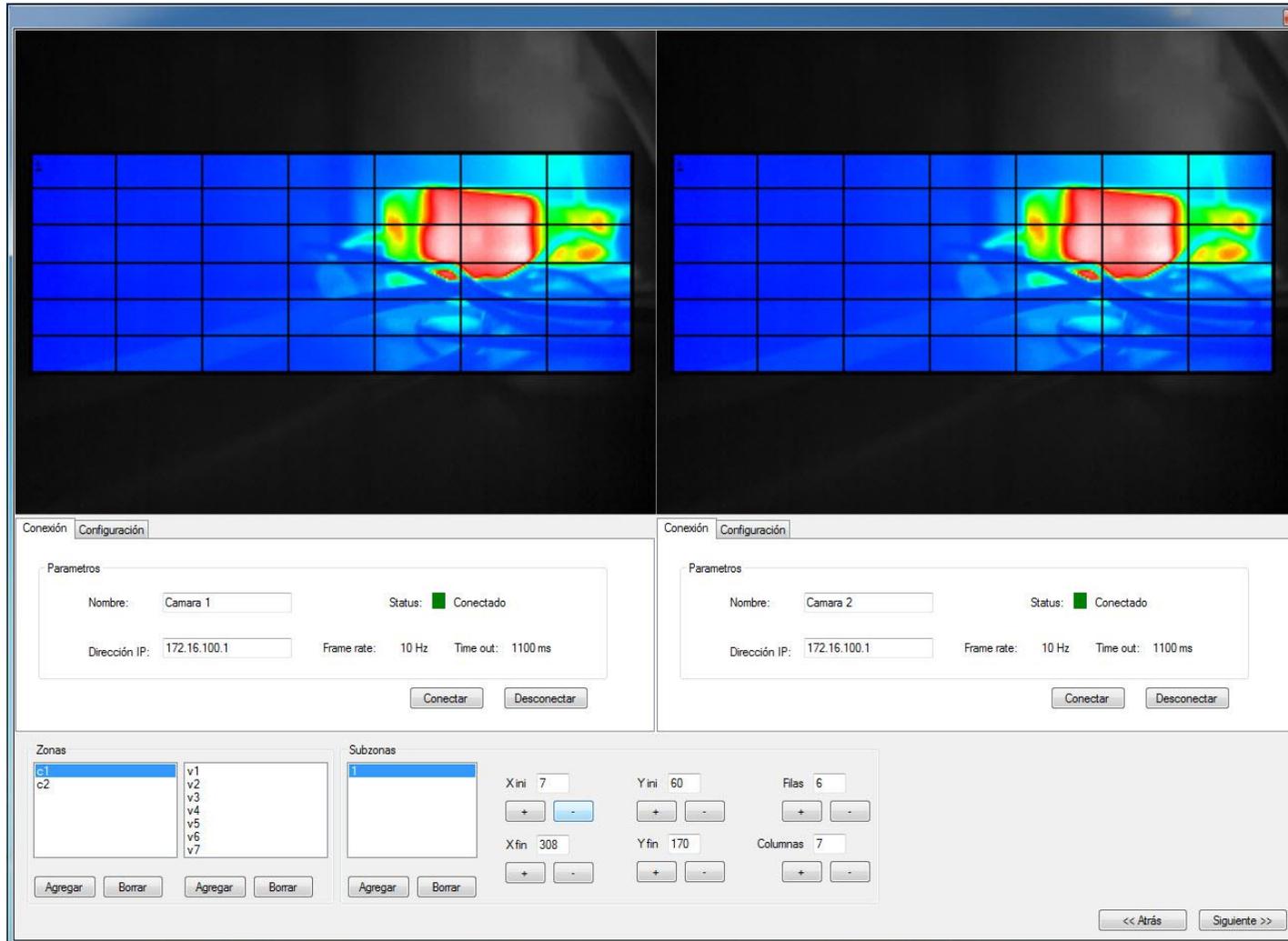


Ilustración 30 - Configuración zonas de apagado

## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

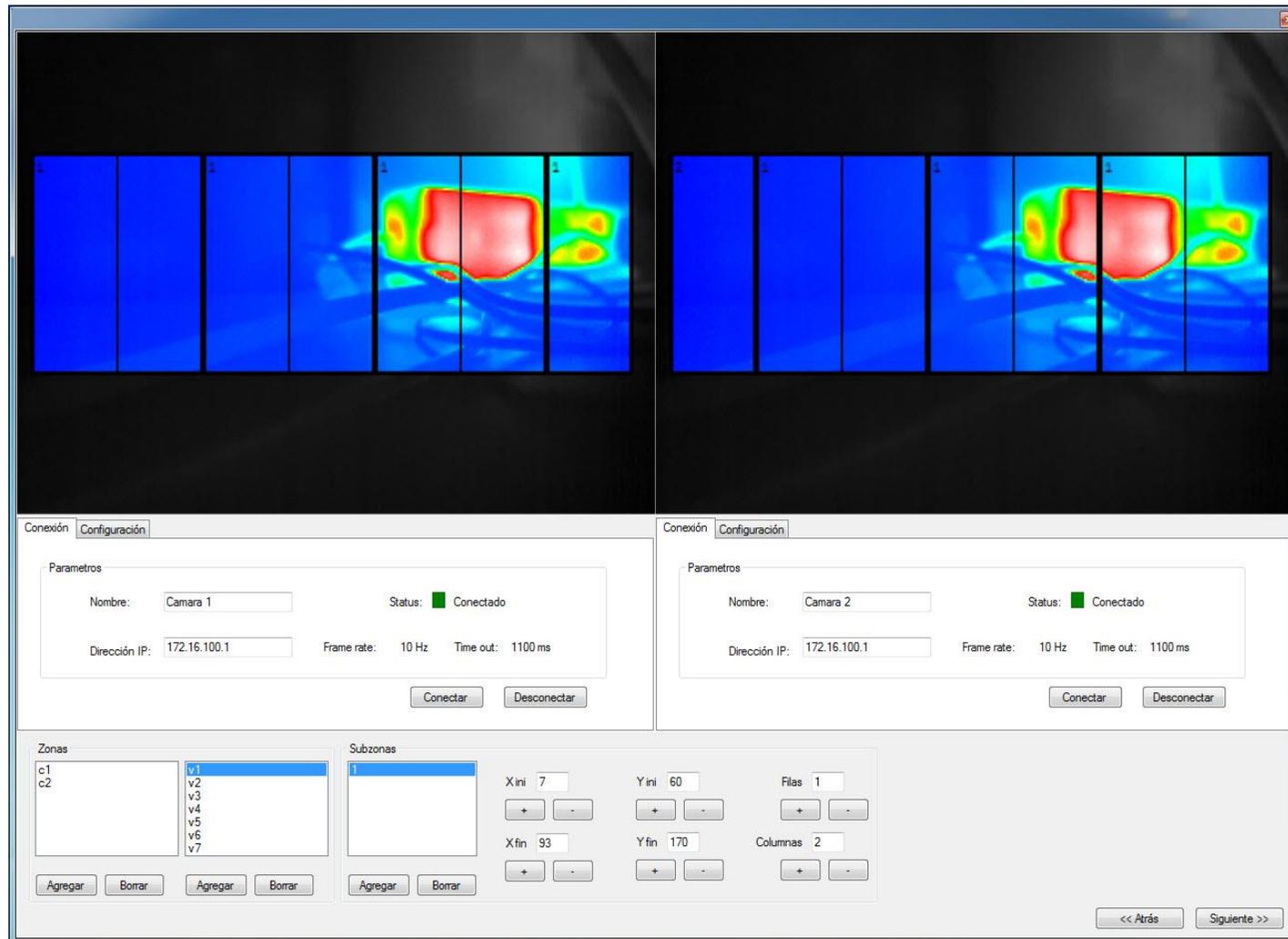


Ilustración 31 - Configuración zonas de vaciado



## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

Con el objetivo de facilitar la selección de las diferentes zonas se utiliza la escala de colores termográfica y escala de grises para el resto.

La escala termo-gráfica se ha implementado también en el marco de este proyecto ya que no se incluye en el SDK de la cámara. Para ello se ha utilizado una función que recorre el espacio de color HSV en forma de gradiente.

Cuando se conecta la aplicación a la cámara, esta última envía una tabla LUT que consiste en una tabla que contiene la información de temperaturas de las imágenes que se va a enviar.

Por ejemplo, imaginemos una tabla LUT de 10 elementos:

INDICE	TEMPERATURA
0	100.00
1	100.50
2	101.00
3	101.50
4	102.00
5	102.50
6	103.00
7	103.50
8	104.00
9	104.50
10	105.00

Y una imagen de resolución 9 x 9

5	1	4	3	8	10	9	8	9
3	4	2	1	6	7	8	4	5
5	3	2	4	8	7	0	2	1
5	6	8	7	2	0	3	6	8
2	0	3	6	5	8	7	5	2
4	5	6	5	8	8	5	2	6
9	8	7	5	3	6	5	7	8
2	1	5	8	5	5	6	9	9

La imagen realmente tendría los valores de temperatura:

102.5	100.5	102	101.5	104	105	104.5	104	104.5
101.5	102	101	100.5	103	103.5	104	102	102.5
102.5	101.5	101	102	104	103.5	100	101	100.5
102.5	103	104	103.5	101	100	101.5	103	104
101	100	101.5	103	102.5	104	103.5	102.5	101

102	102.5	103	102.5	104	104	102.5	101	103
104.5	104	103.5	102.5	101.5	103	102.5	103.5	104
101	100.5	102.5	104	102.5	102.5	104	104.5	104.5

En un último paso se normaliza dicha imagen de manera que los pixeles queden distribuidos en la escala de grises de 0 a 255 para blanco y negro o en la escala termográfica dependiendo del caso.

Para ello se busca el valor mínimo y el máximo en la imagen, y se aplica la siguiente operación para cada pixel.

$$Val_{x,y} = \frac{T_{x,y} - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} * (Indice\ maximo)$$

Donde el índice máximo toma el valor 255 para blanco y negro y el máximo índice de la matriz de la escala para imágenes en esta escala.

#### 4.2.1.3 CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR OPC Y PROGRAMA DEL PLC

El usuario de esta aplicación es muy probable que no tenga conocimientos de programación de PLC y mucho menos de aplicaciones de escritorio. Los PLC son unidades con un sistema de memoria que debe ser pre alocada al cargar el programa, esto es, un array siempre tendrá la misma longitud durante la ejecución del programa y deberá ser definida antes de cargarse en el PLC.

