



**Universidad  
de La Laguna**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

---

**Automatización Emisiones de los Gases 1 y 2 de  
la Central Térmica de Candelaria**

Trabajo Fin de Grado

Autor: Daniel Pérez Gutiérrez

Tutora académica: Silvia Alayón Miranda

Tutor externo: Juan David González Pacheco

Junio 2020



## **AGRADECIMIENTOS**

La realización de este Trabajo Fin de Grado no habría sido posible sin la colaboración, dedicación y tiempo de la Empresa Dipicell S.L., de Don Juan David González Pacheco, y de todos los trabajadores, que durante mi estancia de dos meses me acogieron y me hicieron parte de su inmejorable ambiente de trabajo, dándome la gran oportunidad de aprender y trabajar en una empresa de gran relevancia en el sector de la Automatización Industrial. En especial, quiero dar las gracias a Don Antonio Hermida Martín por su estrecha y constante participación en el desarrollo de este proyecto.

A su vez, deseo extender mi agradecimiento a la Universidad de La Laguna y, por ende, a todos los profesores del grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática que han formado parte de mi educación, queriendo destacar a mi tutora académica Silvia Alayón Miranda. Gracias a ella y a su inestimable implicación, ha sido posible la realización de este proyecto de colaboración empresarial, por su labor pedagógica y por su cálida acogida en el desarrollo de este.

Doy las gracias a mi familia por haberme apoyado no sólo durante este proyecto, sino a lo largo de la carrera, implicándose en mis estudios. Gracias a mi abuela y a mis tíos por animarme a perseverar. Quiero destacar el papel fundamental de mis padres que, con su cariño y dedicación, me han dado la oportunidad de estudiar, apoyándome en los momentos de flaqueza y motivándome para dar lo mejor de mí.

Por último, gracias a Iris y mis amigos por haberme apoyado tanto en los buenos como en los malos momentos, y a mis compañeros de universidad Miguel y Jesús, por todas las experiencias vividas durante la carrera.



## ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN / ABSTRACT .....	7
2. MEMORIA.....	11
3. ANEXOS .....	85
4. PLANOS.....	97
5. MEDICIONES .....	113
6. PRESUPUESTO .....	121
7. CONCLUSIONES.....	125





**Universidad  
de La Laguna**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

---

**Automatización Emisiones de los Gases 1 y 2 de  
la Central Térmica de Candelaria**

Trabajo Fin de Grado

**1. RESUMEN / ABSTRACT**

Autor: Daniel Pérez Gutiérrez

Tutora académica: Silvia Alayón Miranda

Tutor externo: Juan David González Pacheco

Junio 2020





## 1.1 Resumen

Este Trabajo Fin de Grado (TFG) consiste en un proyecto real realizado en colaboración con la empresa Dipicell S. L.

El objetivo final es cubrir las necesidades del grupo Endesa (ENEL) en la Central Térmica de Candelaria que, a petición de la Consejería de Medio Ambiente, precisa recoger de forma automatizada las emisiones de contaminantes de las turbinas de Gas 1 y 2 de dicha central.

Estas exigencias son atendidas mediante la recogida de señales de medioambiente a partir de unos sensores situados en las salidas de las chimeneas de los Gases 1 y 2. En el presente TFG, las muestras se tratan como entradas analógicas o digitales, y se les realiza un tratamiento en el programa Step 7, donde se calculan los valores instantáneos y las medias minutas, horarias y semi-horarias. Se envían de forma redundante a un Sistema de Control Distribuido ya existente en la planta, y a un SCADA. En el caso del sistema SCADA, desarrollado por completo en el presente TFG, las medias se historizan y se establecen unas pantallas donde se mostrarán estos valores junto a los instantáneos mediante el software WinCC. Finalmente, se envían los datos mediante comunicación OPC a la Consejería de Medio Ambiente para su control.

## **1.2 Abstract**

This Final Degree Project (FDP) consists of a real project carried out in collaboration with the company Dipicell S. L.

The final objective is to cover the requirement of the Endesa group (ENEL) at the Candelaria Thermal Power Plant about the automated collection of pollutant discharges from Gas 1 and 2 turbines, for accomplishing the demands of the Ministry of the Environment.

These requirements are achieved by collecting environmental signals from the sensors located at the exits of the Gas chimneys 1 and 2. In this FDP, the samples, analog or digital inputs, are processed with the Step 7 program, where the instantaneous values and the minutal, hourly and half-hourly averages are calculated. They are redundantly sent to an already existing Distributed Control System and to a SCADA application. In the case of the SCADA program, fully developed in this FDP, the averages are historized, and some screens have been designed for showing these values together with the instantaneous ones using the WinCC software. Finally, these data are sent by OPC communication to the Ministry of the Environment for control reasons.



**Universidad  
de La Laguna**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

---

**Automatización Emisiones de los Gases 1 y 2 de  
la Central Térmica de Candelaria**

Trabajo Fin de Grado

**2. MEMORIA**

Autor: Daniel Pérez Gutiérrez

Tutora académica: Silvia Alayón Miranda

Tutor externo: Juan David González Pacheco

Junio 2020



## ÍNDICE

2. MEMORIA.....	11
2.1 Objeto.....	15
2.1.1 Objeto técnico.....	15
2.1.2 Objeto académico.....	15
2.2 Alcance .....	15
2.3 Antecedente .....	15
2.4 Peticionario.....	16
2.5 Emplazamiento.....	16
2.6 Normas y referencias .....	17
2.7 Descripción de la instalación .....	18
2.7.1 Sensores de la instalación.....	20
2.7.2 Equipos instalados en Cabina .....	28
2.7.3 Equipos instalados en Sala de Electrónica.....	35
2.7.4 Arquitectura del sistema de comunicaciones.....	38
2.7.5 Instalación Eléctrica.....	41
2.8 Programación de los autómatas .....	42
2.8.1 Configuración de hardware .....	44
2.8.2 Estructura general del programa .....	46
2.8.3 Descripción de los OBs .....	49
2.8.4 Programación del procesamiento de las señales analógicas provenientes de los sensores.....	51
2.8.5 Programación de los cálculos de medias horarias, semihorarias y minutales.....	56
2.8.6 Señales digitales provenientes de los sensores.....	61
2.8.7 Simulación.....	63

2.9 Sistema SCADA.....	65
2.9.1 WinCC.....	66
2.9.2 Programación con WinCC.....	67
2.9.3 Pantallas desarrolladas .....	71
2.10 Puesta en marcha.....	75
2.11 Herramientas adicionales usadas en este TFG .....	77
2.11.1 AutoCAD .....	77
2.11.2 Autodesk Inventor Professional.....	77
2.12 Resultados finales.....	78
2.13 Bibliografía.....	79

## **2.1 Objeto**

### **2.1.1 Objeto técnico**

El objeto técnico del presente proyecto es recoger, procesar, mostrar e historizar de forma continua las señales de medio ambiente de los gases situados en las turbinas de Gas 1 y 2 de la Central Térmica de Candelaria; y enviar esta base de datos a la Consejería de Medio Ambiente mediante comunicación OPC.

### **2.1.2 Objeto académico**

El objeto académico del proyecto es la realización de la asignatura Trabajo Fin de Grado, que pertenece al cuarto año del grado Ingeniería Electrónica Industrial y Automática en la Universidad de La Laguna. Para su elaboración, se ha hecho uso de los conocimientos aprendidos en el grado y de la ayuda facilitada por los tutores académico y externo. Se obtienen nuevos conocimientos de tipo industrial que complementan a los ya adquiridos en el grado.

## **2.2 Alcance**

El alcance de este trabajo es programar en lenguaje AWL y KOP los PLC S7-300 conectados a los sensores de las turbinas de gas 1 y 2 mediante el software Step 7 de Siemens, procesar los datos recogidos, e implementar un Sistema SCADA que realice y muestre históricos de las variables medidas de manera minutal, horaria y semihoraria. Toda esta información debe comunicarse también al sistema de control distribuido ya existente en la planta.

Adicionalmente, se realizará el cableado de la red de supervisión, y el diseño y montaje de los armarios en las cabinas donde irá alojada. Es decir, este proyecto no sólo contempla la fase de programación y diseño del sistema de supervisión, sino también la puesta en marcha del mismo.

## **2.3 Antecedente**

La Central Térmica de Candelaria, gestionada por el grupo Endesa (cliente de la empresa Dipicell S.L. en donde se realiza el presente TFG), tiene la necesidad

de medir y controlar los contaminantes emitidos por las turbinas de Gas 1 y 2, atendiendo a las exigencias de la Consejería de Medio Ambiente.

La central pone a disposición de este proyecto las funciones de calibración y el rango de calibración de las turbinas. En el momento del comienzo de este TFG, el Sistema de Control Distribuido se encuentra instalado y en funcionamiento, en las cabinas situadas al lado de las turbinas de Gas 1 y Gas 2. Los sensores de medición ya están colocados y conectados a dos autómatas S7-300. Estos sensores se encargan de medir las señales de medio ambiente, tales como CO, NOX, O2 seco, O2 húmedo y Partículas.

Por lo tanto, el presente TFG aborda los siguientes puntos: a) el procesamiento de las señales recogidas por estos sensores con los autómatas S7-300, b) el diseño de un sistema de supervisión SCADA, que se crea con el objetivo de dar redundancia al Sistema de Control Distribuido ya instalado, y c) la instalación final y puesta en marcha del sistema SCADA

## **2.4 Petionario**

Este proyecto, como requerimiento de la Consejería de Medio Ambiente, se realiza a petición de la Central Térmica de Candelaria, central termoeléctrica de fuelóleo y gas natural perteneciente al Grupo ENDESA (ENEL), con ubicación en Calle Bajo La Cuesta, 1, Caletillas 38530 Candelaria, Santa Cruz de Tenerife, islas Canarias.

## **2.5 Emplazamiento**

El emplazamiento de este proyecto es Central Térmica de Candelaria, con ubicación en Calle Bajo La Cuesta, 1, Caletillas 38530 Candelaria, Santa Cruz de Tenerife, islas Canarias. La instalación principalmente se realiza en la sala de electrónica y en las cabinas próximas a las turbinas de gas 1 y 2.

La Central Térmica de Candelaria, (en adelante C.T. Candelaria), constituye uno de los centros productivos de Unión Eléctrica de Canarias Generación, S.A.U., empresa perteneciente al Grupo ENDESA. Está situada en la costa este de la



isla de Tenerife, en el término municipal de Candelaria, a unos 15 km. de Santa Cruz de Tenerife, en la zona denominada "Las Caletillas" (Figura 1). El acceso a la Central por carretera se efectúa desde la Autopista TF-1. Cuenta con una superficie total de 68.560,2 m<sup>2</sup> [1].



Figura 1 Ubicación Central Térmica de Candelaria

## 2.6 Normas y referencias

- Norma **UNE 157001** (Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico) [2]
- Norma **CEN UNE-EN 14181** (Emisiones de fuentes estacionarias. Garantía de calidad de los sistemas automáticos de medida) [3]
- Norma **CEN UNE-EN 15267-3:2008** (Calidad del aire. Certificación de los sistemas automáticos de medida. Parte 3: Requisitos de funcionamiento y procedimientos de ensayo de los sistemas automáticos de medida para el seguimiento de emisiones de fuentes estacionarias) [4]

- Norma CEN **UNE-EN ISO 14956** (Calidad del aire. Evaluación de la aptitud de un procedimiento de medida por comparación con una incertidumbre de medida requerida) [5]
- Norma **UNE-EN 15259:2008** (Calidad del aire. Emisiones de fuentes estacionarias. Requisitos de las secciones y sitios de medición y para el objetivo, plan e informe de medición) [6]

## 2.7 Descripción de la instalación

La instalación estudiada en el presente TFG se sitúa en la Central Térmica de Candelaria (Figura 2). Se pretende automatizar la medición, recogida e historización de las emisiones de contaminantes producidos por las Turbinas de Gas 1 y Gas 2 de dicha central térmica. Estos valores se enviarán a la Consejería de Medio Ambiente para su control.



*Figura 2 Central Térmica de Candelaria*

La instalación consta de las siguientes partes:

1. En la instalación hay dos cabinas, una al lado de la Turbina de Gas 1 y otra al lado de la Turbina de Gas 2. Algunos equipos de medida y

- sensores están instalados en estas cabinas, y otros están en la salida de las turbinas.
2. Todos los sensores se conectan a autómatas S7-300 (de Siemens), que se programan con el software Step 7, en lenguaje AWL y KOP. Estos autómatas deberán recoger las medidas cada 1 segundo, y calcular las medias minutales, horarias y semihorarias.
  3. A partir de aquí, estos datos ya procesados irán a un Sistema de Control Distribuido y, de manera redundante, a un SCADA. El Sistema de Control Distribuido se encuentra en la Sala de Electrónica, alejado de las cabinas, y el sistema SCADA, que se desarrollará en este TFG, se instalará también en esta sala.
  4. Para no perder información en la comunicación de los datos, debido a la distancia existente entre las cabinas y la Sala de Electrónica es necesario pasar de Ethernet a fibra óptica. Para ello se usarán dispositivos conversores SCALANCE, tanto para el Sistema de Control Distribuido ya existente como para el nuevo sistema SCADA que se va a diseñar. Los cables de fibra óptica se llevarán hasta la Sala de Electrónica, y se volverá a pasar a Ethernet con otros conversores SCALANCE.
  5. Finalmente, se desarrollará el sistema SCADA, conectando este cable Ethernet que transmite los datos de los autómatas de las turbinas de Gas 1 y Gas 2 a un PC Concentrador. En este PC se crearán con WinCC, la herramienta de Siemens para programar sistemas SCADA, las pantallas donde se mostrarán los valores analógicos cada segundo, y las medias minutales, horarias y semihorarias de las variables bajo estudio.

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema SCADA desarrollado en este TFG debe compartir información con un Sistema de Control Distribuido. No fue objeto de este TFG el diseño de este Sistema de Control Distribuido, puesto que ya existía previamente en la Central, pero sí ha sido necesario estudiarlo, ya que ambos sistemas deben convivir. De hecho, los equipos utilizados en ambos casos se encuentran físicamente uno al lado del otro en la misma Sala de Electrónica.

La Figura 3 muestra esquematizado el proceso de automatización para el cálculo de los contaminantes del que forma parte el presente TFG.

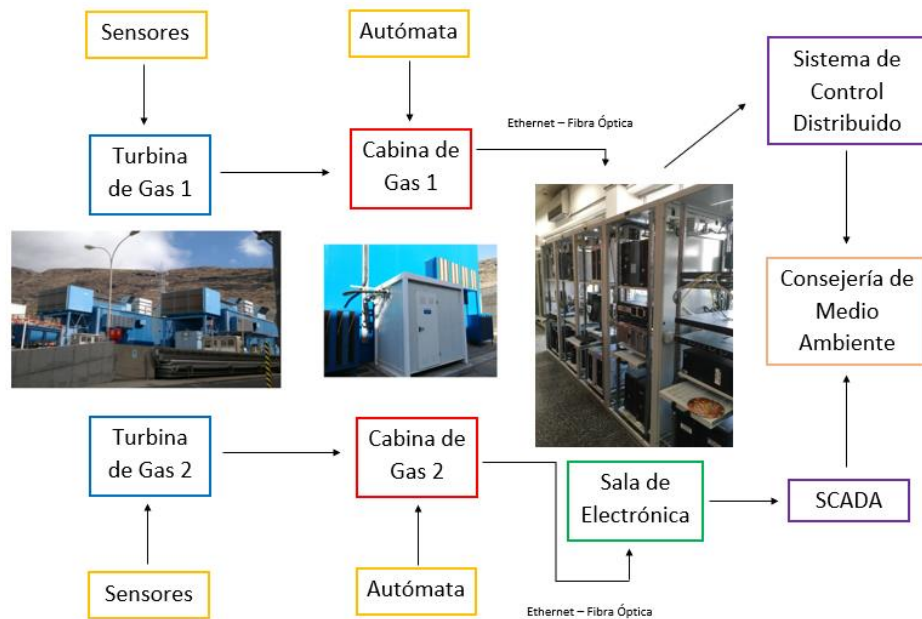


Figura 3 Proceso de automatización del cálculo de los contaminantes

### 2.7.1 Sensores de la instalación

Los sensores instalados para obtener las emisiones de contaminantes de las Turbinas de Gas 1 y Gas 2 (Figura 4), son los siguientes:

- Multiparamétrico EL3020
- Unidad de alimentación de muestra: SCC-F
- Monitor de condensación: CGKW
- Convertidor de NO<sub>2</sub>/NO: SCC-C
- Refrigerador de gas: SCC-C
- Opacímetro (GAS 1): DURAG D-ISC 100
- Opacímetro (GAS 2): DURAG D-R290
- Oxígeno húmedo: FUJI ZKM
- Sensor de temperatura y humedad: COMET T3110
- Sensor de presión: COMET T2114
- Sensor de presión (chimenea): ABB 261AS
- Sensor de temperatura (chimenea): SEDEM

A continuación, describiremos brevemente la función de cada uno de ellos.



Figura 4 Instrumentos de medida en cabina

### Multiparamétrico EL3020

El multiparamétrico (Figura 5) es un analizador de gases diseñado para la medición en continuo de la concentración de componentes individuales en gases o vapores. Mediremos gracias a él, el número de partículas de CO, NOX y O2 seco [7]. Unos tubos extraerán muestras del gas de la turbina (Figura 6) y las enviarán al multiparamétrico que se encuentra dentro de cabina, para así realizar la medición.



Figura 5 Multiparamétrico EL3020





Figura 6 Tubos de muestreo del gas dentro de cabina (izquierda) y fuera de cabina (derecha)

#### Unidad de alimentación de muestra: SCC-F

La unidad de la alimentación del gas de SCC-F (Figura 7) transporta el gas de muestra al analizador, y controla el flujo y el condensado en dos rutas de gas independientes [8].



Figura 7 Unidad de alimentación de muestra SCC-F

### *Monitor de condensación: CGKW*

El monitor de condensación CGKW (Figura 8) se utiliza para indicar la acumulación de humedad (condensado) que se encuentra en la línea de gas de muestra hacia el analizador de gas. El monitor de condensación contiene un filtro de membrana que tiene una doble función: el filtrado del gas de muestra y la señalización de humedad [\[9\]](#).



*Figura 8 Monitor de condensación: CGKW*

### *Convertidor de NO<sub>2</sub>/NO: SCC-K*

El convertidor SCC-K (Figura 9) es un convertidor catalítico que se usa para medir NO<sub>x</sub> (el total de NO más NO<sub>2</sub>) en los sistemas de monitoreo de emisiones. Convierte NO<sub>2</sub> en el componente de interés NO [\[10\]](#).



*Figura 9 Convertidor de NO<sub>2</sub>/NO: SCC-K*

### Refrigerador de gas: SCC-C

El enfriador de gas de tipo compresor SCC-C (Figura 10) se utiliza para reducir el punto de rocío del gas de muestra húmedo para evitar la condensación en los analizadores. Un punto de rocío de gas extremadamente estable y bajo evita la sensibilidad cruzada del vapor de agua y los errores volumétricos [11].



Figura 10 Refrigerador de gas SCC-C

### Opacímetro (GAS 1): DURAG D-ISC 100

El Opacímetro (Figura 11) es un instrumento de medida que monitoriza de forma continua las emisiones de extinción en la turbina de gas.



Figura 11 Opacímetro DURAG D-ISC 100



Su funcionamiento se basa en el principio de transmisión de luz. La cabeza de medición y el reflector se montan uno enfrente del otro dentro de la turbina. Se envía un haz de luz (Figura 12) desde la cabeza de medición y atraviesa la turbina. Este haz rebota en el reflector colocado en el otro extremo y el haz retorna a la cabeza de medición. Midiendo la atenuación del haz de luz provocada por las partículas que se encuentran en el gas, calculamos la cantidad de partículas de extinción [12].

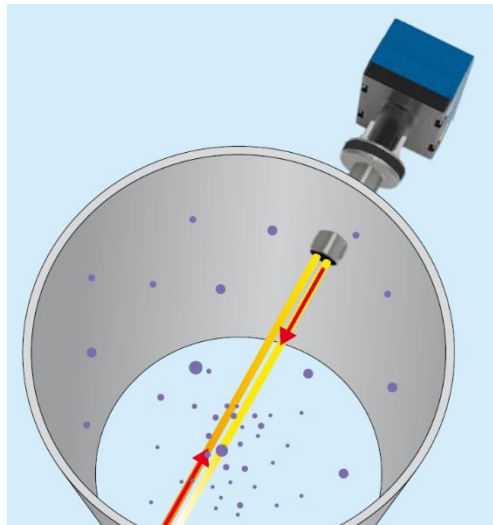


Figura 12 Refracción y Reflexión del haz de luz en el opacímetro. Figura extraída de [13]

#### Opacímetro (GAS 2): DURAG D-R290

Para el Gas 2, tendremos un modelo diferente de opacímetro (Figura 13), pero que realizará el mismo proceso [13].



Figura 13 Opacímetro DURAG D-R290

### *Oxígeno húmedo: FUJI ZKM*

El sensor FUJI ZKM (Figura 14) recoge el flujo de gas mediante un tubo que va de la turbina hasta el interior de la cabina, y realiza la medición de oxígeno húmedo.



*Figura 14 Sensor de Oxígeno Húmedo FUJI ZKM*

Este analizador de oxígeno se usa para medir de forma continua la concentración de oxígeno en un gas de combustión. El sistema analizador está formado por un detector y un convertidor que trabajan conjuntamente. La configuración del detector incluye el tubo de muestra que va directamente desde el gas hasta el sensor de medida [\[14\]](#).

### *Sensor de temperatura y humedad: COMET T3110*

El COMET T3110 (Figura 15) es el sensor que mide la humedad y temperatura dentro de la cabina. Los datos de salida que ofrece son analógicos, en intensidad de 4 mA a 20 mA [\[15\]](#).

### *Sensor de presión: COMET T2114*

Para medir la presión atmosférica se utiliza el sensor de presión barométrica COMET T2114 (Figura 15). En su display podemos leer la presión en hPa, kPa, mbar, mmHg, inHg, inH<sub>2</sub>O, PSI, oz/in<sup>2</sup> [\[16\]](#).



Figura 15 Sensor de temperatura y humedad COMET T3110 (izquierda), sensor de presión COMET T2114 (centro) y colocación de ambos en las cabinas (derecha)

#### *Sensor de presión (chimenea): ABB 261AS*

En la chimenea se mide la presión del gas con el sensor ABB 261AS (Figura 16), especial para condiciones de altas temperaturas como las que hay dentro de la turbina [17].



Figura 16 Sensor de presión ABB 261AS

#### *Sensor de temperatura (chimenea): SEDEM*

El sensor de temperatura SEDEM [18] (Figura 17) está situado dentro de la chimenea, y mide la temperatura mediante termopares.



Figura 17 Sensor de temperatura SEDEM

El termopar (Figura 18) es un sensor compuesto por dos hilos de metales diferentes que se encuentran unidos en un extremo, llamado junta o unión caliente (T1). Este extremo es el que se sitúa en el lugar donde se quiere medir la temperatura. A causa del efecto Seebeck, la diferencia de temperatura entre las uniones calientes (T1 y T2 respectivamente en la Figura 20) genera una diferencia de potencial en la unión o junta fría (T2), proporcional a la diferencia de temperatura existente entre ambos puntos.

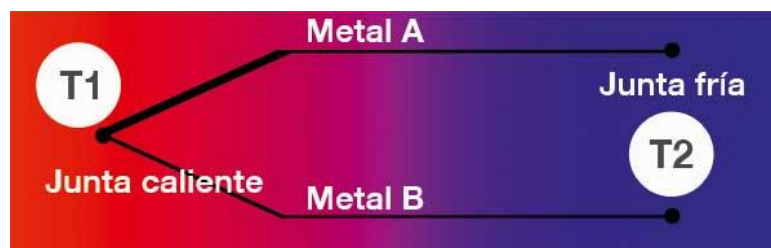


Figura 18 Esquema de un termopar. Figura extraída de [19]

## 2.7.2 Equipos instalados en Cabina

Los equipos instalados en las cabinas de Gas 1 y Gas 2 son los mismos. Las únicas excepciones son los Opacímetros, que son de modelos diferentes. La figura 21 muestra la Cabina de Gas 1, que se sitúa justo al lado de la turbina.