Esto no supone ningún problema cuando la aplicación esté funcionando pues las coordenadas a las que podrá apuntar el cañón no van a cambiar, pero sí que lo es durante la etapa de configuración. Pues el programa del PLC será diferente dependiendo de la configuración escogida, aunque la lógica y el funcionamiento será el mismo. Lo mismo pasa con las variables del servidor OPC.

Para ello en esta tercera etapa la aplicación crea dos archivos, uno con los tags OPC que se utilizarán con formato .csv y que deberá ser importado al servidor y otro con el programa del PLC en texto estructurado y que deberá ser importado al TIA Portal y posteriormente cargado en el PLC.

El programa generado por la aplicación es una aplicación que crea un bloque funciona por cada zona de apagado y de vaciado, con su correspondiente instancia y es añadido en el la función principal (main) del programa.

#### 4.2.2 ALGORITMO

El corazón de la aplicación se encuentra en el algoritmo. El algoritmo es el encargado de realizar las transiciones de los estados entre las diferentes zonas configuradas en la aplicación.

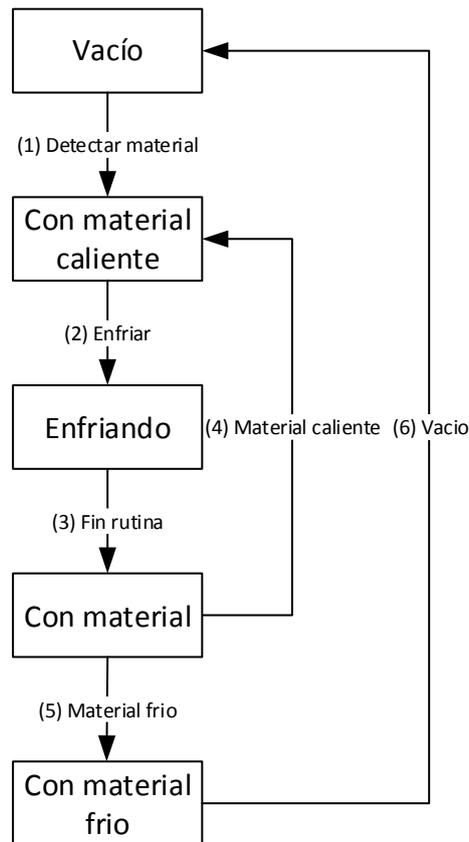


Ilustración 32- Transiciones aplicadas por el algoritmo de cada zona

Las transiciones son las siguientes:

1. Se detecta material: Para ello se capturan imágenes sucesivamente y se procesa la información de cada coordenada en la imagen. Se considera que en una determinada hay material si su temperatura supera una cantidad de grados configurada por el usuario.
2. Se envían las temperaturas de las coordenadas de la zona al PLC y una señal al PLC indicándole que comience la rutina de enfriado. Y se espera a recibir otra señal de feedback que indicará que esa zona ha empezado a enfriar.
3. Cuando la zona está siendo enfriada, las imágenes sucesivas no se tienen en cuenta, y solo podrá pasar a otro estado cuando se reciba la señal de fin de rutina de enfriado desde el PLC.

A continuación se repiten los pasos 2 y 3 hasta que no exista material caliente en la zona.

4. Una vez el material esta frío se procede a vaciar dicha zona, para ello y antes de pasar a dicho estado es muy importante asegurarse de que no haya ninguna otra zona vaciando.

Es importante remarcar que dos zonas pueden estar enfriando al mismo tiempo, pero dos trampillas no pueden estar abiertas al mismo tiempo.

Las diferentes zonas corren de forma asíncrona conformando un proceso multi hilo, para ello goza de gran importancia la sincronización de cada hilo.

Cada zona, es decir cada cañón o rejilla ejecutará un hilo de manera asíncrona a los demás. El cambio de estado de cada una se realiza de manera síncrona en un bloque de código en el que se aplicarán las restricciones mencionadas.

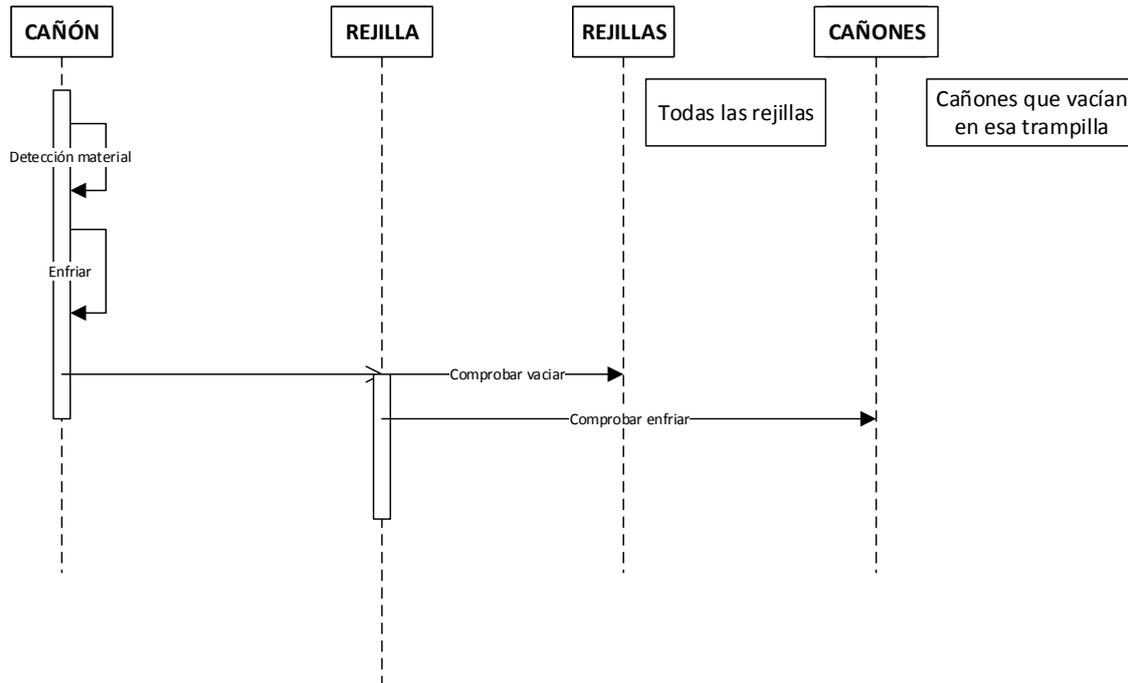


Ilustración 33- Diagrama de secuencia del algoritmo

El cambio de estado, cuando la zona tiene material y pasa a vaciar es el estado más crítico, pues es muy importante garantizar que la temperatura en la zona no está por encima de un determinado límite, pues la cinta transportadora se puede quemar. Se ha comprobado que mientras se está enfriando la rampa y durante un periodo posterior gran parte del agua se convierte en vapor, este vapor abarca una gran área, lo que imposibilita tomar medidas de temperatura con la cámara termográfica.

### 4.2.3 RUTINA DE ENFRIADO

Por ello se ha creado una rutina en el PLC llamada rutina de enfriado y que realiza las siguientes tareas:

1. La rutina solo comienza si se detecta material caliente durante un tiempo preestablecido. Esto sirve para evitar que posibles objetos calientes que

atraviesen la rampa puedan activar la rutina. Además esto también servirá para evitar que durante el período de descarga se active la rutina.

2. Una vez iniciada la rutina de vaciado se recorren las diferentes zonas examinando si se deben ser enfriadas o no. En caso de que deban ser enfriadas, se hecha un chorro de agua sobre esta de duración:

$$t = T \times F$$

Donde:

- $t \rightarrow$  tiempo que hay que enfriar
- $T \rightarrow$  temperatura de cómputo
- $F \rightarrow$  factor de temperatura.

El factor de temperatura es una constante configurable que indica cuánto tiempo hay que enfriar por cada grado de temperatura.

3. Una vez la rutina ha finalizado se envía una señal que indica el cambio de estado de la zona.

## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

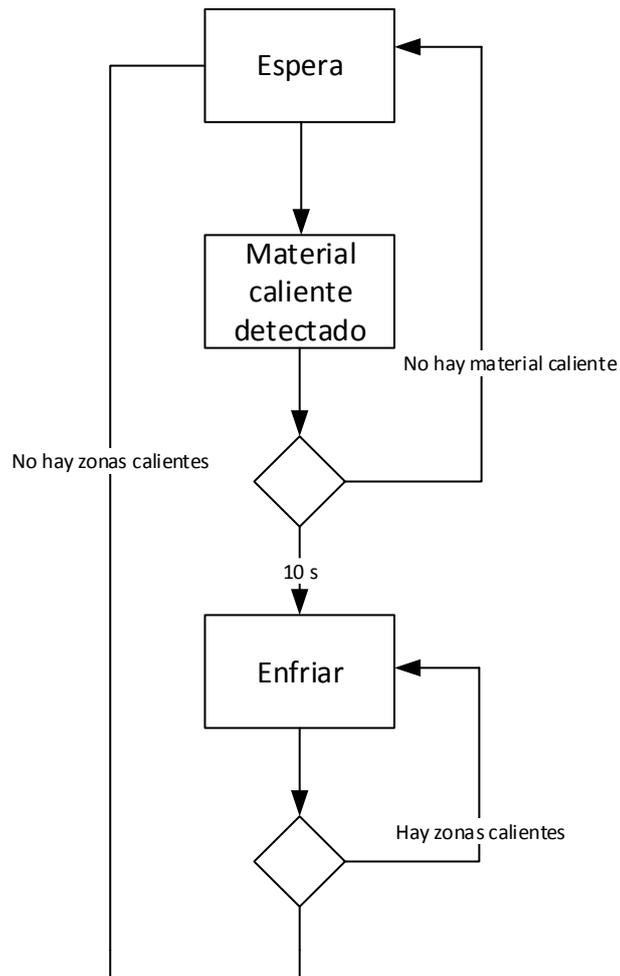


Ilustración 34 - Rutina de enfriado en el PLC

Cuando se detecta material caliente y que tiene que ser enfriado se actualiza la matriz de temperaturas en el PLC dejando de adquirir nuevas imágenes (ya que el vapor de agua hace que se obtengan informaciones de temperatura erróneas), el programa que ejecuta el PLC se basa por lo tanto en recorrer esta matriz buscando puntos que hay que enfriar.

La manera elegida para realizar este recorrido siempre es buscando el punto más cercano de manera que el cañón pueda realizar un recorrido eficiente.

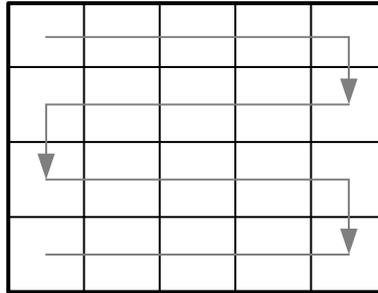


Ilustración 35- Recorrido de una matriz de temperaturas para una subzona

En el caso de que sea una zona compuesta de más de una subzona el recorrido es similar, recorriendo de zona en zona.

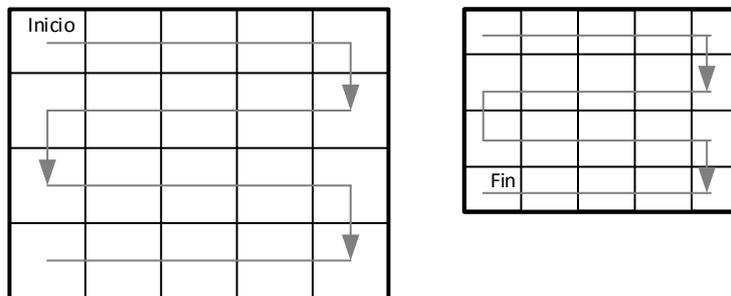
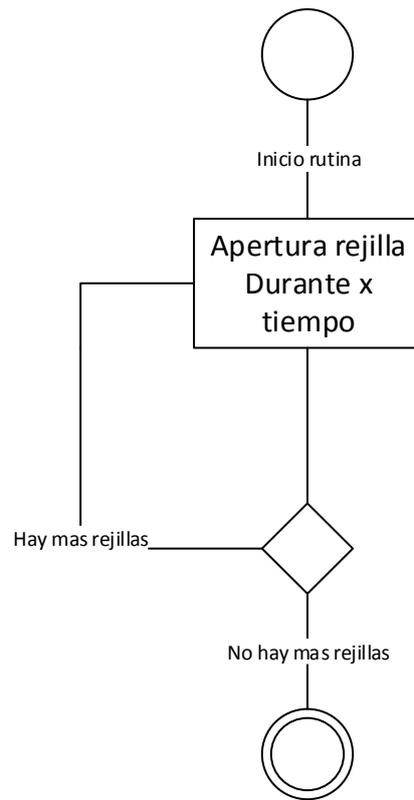


Ilustración 36 - Recorrido de una zona de temperaturas con más de una subzona

#### 4.2.4 RUTINA DE VACIADO

La rutina de vaciado se encarga de vaciar una determinada zona de vaciado, al igual que ocurría con la rutina de apagado, esta se activa mediante una señal de activación y notifica el fin de la rutina mediante otra señal.

Durante la rutina de vaciado, se abre cada trampilla durante un periodo de tiempo configurable en orden consecutivo y siempre en sentido contrario a la cinta.



*Ilustración 37 - Esquema rutina de vaciado*

Como se ha visto anteriormente una zona de vaciado puede contener a más de una zona de apagado, por eso antes de que una zona de vaciado inicie su rutina de vaciado es necesario verificar:

- No haya ninguna otra zona de vaciado vaciando.
- Ninguna de las zonas de apagado contenidas esté en ninguno de los siguientes estados:
  - Con material caliente
  - Enfriando

#### 4.2.5 OPC EN LA APLICACIÓN

La flexibilidad de la aplicación radica en el uso de la tecnología OPC, gracias a esta ha sido posible crear una aplicación modular y con gran potencial.

Únicamente se ha desarrollado un cliente OPC de manera paralela e independiente a la aplicación que podrá ser utilizado para cualquier otro proyecto para el cual sea necesario utilizar OPC DA.

Como para cualquier otro tipo de comunicación que implementa el modelo cliente servidor se necesita tanto un servidor como al menos un cliente. En el caso de esta

aplicación se ha recurrido a un servidor OPC comercial, ya que aunque el estándar OPC es abierto y la OPC Foundation ofrece de manera abierta dichas implementaciones, los drivers de comunicación que estos utilizan suelen ser privados e inaccesibles, como es el caso de los utilizados para PLCs SIEMENS. Esto quiere decir que aunque OPC sea un interfaz abierto hay que remarcar que aunque OPC fue diseñado con el objetivo de crear un interfaz único para comunicación con PLCs, esta solución puede ser adoptada para cualquier dispositivo que tenga estos requisitos, como puedan ser micro controladores, etc...

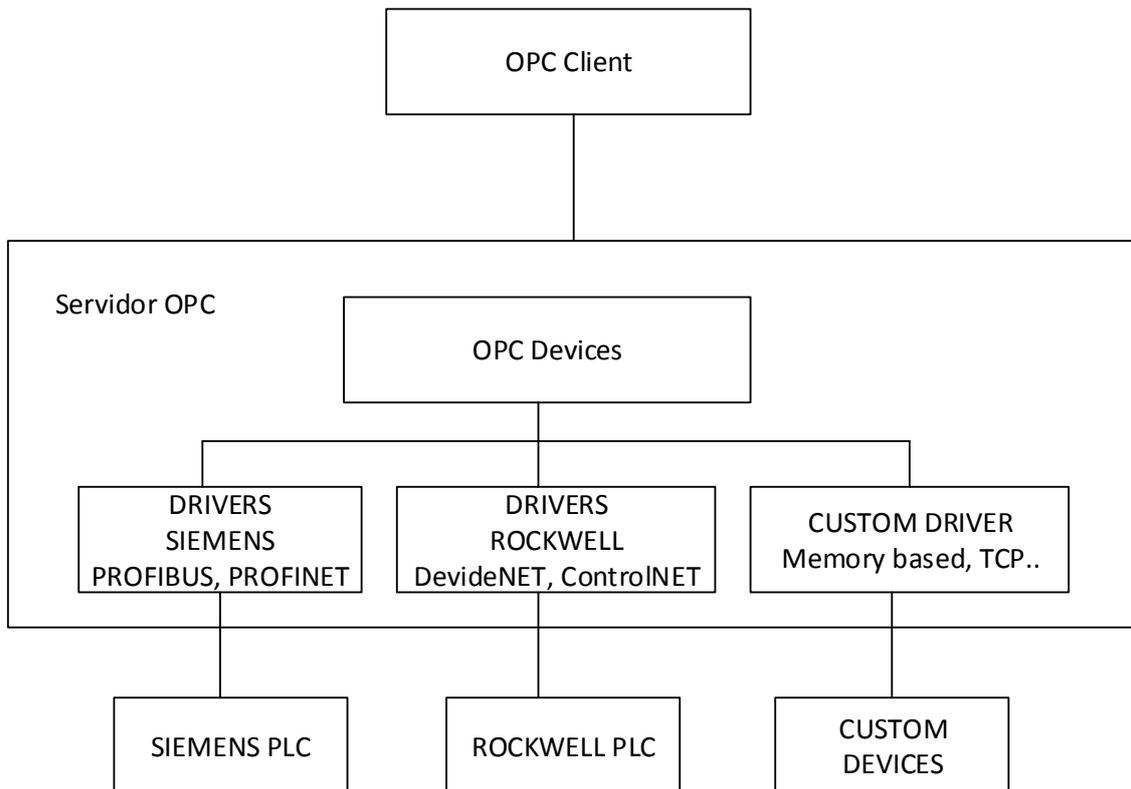


Ilustración 38 - Esquema OPC

El uso de OPC como interfaz entre la aplicación en el PC y el programa del PLC nos permite como ya hemos comentado varias veces anteriormente crear una capa de abstracción en la comunicación, esto no es permite crear cualquier tipo de arquitectura en la capa más baja del sistema.

Esto es, para una misma configuración en el PC podremos utilizar la topología de control que se desee, un PLC por cañón, etc...

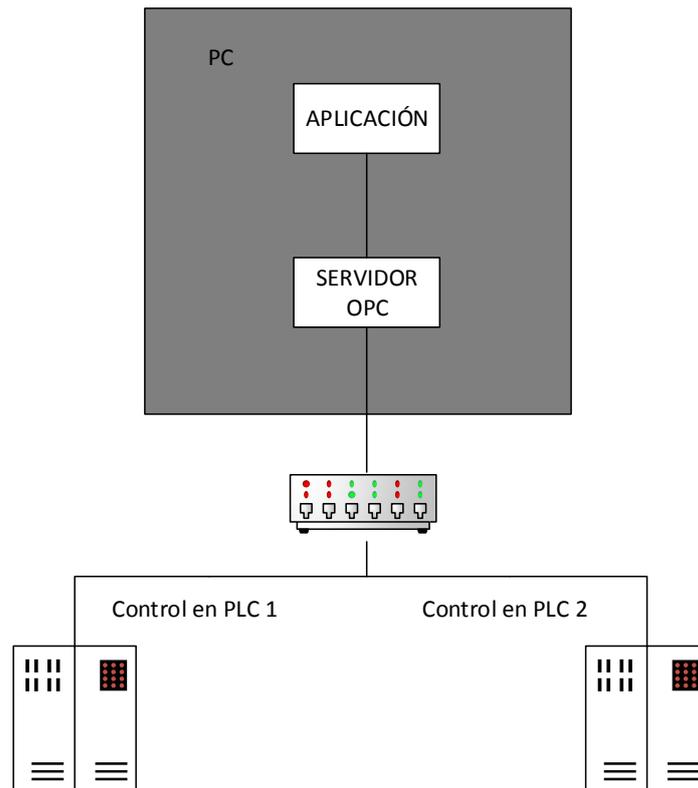


Ilustración 39- Esquema de una posible arquitectura de control

Esto es debido a que el servidor ofrece a la aplicación tags de variables amigables que se mapean a la memoria del PLC esto es por ejemplo:

Variable	Tag OPC	PLC	Dirección
<b>Coordenada [1, 1]</b>	Zona1.[1, 1]	PLC 1	DB1.15
<b>Cañón 1 activo</b>	Zona1.Active	PLC1	DB2.4:1
<b>Coordenada [1, 1]</b>	Zona2.[1, 1]	PLC 2	DB1.15
<b>Cañón 2 activo</b>	Zona2.Active	PLC2	DB2.4:1

De esta manera la aplicación solo se comunica con un tag de manera que el direccionamiento no afecta a la aplicación en sí.