En el **cuadro eléctrico** situado dentro de cada cabina (Figura 19) se ubicarán los siguientes dispositivos:

- PLC S7-300
- Fuente de alimentación de 24 V DC
- Módulo de 16 entradas digitales

- 2 Módulos de 8 salidas analógicas
- 2 Módulos de 8 entradas analógicas
- Adaptador Ethernet CP 343-1
- Procesador de comunicaciones CP 341
- Conversor Scalance X101-LD
- Fusión de fibra óptica
- Cables
- Borne interrumpible por cuchilla
- Borne de doble piso
- Interruptores de protección de aparatos térmicos
- Borne de carril para fusible
- Interruptor automático magnetotérmico



*Figura 19 Cabina situada junto a la turbina de Gas 1 (izquierda) y cuadro eléctrico en cabina (derecha)*

A continuación, describiremos brevemente la función de cada uno de ellos. Es importante indicar que, en el momento de comienzo de este TFG, todos los equipos estaban ya instalados y funcionando como parte del Sistema de Control Distribuido. El principal cambio en los equipos de cabina debido al presente TFG ha sido la programación de los autómatas S7- 300.

### *PLC S7 – 300*

En este TFG se ha utilizado un autómata programable S7-300 de Siemens, concretamente una CPU 313C-2 DP [20], para programar todo el procesamiento de las entradas analógicas y digitales recibidas de los sensores.

El PLC (Programmable Logic Controller) S7 – 300 es un autómata programable de la marca Siemens muy utilizado en automatización industrial (Figura 20) [20].

Los Autómatas Programables son ordenadores de propósito específico que se utilizan para desarrollar la parte de mando en los sistemas automatizados. La lógica de control que siguen la introduce el usuario mediante programación. [21]. Normalmente, el autómata da órdenes a los actuadores en función del estado de las entradas, siguiendo la lógica del programa que contiene. En este TFG, en cambio, el cometido del programa es registrar los valores de las entradas (sensores) y realizar una serie de cálculos matemáticos sobre estas señales, para posteriormente comunicar el resultado a un SCADA.

En este TFG, el autómata se programará con el software Step 7 [22], en lenguaje KOP [23] y en lenguaje AWL [24]. Los detalles de la programación se comentarán en la sección [2.8 Programación de los autómatas](#).



*Figura 20 PLC S7-300 SIEMENS*

### *Fuente de alimentación de 24 V*

La fuente de tensión mostrada en la Figura 21, de la marca Phoenix Contact, es la que alimenta todos los equipos dentro del cuadro eléctrico (24 V) [25].



Figura 21 Fuente de tensión 24 V Phoenix Contact

### *Módulos de entradas y salidas digitales y analógicas*

Disponemos de un módulo de 16 entradas digitales [26] para recibir señales de fallo o de mantenimiento de los sensores y de los dispositivos de medición. También hay dos módulos de 8 entradas analógicas [27], conectadas a diferentes sensores o equipos de medida, que reciben los datos de los contaminantes.

Además, se han instalado dos módulos de 8 salidas analógicas [28]. Se ha programado el autómata para que por estas salidas analógicas se envíen escaladas las señales analógicas recibidas de los sensores. Esto se ha hecho con el objetivo de permitir a los operarios poder medir los contaminantes en cabina, sin tener que observarlos desde el SCADA.

En la Figura 22 se muestran todos estos módulos de entradas y salidas, conectados a la CPU del autómata, en el recuadro azul está el módulo de

entradas digitales y en el recuadro amarillo los módulos de entradas y salidas analógicas.

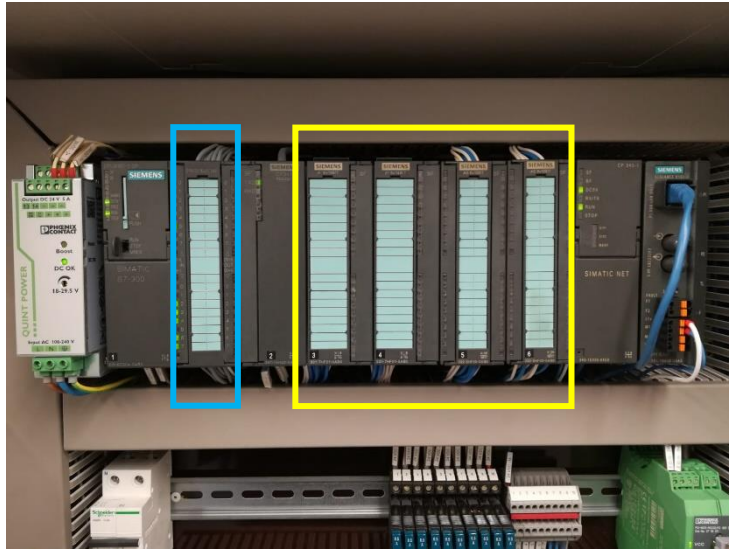


Figura 22 Módulos de entradas digitales (azul), entradas analógicas y salidas analógicas (amarillo)

#### *Adaptador de Ethernet CP 343-1*

El CP 343-1 (Figura 23) [\[29\]](#) es un procesador de comunicaciones que permite conectar el SIMATIC S7-300 a Industrial Ethernet vía ISO y TCP/IP. Este módulo es necesario ya que el autómatas no tiene integrada por defecto una conexión de Ethernet. En la instalación analizada se utiliza Ethernet por ser un protocolo estándar y fiable, que permite la comunicación con el WinCC, la herramienta utilizada en este TFG para implementar el SCADA.



Figura 23 Adaptador Ethernet CP 343-1



### *Procesador de comunicaciones CP 341*

El CP 341 (Figura 24) es un procesador de comunicaciones con interfaz C RS-232 y que, como parte del sistema antiguo ya instalado, se usa para las comunicaciones del Control Distribuido [\[30\]](#).



*Figura 24 Procesador de comunicaciones CP 341*

### *Convertor Scalance X101-LD*

El SCALANCE X101-LD (Figura 25) [\[31\]](#) es un convertor de medios que permite la instalación de Industrial Ethernet (bus) y estructuras en estrella con transformaciones de un medio a otro.



*Figura 25 Convertor SCALANCE X101-LD*

En este proyecto, se utiliza con el objetivo de pasar de cable Ethernet a cable de Fibra Óptica, y viceversa. Esta conversión se debe realizar para facilitar la comunicación entre los equipos situados en las cabinas y los que están en la sala de electrónica, y no perder información debido a la larga distancia existente entre ambos sitios.

### *Fusión de fibra óptica*

En las cabinas hay dos cajas de empalme de fibra óptica, una para el sistema SCADA y otra que conecta con el CP341 del Sistema de Control Distribuido.

El empalme de fibra se ha realizado atendiendo al esquema de color mostrado en la Figura 26. Se necesitan dos fibras para cada módulo SCALANCE, una para envío y otra para recepción de la información. Las restantes fibras no están conectadas, pero sí instaladas, por si en un futuro se necesitasen para ampliar la instalación, o por si fallaran las que están conectadas, para poder sustituirlas por otros hilos.



Figura 26 Cajetín de fusión de fibras (izquierda). Código de color de fibra óptica (derecha), extraído de [\[32\]](#)

### *Convertidor de fibra óptica*

Dentro del cuadro eléctrico se dispone de un convertidor de fibra óptica para interfaces RS-232 ya instalado (Figura 27), como parte del Sistema de Control Distribuido [33].



*Figura 27 Convertidor de fibra óptica Phoenix Contact*

### **2.7.3 Equipos instalados en Sala de Electrónica**

La Sala de Electrónica (Figura 28) es el lugar de la central donde se sitúa el sistema SCADA diseñado en este TFG, y donde ya se encontraba el Sistema de Control Distribuido.



*Figura 28 Sala de Electrónica*

Los equipos que se han instalado para implementar el sistema SCADA son los siguientes:

- SIMATIC IPC547G Rack PC (PC Concentrador)
- Fusión de fibra óptica
- SCALANCE X204-2

#### *SIMATIC IPC547G Rack PC (PC Concentrador)*

El SIMATIC IPC547G [\[34\]](#) es un PC industrial de 19" y 4 módulos de altura (Figura 29). Dispone de las siguientes prestaciones:

- Tecnología Intel® de vanguardia, procesadores Intel® Core™ i5 de 6ª generación
- Potencia máxima escalable, con independencia de la versión de carcasa
- Slots para tarjetas de ampliación
- 2 x PCIe x16, 1 x PCIe x8, 2 x PCIe x4, 2 x PCI
- Discos duros Enterprise (HDD) en configuraciones RAID

Este PC Concentrador es donde ubicaremos el WinCC, el software de Siemens que permite la programación de sistemas SCADA.



*Figura 29 SIMATIC IPC547G (izquierda) y conectores Ethernet y VGA - HDMI al PC Concentrador (derecha)*

### *Fusión de fibra óptica*

En la Sala de Electrónica se ha realizado un empalme de la fibra óptica que viene de Gas 1 y de Gas 2 (Figura 30).



Figura 30 Cajetín de fusión de fibra para Gas 1 y Gas 2 (izquierda) y fibra óptica de Gas 1 y Gas 2 entrando al cajetín de fusión (derecha)

Siguiendo el mismo esquema de color utilizado en las cabinas, se cuenta con 24 fibras, de la 1 a la 12 para Gas 1 y de la 13 a la 24 para Gas 2. La 1 y la 2, y la 13 y la 14, irán al SCALANCE X204-2 (Figura 31). El resto de las fibras, como se ha explicado previamente, están sin uso.

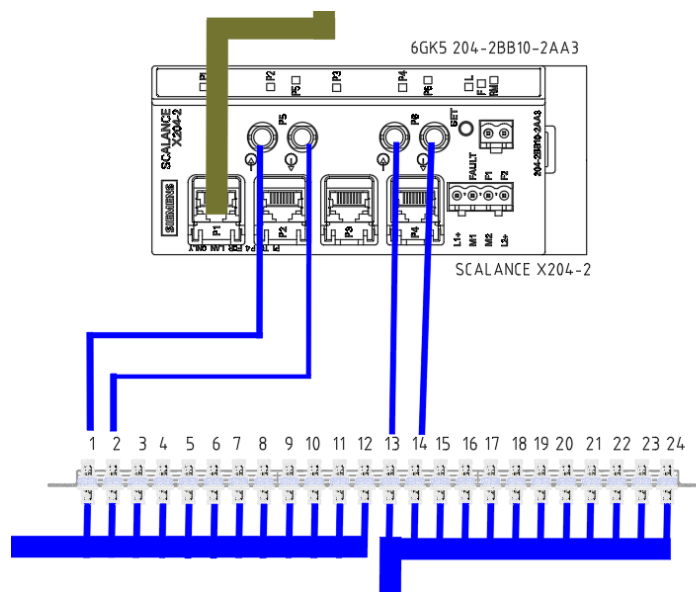


Figura 31 Plano de conexiones a SCALANCE X204-2

### *Conversor SCALANCE X204-2*

El SCALANCE X204-2 (Figura 32) es un convertidor de medios que permite la instalación del bus Industrial Ethernet y estructuras en estrella con transformaciones de un medio a otro. Con 4 puertos RJ45 (Ethernet) 10/100Mbit/s, 2 puertos 100Mbit/s multimodo BFOC (Fibra óptica) hasta 5Km, diagnóstico por LED, contacto de señalización de fallo con pulsador SET, alimentación redundante, dispositivo PROFINET-IO, gestión de red y gestor de redundancia integrado [35].



*Figura 32 Conversor SCALANCE X204-2*

#### **2.7.4 Arquitectura del sistema de comunicaciones**

La arquitectura del sistema de comunicaciones debe gestionar las comunicaciones con las Cabinas de Emisión y las Cabinas de Inmisión. Las Cabinas de Emisión son las que se encuentran al lado de las Turbinas de Gas 1 y Gas 2 de la Central Térmica de Candelaria, mientras que las Cabinas de Inmisión se sitúan fuera de la central, y envían datos medioambientales de su ubicación por señal de radio digital. La información recogida por ambos tipos de cabinas se envía al Sistema de Control Distribuido ya existente en la Central. Además, es necesario que el nuevo sistema SCADA objeto del presente TFG reciba estos datos. Durante el TFG se implementó la recepción de información de las Cabinas de Emisión en el SCADA, y se dejó preparada la estructura para recibir la información de las Cabinas de Inmisión.



Por lo tanto, en las tareas de comunicación de datos intervienen dos sistemas: el Sistema de Control Distribuido, y el SCADA. A continuación, se describen los fundamentos de ambos sistemas. Aunque en este TFG no se ha diseñado el Sistema de Control Distribuido, sí que ha sido necesario estudiarlo, puesto que debe convivir con el SCADA desarrollado en el TFG. De hecho, como ya se ha mencionado anteriormente, los equipos utilizados se encuentran físicamente uno al lado del otro en la misma Sala de Electrónica.

### *Sistema de Control Distribuido*

Un Sistema de Control Distribuido (DCS – Distributed Control System) utiliza bucles de control distribuidos por toda una fábrica, maquinaria o área de control. Es un sistema industrial automatizado y digital que se utiliza para controlar los procesos industriales y aumentar su seguridad, rentabilidad y fiabilidad. En cuanto a su arquitectura podemos destacar que el Sistema de Control Distribuido interactúa continuamente con los procesos en las aplicaciones de control de procesos y recibe instrucciones del operario. Se utilizan estaciones de operación o HMI (Interfaz Hombre Máquina) para supervisar gráficamente los parámetros de toda la planta y para registrar los datos en sistemas de bases de datos en las plantas. Estas estaciones de operación pueden ser de diferentes tipos: para monitorear sólo parámetros, para la visualización de tendencias, para el registro de datos y para el control de alarmas. Estos también pueden ser configurados para tener capacidades de control [\[36\]](#).

En nuestro caso, el Sistema de Control Distribuido se utiliza únicamente para monitorear los parámetros de las emisiones de los contaminantes. La arquitectura del Sistema de Control Distribuido implementado en la Central de Candelaria se muestra en la Figura 33. Como podemos observar, el Sistema de Control Distribuido recibe información de dos modos. Por un lado, de las cabinas de emisión, que a través de fibra óptica envían la información de los contaminantes hacia la Sala de Electrónica. Por otro lado, de las cabinas de inmisión situadas en distintos puntos fuera de la central, y que envían por señal de radio digital medidas de medio ambiente de su localización. Los datos de las cabinas de inmisión y emisión se reciben en la Sala de Electrónica, dentro de la Central, y se envían al Sistema de Control Distribuido, que se comunica a su vez

con el sistema MEDAS, que es un sistema de gestión de información propio de ENDESA. Finalmente, todos los datos son enviados a la Consejería de Medio Ambiente para su estudio y control.

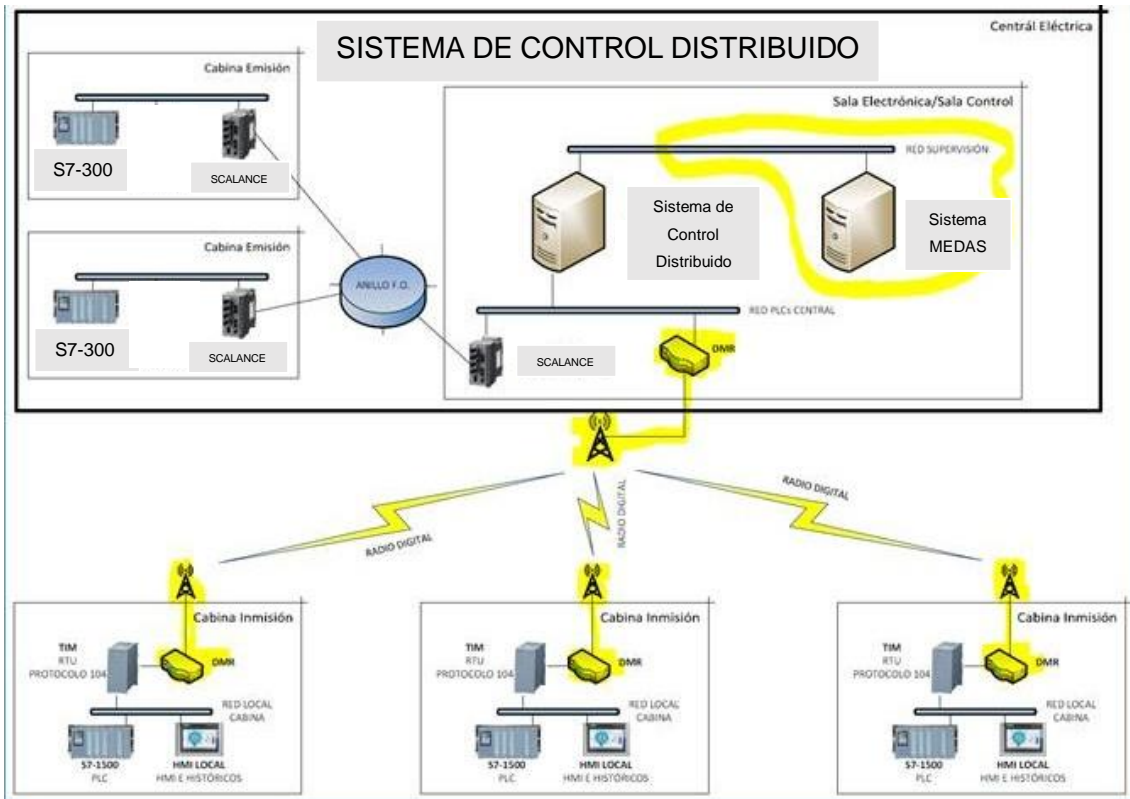


Figura 33 Arquitectura del Sistema de Control Distribuido de la Central de Candelaria

## SCADA

El SCADA es el nuevo sistema que se ha instalado durante la realización de este proyecto. Igual que el Sistema de Control Distribuido, la misión del sistema SCADA es recibir los datos medio ambientales de las cabinas de Emisión, pero en este caso estos datos se dirigirán al PC Concentrador que tiene instalado software WinCC, con el que se han creado las pantallas donde se mostrarán las medidas de los contaminantes. Este sistema enviará la información a la Sala de Control y a la Consejería de Medio Ambiente. La incorporación de las cabinas de inmisión a este SCADA no ha formado parte de este proyecto, pero sí que se implementarán por parte de la empresa Dipicell.

Atendiendo a la Figura 34, observamos cómo es la estructura de la instalación que alimenta de datos al SCADA. Desde las cabinas de Gas 1 y Gas 2 se envían los datos de los contaminantes recibidos de los sensores. Primero, pasan por el



PLC S7-300, que realizará todo el procesamiento de los datos, y a continuación, estos datos ya procesados se envían por cable Ethernet a un SCALANCE para permitir la comunicación con fibra óptica. Esta fibra llega hasta la Sala de Electrónica, donde es necesario volver al protocolo Ethernet, para introducir los datos en el PC Concentrador. Aquí es donde se encuentra alojado el SCADA desarrollado con el software WinCC. Finalmente, los datos se envían a la Consejería de Medio Ambiente para su estudio y control.

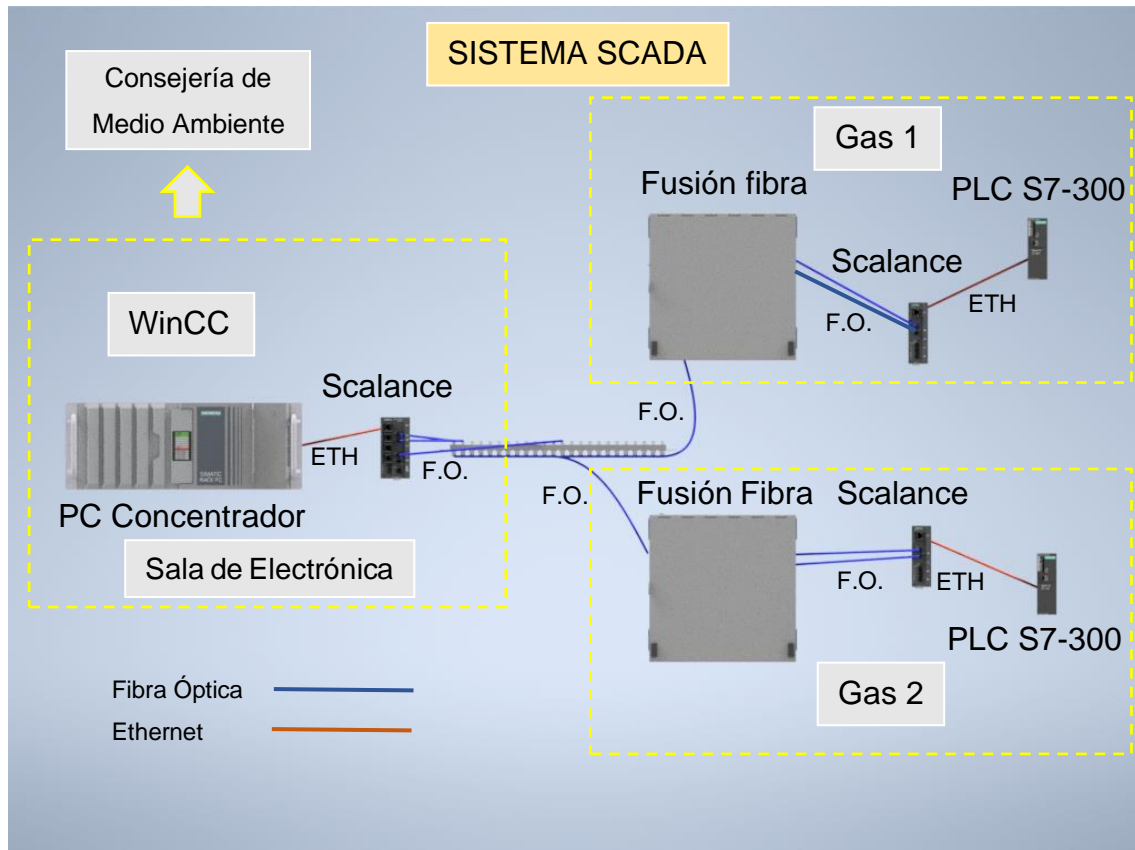


Figura 34 Comunicaciones con el sistema SCADA

Como el sistema SCADA es la parte central del presente TFG, describiremos el sistema y el software implicado (WinCC) con más detalle en el apartado [2.9 Sistema SCADA](#).

### 2.7.5 Instalación Eléctrica

La instalación eléctrica realizada en las cabinas ha consistido, por un lado, en una acometida de 400 V AC que alimenta a los equipos en chimeneas y aires

acondicionados. Además, cada cabina se alimenta a través de una UPS, mediante una línea con entrada de 400 V AC y con salida de 230 V AC. Las fuentes de alimentación, de la marca Phoenix Contact, convierten esta tensión en 24 V DC que alimentan los autómatas S7-300, las tarjetas y los bornes digitales. Esta UPS también alimenta los instrumentos de medida situados en cabina, que son el Multiparamétrico y el Convertidor de NO<sub>2</sub>/NO. El cuadro de protecciones instalado se muestra en la Figura 35.



*Figura 35 Cuadro de protecciones en cabina*

Los planos de los esquemas unifilares se encuentran en la sección [4.2 PLANO II](#) de este proyecto.

## 2.8 Programación de los autómatas

En el proceso industrial estudiado, las señales analógicas y digitales registradas por los sensores en Gas1 y Gas2 se envían a los autómatas S7-300 de Siemens.

En este TFG se han realizado los programas que procesan estos datos en los PLC de la instalación, con el software Step 7.

El programa realizado cubre tres aspectos fundamentales: 1) la recepción y el escalado de las señales de los sensores, 2) cálculos posteriores según el tipo de sensor considerado, y 3) cálculos relacionados con las medidas horarias, para poder calcular las medias de las variables en el tiempo.

Step 7 es el software para programar en KOP, FUP o AWL los equipos SIMATIC.

En el Step7 existen diferentes tipos de módulos:

- Módulos de organización (OB)
- Funciones (FC)
- Bloques de función (FB)
- Bloques de memoria (DB)
- Módulos de sistema (SFC, SFB, SDB)

El funcionamiento del programa es cíclico (Figura 36). El tiempo de ciclo se mide en milisegundos y es el tiempo que se necesita para realizar todas las instrucciones y llamadas realizadas desde el OB1, que es el Bloque de Organización básico [37].

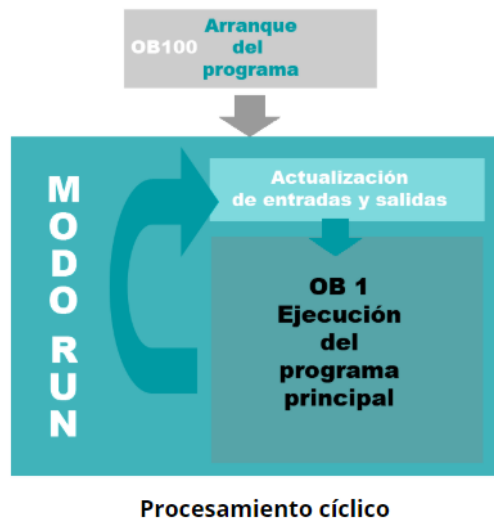


Figura 36 Ejecución cíclica del programa. Figura extraída de [37]

En las siguientes subsecciones se detallará cómo se ha realizado la programación de los autómatas en este TFG, y se comentarán los detalles de los OBs, DBs, FCs y FBs diseñados.

### 2.8.1 Configuración de hardware

En el primer paso de la programación es necesario indicar al programa qué autómatas en concreto se utilizan para procesar los datos de Gas 1 y Gas 2, así como los módulos que están conectados a los autómatas, para identificar adecuadamente las entradas y salidas y poder recoger posteriormente las variables.

La CPU utilizada es una 313C-2 DP, y el tipo de interface es MPI (Multi Point Interface), que es la interface de comunicación más sencilla entre equipos S7. Esta configuración se muestra en la Figura 37.

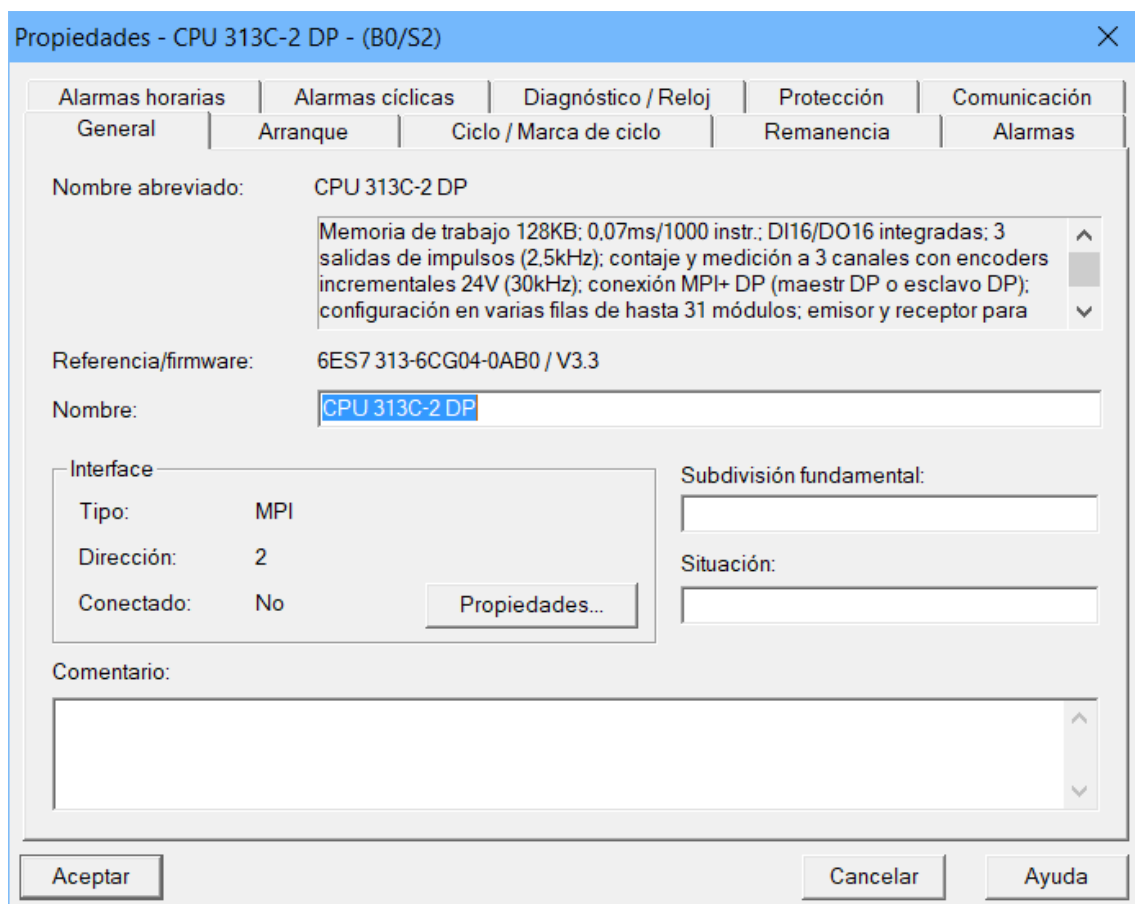


Figura 37 Propiedades de la CPU 313C-2 DP

Otra parte fundamental en la configuración del hardware es establecer la conexión por Ethernet. Esto se indica mediante el módulo PN-IO, seleccionando la dirección IPv4 que tendrá el PLC, que será **192.168.0.11** (Figura 38).

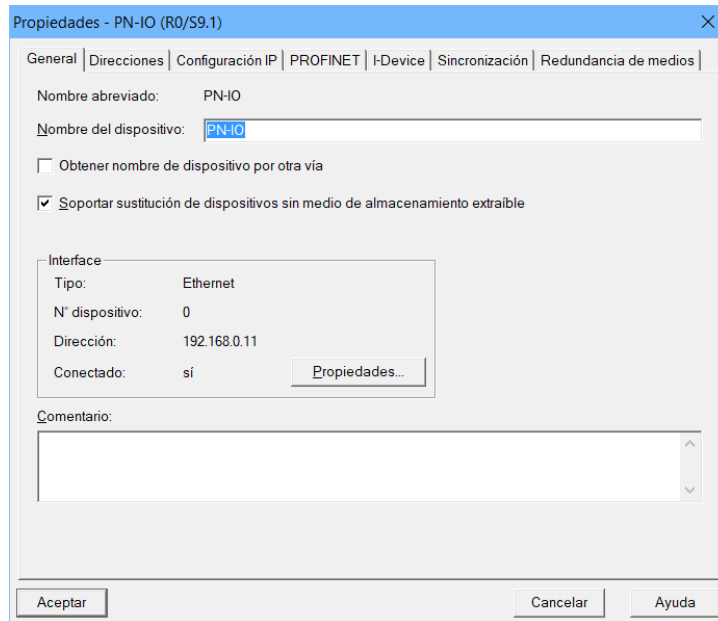


Figura 38 Configuración de la dirección IP del PLC

La configuración final de todo el hardware, después de indicar todos los dispositivos, es la mostrada en la Figura 39.

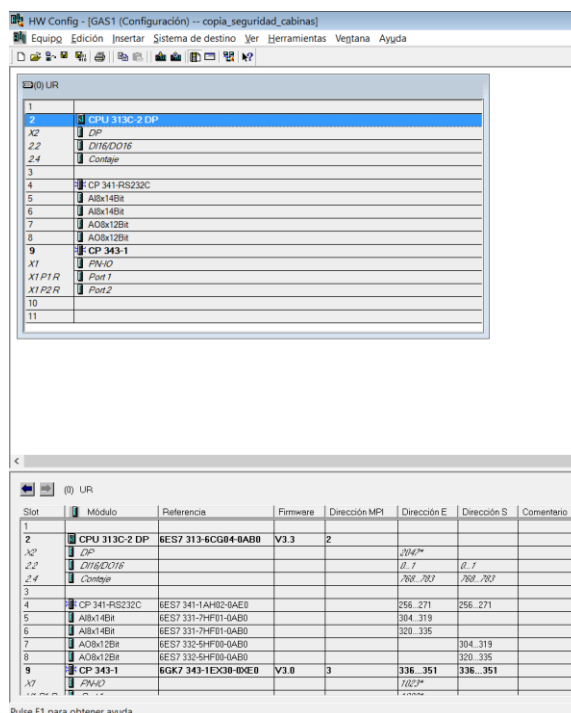


Figura 39 Configuración final del hardware del PLC

Este proceso de configuración se realiza dos veces, una para el autómata de Gas 1, y otra para el autómata de Gas 2. En el caso de Gas 2 la dirección IP es 192.168.0.12. Finalmente, la pantalla principal del Step 7 queda como se muestra en la Figura 40.

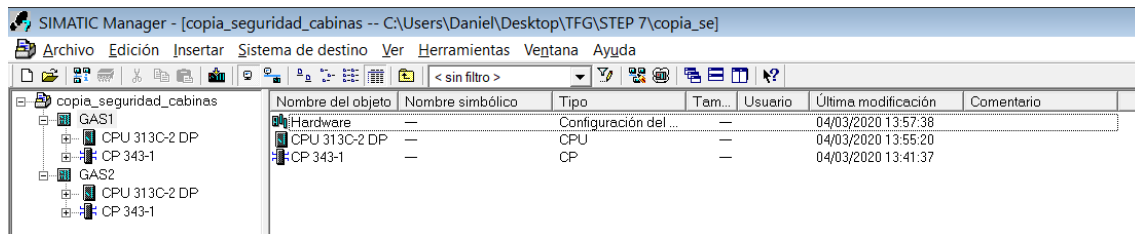


Figura 40 Pantalla principal de Step 7 con Gas 1 y Gas 2

El Step 7 permite visualizar las redes instaladas, y en esta visualización la conexión Ethernet implementada sería la mostrada en la Figura 41.

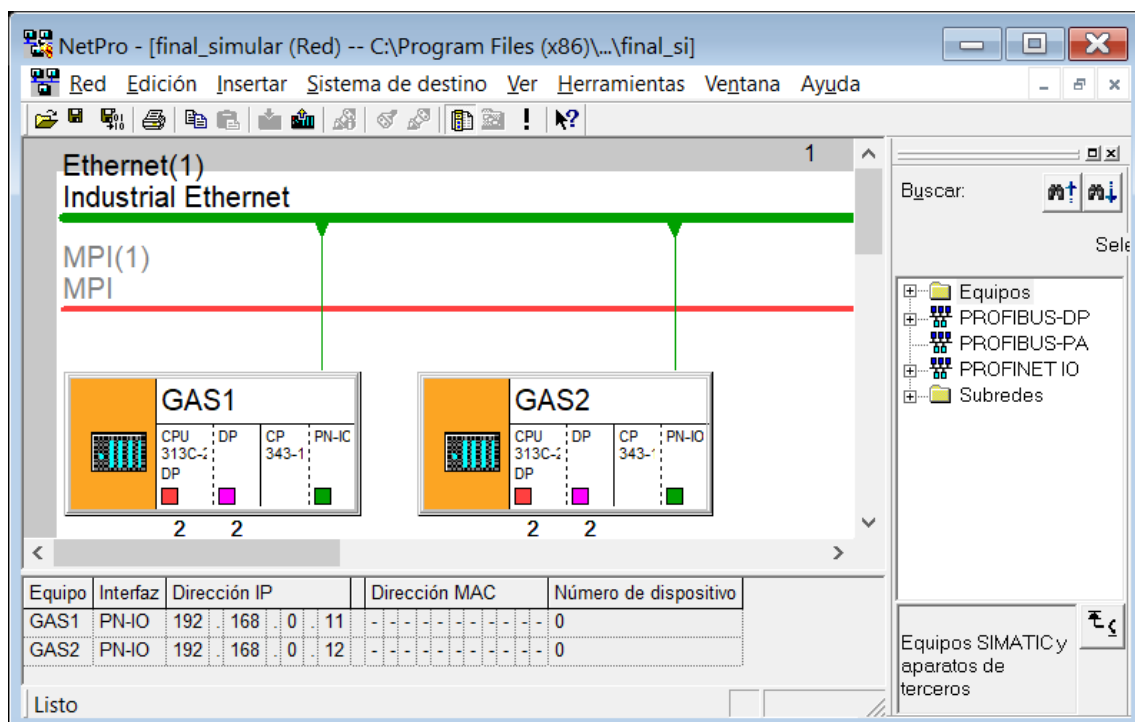


Figura 41 Esquema de Red

## 2.8.2 Estructura general del programa

Como se ha comentado anteriormente, el programa realizado cubre tres aspectos fundamentales: 1) la recepción y el escalado de las señales de los sensores, 2) los cálculos posteriores según el tipo de sensor considerado, y 3)

los cálculos relacionados con las medidas horarias, para poder calcular las medias de las variables en el tiempo.

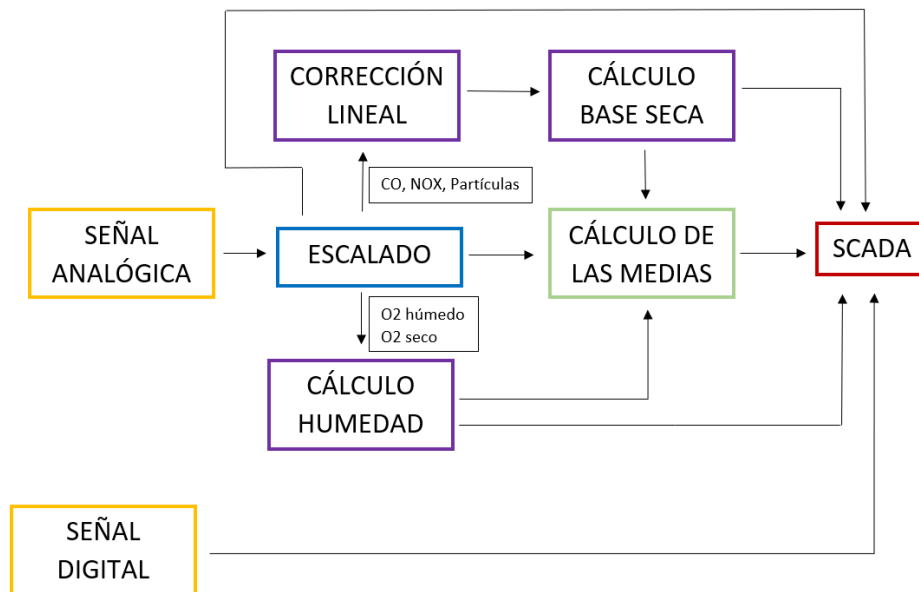


Figura 42 Flujo de la programación de los PLC

El flujo principal de nuestro programa (Figura 42) consistirá en recibir las señales analógicas de los sensores y realizar su escalado. Estas medidas son:

- CO
- NOX
- O2 seco
- O2 húmedo
- Extinción / Partículas
- Temperatura del gas
- Caudal del gas
- Presión del gas
- Potencia del grupo
- Humedad relativa de la cabina
- Temperatura de la cabina
- Presión de la cabina

A continuación, tendremos que realizar cálculos específicos para la humedad en las medidas de O2, y dos cálculos adicionales para las medidas CO, NOX y

Partículas. Por último, calcularemos las medias horarias, semihorarias y minutales de todas las medidas, que serán enviadas al SCADA. Por otra parte, las señales digitales de los sensores, que indican fallo o mantenimiento del sensor, se envían también al SCADA.

Para desarrollar todo esto, el programa final cuenta con varios OBs, DBs, FCs y FBs tal y como se muestran en las tablas 1, 2, 3 y 4 respectivamente. La descripción detallada de estos elementos se presentará en las subsecciones 2.8.3 - 2.8.6.

OB	Nombre	Descripción
OB1	OB1	Bloque de ejecución cíclico
OB32	CYC_INT2	Bloque de ejecución cada 1 segundo
OB85	OBNL_FLT	Bloque de error: Priority Class Error
OB121	PROG_ERR	Bloque de error: Programming Error
OB122	MOD_ERR	Bloque de error: I/O Access Error

Tabla 1. OBs implementados en la programación de los PLC S7-300

DB	Nombre	Descripción
DB1	DB_ANALÓGICAS	Contiene los valores analógicos de los sensores ya escalados
DB2	VALORES CORREGIDOS	Contiene los valores corregidos que salen de la FC4
DB3	DB BASE SECA	Contiene los valores calculados de base seca que salen de la FC6
DB4	DB HUMEDAD	Contiene los valores calculados de humedad relativa que salen de la FC5
DB6	HORA SISTEMA	Contiene a hora de la CPU que se consulta en la FC8
DB5, DB7-DB9, DB12-DB28	HORARIA *Nombre_medida	Guardan los valores horarios calculados en la FC7
DB29	RH/OV VALIDO	Guarda el estado de válido o inválido de las medidas calculado en FC1
DB30-DB46, DB64-DB67	MINUTAL *Nombre_medida	Guardan los valores minutales calculados en la FC9
DB47-DB63, DB68-DB71	SEMIHORARIA *Nombre_medida	Guardan los valores semihorarios calculados en la FC10

Tabla 2. DBs utilizados en la programación de los PLC S7-300. \*Nombre\_medida es CO, NOX, PRESIÓN, TEMPERATURA, etc.



FC	Nombre	Descripción
FC1	TRATAMIENTO_ANALÓGICAS	Recogida y escalado de las señales analógicas
FC2	TRATAMIENTO_DIGITALES	Recogida y análisis de las señales digitales de fallo y mantenimiento
FC3	1ª CAUSA FALLO CEM	Análisis del fallo general CEM
FC4	CALCULO_CORREGIDO	Cálculo de corrección lineal. Se aplica sobre las medidas escaladas de NOX, CO y partículas (salida de la FC1).
FC5	CALCULO HUMEDAD	Cálculo de la humedad relativa. Se aplica sobre las medidas escaladas de O2 húmedo y O2 seco (salida de la FC1).
FC6	CALCULO BASE SECA	Cálculo de base seca que se aplica sobre las medidas de NOX, CO y Partículas después de ser corregidas linealmente (salida de la FC4).
FC7	CALCULOS MEDIAS HORARIAS	Cálculo de las medias horarias de las medidas ya procesadas de todos los sensores. Llama al FB1.
FC8	SACAR HORA CPU	Obtener la hora del reloj interno del PLC
FC9	CALCULO MEDIAS MINUTALES	Cálculo de las medias minutales de las medidas ya procesadas de todos los sensores. Llama al FB3
FC10	CALCULO MEDIAS SEMIHORA	Cálculo de las medias semihorarias de las medidas ya procesadas de todos los sensores. Llama al FB2

Tabla 3. FCs creados en la programación de los PLC S7-300

FB	Nombre	Descripción
FB1	MEDIA HORARIA	Cálculo de la media horaria
FB2	MEDIA SEMIHORARIA	Cálculo de la media semihoraria
FB3	MEDIA MINUTAL	Cálculo de la media minutal

Tabla 4. FBs implantados en la programación de los PLC S7-300

### 2.8.3 Descripción de los OBs

Los OB (Organization Block) son bloques de organización necesarios para ejecutar el programa dentro del PLC. En nuestro caso se han usado los siguientes:

- **OB1: Organization Block for Cyclic Program Processing**

Este bloque (Figura 43) es el encargado de realizar llamadas cíclicas a funciones. En nuestro programa se usa para llamar en cada ciclo a la función de tratamiento de señales digitales de fallo y mantenimiento FC2 (ver Tabla 3), y a la función de la comunicación MODBUS del Sistema de Control Distribuido.

```

OB1 : "Main Program Sweep (Cycle)"
Comentario:
Segm. 1: Titulo:
CALL "MODB_341" , "MODBUS"          FB80 / DB80      -- Modbus Slave for CP 341 / DB de instancia FB80
LADDR          :=256
START_TIMER    :=T1
START_TIME     :=S5T#5S
OB_MASK        :=TRUE
CP_START       :=M100.0
CP_START_FM    :=M100.1
CP_NDR         :=M100.2
CP_START_OK    :=M100.3
CP_START_ERROR:=M100.4
ERROR_NR       :=MW120
ERROR_INFO     :=MW122

Segm. 2: LLAMADA CICLICA A LAS FUNCIONES
CALL "TRATAMIENTO_DIGITALES"      FC2

```

Figura 43 Bloque cíclico OB1

- **OB32: Cyclic Interrupt Organization Block**

Es un bloque especial del S7-300 que se ejecuta cada segundo. Se utiliza para llamar a las funciones que recogen y procesan las mediciones de contaminantes provenientes de los sensores (FC1, FC4-FC6), y a las funciones que realizan los cálculos de las medias temporales (FC7-FC10). Por lo tanto, este bloque permite la recogida y cálculo de todas estas mediciones cada segundo (Figura 44).

```

OB32 : "Cyclic Interrupt"
Comentario:
Segm. 1: Titulo:
CALL "TRATAMIENTO_ANALOGICAS"      FC1
CALL "1ª CAUSA FALLO CEM"          FC3
CALL "CALCULO_CORREGIDO"           FC4
CALL "CALCULO HUMEDAD"             FC5
CALL "CALCULO BASE SECA"           FC6
Var1:=0.000000e+000
Var2:=0.000000e+000
Var3:=0.000000e+000
Var4:=0.000000e+000
CALL "CALCULOS MEDIAS HORARIAS"     FC7
CALL "SACAR HORA CPU"               FC8
CALL "CALCULO MEDIAS MINUTALES"     FC9
CALL "CALCULO MEDIAS SEMIHORA"      FC10

```

Figura 44 Bloque OB32 para la llamada cíclica cada 1 segundo de las funciones

- **OB85, OB121, OB122: Error Handling Organization Blocks**

Estos bloques de organización son los que se activarían si ocurrieran algunos tipos determinados de fallo:

- OB85 (Priority Class Error) se ejecutaría en el caso de que un OB no se pudiera ejecutar por no estar cargado en la CPU.
- OB121 (Programming Error) es llamado cuando ocurre algún error de programación.
- OB122 (I/O Access Error) se ejecuta en caso de que se detecte algún error relacionado con los módulos de entradas/salidas.

#### **2.8.4 Programación del procesamiento de las señales analógicas provenientes de los sensores**

El procesamiento de las señales analógicas se ha programado en AWL. Como se puede observar en la Figura 42, la mayor parte de las medidas sólo requieren un escalado, pero hay otras sobre las que hay que hacer unos cálculos correctores adicionales. A continuación, explicaremos cómo se han programado estas tareas.

##### *Escalado de medidas analógicas*

La función FC1, denominada “TRATAMIENTO\_ANALÓGICAS” (Tabla 3) realiza el escalado de todas las señales analógicas. Esto es fundamental, ya que los sensores ofrecen sus mediciones en valores de intensidad o voltaje. Estos valores se deben transformar en cantidades físicas, atendiendo a los Datasheets de cada sensor facilitados por el vendedor (Figura 45). Como se muestra en la Figura 46, las variables de los contaminantes a medir se declaran en el bloque de datos DB1 (Tabla 2).