El cliente implementado consta de las siguientes funcionalidades:

- Explorador: Este subsistema del cliente permite explorar el servidor OPC buscando tags y grupos dentro de su estructura.
- Agrupaciones: permiten agrupar lógicamente ítems de acuerdo a algún tipo de patrón.
- Items: Son los tags del servidor OPC en el cliente.
- Suscripciones: Permite suscribir ítems que obtendrán actualizaciones ante cambios en sus valores en el PLC.

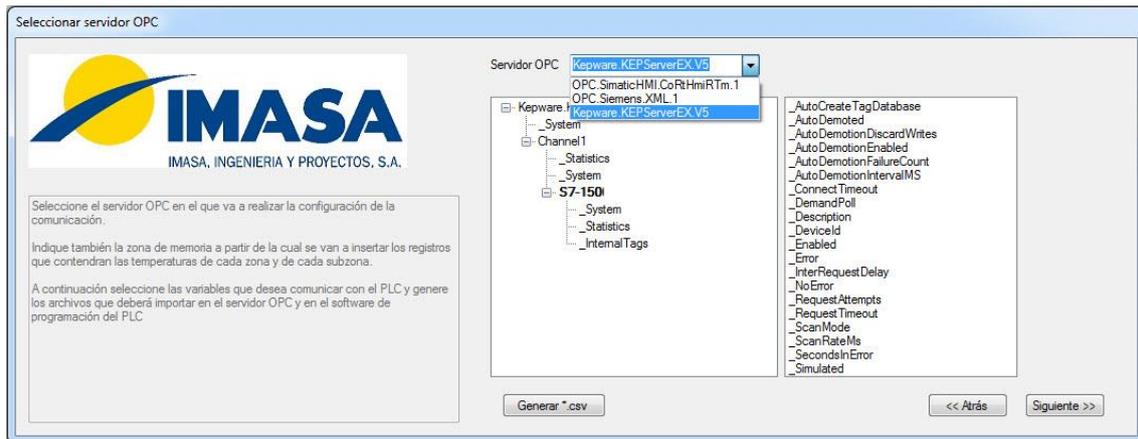


Ilustración 40- Visualización del cliente OPC en la aplicación

### 4.2.6 PUBLICACIÓN SUBSCRIPCIÓN

El modelo elegido para la sincronización es un modelo de publicación suscripción, esto es, ciertas variables intervinientes en el proceso están sincronizadas tanto en el PLC como en la aplicación. Por ejemplo, para activar el cañón se realiza una solicitud de activación de cañón y se espera a la notificación.

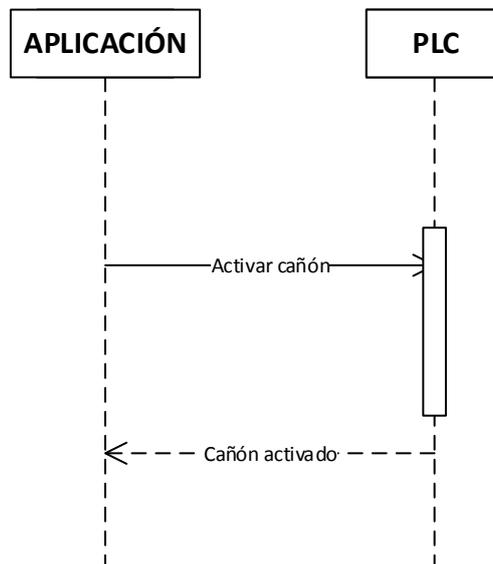


Ilustración 41- Ejemplo de comunicación asíncrona con el modelo de publicación – suscripción

Otras tareas como el envío de la actualización de la matriz de temperaturas se realizan de manera síncrona ya que aunque juegan un peso muy importante en la aplicación global no intervienen en el flujo de la aplicación.

Con este modelo de publicación suscripción se consigue que la aplicación que realmente es una aplicación de supervisión pueda ser ejecutada en más de un ordenador a la vez.

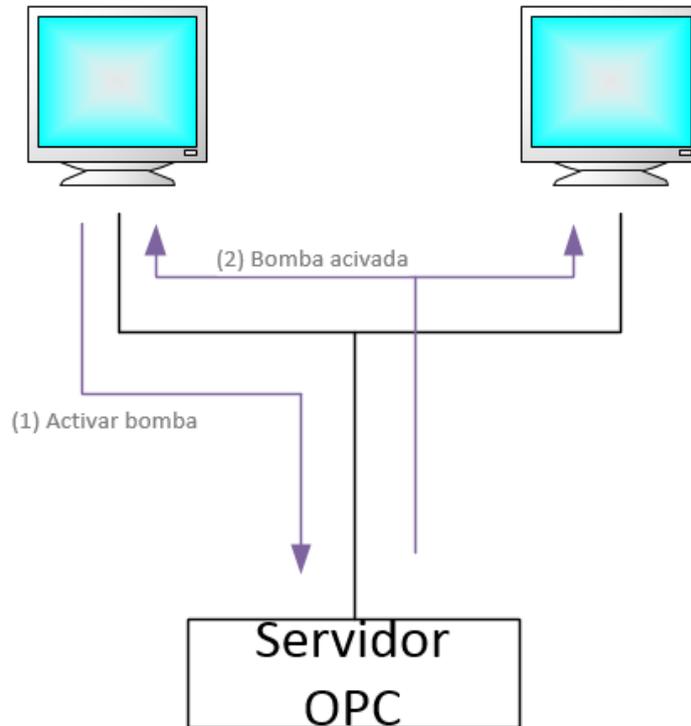


Ilustración 42 - Aplicación con dos equipos de supervisión

## 4.2.7 FUNCIONAMIENTO

En la ventana principal de la aplicación se distinguen varias zonas:

- Visualización de las cámaras: donde se ven las imágenes de las cámaras con la escala termográfica, y encima el mapa de la zonificación.
- Eventos: para visualizar los eventos, errores de la aplicación, esto incluye:
  - Conexión / desconexión de cámaras
  - Conexión / desconexión del cliente OPC
  - Cambio de estado de una zona
  - Mal funcionamientos de la aplicación.
- Esquema de la rampa: Es una de las partes más importantes de la ventana, está formada por las diferentes zonas configuradas con sus temperaturas y un mapa de color para indica el estado de esa coordenada. Este mapa de colores indica para las zonas de apagado:
  - Gris claro: vacío
  - Gris oscuro: con material no caliente
  - Naranja con material caliente (por encima del límite configurado)

- Azul: está siendo enfriado.

Y para las zonas de vaciado:

- Gris claro: vacío
- Gris oscuro: con material.
- Blanco: rejilla abierta.

Si una zona de vaciado detecta material una vez haya iniciado la rutina de vaciado, esta no pasará a estado vacío hasta que no se abra la trampilla, esto se hace así para evitar dejar material en la rampa.

Los cañones se han representado como una flecha azul, que indica a que coordenada está apuntando en cada momento.

Desde esta ventana es también posible:

- Iniciar la configuración inicial desde el principio.
- Cambiar parámetros de la aplicación,
- Pasar zonas a modo automático manual y viceversa