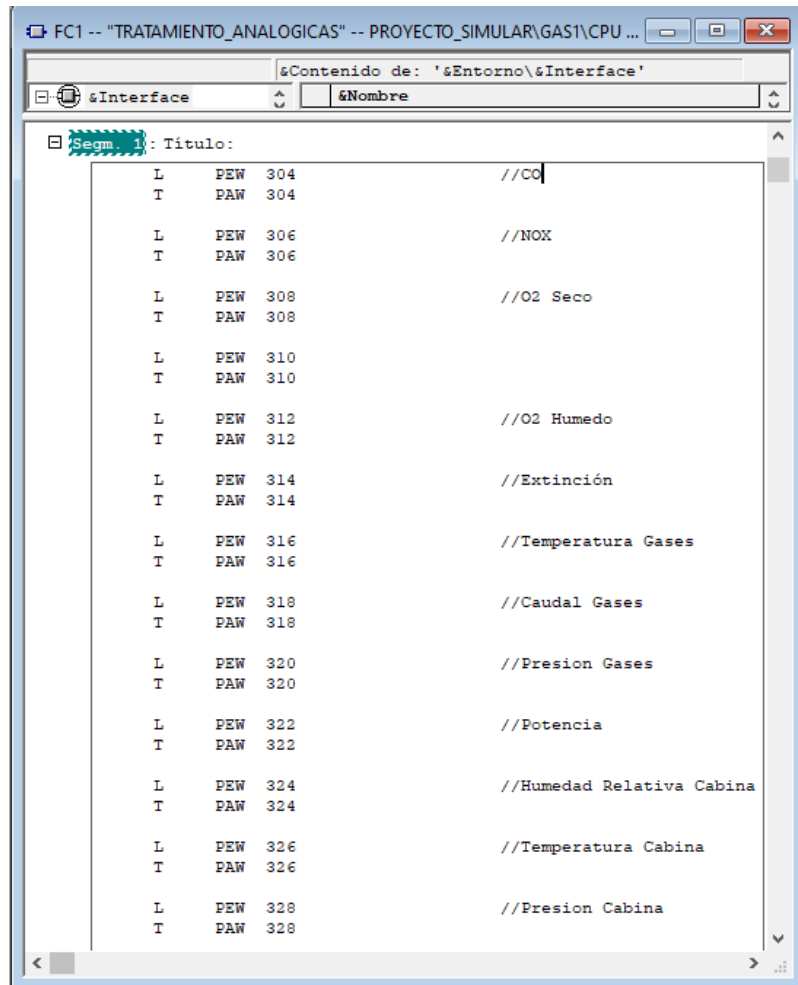


Figura 45 Función FC1 para el escalado de todas las señales analógicas

Dirección	Nombre	Tipo	Valor inicial
0.0		STRUCT	
+0.0	GAS1_CO	REAL	0.000000e+000
+4.0	GAS1_SO2	REAL	0.000000e+000
+8.0	GAS1_NOX	REAL	0.000000e+000
+12.0	GAS1_O2_seco	REAL	0.000000e+000
+16.0	GAS1_O2_humedo	REAL	0.000000e+000
+20.0	GAS1_EXTINCTION	REAL	0.000000e+000
+24.0	GAS1_TEMP_GASES	REAL	0.000000e+000
+28.0	GAS1_CAUDAL_GASES	REAL	0.000000e+000
+32.0	GAS1_PRESION_GASES	REAL	0.000000e+000
+36.0	GAS1_POTENCIA_GRUPO	REAL	0.000000e+000
+40.0	GAS1_HUMEDAD_REL_CAB	REAL	0.000000e+000
+44.0	GAS1_TEMP_CABINA	REAL	0.000000e+000
+48.0	GAS1_PRESION_CABINA	REAL	0.000000e+000
+52.0	GAS1_RESERVA1	REAL	0.000000e+000
+56.0	GAS1_RESERVA2	REAL	0.000000e+000
+60.0	GAS1_RESERVA3	REAL	0.000000e+000
=64.0		END_STRUCT	

Figura 46 Bloque de Datos DB1 para guardar las medidas escaladas

Por ejemplo, una de las entradas analógicas, la PEW 304, es la que recibe los datos de las mediciones de CO. El sensor encargado de medir este contaminante es el Multiparamétrico ABB-EL3020, que envía una señal de intensidad entre 4 mA y 20 mA. Esta señal se debe escalar, para que 20 mA sea el valor máximo que indica el datasheet de ese contaminante y 4 mA el valor mínimo. El código de la Figura 47 muestra el cálculo del escalado. Al hacer el cálculo, se obtiene el valor del contaminante en **partículas por millón** (ppm).

```
CALL  "SCALE"                FC105                -- Scaling Values
IN    :=PEW304
HI_LIM :=1.500000e+002
LO_LIM :=0.000000e+000
BIPOLAR:=FALSE
RET_VAL:="RH/OV VALIDO".RH_OV.CO    DB29.DBW4
OUT    := "DB_ANALOGICAS".GAS1_CO    DB1.DBD0
```

Figura 47 Escalado de la medida analógica CO

Por último, se comprueba si el valor es válido (Figura 48). Para ello, hay que comprobar que no se han producido ninguna de las siguientes condiciones:

- Rotura de hilo (RH): Se produce cuando el valor es inferior a los 4 mA
- Overflow (OV): Se produce cuando el valor es superior a los 20 mA
- Fallo o Mantenimiento del Sistema

Estos valores se guardan en el DB29 (ver Tabla 2).

```
L    "RH/OV VALIDO".RH_OV.CO    DB29.DBW4
L    B#16#0
<>I
=    "RH/OV VALIDO".FAIL_FIELD.CO    DB29.DBX46.2
U    "RH/OV VALIDO".FAIL_FIELD.CO    DB29.DBX46.2
O    "TX-MODBUS".DIR_30001_15    DB11.DBX0.7    -- Fallo Analizador Multiparam.
O    "TX-MODBUS".DIR_30001_12    DB11.DBX0.4    -- Mantenimiento SAM
NOT
=    "RH/OV VALIDO".VALIDO.CO    DB29.DBX50.2
```

Figura 48 Estado válido o inválido de la señal analógica CO

En el capítulo [5.1 Escalado de todas las señales analógicas](#) de este proyecto se explican en detalle los cálculos realizados para el escalado de las señales analógicas.

*Mediciones de CO, NOX, Partículas: corrección lineal y cálculo de base seca*

En el caso de estas tres mediciones, es necesario corregir los valores de campo sobre los que ya se ha realizado el proceso de escalado.

Para realizar su corrección se utilizan las funciones de calibración y rango de calibración para Gas 1 y Gas 2 dados por la Central, que se muestran en el [Anexo II](#) como m y b. Esta función será la de una recta:

$$y = Ax + B$$

siendo A la pendiente de la recta y B el término independiente. Estos valores, que son diferentes para Gas 1 y Gas 2, los obtiene la Central mediante la toma de muestras en las Turbinas.

Estos cálculos se han programado en la función FC4 Cálculo Corregido (ver Tabla 3 y Figura 49), y los datos se guardan en el DB2 (ver Tabla 2 y Figura 50).

FC4 : Titulo:

Valor Corregido = (A \* Valor Bruto) + B

Segm. 1: Titulo:

L	"DB_ANALOGICAS".GAS1_CO	DB1.DBD0	
L	"VALORES CORREGIDOS".CO_VALOR_A	DB2.DBD4	-- Variable comodín provisional
*R			
L	"VALORES CORREGIDOS".CO_VALOR_B	DB2.DBD8	-- Variable comodín provisional
+R			
T	"VALORES CORREGIDOS".CO	DB2.DBD0	-- Variable comodín provisional
L	"DB_ANALOGICAS".GAS1_NOX	DB1.DBD8	
L	"VALORES CORREGIDOS".NOX_VALOR_A	DB2.DBD16	-- Variable comodín provisional
*R			
L	"VALORES CORREGIDOS".NOX_VALOR_B	DB2.DBD20	-- Variable comodín provisional
+R			
T	"VALORES CORREGIDOS".NOX	DB2.DBD12	-- Variable comodín provisional
DB2.DBD12 / "VALORES CORREGIDOS".NOX / Variable comodín provisional			
L	"DB_ANALOGICAS".GAS1_EXTINCIION	DB1.DBD20	
L	"VALORES CORREGIDOS".PARTICULAS_VALOR_A	DB2.DBD28	-- Variable comodín provisional
*R			
L	"VALORES CORREGIDOS".PARTICULAS_VALOR_B	DB2.DBD32	-- Variable comodín provisional
+R			
T	"VALORES CORREGIDOS".PARTICULAS	DB2.DBD24	-- Variable comodín provisional

Figura 49 Parte de la función FC4 que realiza la corrección lineal de CO, NOX y Partículas

Dirección	Nombre	Tipo	Valor inicial	Comentario
0.0		STRUCT		
+0.0	CO	REAL	0.000000e+000	Variable comodín provisional
+4.0	CO_VALOR_A	REAL	1.061000e+000	Variable comodín provisional
+8.0	CO_VALOR_B	REAL	4.685000e+000	Variable comodín provisional
+12.0	NOX	REAL	0.000000e+000	Variable comodín provisional
+16.0	NOX_VALOR_A	REAL	9.300000e-001	Variable comodín provisional
+20.0	NOX_VALOR_B	REAL	1.054000e+001	Variable comodín provisional
+24.0	PARTICULAS	REAL	0.000000e+000	Variable comodín provisional
+28.0	PARTICULAS_VALOR_A	REAL	2.767000e+000	Variable comodín provisional
+32.0	PARTICULAS_VALOR_B	REAL	0.000000e+000	Variable comodín provisional
+36.0	SO2	REAL	0.000000e+000	Variable comodín provisional
=40.0		END_STRUCT		

Figura 50 DB2 recoge los datos corregidos linealmente de CO, NOX y Partículas

A continuación, sobre los valores corregidos linealmente, se realiza el cálculo de base seca. Este cálculo se realiza con el objetivo de obtener las medidas reales de los contaminantes, teniendo en cuenta la presencia del oxígeno (O<sub>2</sub>) seco. Es parte del proceso inyectar oxígeno en las chimeneas, y esto produce que el nivel de contaminantes baje. Por lo tanto, es necesario incluir este factor para el cálculo real de las variables que miden contaminantes.

Estos cálculos se han programado en la función FC6 Cálculo Base Seca (ver Tabla 3 y Figura 51), y los datos se guardan en el DB3 (ver Tabla 2 y Figura 52).

FC6 : Titulo:

Comentario:

Segm. 1: Correccion Base Seca

```

L      "DB_ANALOGICAS".GAS1_O2_seco      DB1.DBD12
L      2.000000e+001
>R
SPBN  CORR
L      0.000000e+000
T      "DB BASE SECA".CORRECCION_BASE_SECA  DB3.DBD12      -- Variable comodín provisional
SPA  FIN1
CORR: L      2.090000e+001
L      "DB_ANALOGICAS".GAS1_O2_seco      DB1.DBD12
-R
T      #Var1      #Var1
L      5.900000e+000
L      #Var1      #Var1
/R
T      "DB BASE SECA".CORRECCION_BASE_SECA  DB3.DBD12      -- Variable comodín provisional
FIN1: NOP      0

```

Figura 51 Parte de la función FC6 que realiza el cálculo de base seca de CO, NOX y Partículas

Dirección	Nombre	Tipo	Valor inicial	Comentario
0.0		STRUCT		
+0.0	CO	REAL	0.000000e+000	Variable comodín provisional
+4.0	NOX	REAL	0.000000e+000	Variable comodín provisional
+8.0	PARTICULAS	REAL	0.000000e+000	Variable comodín provisional
+12.0	CORRECCION_BASE_SECA	REAL	0.000000e+000	Variable comodín provisional
+16.0	CORRECCION_BASE_SECA_PAR	REAL	0.000000e+000	Variable comodín provisional
+20.0	SO2	REAL	0.000000e+000	Variable comodín provisional
=24.0		END_STRUCT		

Figura 52 DB3 recoge los cálculos de base seca de CO, NOX y Partículas

Todos los cálculos realizados se explican con más detalle en las secciones [5.2 Corrección lineal de las mediciones de NOX, CO y Partículas](#) y [5.3 Cálculo de base seca para las medidas de NOX, CO y Partículas](#).

#### *Mediciones de O2 húmedo y O2 seco: cálculo de humedad*

Una vez que las medidas de O2 está escaladas, es necesario calcular la humedad relativa a partir de los valores analógicos de O2 Húmedo y O2 Seco.

La función FC5 Calcula Humedad (ver Tabla 3) es la encargada de realizar la operación, y guardar los resultados en el DB4 (ver Tabla 2), tal y como se muestra en la Figura 53. El cálculo realizado se explica en detalle en el apartado [5.4 Cálculo de la humedad relativa](#) de esta memoria.

```

Ej Segm. 1: Calculos Humedad
L   "DB_ANALOGICAS".GAS1_O2_humedo   DB1.DBD16
L   -1.000000e+002
*R
L   "DB_ANALOGICAS".GAS1_O2_seco     DB1.DBD12
/R
L   1.000000e+002
+R
T   "DB HUMEDAD".HUMEDAD_RELATIVA   DB4.DBD0      -- Variable comodín provisional

```

Figura 53 Cálculo de la humedad relativa

### 2.8.5 Programación de los cálculos de medias horarias, semihorarias y minutales

Para calcular las medias minutales, horarias y semihorarias es necesario acceder a los valores de hora y fecha del reloj interno del PLC. Esto se realiza



con la función del sistema READ\_CLK, como se muestra en la Figura 54, y los valores temporales se vuelcan en el DB6 (ver Tabla 2).

```

Segm. 1: Titulo:
CALL "READ_CLK"                SFC1          -- Read System Clock
RET_VAL:=#RETVAL              #RETVAL
CDT :=#FECHAHORA              #FECHAHORA

//SACAMOS ANNO
L   LB   0
BTI
T   "HORA SISTEMA".HORA.YEAR   DB6.DBW0

//SACAMOS MES
L   LB   1
BTI
T   "HORA SISTEMA".HORA.MONTH  DB6.DBW2

//SACAMOS DIA DE LA SEMANA APLICANDO MASCARA
L   LB   7
L   W#16#F
UW
BTI
T   "HORA SISTEMA".HORA.WEEKDAY DB6.DBW6

//SACAMOS EL DIA DEL MES
L   LB   2
BTI
T   "HORA SISTEMA".HORA.DAY     DB6.DBW4

//SACAMOS LA HORA
L   LB   3
BTI
T   "HORA SISTEMA".HORA.HOUR    DB6.DBW8

//SACAMOS EL MINUTO
L   LB   4
BTI
T   "HORA SISTEMA".HORA.MINUTE  DB6.DBW10

//SACAMOS EL SEGUNDO
L   LB   5
BTI
T   "HORA SISTEMA".HORA.SECOND  DB6.DBW12

//SACAMOS EL MILISEGUNDO
L   LB   6
BTI
T   "HORA SISTEMA".HORA.NANOSECOND DB6.DBW14

```

Figura 54 Extracción de los datos de fecha y hora con READ\_CLK

### Cálculo de las medias minutales

En el cálculo de las medias minutales están implicados directamente el DB6, que contiene la hora extraída de la CPU (Tabla 2), y la función FB3 (Tabla 4), que contiene la programación necesaria para calcular la media, tal y como se muestra en la Figura 55.

```

Segm. 1: Titulo:
L      "HORA SISTEMA".HORA.SECOND      DB6.DBW12
L      1
==I
SPB   RESE

O      #ESTADO_OK                       #ESTADO_OK
SPBN   FAIL
L      #INDICE_OK                       #INDICE_OK
L      1.000000e+000
+R
T      #INDICE_OK                       #INDICE_OK

L      #PV                              #PV
L      #SUMATORIO                      #SUMATORIO
+R
T      #SUMATORIO                      #SUMATORIO

L      #SUMATORIO                      #SUMATORIO
L      #INDICE_OK                      #INDICE_OK
/R
T      #MEDIA                          #MEDIA
SPB   EXIT

RESE: L      0.000000e+000
T      #INDICE_FALLO                   #INDICE_FALLO
T      #INDICE_OK                      #INDICE_OK
T      #SUMATORIO                      #SUMATORIO
R      #INVALIDO                       #INVALIDO
SPB   EXIT

FAIL: L      #INDICE_FALLO             #INDICE_FALLO
L      1
+I
T      #INDICE_FALLO                   #INDICE_FALLO
L      #INDICE_FALLO                   #INDICE_FALLO
L      15
>I
S      #INVALIDO                       #INVALIDO
SPBN   EXIT

EXIT: NOP  0

```

Figura 55 Función FB3 que calcula la media minotal de una variable

La FC9 “Cálculo Medias Minutales” (Tabla 3) es la encargada de llamar al FB3 de Media Minotal y a los DB de cada variable medida: DB30-DB46, DB64-DB67 (Tabla 2), como se puede observar en la Figura 56.

```

CALL "MEDIA MINUTAL" , "MINUTAL NOX"                FB3 / DB65
ESTADO_OK :="RH/OV VALIDO".VALIDO.NOX              DB29.DBX50.1
PV        :="DB BASE SECA".NOX                    DB3.DBD4      -- Variable comodin provisional
MEDIA     :=
INVALIDO  :=
SUMATORIO :=
INDICE_FALLO:=
INDICE_OK :=

CALL "MEDIA MINUTAL" , "MINUTAL CO"                FB3 / DB66
ESTADO_OK :="RH/OV VALIDO".VALIDO.CO              DB29.DBX50.2
PV        :="DB BASE SECA".CO                    DB3.DBD0      -- Variable comodin provisional
MEDIA     :=
INVALIDO  :=
SUMATORIO :=
INDICE_FALLO:=
INDICE_OK :=

CALL "MEDIA MINUTAL" , "MINUTAL O2 SECO"          FB3 / DB67
ESTADO_OK :="RH/OV VALIDO".VALIDO.O2_SECO        DB29.DBX50.5
PV        :="DB ANALOGICAS".GAS1_O2_seco        DB1.DBD12
MEDIA     :=
INVALIDO  :=
SUMATORIO :=
INDICE_FALLO:=
INDICE_OK :=

CALL "MEDIA MINUTAL" , "MINUTAL PARTICULAS"       FB3 / DB30
ESTADO_OK :="RH/OV VALIDO".VALIDO.PARTICULAS     DB29.DBX50.3
PV        :="DB BASE SECA".PARTICULAS           DB3.DBD8      -- Variable comodin provisional
MEDIA     :=
INVALIDO  :=
SUMATORIO :=
INDICE_FALLO:=
INDICE_OK :=

CALL "MEDIA MINUTAL" , "MINUTAL O2 HUMEDO"       FB3 / DB31
ESTADO_OK :="RH/OV VALIDO".VALIDO.O2_HUMEDO     DB29.DBX50.4
PV        :="DB ANALOGICAS".GAS1_O2_humedo     DB1.DBD16
MEDIA     :=
INVALIDO  :=
SUMATORIO :=
INDICE_FALLO:=
INDICE_OK :=

```

Figura 56 Función FC9 realiza el cálculo de medias minutales sobre todas las variables medidas llamando a la FB 3

### Cálculo de las medias semihorarias

El esquema del programa desarrollado es similar al expuesto para las medias minutales. Hay una función FB2 “Media Semihoraria” (ver Tabla 4) en la que se ha programado el cálculo de la media semihoraria de una variable (Figura 57), y una función FC10 “Cálculo Medias Semihora” (Tabla 3) encargada de llamar a esa FB2 para cada una de las variables medidas, involucrando a los DBs correspondientes: DB47-DB63, DB68-DB71 (Tabla 2).

```

□ Segm. 1: Título:

      L   "HORA SISTEMA".HORA.SECOND   DB6.DBW12
      L   1
      <>I
      SPB  COUN

      L   "HORA SISTEMA".HORA.MINUTE   DB6.DBW10
      L   0
      ==I
      SPB  RESE

      L   "HORA SISTEMA".HORA.MINUTE   DB6.DBW10
      L   30
      ==I
      SPB  RESE

COUN: O   #ESTADO_OK                   #ESTADO_OK
      SPBN FAIL
      L   #INDICE_OK                   #INDICE_OK
      L   1.000000e+000
      +R
      T   #INDICE_OK                   #INDICE_OK

      L   #PV                           #PV
      L   #SUMATORIO                   #SUMATORIO
      +R
      T   #SUMATORIO                   #SUMATORIO

      L   #SUMATORIO                   #SUMATORIO
      L   #INDICE_OK                   #INDICE_OK
      /R
      T   #MEDIA                       #MEDIA
      SPB  EXIT

RESE: L   0.000000e+000
      T   #INDICE_FALLO                #INDICE_FALLO
      T   #INDICE_OK                   #INDICE_OK
      T   #SUMATORIO                   #SUMATORIO
      R   #INVALIDO                    #INVALIDO
      SPB  EXIT

FAIL: L   #INDICE_FALLO                #INDICE_FALLO
      L   1
      +I
      T   #INDICE_FALLO                #INDICE_FALLO
      L   #INDICE_FALLO                #INDICE_FALLO
      L   450
      >I
      S   #INVALIDO                    #INVALIDO

EXIT: NOP  0

```

Figura 57 Función FB2 que calcula la media semihoraria de una variable

### *Cálculo de las medias horarias*

El esquema del programa desarrollado es similar al expuesto para las medias minutales y medias semihorarias. Hay una función FB1 “Media Horaria” (ver Tabla 4) en la que se ha programado el cálculo de la media horaria de una variable (Figura 58), y una función FC7 “Cálculo Medias Horarias” (Tabla 3) encargada de llamar a esa FB1 para cada una de las variables medidas, involucrando a los DBs correspondientes: DB5, DB7-DB9, DB12-DB28 (Tabla 2).

```

L      "HORA SISTEMA".HORA.SECOND  DB6.DBW12
L      1
<>I
SPB   COUN

L      "HORA SISTEMA".HORA.MINUTE  DB6.DBW10
L      0
==I
SPB   RESE

COUN:  O      #ESTADO_OK             #ESTADO_OK
      SPBN   FAIL
      L      #INDICE_OK             #INDICE_OK
      L      1.000000e+000
      +R
      T      #INDICE_OK             #INDICE_OK

      L      #PV                    #PV
      L      #SUMATORIO             #SUMATORIO
      +R
      T      #SUMATORIO             #SUMATORIO

      L      #SUMATORIO             #SUMATORIO
      L      #INDICE_OK             #INDICE_OK
      /R
      T      #MEDIA                  #MEDIA
      SPA   EXIT

RESE:  L      0.000000e+000
      T      #INDICE_FALLO          #INDICE_FALLO
      T      #INDICE_OK             #INDICE_OK
      T      #SUMATORIO             #SUMATORIO
      R      #INVALIDO              #INVALIDO
      SPA   EXIT

FAIL:  L      #INDICE_FALLO          #INDICE_FALLO
      L      1
      +I
      T      #INDICE_FALLO          #INDICE_FALLO
      L      #INDICE_FALLO          #INDICE_FALLO
      L      480
      >I
      S      #INVALIDO              #INVALIDO
      SPBN  EXIT

EXIT:  NOP   0

```

Figura 58 Función FB1 que calcula la media horaria de una variable

### 2.8.6 Señales digitales provenientes de los sensores

Las funciones que realizan el tratamiento de las señales digitales son las FC2 y FC3 (ver Tabla 3). Son funciones programadas en lenguaje KOP que analizan las señales digitales provenientes de los sensores que indican si existe algún fallo o si están en mantenimiento.

Los fallos que se estudian son los siguientes:

- Fallo analizador O2 húmedo
- Fallo analizador multiparamétrico
- Alarma temperatura cabina
- Mantenimiento Opacímetro
- Mantenimiento SAM (Sistemas Automáticos de Medida)
- Fallo general CEM

Es importante aclarar que estas funciones ya se encontraban programadas y funcionando en los PLCs de las cabinas, ya que son las funciones que activan las alarmas de error en el Sistema de Control Distribuido. En este TFG no se ha programado ningún procesamiento adicional sobre las señales de alarma, simplemente hemos comunicado la salida de estas funciones con el SCADA desarrollado. En la Figura 59 se muestra la función FC2, en la que se activa la señal A0.0 en caso de que se active alguna de las señales de error procedentes de los sensores. Esta señal A0.0 de aviso de fallo se recibe en el

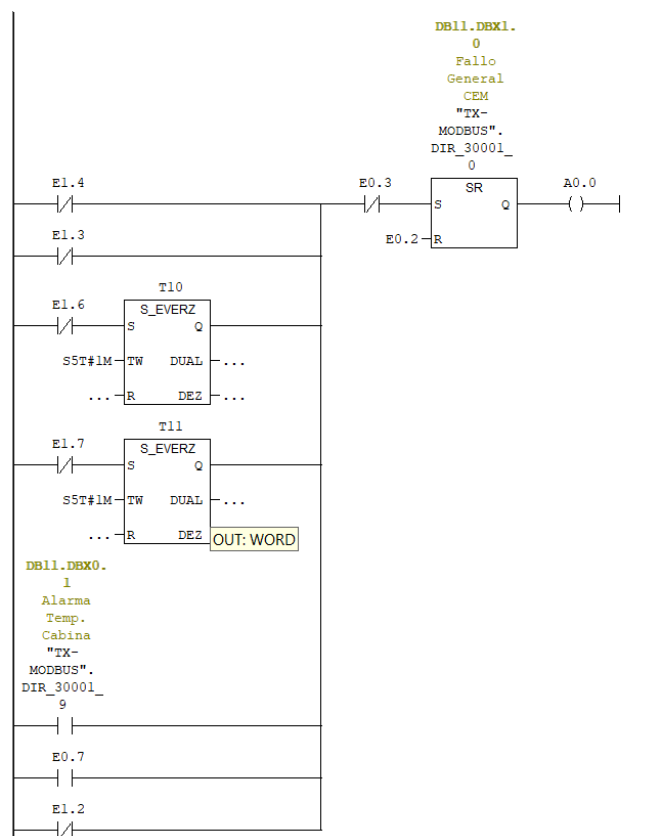


Figura 59 Función FC2 Fallo general CEM

### 2.8.7 Simulación

Antes de instalar el programa en los PLC de la Central, hemos realizado una serie de simulaciones a lo largo del proceso de programación desde el propio Administrador Simatic, con el simulador PLCSIM.

Para esto es necesario configurar la interface PG/PC seleccionando PLCSIM.TCPIP.1, como se muestra en la Figura 60.

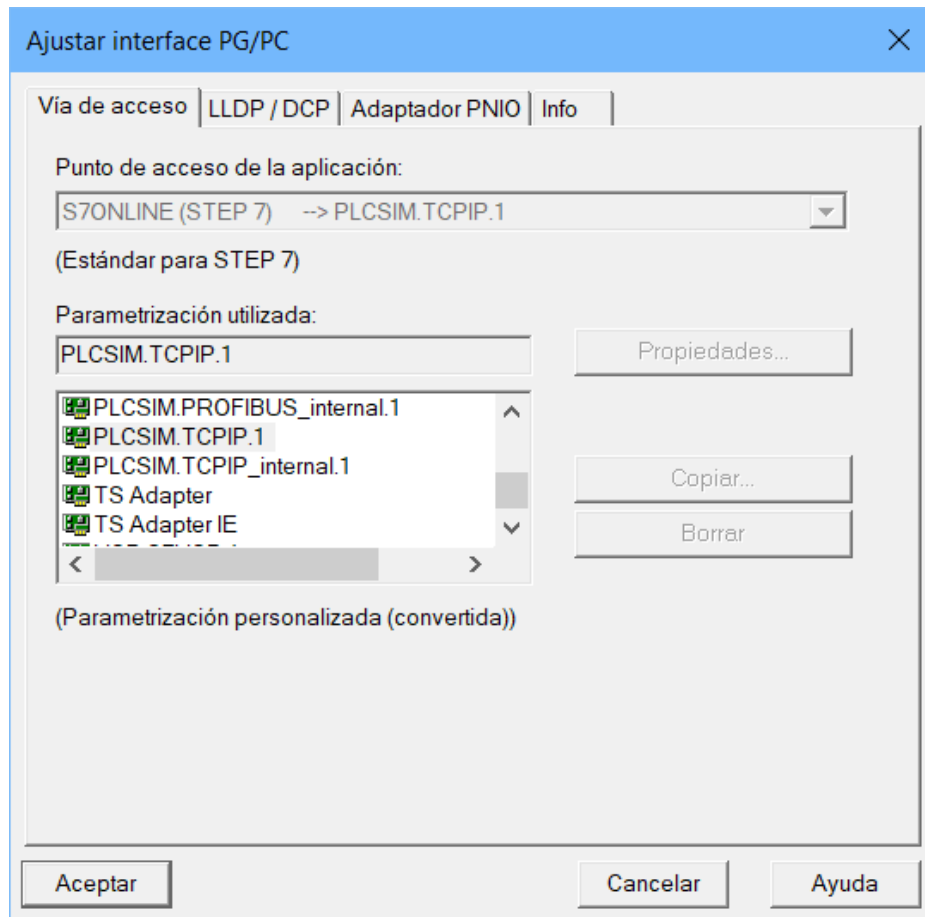


Figura 60 Ajustar la interface PC/PG para seleccionar la comunicación con el simulador

El siguiente paso es cargar en el PLC simulado nuestro programa. En la Figura 61 se muestra el aspecto de la simulación cuando está en modo RUN-P.

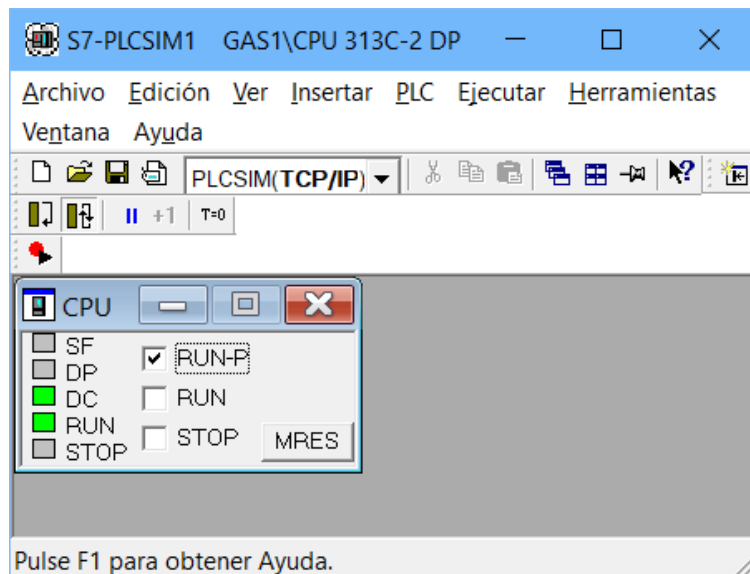


Figura 61 Simulación del programa desarrollado para GAS 1. PLC simulado en modo RUN-P

Ahora ya podemos forzar variables, para ver cómo cambian sus valores y comprobar que la programación y los cálculos son correctos, tal y como se muestra en la Figura 62. Es importante indicar que, para poder forzar las variables, ha sido necesario cambiar las entradas analógicas PEW por marcas MW en nuestro programa. Esto se debe revertir para la instalación del programa en el PLC real de campo.

	Operando	Símbolo	Formato de visualiza	Valor de esta	Valor de forza
1	MW 304		DEC	3000	3000
2	MW 306		DEC	5000	5000
3	MW 308		DEC	3000	3000
4	MW 310		DEC	4000	4000
5	MW 312		DEC	4500	4500
6	MW 314		DEC	6000	6000
7	MW 316		DEC	7000	7000
8	MW 318		DEC	8000	8000
9	MW 320		DEC	9000	9000
1	MW 322		DEC	10000	10000
1	MW 324		DEC	11000	11000
1	MW 326		DEC	12000	12000
1	MW 328		DEC	13000	13000
1	M 3.3		BOOL	true	true

Figura 62 Simulación del programa desarrollado para GAS 1. Forzado de variables



Esta simulación es muy útil para comprobar que la programación es correcta, pero sus resultados pueden no reflejar con exactitud lo que puede ocurrir en la planta. En la simulación introducimos valores que no varían en el tiempo para simular las medidas de los sensores, lo que no ocurre en la realidad.

## 2.9 Sistema SCADA

El sistema implementado en este TFG para dotar de redundancia a la instalación bajo estudio y complementar al Sistema de Control Distribuido ya existente es un sistema SCADA. Este acrónimo viene del inglés “Supervisory Control And Data Acquisition”. Los SCADA son programas software que se instalan normalmente en servidores, y que permiten que un usuario de una planta automatizada pueda ver y controlar desde él todos los equipos integrados en la planta [38].

Son sistemas cuya función es supervisar y controlar remotamente una instalación, integrando en un solo lugar los datos recogidos por varios dispositivos mediante diferentes protocolos. Estas lecturas se realizan en tiempo real y con la posibilidad de historizarse. El modo en que se muestra gráficamente la información al usuario es programable. El programador debe diseñar diferentes pantallas para facilitar la visualización de los datos de la instalación de automatización monitorizada. Los sistemas SCADA se encuentran en la capa intermedia de la Pirámide de Automatización, en el nivel de supervisión (Figura 63).

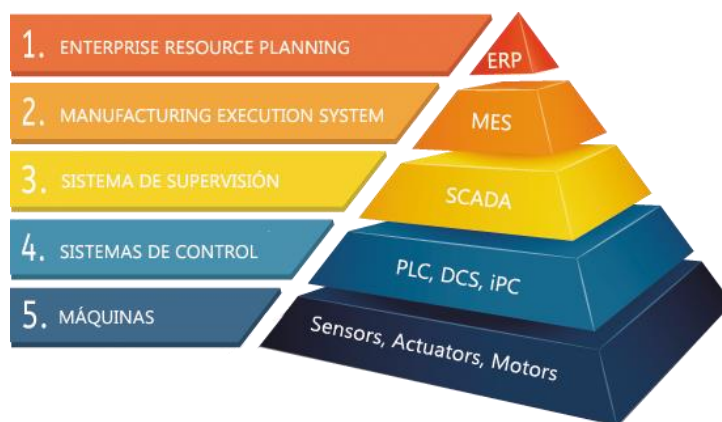


Figura 63 Pirámide de automatización. Figura extraída de [38]

Además de la escritura y lectura de datos, el SCADA permite:

- **Activar alarmas:** por ejemplo, si una temperatura se sale del rango permitido, programar una alarma en forma de email o mensaje por pantalla.
- **Historizar valores:** además de leer en tiempo real, los valores pueden ser archivados en el tiempo.
- **Graficar valores:** los datos instantáneos o historizados pueden graficarse y mostrarse por pantalla, así como incluirse en un informe que se puede imprimir desde el propio software.
- **Restringir y registrar los accesos:** permite limitar el acceso a empleados o usuarios del sistema.
- **Registrar lecturas:** permite controlar qué usuarios y en qué momento se han conectado al SCADA.
- **Realizar acciones sobre el ordenador/servidor:** desde el sistema SCADA se puede ejecutar un programa sobre un equipo o reiniciar equipos, entre otras funcionalidades. Esto es muy útil ya que muchas veces el equipo sobre el que se realiza la visualización está situado en un punto lejano de la planta.

En este TFG se ha usado del software WinCC de SIEMENS, ya que los autómatas S7-300 son del mismo fabricante, y esto permite utilizar el protocolo propio integrado de SIMATIC.

### 2.9.1 WinCC

El software WinCC (Windows Control Center) es el entorno de desarrollo SCADA de SIEMENS en el marco de visualización y control de procesos industriales. Sus características más importantes son las siguientes [\[39\]](#):

- Arquitectura de desarrollo abierta (programación en C)
- Soporte de tecnologías Active X
- Comunicación con otras tecnologías vía OPC
- Comunicación sencilla mediante drivers implementados (código que implementa el protocolo de comunicaciones con un determinado equipo inteligente)

- Programación online: no es necesario detener el runtime del desarrollo para poder actualizar las modificaciones del sistema

Para la realización de este proyecto, se ha trabajado desde el mismo PC Concentrador que se va a instalar en la central, realizando en él toda la configuración del WinCC.

## 2.9.2 Programación con WinCC

Lo primero que se hizo fue crear un nuevo proyecto de “Proyecto para Estación Monopuesto” (*Single-User Project*). Dentro de este proyecto, es necesario configurar el nombre del equipo donde se guardará el proyecto, la imagen inicial que se cargará al ejecutar el runtime y otros datos adicionales. Esto se realiza en “Equipo” (primera carpeta del menú principal, como se puede observar a la izquierda en la Figura 64).

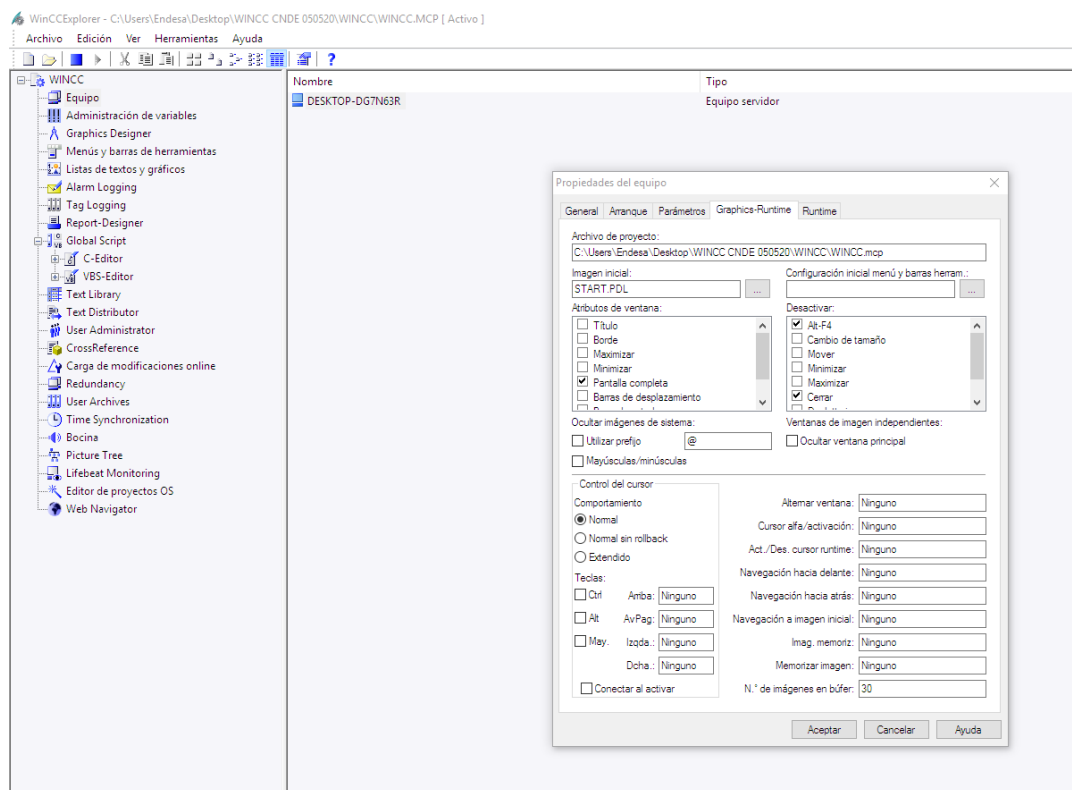


Figura 64 WinCC Explorer. A la izquierda está el menú principal. En la ventana emergente las propiedades del equipo.

En el siguiente paso se establece la conexión con el PLC haciendo click derecho en el “Administrador de variables” (*Tag Management*) en el menú principal, como

se muestra en la Figura 65. Se agrega un nuevo driver, que en nuestro caso será “SIMATIC S7 Protocol Suite”, ya que es el que permite la conexión con el PLC S7-300. Se selecciona el protocolo que usaremos, TCP/IP, y se configura indicando la IP en la que está conectado el PLC. Esto lo haremos dos veces, una para Gas 1 y otra para Gas 2, teniendo en cuenta la dirección IP de los autómatas de cada planta.

Al ejecutar “runtime” aparecerá un tick verde al lado de los PLC, en el lado izquierdo, indicando que el WinCC ha establecido conexión con los S7-300 de las cabinas.

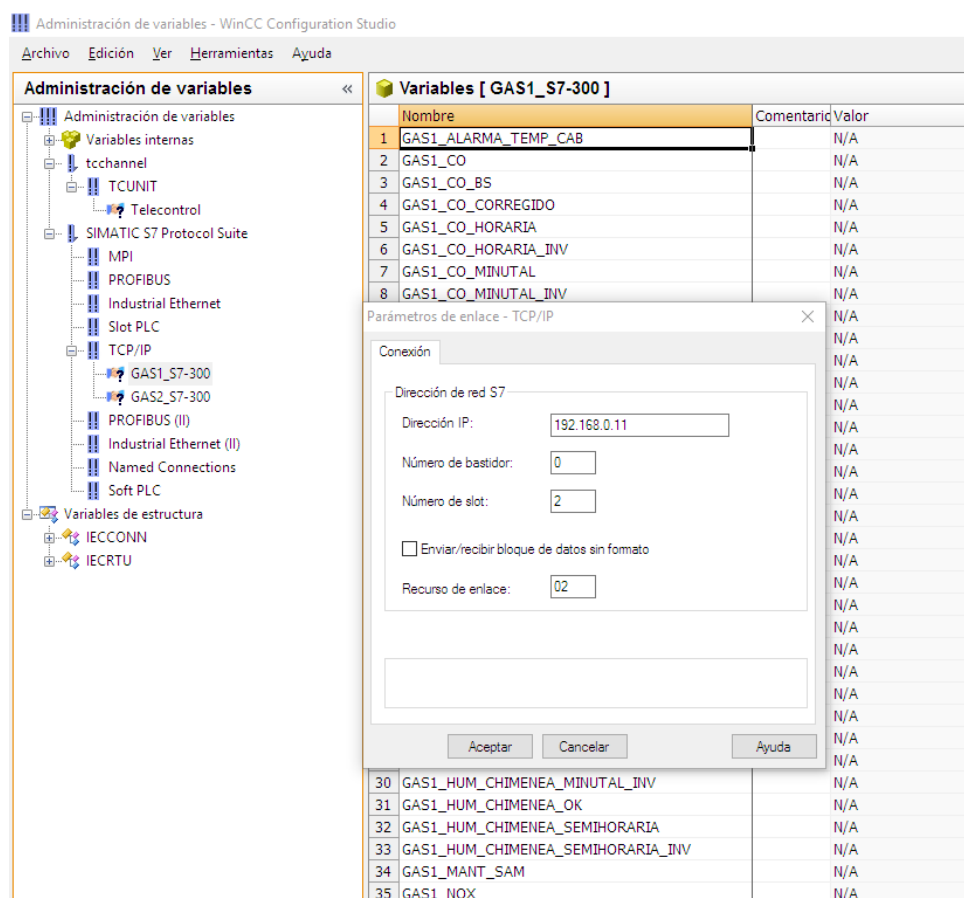


Figura 65 WinCC Administrador de variables, Parámetros de enlace -TCP/IP con los PLC

Cuando se usa el “SIMATIC S7 Protocol Suite” no es posible transferir automáticamente las variables creadas en los PLC S7-300. Por este motivo, debemos crearlas manualmente e indicar los Data Blocks de nuestro programa de STEP 7 en las que se encuentran.

Haciendo doble click en el “Administrador de variables” se abre la ventana que nos permite introducir el nombre de todas las variables que deseamos mostrar (Figura 66). También es necesario indicar la dirección del PLC en el que se encuentran, y seleccionar el tipo de variable (analógica o digital).

Nombre	Comentarios/valor	Sello de tiempo	Tipo datos	Longitud/Ajuste de formato	Conexión	Grupo	Dirección
1 GAS1_ALABMA_TEMP_CAB	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		0811,00.1
2 GAS1_CO	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	081,000
3 GAS1_CO_BS	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	081,000
4 GAS1_CO_CORREGIDO	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	082,000
5 GAS1_CO_HORARIA	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	088,006
6 GAS1_CO_HORARIA_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		088,010.0
7 GAS1_CO_MINUTAL	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	086,006
8 GAS1_CO_MINUTAL_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		086,010.0
9 GAS1_CO_OK	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		086,000
10 GAS1_CO_SEMHORARIA	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	087,006
11 GAS1_CO_SEMHORARIA_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		087,010.0
12 GAS1_FALLO_GENERAL	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		0811,01.0
13 GAS1_FALLO_MULTIPARAMETRICO	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		0811,01.7
14 GAS1_FALLO_OZH	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		0811,00.6
15 GAS1_FLANCO_HORARIA	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		0820,00.2
16 GAS1_FLANCO_MINUTALES	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		0820,00.0
17 GAS1_FLANCO_SEMHORARIA	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		0820,00.1
18 GAS1_HUM_CABINA	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	081,0040
19 GAS1_HUM_CABINA_HORARIA	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	081,006
20 GAS1_HUM_CABINA_HORARIA_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		081,010.0
21 GAS1_HUM_CABINA_MINUTAL	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	087,006
22 GAS1_HUM_CABINA_MINUTAL_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		087,010.0
23 GAS1_HUM_CABINA_OK	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		087,00.0
24 GAS1_HUM_CABINA_SEMHORARIA	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	084,006
25 GAS1_HUM_CABINA_SEMHORARIA_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		084,010.0
26 GAS1_HUM_CHEMIEA	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	084,004
27 GAS1_HUM_CHEMIEA_HORARIA	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	087,006
28 GAS1_HUM_CHEMIEA_HORARIA_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		087,010.0
29 GAS1_HUM_CHEMIEA_MINUTAL	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	085,006
30 GAS1_HUM_CHEMIEA_MINUTAL_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		085,010.0
31 GAS1_HUM_CHEMIEA_OK	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		085,00.0
32 GAS1_HUM_CHEMIEA_SEMHORARIA	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	082,006
33 GAS1_HUM_CHEMIEA_SEMHORARIA_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		082,010.0
34 GAS1_MANT_SAM	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		0811,00.4
35 GAS1_IJOX	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	081,008
36 GAS1_IJOX_BS	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	083,004
37 GAS1_IJOX_CORREGIDO	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	082,0012
38 GAS1_IJOX_HORARIA	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	087,006
39 GAS1_IJOX_HORARIA_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		087,010.0
40 GAS1_IJOX_MINUTAL	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	085,006
41 GAS1_IJOX_MINUTAL_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		085,010.0
42 GAS1_IJOX_OK	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		085,00.0
43 GAS1_IJOX_SEMHORARIA	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	089,006
44 GAS1_IJOX_SEMHORARIA_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		089,010.0
45 GAS1_OZH	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	081,0016
46 GAS1_OZH_HORARIA	N/A	N/A	Número en coma flotante 32 bits IEEE 754	4	Float/Float	GAS1_57-300	081,006
47 GAS1_OZH_HORARIA_BIV	N/A	N/A	Variable binaria	1	GAS1_57-300		081,010.0

Figura 66 WinCC Administrador de variables, Lista de variables vinculadas con los PLC

Para que el WinCC pueda almacenar e historizar nuestras variables minutales, horarias y semihorarias se deben copiar todas las variables creadas en el paso anterior en el Administrador de variables y replicarlas en “Tag Logging”, otra opción del menú principal del WinCC.

La opción “Menús y barras de herramientas” del menú principal del WinCC permite la creación personalizada de menús (Figura 67). En nuestro caso, programaremos un menú desplegable que facilite el acceso a las pantallas que diseñaremos posteriormente.

Por otra parte, en la opción “Global Script” del menú principal se programan los scripts necesarios para abrir las imágenes/pantallas cuando se seleccionan en nuestro menú desplegable.

Por lo tanto, al diseñar nuestro menú desplegable, es necesario indicar el nombre de las ventanas, la estructura jerárquica, y vincular el script que abre cada pantalla.

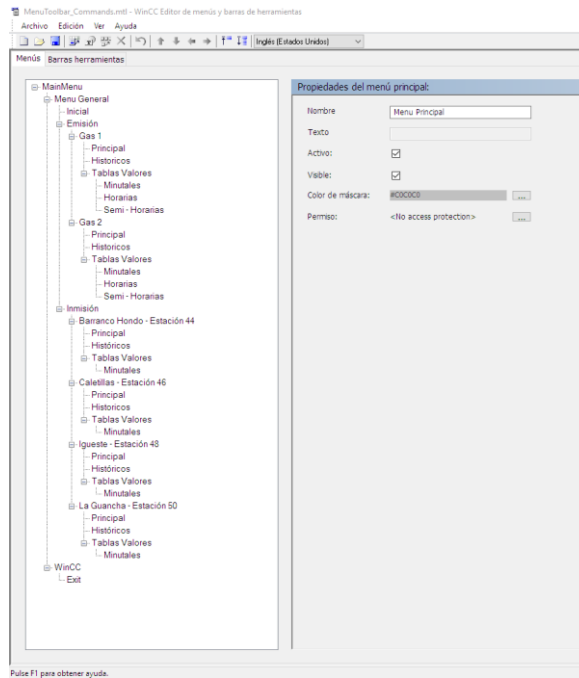


Figura 67 WinCC Editor de menús y barras de herramientas

En la opción de WinCC llamada “Graphics Designer” se pueden diseñar las pantallas que mostrarán la información al usuario (Figura 68). En nuestro caso, las pantallas mostrarán las variables de contaminantes por medio de diferentes gráficos.