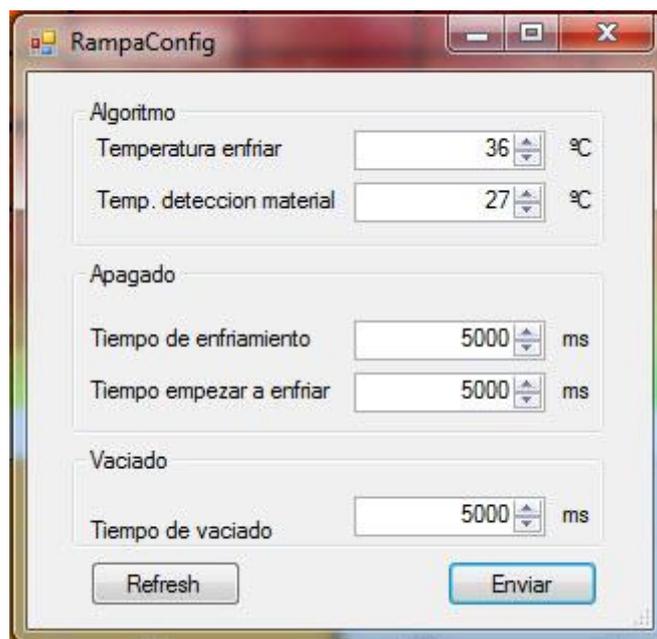


Ilustración 43- Ventana de opciones

- Cambiar las opciones de visualización

## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque



Ilustración 44 - Opciones de visualización

## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

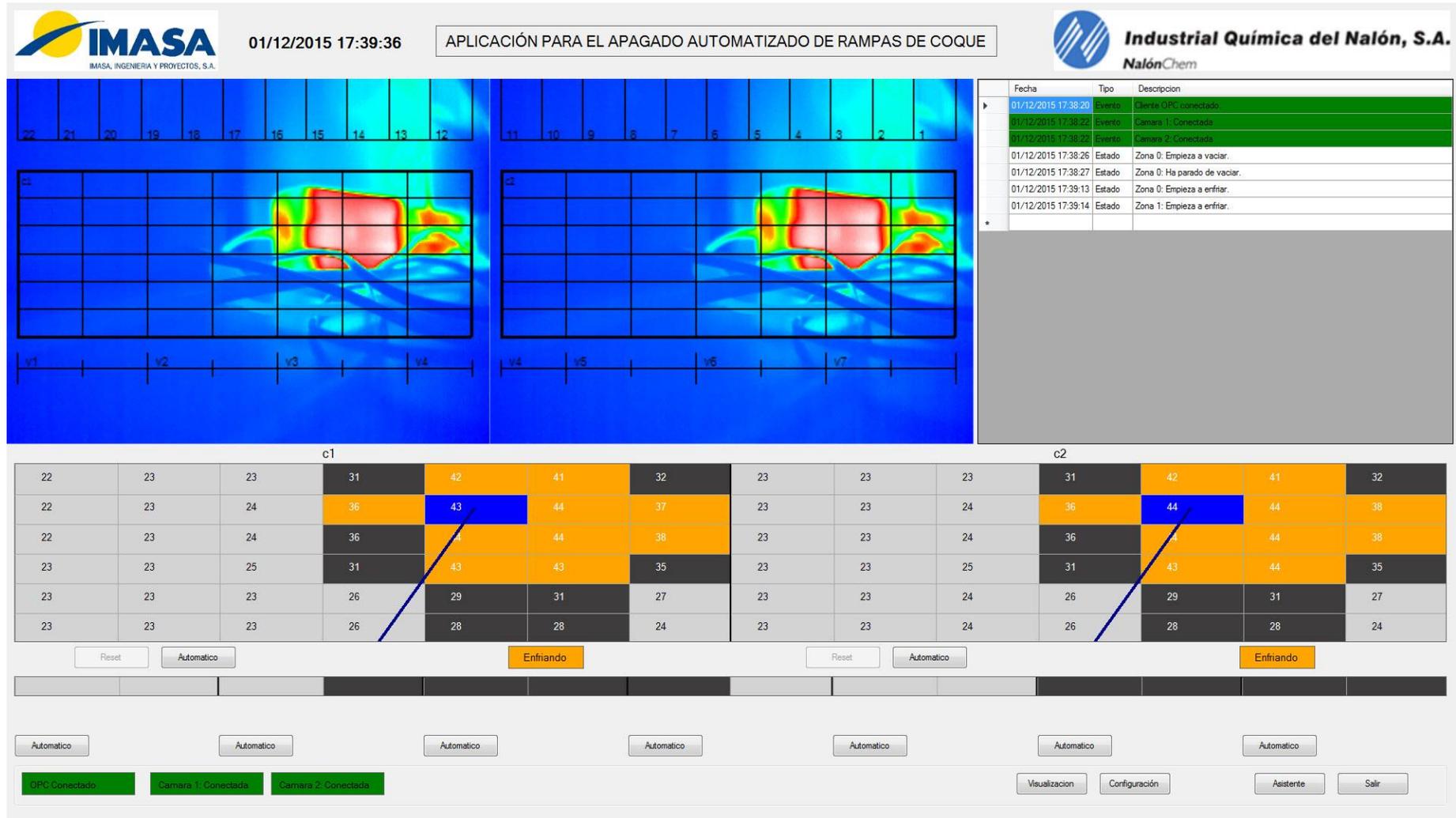


Ilustración 45 - Aplicación enfriando dos zonas al mismo tiempo

## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

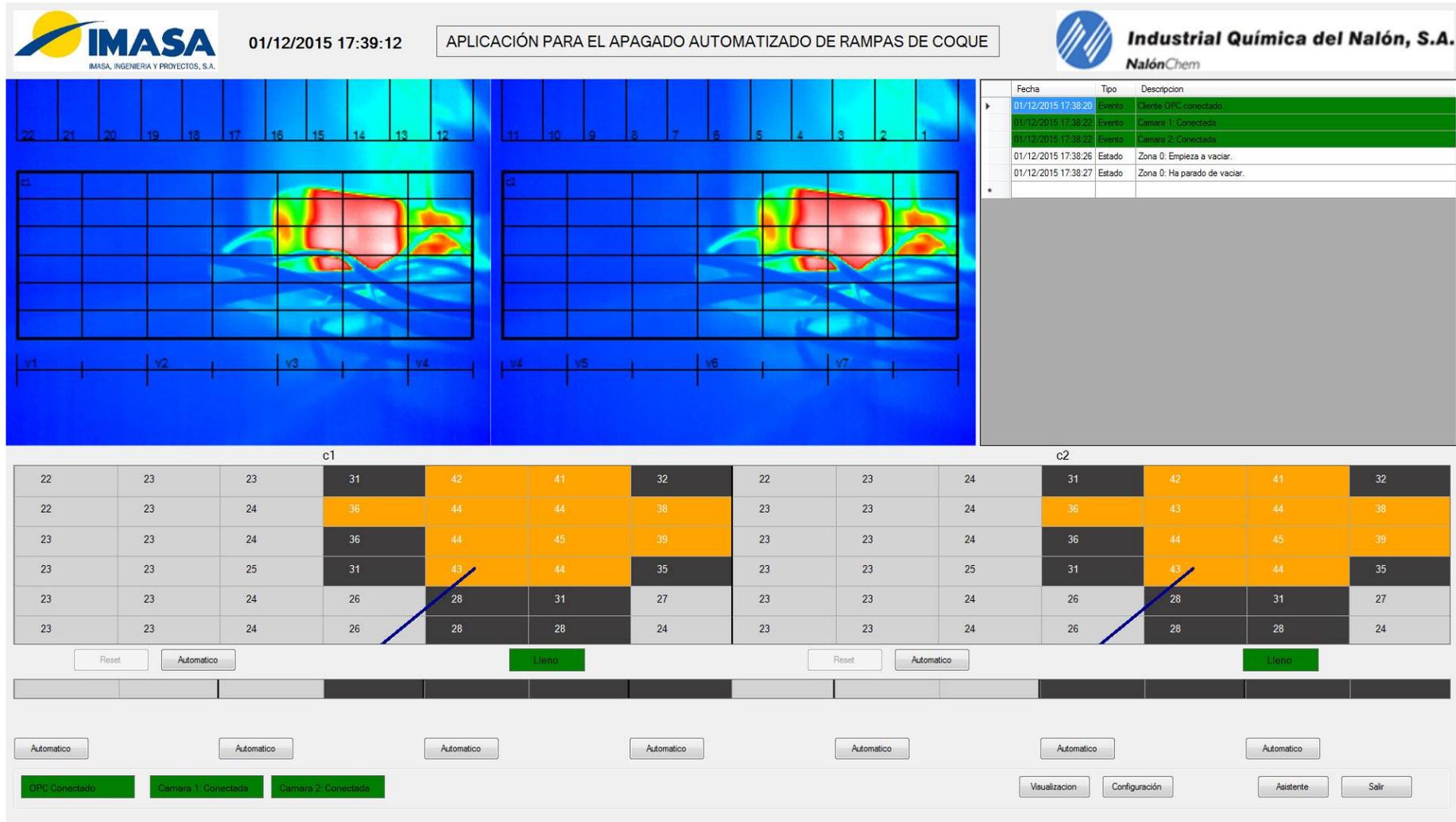


Ilustración 46 - Funcionamiento de la aplicación

## 4.2.8 MODO MANUAL

Todo sistema automatizado está pensado para sustituir a las personas, o ayudarlas a ser más eficientes. A pesar de que la tecnología nos permite hacer casi cualquier cosa que podamos imaginar no existe actualmente ningún sistema capaz de funcionar autónomamente de manera infinita, si no que necesita de una serie de intervenciones por parte de operarios etc... Estas intervenciones pueden ser:

- Mantenimiento predictivo y correctivo: donde sea necesario:
  - Detener el sistema.
  - Comprobar componentes individualmente.
- Intervenciones de seguridad: en las que es necesario por parte de un supervisor tomar alguna decisión de carácter inmediato.

Durante el período de prueba de la aplicación será necesario supervisar el correcto funcionamiento del sistema para ello será necesario que exista un supervisor que corrija las situaciones de mal funcionamiento.

Para ello es indispensable disponer de un modo de funcionamiento manual que permita interactuar o reproducir las diferentes posibilidades de funcionamiento del sistema.

Para el caso de la presente aplicación esto se traduce en las siguientes acciones:

- Activar/desactivar cañón
- Apuntar coordenada
- Abrir/Cerrar trampilla
- Pasar a modo automático.

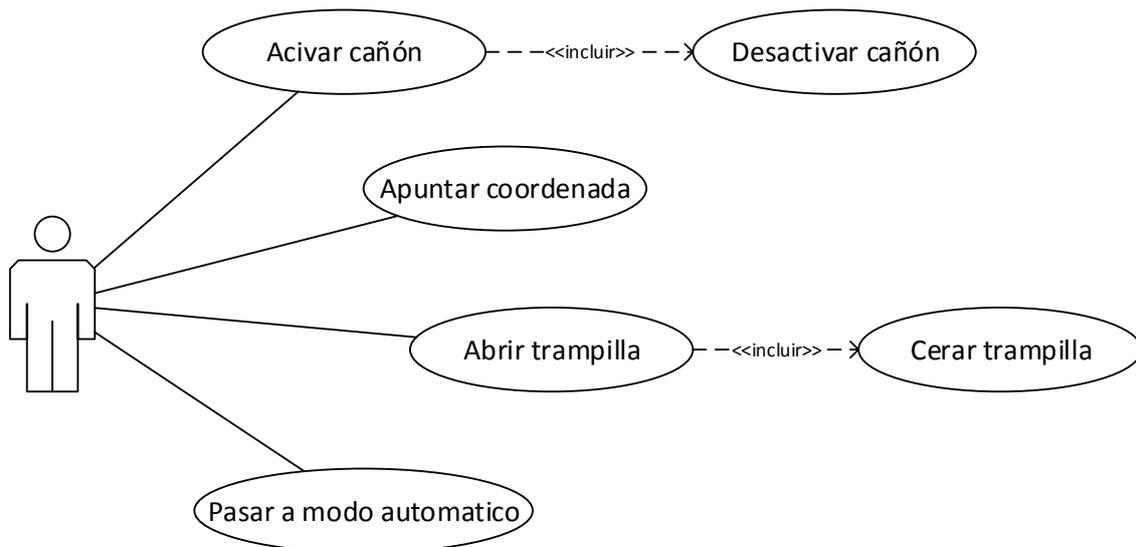


Ilustración 47 - Casos de uso modo de funcionamiento manual



## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

Es importante señalar que por motivos de seguridad, en las acciones que interactúen con el cañón y las trampillas se desactivarán automáticamente las señales correspondientes de manera que al operador de la aplicación le resulte imposible dejarse alguna de estas activada por olvido o despiste. Esto de cara al desarrollo se traduce en la utilización de pulsadores en lugar de botones. En el caso de las trampillas adquiere otra funcionalidad muy importante que es la de no permitir al usuario la activación (apertura) de más de una señal asociada a las trampillas, para que no pueda haber más de una rejilla abierta simultáneamente, ya que esta restricción no puede aplicarse en el PLC para el caso de arquitecturas distribuidas.

Además existirá un modo automático tanto para la zona como para cada grupo de rejillas.

## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

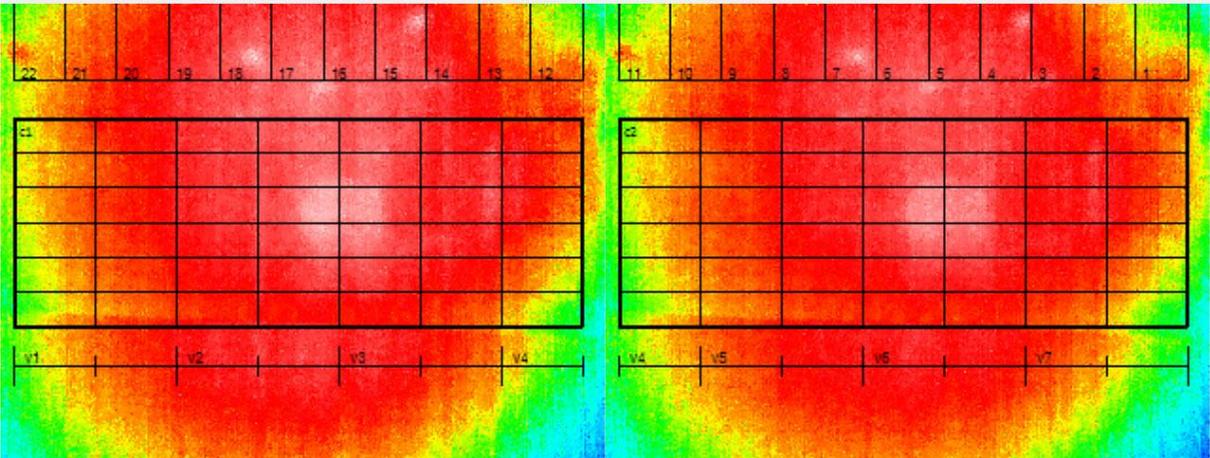


01/12/2015 17:42:38

APLICACIÓN PARA EL APAGADO AUTOMATIZADO DE RAMPAS DE COQUE



**Industrial Química del Nalón, S.A.**  
NalónChem



Fecha	Tipo	Descripción
01/12/2015 17:42:18	Evento	Cliente OPC conectado
01/12/2015 17:42:20	Evento	Camara 1 Conectada
01/12/2015 17:42:20	Evento	Camara 2 Conectada

c1

22	22	22	23	23	22	22
22	22	22	23	23	22	22
22	22	22	23	23	22	22
22	22	22	23	23	22	22
22	22	22	22	22	22	22
22	22	22	22	22	22	22

c2

22	22	22	23	22	22	22
22	22	23	23	23	22	22
22	22	23	23	23	22	22
22	22	23	23	23	22	22
22	22	22	22	22	22	22
22	22	22	22	22	22	22

Reset Manual

Manual Reset Automatico

Vacio

Automatico Automatico Automatico Automatico Automatico Automatico Automatico

OPC Conectado
Camara 1 Conectada
Camara 2 Conectada

Visualización Configuración Asistente Salir

Ilustración 48 - Funcionamiento manual de una zona en la aplicación

## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

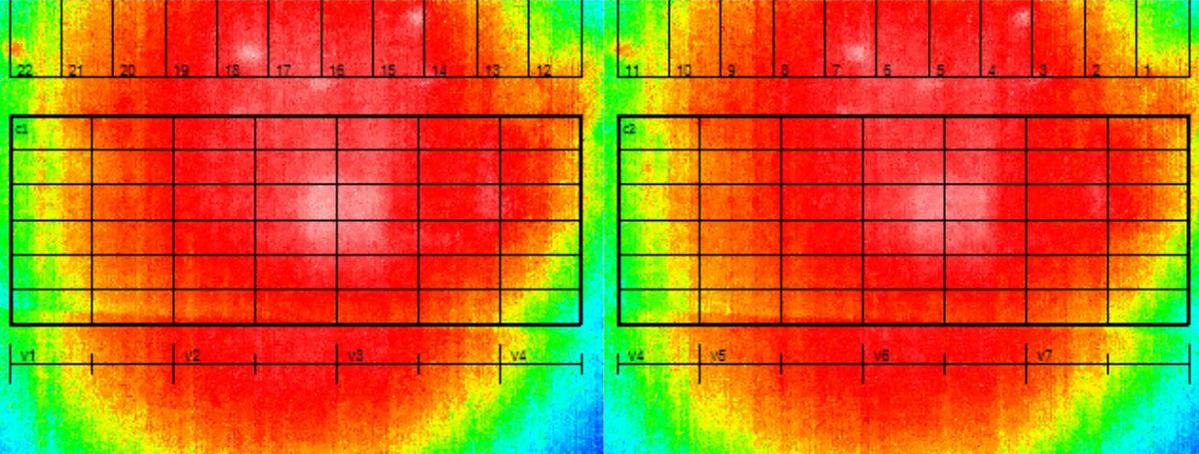


01/12/2015 17:43:25

APLICACIÓN PARA EL APAGADO AUTOMATIZADO DE RAMPAS DE COQUE



**Industrial Química del Nalón, S.A.**  
NalónChem



Fecha	Tipo	Descripción
01/12/2015 17:42:18	Evento	Cliente OPC conectada
01/12/2015 17:42:20	Evento	Camara 1. Conectada
01/12/2015 17:42:20	Evento	Camara 2. Conectada

c1

22	22	22	22	22	22	22
22	22	22	23	23	22	22
22	22	22	23	23	22	23
22	22	22	23	23	22	22
22	22	22	22	22	22	22
22	22	22	22	22	22	22

Reset Automático Vacío

c2

22	22	22	22	22	22	22
22	22	22	23	23	22	22
22	22	22	23	23	22	23
22	22	22	23	23	22	22
22	22	22	22	22	22	22
22	22	22	22	22	22	22

Reset Automático Vacío

Automático

Automático

**Manual**

Automático

Automático

Automático

Automático

Visualización

Configuración

Asistente

Salir

OPC Conectada

Camara 1. Conectada

Camara 2. Conectada

Ilustración 49- Funcionamiento manual de un grupo de trampillas



## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

## 5 RESULTADOS

El resultado del presente proyecto es una primera aplicación para el apagado de rampas que supone una primera aproximación, ya que no ha sido testada en ninguna rampa real, pero que ha sido testada en un entorno simulado obteniendo unos resultados muy satisfactorios.

El entorno de desarrollo se ha creado a partir de la reducción de las escalas de temperatura de la rampa. Este entorno se ha dispuesto con:

- Un ordenador ejecutando la aplicación.
- Una cámara termográfica.
- Un servidor OPC
- Un PLC

- Un transformador (que hará las veces de coque)

Las partes más importantes testeadas en esta fase son:

- El funcionamiento del algoritmo
- Las flexibilidad de la aplicación
- La seguridad del sistema.

## 5.1 ALGORITMO

Los principales puntos a tener en cuenta en esta primera fase de la aplicación han sido relativos a la funcionalidad del programa y no a los detalles del funcionamiento, esto es sobre todo a las transiciones entre estados de las diferentes zonas.

Los resultados de estos test confirman que:

- No sea posible que existan dos zonas vaciando al mismo tiempo, ni en modo automático, ni en modo manual.
- Una zona pasará obligatoriamente por los estados en el siguiente orden:
  - Vacío
  - Con material
  - Enfriando
  - Con material
  - Vaciando

El algoritmo en el entorno de simulación se ha comprobado que funciona de la manera esperada, y aunque no se puede asegurar que en una rampa su comportamiento sea exactamente igual debido a los numerosos agentes externos que se añaden al sistema, la base del funcionamiento y los requerimientos se espera que se cumplan del mismo modo.

La inclusión de un modo manual puede ayudar a este desarrollo, para el que se espera que:

- Sea un método para poder probar los diferentes componentes, tanto durante la puesta marcha como en paradas sucesivas.
- Ayude durante la fase de desarrollo de la aplicación en planta, permitiendo que esta funcione de manera remota y semiautomática.

Por lo tanto en esta fase se han diseñado y desarrollado las bases para la construcción de un algoritmo robusto y seguro.

## 5.2 FLEXIBILIDAD DE LA APLICACIÓN

Crear una aplicación muy flexible y configurable es uno de los principales requisitos de este proyecto, y aunque nunca se podrá asegurar que una aplicación de este tipo pueda ser instalada en todos los tipos de rampas existentes, el diseño elegido por lo menos permitirá superar muchos de los obstáculos y la problemática que se puedan presentar.

Se han probado numerosas configuraciones existentes en rampas de coque reales como puedan ser, rampas con bordillos separando las zonas de vaciado, rampas con gran separación física, etc...

Además la zonificación que permite la aplicación hace que temperaturas ajenas al sistema no puedan interferir en el funcionamiento de esta.

## 5.3 APAGADO Y VACIADO

Cuando algún horno deshorna sobre la rampa, se deposita una cantidad de coque que suele quedar amontonado con una profundidad de entre 0,5 y 1 metro. Por otro lado hay que tener en cuenta que la cámara lee únicamente la temperatura de la superficie, y que al echar agua sobre el material, la temperatura en la superficie desciende notablemente. No pasa lo mismo con el material bajo esta, que aunque su temperatura se reduce, no decrece de manera tan notable como la anterior. Una vez se ha dejado de echar agua, la temperatura del material inferior calienta por contacto el de la zona superior aumentando la de la superficie al cabo de un periodo corto de tiempo.

No tener en cuenta este efecto podría llevar a un mal apagado del coque en la rampa, este efecto se ha tenido en cuenta en la aplicación, añadiendo la restricción de que una vez finalizada la rutina de vaciado, se ha de esperar un tiempo concreto antes de vaciar la rampa.

De igual manera se ha podido observar que al vaciar la rampa, el coque se remueve enérgicamente debido a la gravedad y el material inferior pasa a la superficie y se observa como la temperatura aumenta, incluso a simple vista se puede observar como existe material incandescente. Es evidente que al estar vaciando el material está en movimiento y por lo tanto no se puede utilizar la rutina de enfriado.

Con el objetivo de reducir la temperatura del material todavía caliente que no ha podido ser detectado se pretende instalar en la parte superior de las trampillas una serie de aspersores que se activarán cuando estén las trampillas abiertas.

## 5.4 ROBUSTEZ

La aplicación ha sido testeada durante su desarrollo así como por diferentes usuarios, desarrolladores de SCADAS, un operador de una rampa de una coquería y un responsable del área de I+D de la misma coquería. Todos ellos han confirmado que es una aplicación robusta, pues bajo su criterio y en el entorno de simulación en el que se ha demostrado la aplicación, esta cumple con los requisitos para los que se ha diseñado.

Desde el punto de vista de la programación bajo estándares .NET se ha podido confirmar que la aplicación es segura y cumple con dichos estándares, referentes a calidad de código, estructuración y complejidad.

## 6 CONCLUSIONES

La aplicación diseñada y desarrollada en el presente proyecto supone un sistema muy innovador en plantas de este tipo ya que supone una herramienta muy efectiva para el apagado de manera autónoma de cualquier rampa de coque.

Este sistema de supervisión permite supervisar y controlar el proceso del apagado del coque desde un punto de vista formal, ya que, lo que antes se hacía a ojo (un operador que disparaba agua con un cañón a las zonas incandescentes) con este sistema se hará a partir de mediciones reales y datos obtenidos mediante cámaras termográficas.

Además de lo anterior que ya supone una importante mejora en dicho proceso, esta aplicación permite automatizar todo el apagado, esto es que el propio programa utilizará la información (temperatura del coque) obtenida por dichas cámaras para que

de forma automática y mediante un cañón conectado al sistema, esta pueda echar agua a los puntos con mayor temperatura que habrá que apagar. A continuación y una vez apagado el coque y de manera automática el coque depositado se descargara sobre la cinta en la parte inferior.

Lo anterior mencionado es la base sobre la que se ha construido el programa, pero sin duda la mayor innovación viene dada por la flexibilidad y configurabilidad que ofrece esta aplicación, gracias a la cual este sistema podrá ser instalado en cualquier rampa de coque independientemente de cual sea su morfología.

Gracias a la utilización de tecnologías como OPC está podrá ser implantada sobre sistemas de control ya instalados y en ejecución, lo que supondrá un ahorro de costes en la instalación.

En definitiva, la instalación de aplicaciones de este tipo es una importante mejora de este proceso productivo, que supondrá un gran ahorro económico y garantizará un apagado del coque mejor ya que se dota a la instalación de un conjunto de sensores y actuadores que permiten tomar decisiones a partir de datos numéricos, sustituyendo la metodología anterior donde un operario realizaba el apagado a ojo. Estos sensores y actuadores son:

- Una cámara termográfica.
- Un ordenador (donde se ejecutará la aplicación de supervisión)
- Un PLC
- Un cañón de agua

Estos actuadores conforman un sistema de control distribuido (DCS) que otorga a la aplicación un diseño modular.

El software también ha sido diseñado de manera modular y gracias a la utilización del patrón de desarrollo MVC (Modelo vista controlador) se ha conseguido crear una aplicación escalable y sencilla de mantener. Esto garantiza que cualquier programador con conocimientos de .NET pueda ser capaz de identificar los diferentes módulos de la aplicación y sea capaz de escribir código en la aplicación de manera rápida.

Para usar la aplicación el usuario tendrá que seguir una serie de pasos de configuración que permite a la aplicación adaptarse a las diferentes rampas existentes. Pues cada rampa tendrá una configuración diferente dependiendo de sus características.

Por otro lado se han utilizado varias herramientas de software comercial que son:

- Kepware server V5 (Servidor OPC)
- TIA Portal V13 (Herramienta de programación para PLCs SIEMENS)

Pese a ser comerciales y cerrados (no permiten interacción con ellos desde lenguajes programación), el programa es capaz de generar una lista de tags importable en el servidor OPC, de manera que el usuario no tenga que importarles uno a uno.

De la misma manera el programa genera un programa base importable a la herramienta de programación del PLC (TIA Portal) que el usuario podrá modificar para ajustar para adaptarlo a sus necesidades.

Estas dos opciones de exportación son generadas en un fichero cada una y dependerán de cada configuración de la aplicación. La aplicación guarda esta configuración cada vez que esta cambia y por lo tanto no es necesario hacer esta configuración cada vez que se inicia el programa. Además es posible exportar e importar configuraciones, para facilitar cambios en el hardware.

El resultado final es una aplicación que necesita un estudio previo para definir:

- Numero de cámaras
- Numero de cañones
- Zonificación

De manera que se pueda crear un mapa virtual en la aplicación de cómo será la rampa en la aplicación y donde apuntará el cañón, e intentar sobre todo de enfocar la totalidad de la rampa, y poder enfriar la mayor superficie dentro de esta.



*Ilustración 50 - Esquema de zonificación sobre la rampa real*

## 6.1 FUTURAS LINEAS

La aplicación y el presente proyecto constituyen únicamente el diseño y programación del sistema desde un punto de vista de la investigación y el desarrollo y por lo tanto, no ha sido testada en ningún tipo de rampa hasta el momento. Constituye de esta manera únicamente un modelo probado bajo condiciones controladas. Aunque en estas condiciones la aplicación ha cumplido los requisitos funcionales satisfactoriamente como se detalla en el apartado de resultados, antes de poder ser instalada en una instalación real es necesario testarla en una rampa de coque primero.

Resulta de gran importancia y deberá constar como un requisito indispensable de cara al futuro desarrollo del programa el estudio de como el cañón se posicionará en cada coordenada configurada en la rampa.

Este tipo de aplicación debido a los requisitos y a la forma en que ha sido desarrollada hace que pueda ser utilizada en diferentes tipos de instalación y en diversos tipos de aplicaciones, ya que la aplicación puede ser utilizada como un interfaz para obtener temperaturas de determinadas zonas de interés a través de una cámara termográfica en un PLC, lo que puede resultar de utilizada para monitorizar zonas críticas donde haya que controlar la temperatura. Por lo tanto sería interesante identificar para qué aplicaciones se podría utilizar este sistema y evaluar su viabilidad.

Durante el desarrollo de la aplicación se ha desarrollado también un tipo de aplicación llamado “aplicación de tuberías” que está en desarrollo y que permite seleccionar tuberías en las imágenes termográficas y establecer límites de temperatura que una vez superados hacen saltar alarmas en el PLC. En este caso el PLC viene con un programa base modificable que permita adaptarlo a las necesidades del implementador.

De la misma manera es interesante pensar en incorporar en la aplicación mecanismos que permitan contabilizar parámetros relativos al proceso como:

- Numero de deshornados
- Cantidad de agua empleada
- Tiempo de apagado de empleado

Que ayudarán a realizar estudios que permitan elaborar optimizaciones o transmitir datos a niveles superiores.

## 7 BIBLIOGRAFIA

*Referencia del programador de C#, [www.microsoft.es](http://www.microsoft.es), Microsoft*

*.NET Framework reference, [www.microsoft.es](http://www.microsoft.es)*

*Manual para desarrolladores del FLIR SDK [www.flir.es](http://www.flir.es)*

*Coque <https://es.wikipedia.org/wiki/Coque>*

*Hornos de coque <http://www.mooseforge.com>*

*TIA Portal V13 <https://automation.siemens.com>*

*Component object model [https://es.wikipedia.org/wiki/Component\\_Object\\_Model](https://es.wikipedia.org/wiki/Component_Object_Model)*

*OPC Classic (OPC DA) OPC Foundation [www.opcfoundation.com](http://www.opcfoundation.com)*



## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque



# PRESUPUESTO

En este apartado se muestra el desglose del proyecto desde una perspectiva económica, aquellos costes que han intervenido en la realización del mismo. Los costes se dividirán en los referentes a especificaciones y requerimientos técnicos, y en los referentes al coste humano asociado al proyecto.

## COSTES DE ORDENADOR Y COMPLEMENTOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR	TOTAL
ORDENADOR PORTATIL	0,2	1000 €	200 €
CÁMARA TERMOGRÁFICA	1	9000 €	9000 €
PLC SIEMENS	1	1200 €	1200 €
SWITCH INDUSTRIAL	1	30 €	30 €
CAÑÓN DE AGUA	1	5000 €	5000 €
CABLEADO, FUENTES DE ALIMENTACIÓN	1	300 €	300 €

Tabla 1 Costes de ordenador y complementos.

**Subtotal** ..... **14630,00 €**

Se estima que la vida útil de un ordenador es de 3 años. Como la duración del proyecto ha sido de 7 meses la cantidad realmente utilizada del equipo respecto a su vida útil es:

$$\frac{7 \text{ meses}}{3 \text{ años} \times 12 \text{ meses/año}} = 0,2$$

## COSTES DEL SOFTWARE ASOCIADO AL PROYECTO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR	TOTAL
SISTEMA OPERATIVO WINDOWS 7 HOME PREMIUM	0,2	104,02 €	20,80 €
MICROSOFT VISUAL STUDIO 2013 EXPRESS	1	0 €	0 €
MICROSOFT OFFICE 2010 PROFESSIONAL	0,2	399,99 €	79,99 €

Tabla 2 Costes del software empleado en el proyecto.

**Subtotal** ..... **100,80 €**

Las librerías utilizadas están incluidas en los paquetes anteriores además del editor de texto utilizado en el proyecto.

## COSTES DE DISEÑO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR	TOTAL
HORAS DISEÑO DE APLICACIÓN	700	15,87 €	11.109 €
HORAS ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN	80	15,87 €	1.269 €

Tabla 3 Costes asociados al desarrollo humano.

**Subtotal** ..... **12.378 €**

## CALCULO DEL COSTE POR HORA

El cálculo del precio de una hora del programador de la aplicación se calcula teniendo en cuenta que, el salario anual de un programador .NET se estima en 20.000 € anuales.

Teniendo en cuenta que un año consta de 52 semanas, y en una semana se realizan 40h laborables.

$$52 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} \times 40 \frac{\text{horas}}{\text{semana}} = 2080 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Descontando vacaciones y demás:

$$(21 \text{ días de vacaciones} + 14 \text{ días festivos}) \times 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 280 \text{ horas/año}$$

$$2080 \frac{\text{horas}}{\text{año}} - 280 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = 1800 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Es decir 1.800 horas laborables al año.