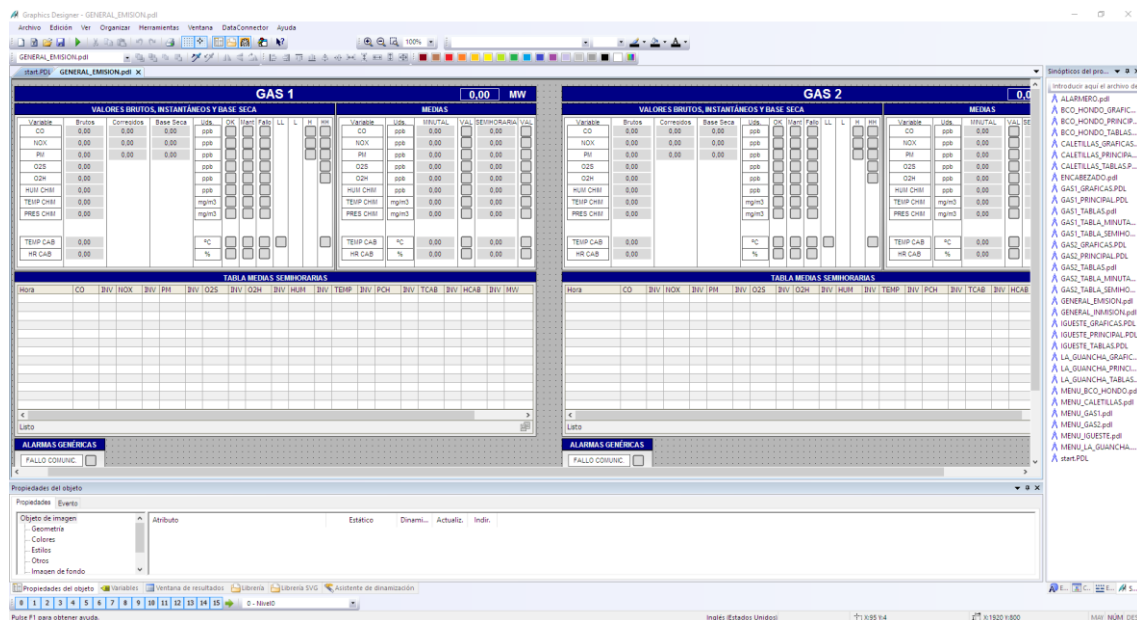


Figura 68 WinCC Graphics Designer, edición de la pantalla general de emisión

Una vez creada una nueva pantalla, haciendo doble click sobre ella, se abre el software de diseño de la pantalla gráfica. Usando el panel de propiedades hemos fijado las dimensiones de las pantallas, que en nuestro caso serán de 1920 píxeles de ancho por 1080 píxeles de alto.

Para poder mostrar las distintas variables de manera historizada, y permitir así el estudio de su evolución en el tiempo, es necesario vincular en las pantallas las variables definidas anteriormente en Tag Logging.

### 2.9.3 Pantallas desarrolladas

En esta sección se explicarán las pantallas desarrolladas en este TFG. En la Figura 69 se muestra la pantalla inicial del SCADA programado. Esta es la pantalla principal de emisiones, en la que se muestran los siguientes datos, tanto para Gas 1 como para Gas 2:

- Valores brutos, instantáneos y en base seca: CO, NOX, PM, O2S, O2H, HUM CHIM, TEMP CHIM, PRES CHIM, TEMP CABINA
- Medias minutas y semihorarias
- Tabla de medias semihorarias
- Estado de alarmas, fallos y mantenimientos

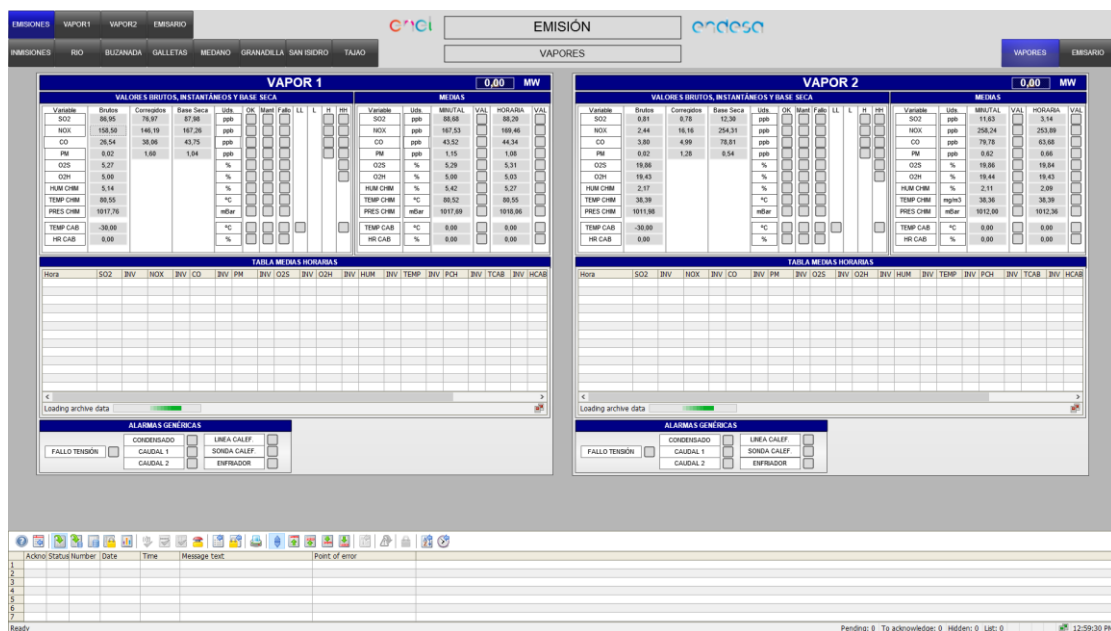


Figura 69 WinCC Runtime. Pantalla Emisiones – Principal. Valores reales en funcionamiento.



En la esquina superior izquierda se encuentra el menú general del runtime. Seleccionando Vapor 1 o Vapor 2 se puede acceder a todos los datos recibidos de cada una de las cabinas.

La Figura 70 muestra la pantalla principal de la cabina de Gas 1, con todos los datos recibidos, además de informar de la dirección IP del PLC. En la parte inferior de la pantalla se incluye un campo destinado a mostrar posibles errores de ejecución del programa.

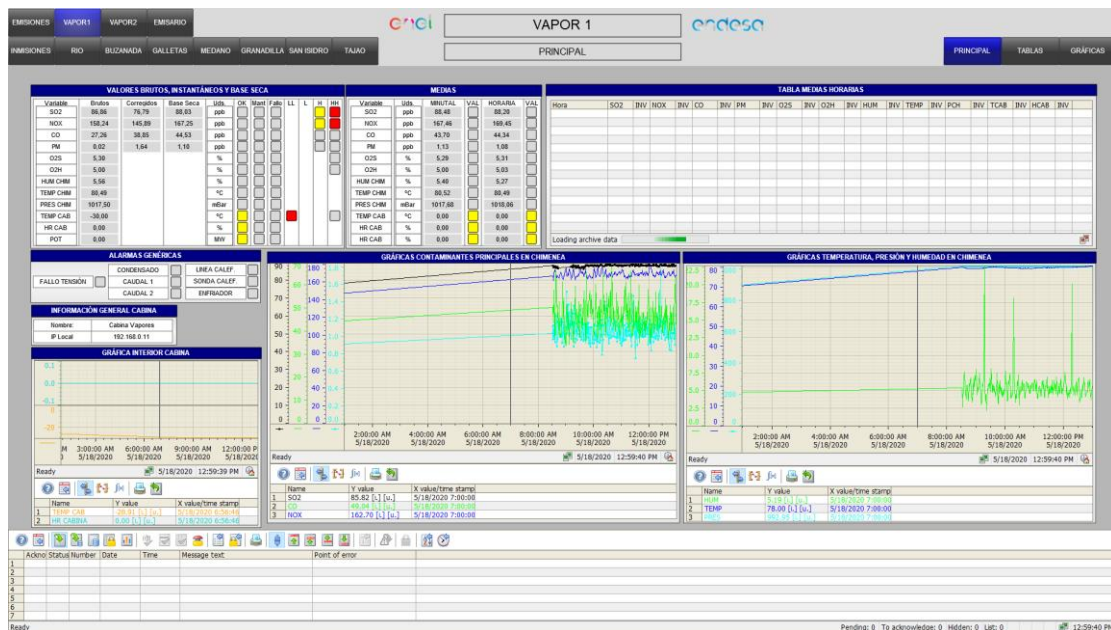


Figura 70 WinCC Runtime. Pantalla Vapor 1 – Principal. Valores reales en funcionamiento.

En la esquina superior derecha se sitúa un pequeño menú que redirige a las pantallas de Tabla de Valores y Gráficas (Figura 71). En el campo de la derecha se muestran todos los valores recogidos a lo largo del tiempo, que se guardan en una base de datos.



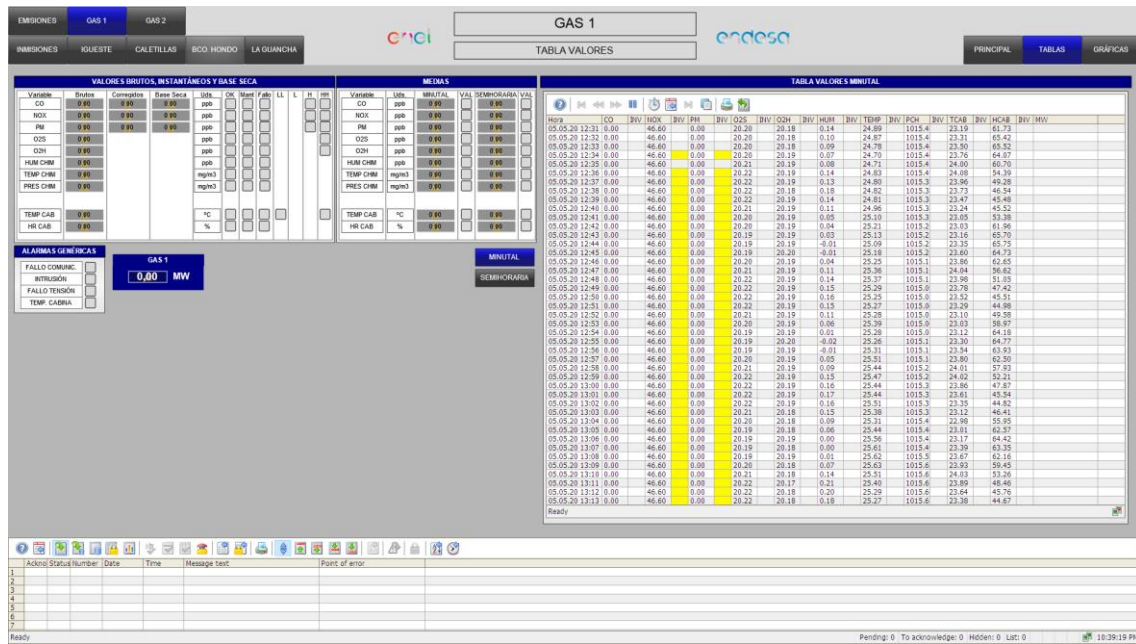


Figura 71 WinCC Runtime. Pantalla Gas 1 - Tablas Valores

La Figura 72 es la pantalla de las gráficas de los valores historizados que permite a los técnicos observar la variación de los contaminantes y otras medidas a lo largo del tiempo. Se representan gráficamente las mediciones en el eje vertical y el tiempo en el eje horizontal.

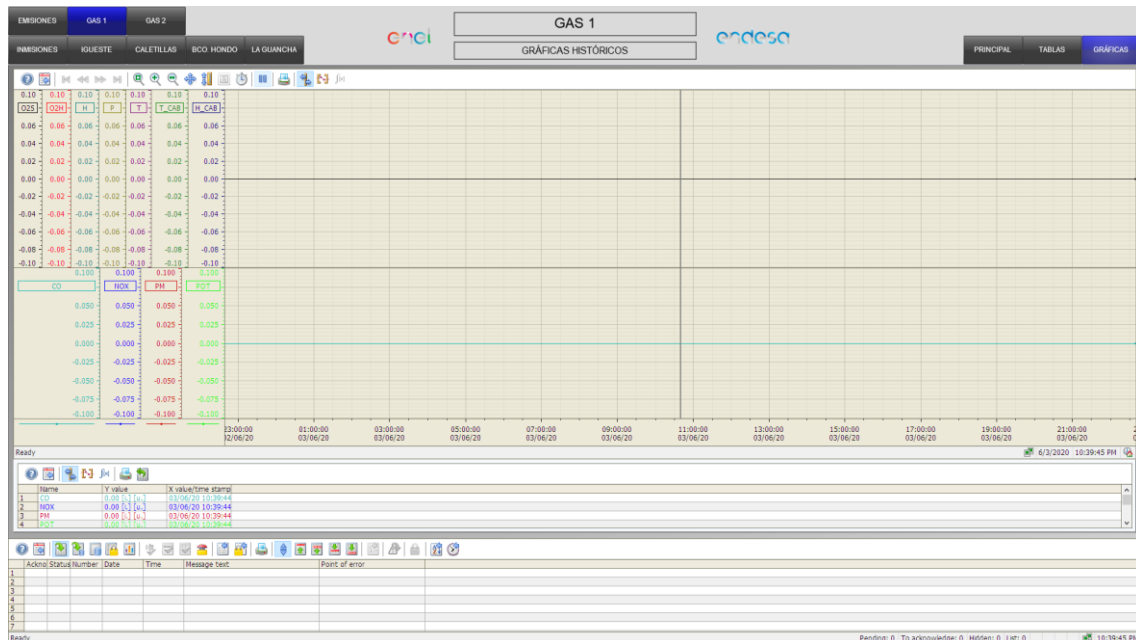


Figura 72 WinCC Runtime. Pantalla Gas 1 - Gráficas Históricas

Las Figuras 73, 74 y 75 son las mismas pantallas explicadas anteriormente, pero en este caso con los valores provenientes de la cabina de Gas 2.

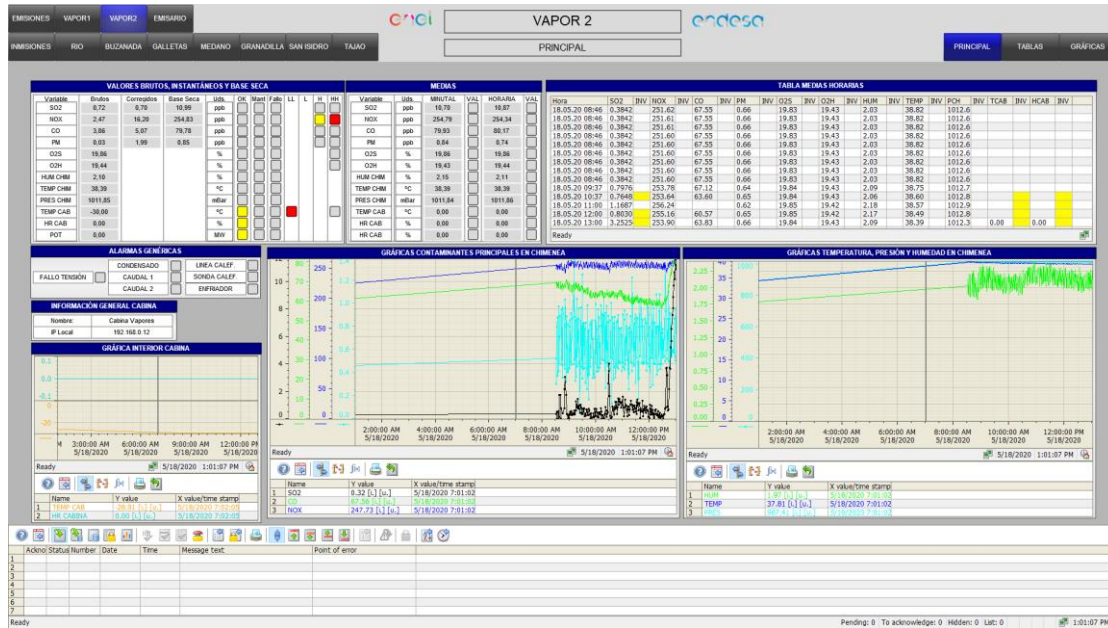


Figura 73 WinCC Runtime. Pantalla Vapor 2 – Principal. Valores reales en funcionamiento.

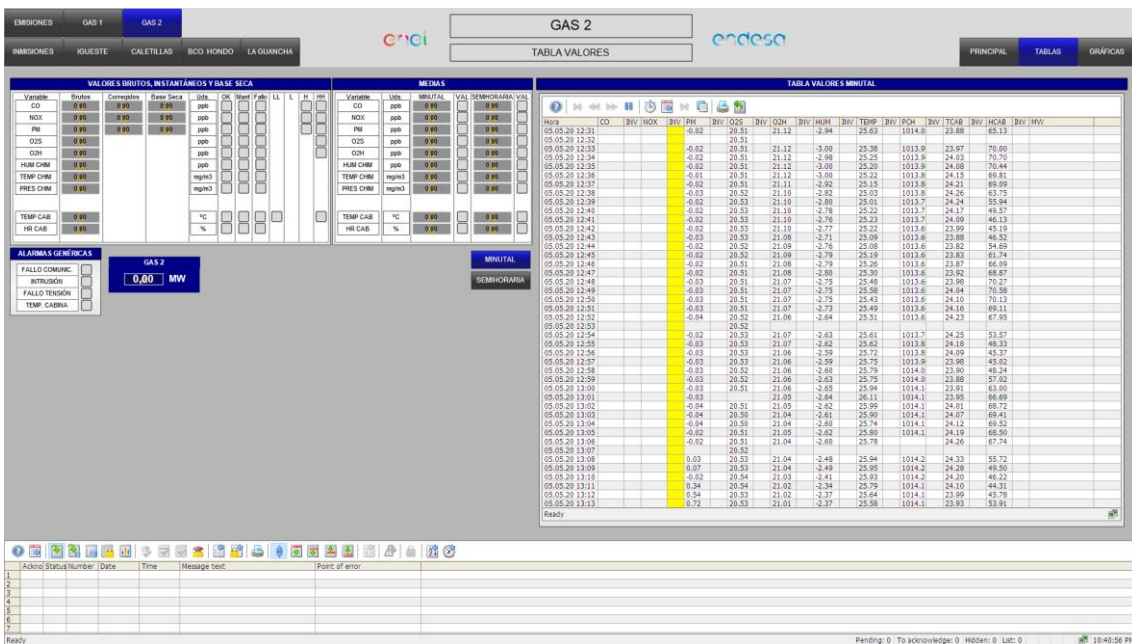


Figura 74 WinCC Runtime. Pantalla Gas 2 – Tabla Valores

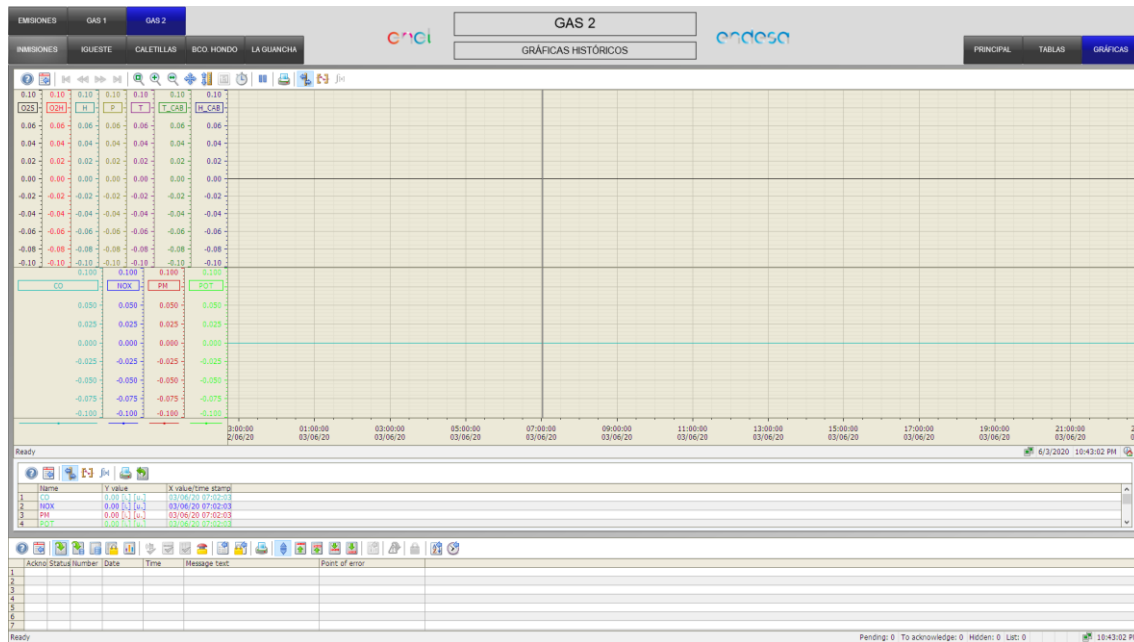


Figura 75 WinCC Runtime. Pantalla Gas 2 – Gráficas Históricas

## 2.10 Puesta en marcha

Durante realización de este TFG, el día 4 de marzo de 2020 pude acceder a la Central Térmica de Candelaria para realizar la puesta en marcha de todo lo programado en el proyecto. Por lo tanto, he tenido la oportunidad de ver toda la Central, y especialmente las zonas más relevantes que competen a este proyecto, que son las Turbinas de Gas 1 y Gas 2, las cabinas, la Sala de Electrónica y la Sala de Control.

El proceso de puesta en marcha ha sido el siguiente (Figura 76):

1. **Carga de la programación en los PLC:** El primer paso ha sido la carga de la programación realizada en los PLC de Gas 1 y Gas 2. En vez de hacerlo directamente en los S7-300 que se encuentra en las cabinas, se ha realizado desde la Sala de Electrónica. Esto es posible gracias a la conexión de fibra óptica procedente de las cabinas, que permite la comunicación directa con los PLC. En este proceso, ha sido necesario reconfigurar la parte hardware que habíamos establecido en la programación, ya que estaba adaptada a un modelo de S7-300 diferente con el que se trabajó en el laboratorio de la empresa Dipicell.

- 2. Instalación del PC Concentrador:** A continuación, hemos instalado el PC Concentrador, con el que se ha trabajado en el laboratorio de la empresa Dipicell, y que contiene el SCADA desarrollado en este TFG con WinCC. Se ha conectado el PC Concentrador al SCALANCE con cable Ethernet, y con un cable VGA se muestran en un monitor las pantallas con todos los valores que se reciben de los PLC.
  
- 3. Comprobación de errores:** En el momento de la puesta en marcha, las Turbinas no se encontraban en funcionamiento. Es por esto que no se pudo comprobar in situ la existencia de errores. Debido al confinamiento ocasionado por la crisis sanitaria, no he podido volver a la central para terminar de realizar las comprobaciones pertinentes. Sin embargo, la empresa Dipicell sí realizó posteriormente la comprobación de errores, y me ha comunicado que los PLC y el SCADA configurados en este proyecto están funcionando correctamente.



*Figura 76 Carga de la programación en los PLC (izquierda). Monitor en la Sala de Electrónica con las pantallas de WinCC (derecha)*



## 2.11 Herramientas adicionales usadas en este TFG

### 2.11.1 AutoCAD

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora, CAD (*Computer Aided Design*), que forma parte de los programas de ingeniería y diseño de **Autodesk**. Este software tiene como objetivo principal, el diseño de planos, y para ello ofrece una extensa librería de recursos como colores, grosor de líneas y texturas utilizables para tramados, entre muchas otras [40].

En este TFG se ha usado AutoCAD (Figura 77) para la realización de todos los planos necesarios en la instalación, que se presentan en el capítulo 4. Planos.

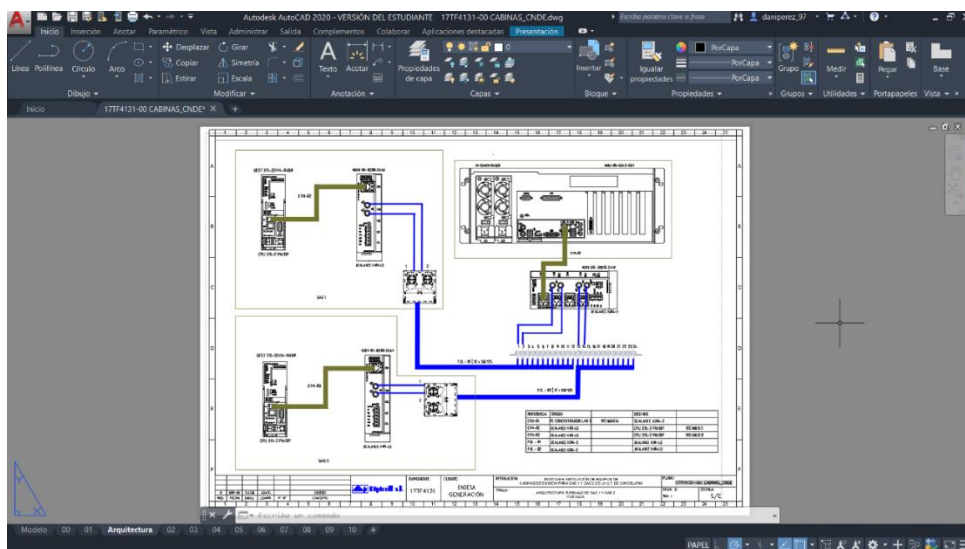


Figura 77 Desarrollo de planos en este TFG con AutoCAD

### 2.11.2 Autodesk Inventor Professional

Autodesk Inventor es el programa para diseño mecánico avanzado en 3D de **Autodesk**, con modelado paramétrico, directo y libre, que tiene una capacidad base para realizar diseño de piezas, sus dibujos y ensambles de partes. En la versión profesional, Inventor ofrece simulación por elementos finitos, sistemas de movimientos, chapa metálica, ruteo de cables, plástico, moldes y administración de datos [41].