Se ha tenido en cuenta también que en una hora de trabajo nunca se consigue el 100% de trabajo útil, sino que se incluyen tareas de búsqueda de información, consultas, formación imprevistos y demás que puedan hacer que una hora no sea 100% facturable. Se ha considerado que el 70% de las horas son facturables.

$$1800 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \times 0,7 = 1260 \text{ horas facturables.}$$

Por lo que el precio de una hora de trabajo es:

Aplicación para automatizar el apagado de rampas  
de coque

$$\frac{20000 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{1260 \text{ horas} \frac{\text{facturables}}{\text{año}}} = 15,87 \frac{\text{€}}{\text{hora}}$$

## COSTE TOTAL DEL PROYECTO

CONCEPTO	VALOR
COSTE TOTAL DEL PROYECTO	27508,01 €

<b>Total</b>	.....	<b>27.508,01 €</b>
<b>I.V.A 21%</b>	.....	<b>5.776,68 €</b>
<b>TOTAL I.V.A</b>	.....	<b>33.284,69 €</b>

El importe total del proyecto suma la cantidad de:

**Treinta y tres mil doscientos ochenta y cuatro euros con sesenta y nueve céntimos.**

## MANUAL DE USUARIO

La primera vez que se ejecute la aplicación será necesario, crear una configuración que será utilizada en las próximas ejecuciones del programa. Esta configuración es exportable e importable, por lo tanto si dispone de una configuración puede cargarla sin tener que realizar la configuración.

Para iniciar la aplicación ejecute el archivo “*ThermoCam.exe*”, a continuación aparecerá el asistente de configuración.

### TIPO DE APLICACIÓN

En esta pantalla se deberá configurar el tipo de aplicación:

- Estandar: para rampas de coque únicamente con supervisión, es decir sin control de la rampa, no se configurarán cañones ni trampillas, sólo las zonas a supervisar. Se generará programa para el PLC y lista de tags para el servidor OPC.
- Tuberías: para supervisión de cualquier tipo tuberías, esta aplicación permite generar alarmas por sobrecalentamiento, etc... Se generará programa para el PLC y lista de tags para el servidor OPC.
- Rampas: incluye todo las características de la versión estandar y permite la configuración de cañones de agua y trampillas.

Además del tipo de aplicación será necesario configurar el número de cámaras termográficas.

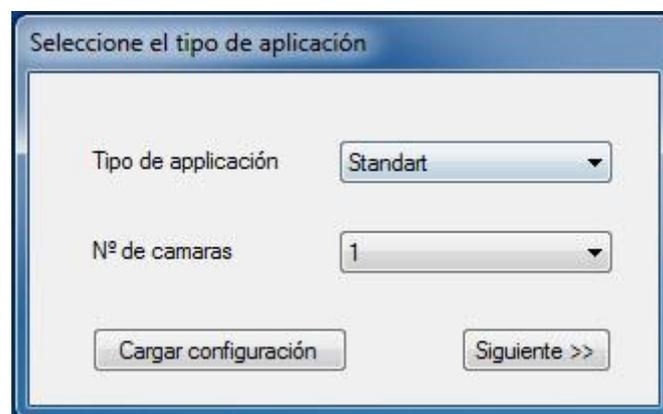


Ilustración 51 - Asistente de configuración



## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

En caso de disponer de una configuración y se desee cargar, se deberá seleccionar *“Cargar configuración”* y elegir el fichero donde existe dicha configuración.

### CONFIGURACIÓN DE CÁMARAS Y ZONAS

A continuación se debe configurar las cámaras instaladas, para ello se deben seguir los siguientes pasos por cada cámara:

- Introducir la dirección IP de la cámara y el tipo de cámara.
- Conectar la cámara.
- Enfocar y ajustar la imagen

## Aplicación para automatizar el apagado de rampas de coque

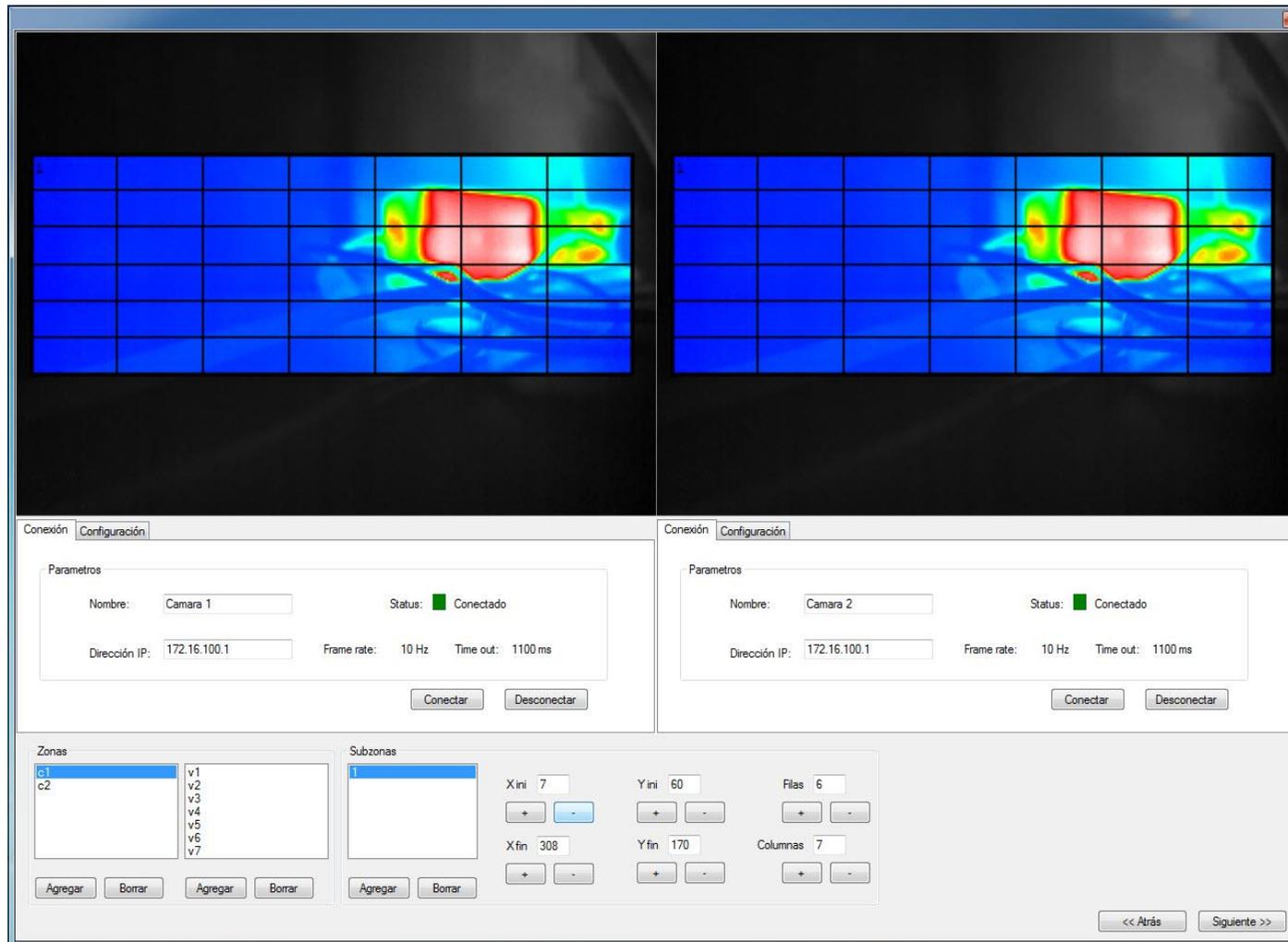


Ilustración 52- Configuración de cámaras y zonas

Una vez configuradas las cámaras habrá que configurar las zonas de la aplicación. Para ello hay que seguir los siguientes pasos:

- Añadir una zona, pulsando en agregar e introduciendo un nombre.
- Añadir una subzona con la zona seleccionada.
- Con la subzona seleccionada, definir el área que abarcara dicha subzona, para ello hacer clic en una zona de la imagen de una de las cámaras y arrastrar el ratón hasta definir esta.
- Realizar los pasos anteriores hasta definir todas las zonas deseadas.

## CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR OPC

En este paso se debe proceder a configurar el servidor OPC, para ello es necesario seleccionar el servidor OPC instalado que se va a utilizar, expandiendo el combo box y eligiendo entre los servidores instalados disponibles.

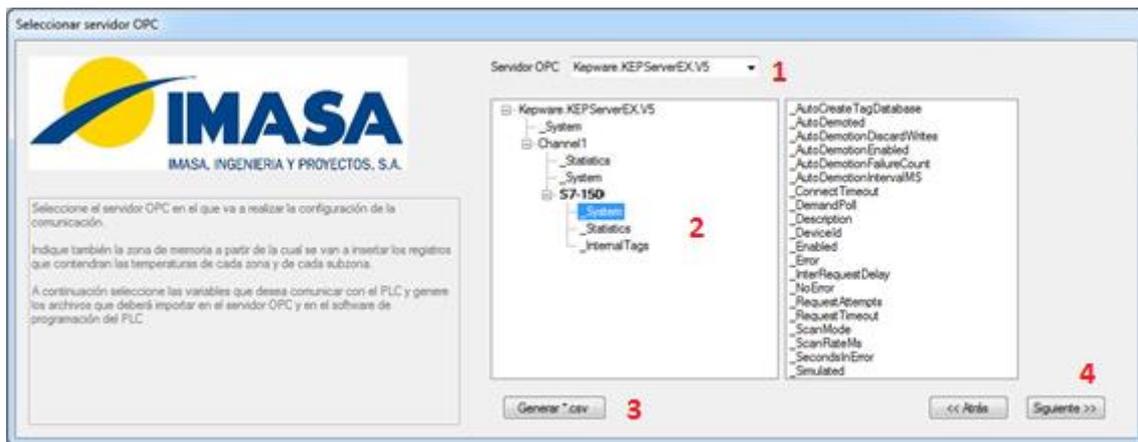


Ilustración 53- Configuración del servidor OPC

Una vez configurado el servidor OPC será necesario elegir la ruta en este de la cual colgaran las variables que se van a utilizar en la aplicación y finalmente presionar el botón “Generar \*.csv”. A continuación aparecerán dos diálogos que solicitarán la ruta donde se guardarán el fichero con extensión csv que contendrá las variables a importar al PLC y el fichero con el programa del PLC para el TIA Portal.

*NOTA: Antes de continuar con los siguientes pasos es necesario importar tanto las variables OPC como el programa al PLC.*

Una vez se hayan importado tanto las variables al servidor OPC como el programa al PLC la aplicación habrá quedado configurada.