En este TFG se ha usado Autodesk Inventor para realizar modelos 3D de la arquitectura de la instalación (Figura 78).

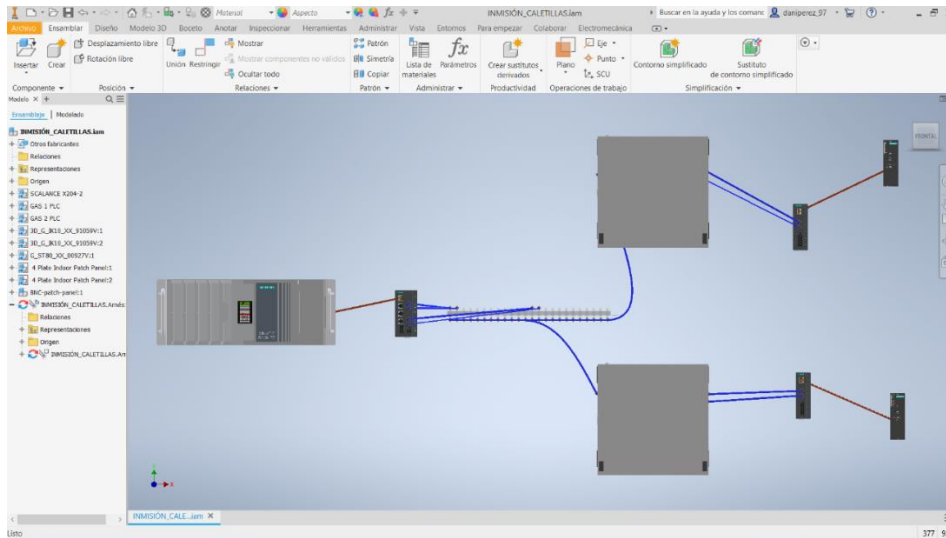


Figura 78 Modelado de la instalación con Inventor

## 2.12 Resultados finales

El resultado final de este Trabajo Final de Grado, desarrollado en colaboración con la empresa Dipicell S.L., ha cumplido las exigencias del grupo ENDESA (ENEL) para la Central Térmica de Candelaria.

Se ha automatizado la medición y el procesado de los contaminantes emitidos por las Turbinas de Gas 1 y Gas 2 de la Central Térmica de Candelaria para su posterior estudio y control por parte de la Consejería de Medio Ambiente. Esto se ha logrado mediante la programación de los autómatas S7-300 existentes en la planta, para la recogida y procesamiento de los diferentes valores registrados por los sensores, y con el diseño de un SCADA, que además de permitir la supervisión de todo el proceso, convive con el Sistema de Control Distribuido ya existente en la Central, dotando de redundancia a la instalación.

## 2.13 Bibliografía

- [1] Endesa. “Declaración Medioambiental 2015 CT Candelaria”. Disponible en: <https://www.endesa.com/content/dam/endesa-com/home/sostenibilidad/medioambiente/documentos/gestionambiental/2015/Declaraci%C3%B3n%20ambiental%202015%20C.T.%20Candelaria.pdf>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [2] Norma UNE 157001. “Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico”. Disponible en: <http://lsi.vc.ehu.es/wdocs/TFGs/norma157001.pdf>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [3] Norma CEN UNE-EN 14181. “Emisiones de fuentes estacionarias. Garantía de calidad de los sistemas automáticos de medida”. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0054750>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [4] Norma UNE-EN 15267-3:2008. “Calidad del aire. Certificación de los sistemas automáticos de medida. Parte 3: Requisitos de funcionamiento y procedimientos de ensayo de los sistemas automáticos de medida para el seguimiento de emisiones de fuentes estacionarias”. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0041416>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [5] Norma CEN UNE-EN ISO 14956. “Calidad del aire. Evaluación de la aptitud de un procedimiento de medida por comparación con una incertidumbre de medida requerida”. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0029082>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [6] Norma UNE\_EN 15259:2008. “Calidad del aire. Emisiones de fuentes estacionarias. Requisitos de las secciones y sitios de medición y para el objetivo, plan e informe de medición”. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0041181>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [7] Multiparamétrico EL3020. Datasheet disponible en: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=BUA4124400EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. Último acceso: 1 mayo 2020

- [8] Unidad de alimentación de muestra: SCC-F. Datasheet disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/abb-measurement-analytics/product-56271-2103147.html>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [9] Monitor de condensación: CGKW. Datasheet disponible en: <https://library.e.abb.com/public/b812d881201ea6b3c1256bed00446cb6/4223362E.pdf> . Último acceso: 1 mayo 2020
- [10] Convertidor de NO<sub>2</sub>/NO: SCC-K. Datasheet disponible en: <https://new.abb.com/products/measurement-products/analytical/continuous-gas-analyzers/continuous-gas-analyzers-sample-handling/scc-k>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [11] Refrigerador de gas: SCC-C. Datasheet disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/abb-measurement-analytics/product-56271-433465.html>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [12] Opacímetro DURAG D-ISC 100. Datasheet disponible en: <https://www.durag.com/products-en/measuring-monitoring-en/accessories-en/d-isc-100-xx2-en/>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [13] Opacímetro DURAG D-R290. Datasheet disponible en: <https://www.durag.com/products-en/measuring-monitoring-en/dust-monitoring-en/d-r-290-2g-en/>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [14] Sensor FUJI ZKM. Datasheet disponible en: [https://www.coulton.com/res/edsx3\\_137b.pdf](https://www.coulton.com/res/edsx3_137b.pdf). Último acceso: 1 mayo 2020
- [15] Sensor/ Sensor de Temperatura y Humedad COMET T3110. Datasheet disponible en: <https://www.cometsystem.com/products/temperature-and-humidity-outdoor-indoor-probe-with-4-20ma-output/reg-t3110>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [16] Sensor de Presión COMET T2114. Datasheet disponible en: <https://www.cometsystem.com/products/barometric-pressure-transmitter-4-20ma-output/reg-t2114>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [17] Sensor de Presión (chimenea) ABB 261AS. Datasheet disponible en: [https://library.e.abb.com/public/64cb4d3707db14f4c1257b0c0055172b/SS\\_261GS\\_AS-EN-05-12\\_2010.pdf](https://library.e.abb.com/public/64cb4d3707db14f4c1257b0c0055172b/SS_261GS_AS-EN-05-12_2010.pdf). Último acceso: 1 mayo 2020



- [18] Sensor de Temperatura (chimenea) SEDEM. Datasheet disponible en: <https://www.sedemsa.com/es/descargas/manuales>. Último acceso: 1 mayo 2020
- [19] Blog de Wika. Disponible en: <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/temperatura/cmo-funciona-termopar/>. Último acceso: 6 de mayo 2020
- [20] PLC S7-300. Manual disponible en: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/149/36305149/att\\_1849/v1/s7300\\_cpu\\_31xc\\_and\\_cpu\\_31x\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/149/36305149/att_1849/v1/s7300_cpu_31xc_and_cpu_31x_manual_es-ES_es-ES.pdf). Último acceso: 2 mayo 2020
- [21] Balcells, J., Romeral, J. L. Autómatas Programables. Barcelona, Ed. Marcombo, 1997
- [22] Siemens. Manual “SIMATIC STEP 7 Introducción y ejercicios prácticos”. Disponible en: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/551/45531551/att\\_56646/v1/S7gs\\_d.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/551/45531551/att_56646/v1/S7gs_d.pdf). Último acceso: 2 mayo 2020
- [23] I. Gútiez. “Step 7...AWL, FUP o KOP...”. Disponible en: <https://programacionsiemens.com/step-7-awl-fup-kop-cual-elijo/>. Último acceso: 2 mayo 2020
- [24] E. González. Programación De Autómatas SIMATIC S7-300: Lenguaje AWL. S.L. Ediciones CEYSA. Cano Pina, 2012. Disponible en: <https://elibro-net.accedys2.bbtk.uil.es/es/ereader/bull/43097>. Último acceso: 2 mayo 2020
- [25] Fuente de alimentación Phoenix Contact - QUINT-PS/1AC/24DC/ 5 – 2866750. Datasheet disponible en: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2866750&library=eses&tab=1>. Último acceso: 2 mayo 2020
- [26] Tarjeta de entradas digitales SIEMENS. Datasheet disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6ES7321-1BL00-0AA0>. Último acceso: 2 mayo 2020
- [27] Tarjeta de entradas analógicas SIEMENS. Datasheet disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7331-7KF02-0AB0>. Último acceso: 2 mayo 2020

- [28] Tarjeta de salidas analógicas SIEMENS. Datasheet disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7332-5HF00-0AB0>. Último acceso: 2 mayo 2020
- [29] CP 343-1 Módulo Ethernet SIEMENS. Datasheet disponible en: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/272/24485272/att\\_92115/v1/GH\\_CP\\_343-1-EX30\\_78.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/272/24485272/att_92115/v1/GH_CP_343-1-EX30_78.pdf). Último acceso: 2 mayo 2020
- [30] Procesador de comunicaciones CP 341. Datasheet disponible en: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/397/1117397/att\\_22934/v1/s7300\\_cp\\_341\\_manual\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/397/1117397/att_22934/v1/s7300_cp_341_manual_es-ES.pdf). Último acceso: 2 mayo 2020
- [31] Scalance X101-LD Media Converter. Datasheet disponible en: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/594/22446594/att\\_887804/v1/BA\\_S\\_CALANCE-X100-MC\\_76.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/594/22446594/att_887804/v1/BA_S_CALANCE-X100-MC_76.pdf). Último acceso: 2 mayo 2020
- [32] Código de colores de fibra óptica. Disponible en: <http://marismas-emtt.blogspot.com/2010/06/codigo-de-colores-en-fibras-opticas.html>. Último acceso: 6 de mayo 2020
- [33] Convertidor de fibra óptica. Datasheet disponible en: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2708371&library=eses&tab=1>. Último acceso: 2 mayo 2020
- [34] PC industrial SIMATIC IPC547G. Datasheet disponible en: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/090/109738090/att\\_903090/v1/ipc547g\\_operating\\_instructions\\_esES\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/090/109738090/att_903090/v1/ipc547g_operating_instructions_esES_es-ES.pdf). Último acceso: 5 de mayo 2020
- [35] Industrial Ethernet Switches SCALANCE X-200. Datasheet disponible en: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/962/102051962/att\\_979087/v1/BA\\_S\\_CALANCE-X-200\\_78.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/962/102051962/att_979087/v1/BA_S_CALANCE-X-200_78.pdf). Último acceso: 5 de mayo 2020
- [36] Centro de formación técnica para la industria. Aula 21. “Qué es un Sistema de Control Distribuido”. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-de-control-distribuido/>. Último acceso: 6 de mayo 2020
- [37] Programación Siemens. “Introducción a la programación en Step 7”. Disponible en: <https://programacionsiemens.com/1-introduccion-la-programacion-en-step-7/>. Último acceso: 6 de mayo 2020

[38] A. Espert. "SCADA. ¿Qué es y qué permite hacer?". Disponible en: <https://www.sothis.tech/scada-que-es-y-que-permite-hacer/>. Último acceso: 6 de mayo 2020

[39] Material educativo del Dpt. Ing. Electrónica, ETSE, Universidad de Valencia. "Entornos SCADA. Introducción a WinCC". Disponible en: <https://www.uv.es/rosado/courses/CINS/IntroWinCC.pdf>. Último acceso: 10 de mayo 2020

[40] Tecnología + Informática. "¿Qué es Autocad? ¿Para qué sirve?". Disponible en: <https://www.tecnologia-informatica.com/que-es-autocad-para-que-sirve/>. Último acceso: 10 de mayo 2020

[41] 3D CAD Portal. "Autodesk Inventor un sistema de diseño mecánico inteligente con modelado 3D". Disponible en: <http://www.3dcadportal.com/autodesk-inventor-un-sistema-de-diseno-mecanico-inteligente-con-modelado-3d.html>. Último acceso: 10 de mayo 2020





**Universidad  
de La Laguna**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

---

**Automatización Emisiones de los Gases 1 y 2 de  
la Central Térmica de Candelaria**

Trabajo Fin de Grado

**3. ANEXOS**

Autor: Daniel Pérez Gutiérrez

Tutora académica: Silvia Alayón Miranda

Tutor externo: Juan David González Pacheco

Junio 2020



**ÍNDICE**

3.	ANEXOS .....	85
3.1	Anexo I Plan de calibración / verificación instrumentos medio ambiente emisión TG1 y TG2.....	89
3.2	Anexo II Funciones de calibración y rango de calibración implementadas para los focos de la C.T de Candelaria.....	93






### **3.1 Anexo I**

Plan de calibración / verificación instrumentos medio ambiente emisión  
TG1 y TG2



			<b>PLAN CALIBRACIÓN / VERIFICACIÓN INSTRUMENTOS MEDIO AMBIENTE EMISIÓN TG1 Y TG2</b>									N°: Fecha: 04 / 02 / 2019	
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	CODIGO Y LOCALIZACIÓN	MARCA Y MODELO	N° DE SERIE	N° IDENTIFICACIÓN	RANGO DE MEDIDA INSTALADO	EXACTITUD INCERTIDUMBRE	FRECUENCIA	INSTRUCCIÓN TÉCNICA	CALIBRACION EXTERNA (ENTIDAD)	NGC1	NGC3	RESPONSABLE EQUIPO	ESTADO DEL EQUIPO
NÓx TG1		ABB EL3020	3.371485.7	12000000000 191165	0-240mg/h3		QUINCENAL	PEM-15	NO	SI	SI	MTO INSTRUM	EN SERVICIO
CO TG1		ABB EL3020	3.371485.7	12000000000 191165	0-150mg/h3		QUINCENAL	PEM-15	NO	SI	SI	MTO INSTRUM	EN SERVICIO
OXÍGENO TG1		ABB EL3020	3.371485.7	12000000000 191165	0-25%		QUINCENAL	PEM-15	NO	SI	SI	MTO INSTRUM	EN SERVICIO
OPACÍMETRO TG1		DURAG D-R 250	1262747	12000000000 191167	4-20mA 0-1 O.D.		QUINCENAL	PEM-14	NO	SI	SI	MTO INSTRUM	EN SERVICIO
NÓx TG2		ABB EL3020	3.371487.7	12000000000 191166	0-240mg/h3		QUINCENAL	PEM-15	NO	SI	SI	MTO INSTRUM	EN SERVICIO
CO TG2		ABB EL3020	3.371487.7	12000000000 191166	0-150mg/h3		QUINCENAL	PEM-15	NO	SI	SI	MTO INSTRUM	EN SERVICIO
OXÍGENO TG2		ABB EL3020	3.371487.7	12000000000 191166	0-25%		QUINCENAL	PEM-15	NO	SI	SI	MTO INSTRUM	EN SERVICIO
OPACÍMETRO TG2		DURAG D-R 250	1203461	12000000000 191168	4-20mA 0-1 O.D.		QUINCENAL	PEM-14	NO	SI	SI	MTO INSTRUM	EN SERVICIO
ELABORADO:					V°B° MANTENIMIENTO					V°B° OPERACIÓN			



## **3.2 Anexo II**

Funciones de calibración y rango de calibración implementadas para los focos de la C.T de Candelaria





C.T. CANDELARIA  
C/ Garoé, nº 1, Las Caletillas  
38530 Candelaria  
Santa Cruz de Tenerife  
Tfno: 922 50 13 50  
Fax: 922 50 09 54



**FUNCIONES DE CALIBRACIÓN Y RANGO DE CALIBRACIÓN IMPLEMENTADAS PARA LOS FOCOS DE LA C.T. DE CANDELARIA 2019**

PARÁMETRO	FOCO D V5 Y V6			GAS 1			GAS 2		
	FUNCIÓN		RANGO VÁLIDO	FUNCIÓN		RANGO VÁLIDO	FUNCIÓN		RANGO VÁLIDO
	m	b		m	b		m	b	
CO (mg/m <sup>3</sup> )				1,061	4,685	0 - 35,43	0,9952	5,018	0 - 56,5
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	0,9933	0	0 - 1325,33						
NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	0,9826	-3,3806	0 - 584,65	0,93	10,54	0 - 137,8	1,009	1,9694	0 - 108,1
PARTÍCULAS (mg/m <sup>3</sup> )	117,26	-1,05	0 - 18	2,7670	0	0 - 4	3,0372	0,6299	0 - 4,06
OXÍGENO HÚMEDO (%)									
OXÍGENO SECO (%)									
TEMPERATURA									
PRESIÓN									

$$y = mx + b$$

**Trazabilidad y registro histórico de cambios**

- 02/10/2017: Se recibe informe de NGC2 para Vapor 5 y 6 y son implementadas las nuevas rectas en MEDAS.
- 22/03/2018: Es recibido el borrador de la NGC2 para Gas 1 y Gas 2, siendo implementadas en MEDAS y DCS
- 22-10-2018: Se recibe el "Adelanto NGC2 PARTICULAS GV5-6" y es implementada la nueva recta en MEDAS
- 08-07-2019: Se recibe el "Adelanto NGC2 NOX TG1" y es implementada la nueva recta en MEDAS
- 22-08-2019: Se modifica rango válido de NOX TG1 por informe final NGC2
- 22-10-2019: Se implementa nueva recta en MEDAS y rango válido de partículas de TG1







**Universidad  
de La Laguna**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

---

**Automatización Emisiones de los Gases 1 y 2 de  
la Central Térmica de Candelaria**

Trabajo Fin de Grado

**4. PLANOS**

Autor: Daniel Pérez Gutiérrez

Tutora académica: Silvia Alayón Miranda

Tutor externo: Juan David González Pacheco

Junio 2020



## ÍNDICE

4.	PLANOS.....	97
4.1	Plano I Armario, PLC, Cabinas y Arquitectura.....	101
4.2	Plano II Esquema Unifilar.....	109

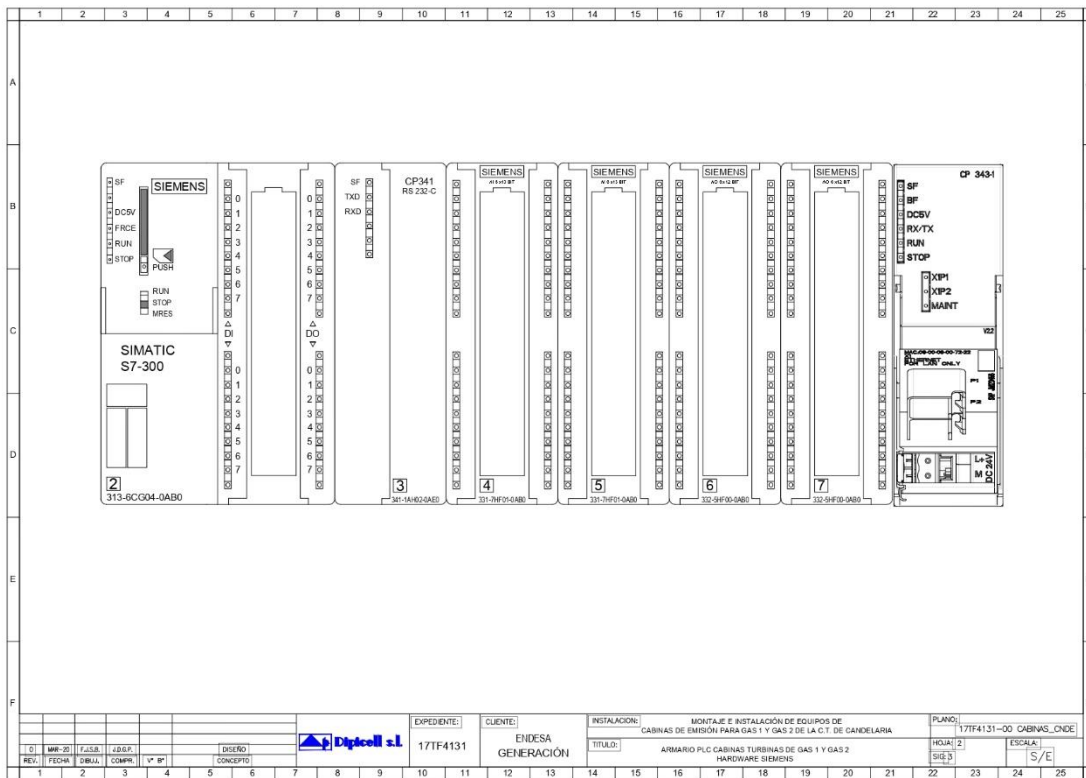
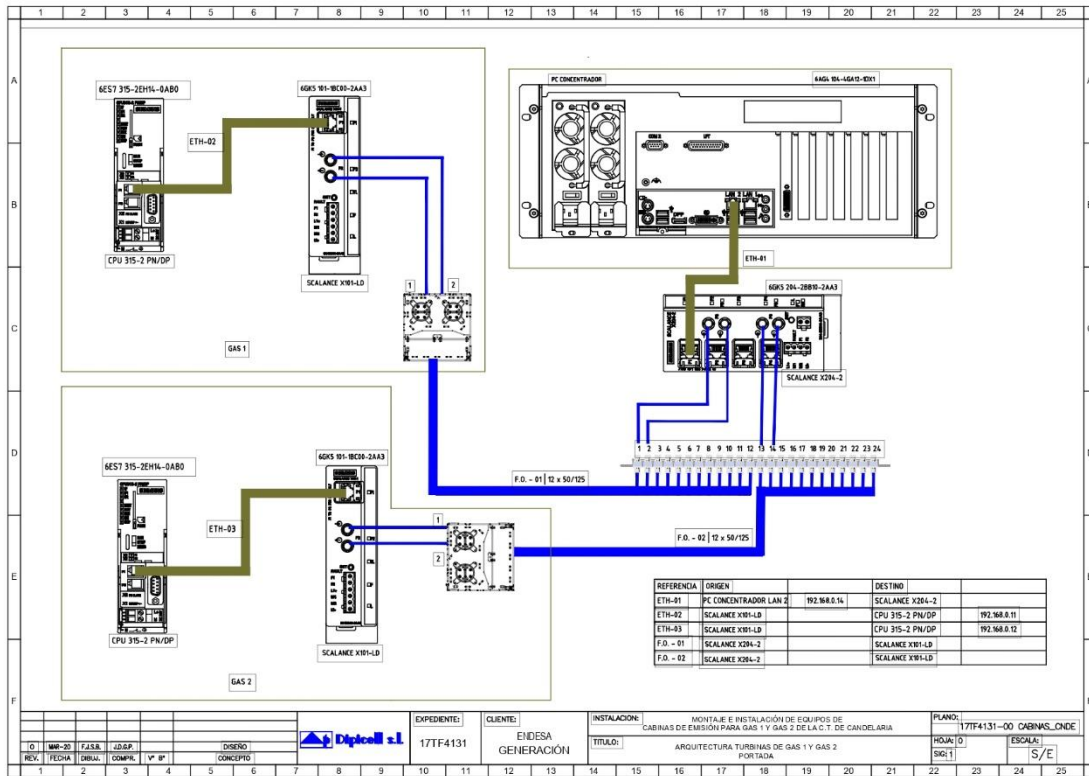


## **4.1 Plano I**

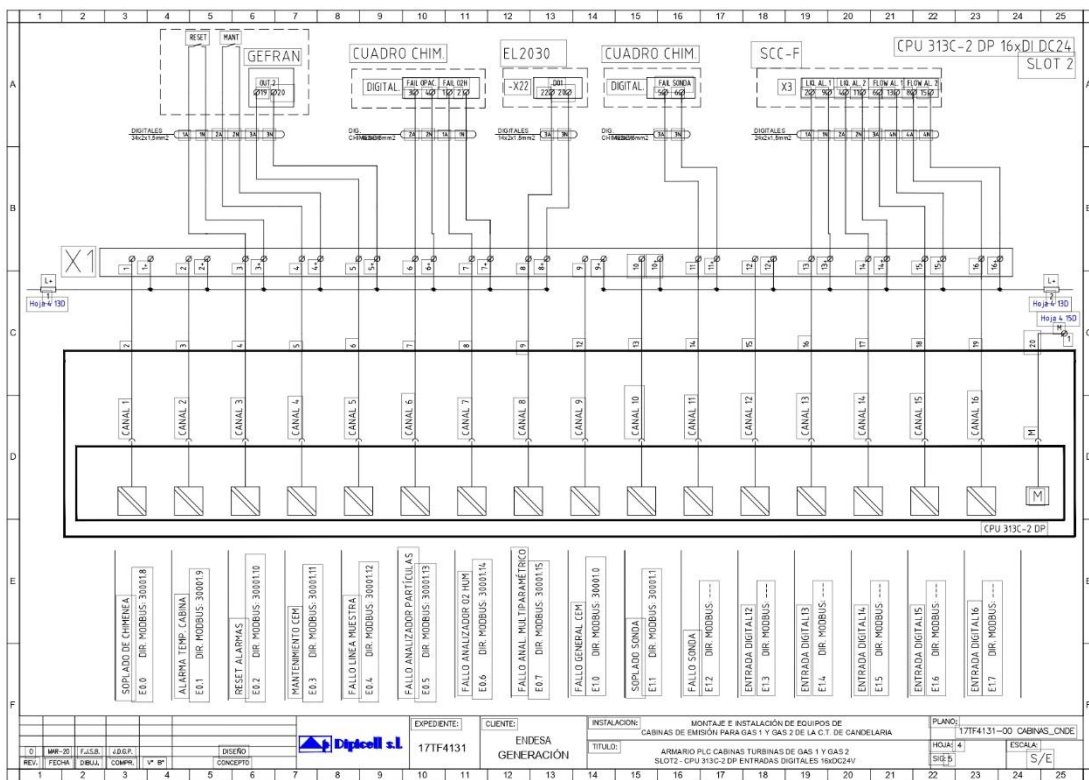
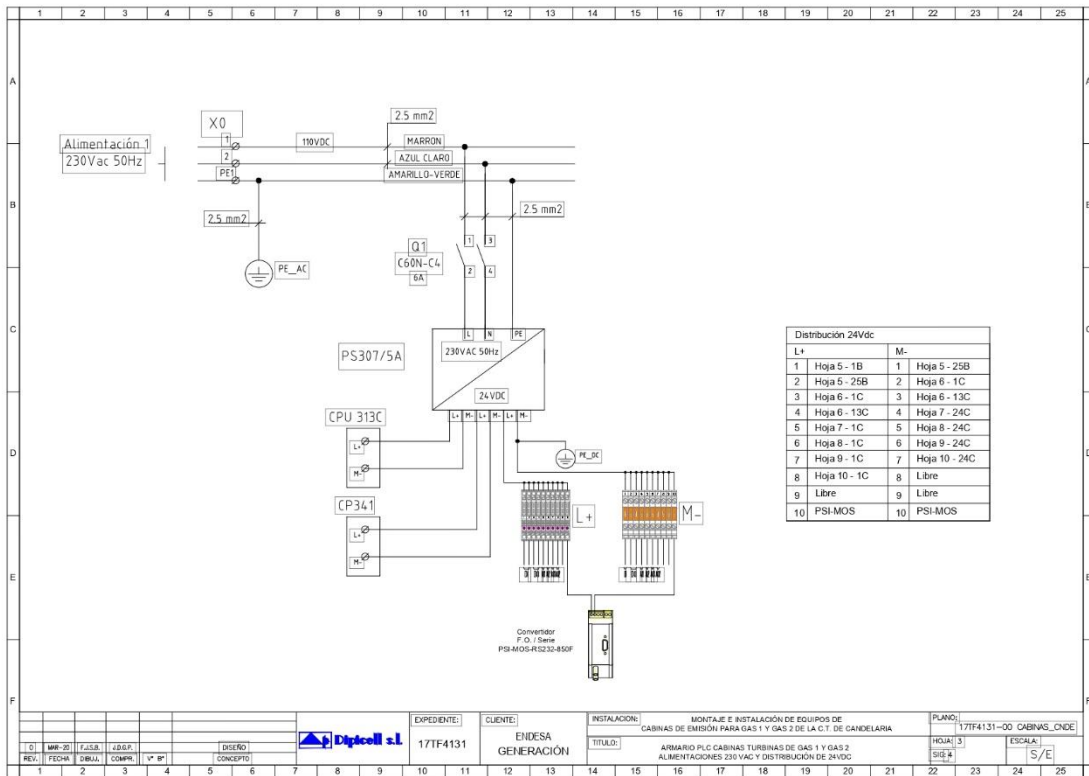
Armario, PLC, Cabinas y Arquitectura

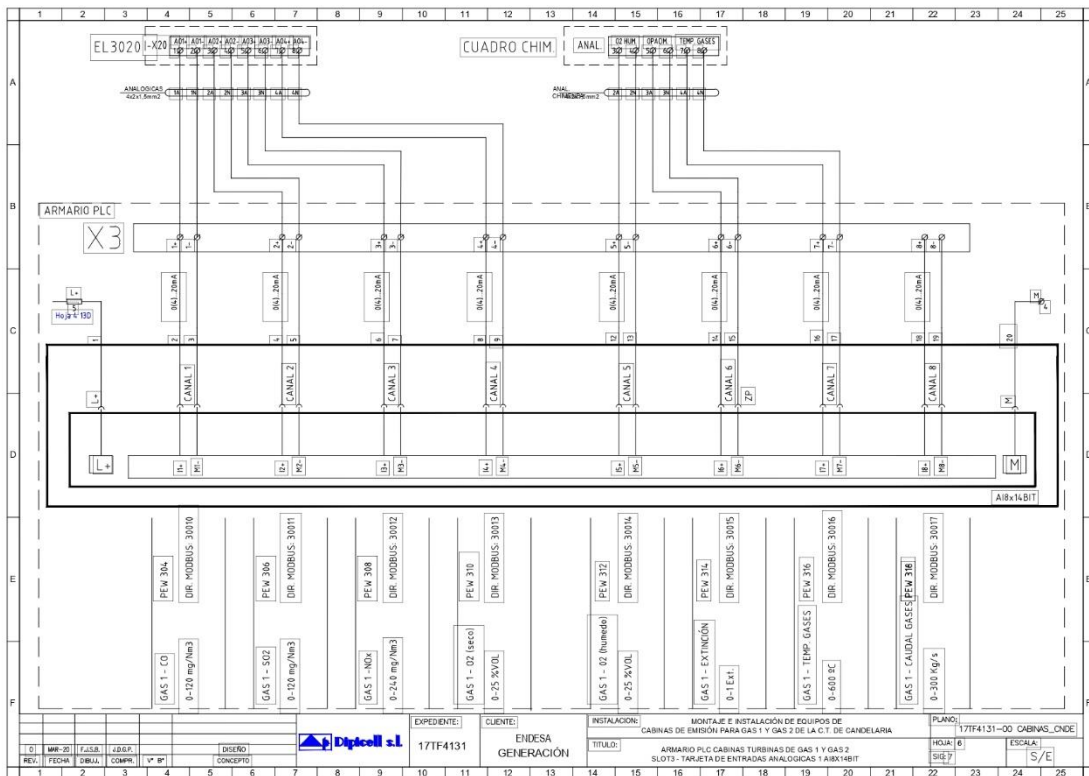
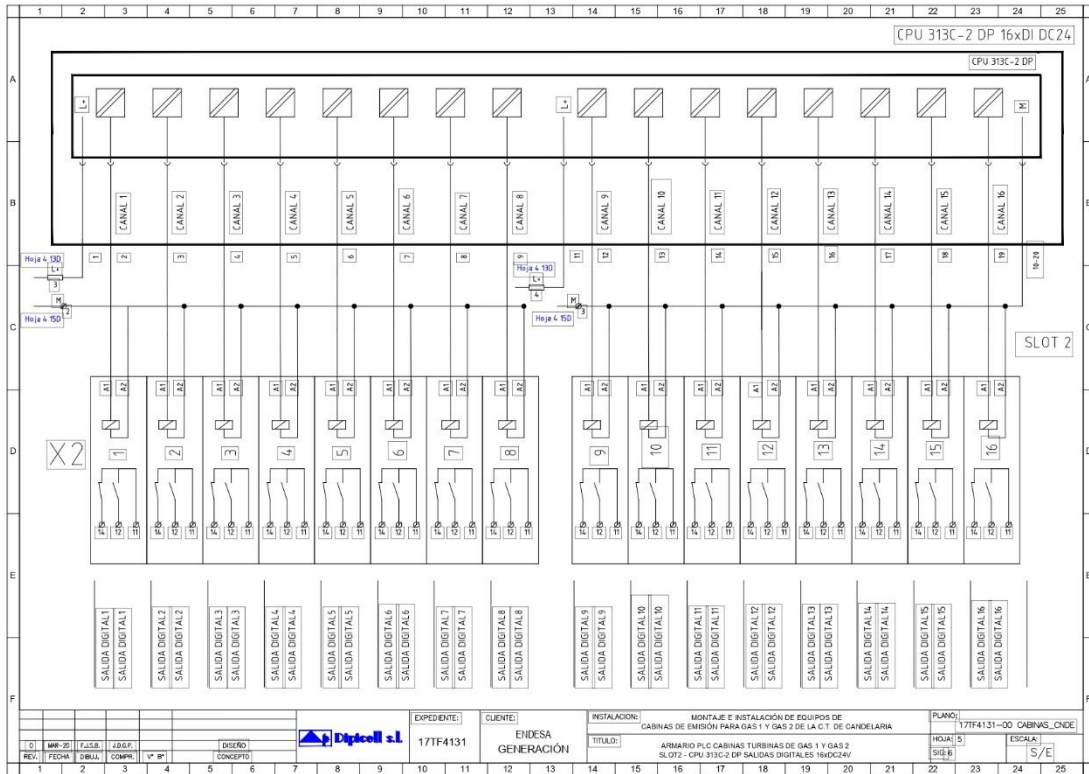


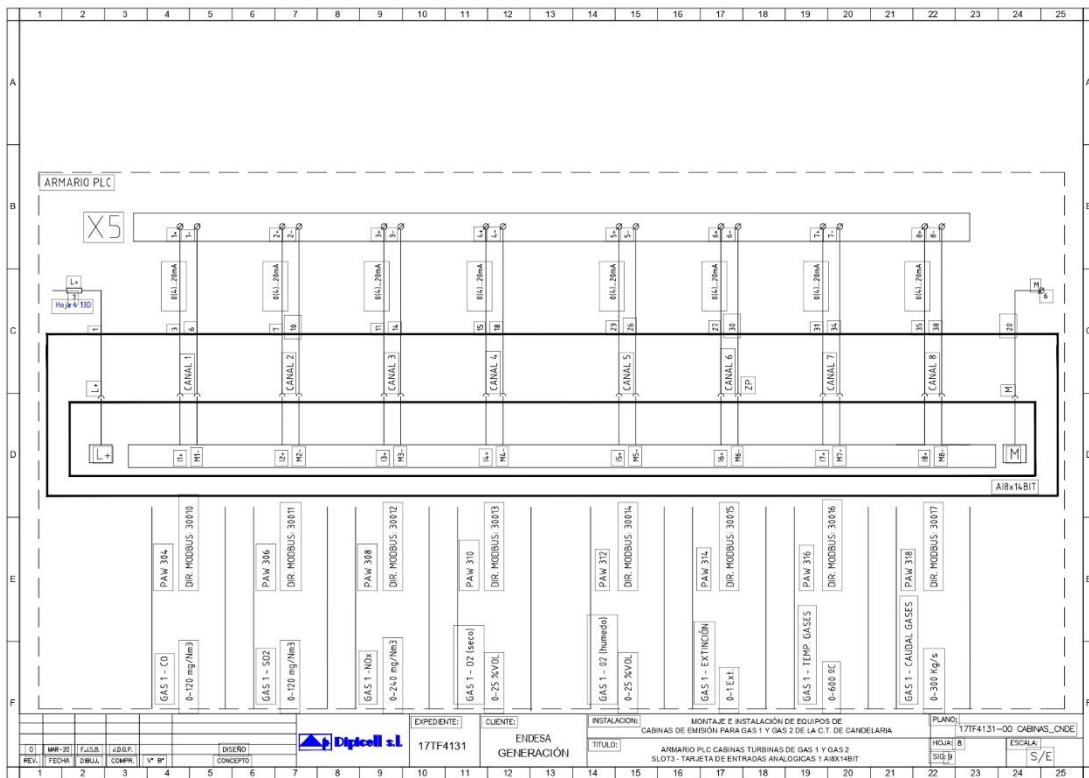
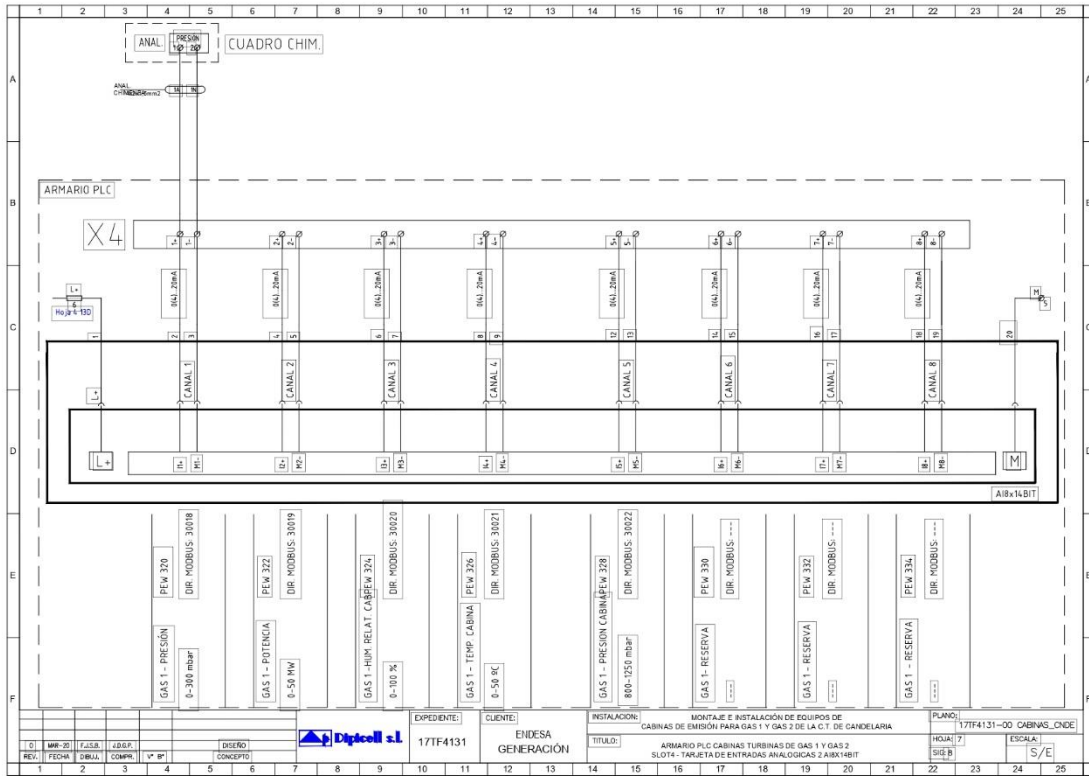


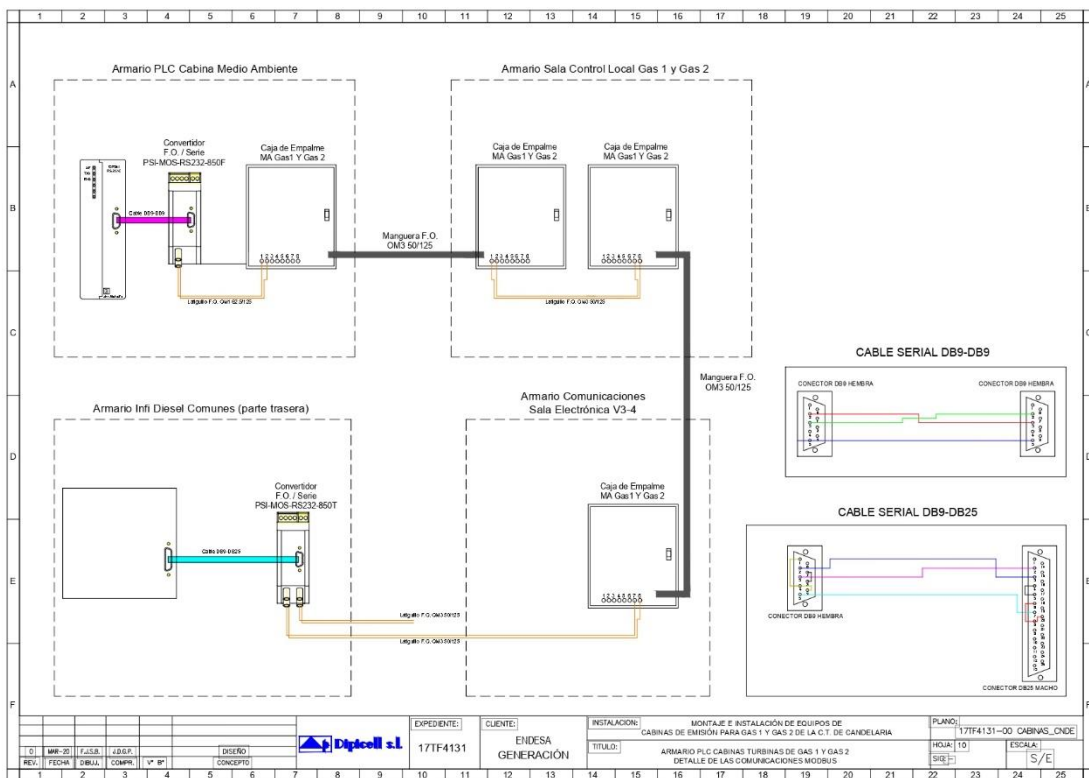
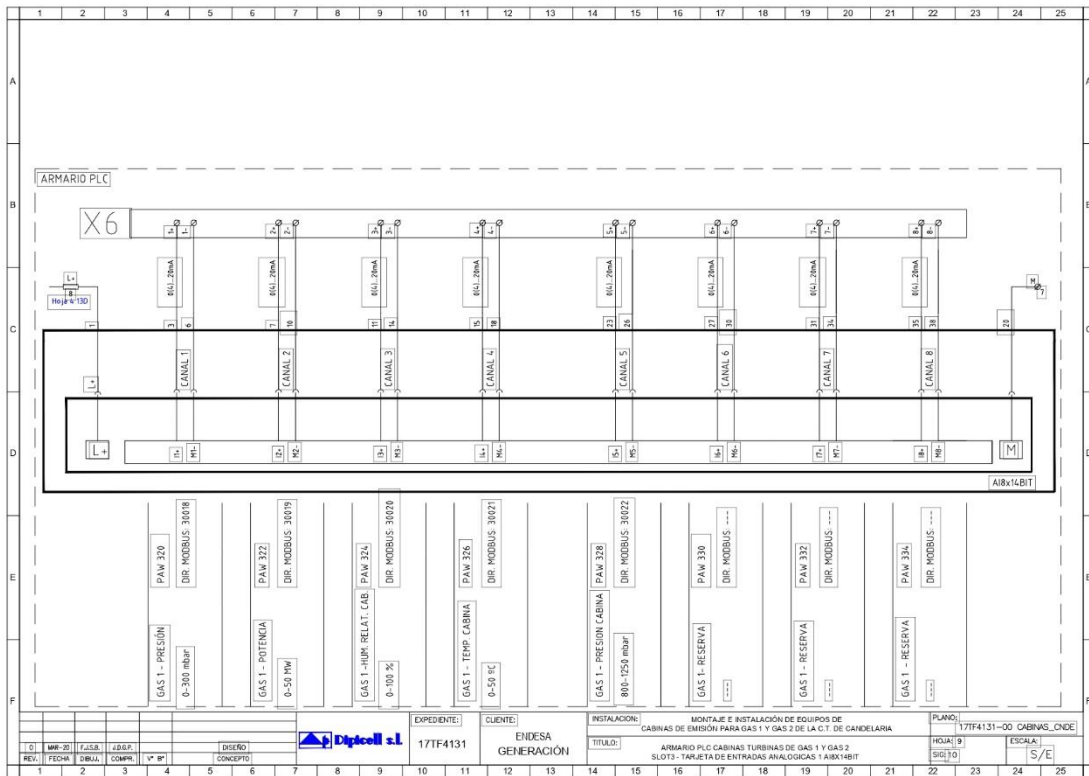














## **4.2 Plano II**

Esquema Unifilar



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
A																								A		
B	<h1>CABINAS GAS 1 &amp; GAS 2 MEDIO AMBIENTE</h1>																							B		
C	<h2>C.T. CANDELARIA - TENERIFE</h2>																							C		
D																								D		
E																								E		
F																								F		
									EXPEDIENTE:	CLIENTE:	INSTALACION:	MONTAJE E INSTALACION DE EQUIPOS DE CABINAS DE EMISION PARA GAS 1 Y GAS 2 DE LA C.T. DE CANDELARIA					PLANO:	17TF4131-02 Esquemas Uni								
									17TF4131	ENDESA GENERACION	TITULO:	PORTADA					HOJA:	1	ESCALA:	S/E						
REV.:	FECHA:	DEJ.	CONPR.	V. IP:	CONCEPTO:																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
A	<h3>INDICE</h3>																							A		
B																								B		
	SL.NO.	DESCRIPCION	REV. NO.	REV DESCRIPC	FECHA																					
	1	PORTADA	0	DISEÑO	MAR. 20																					
	2	INDICE	0	DISEÑO	MAR. 20																					
	3	ESQUEMA UNIFILARES	0	DISEÑO	MAR. 20																					
C																								C		
D																								D		
E																								E		
F																								F		
									EXPEDIENTE:	CLIENTE:	INSTALACION:	MONTAJE E INSTALACION DE EQUIPOS DE CABINAS DE EMISION PARA GAS 1 Y GAS 2 DE LA C.T. DE CANDELARIA					PLANO:	17TF4131-02 Esquemas Uni								
									17TF4131	ENDESA GENERACION	TITULO:	INDICE					HOJA:	1	ESCALA:	S/E						
REV.:	FECHA:	DEJ.	CONPR.	V. IP:	CONCEPTO:																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		







**Universidad  
de La Laguna**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

---

**Automatización Emisiones de los Gases 1 y 2 de  
la Central Térmica de Candelaria**

Trabajo Fin de Grado

**5. MEDICIONES**

Autor: Daniel Pérez Gutiérrez

Tutora académica: Silvia Alayón Miranda

Tutor externo: Juan David González Pacheco

Junio 2020



**ÍNDICE**

5. MEDICIONES .....	113
5.1 Escalado de todas las señales analógicas.....	117
5.2 Corrección lineal de las mediciones de NOX, CO y Partículas .....	118
5.3 Cálculo de base seca para las medidas de NOX, CO y Partículas ...	118
5.4 Cálculo de la humedad relativa .....	119



## 5.1 Escalado de todas las señales analógicas

El primer paso es el escalado de las señales provenientes de los sensores. Para ello, es necesario relacionar proporcionalmente el rango de voltaje o corriente de estas señales (4 - 20 mA en la mayoría de los casos) con el rango de medida de cada sensor. Esto se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

Por ejemplo, el Sensor de Temperatura y Humedad COMET T3110 [6] presenta las siguientes características:

- Salida de 4 mA a 20 mA
- Rango de medida de -30 °C a +80 °C

Teniendo esto en cuenta, se genera la siguiente ecuación de escalado:

$$y = \frac{55(x - 4)}{8} - 30$$

En el caso de que el sensor enviara una señal de  $x = 10$  mA, significaría que la temperatura es de  $y = 11,25$  °C (Figura 1).

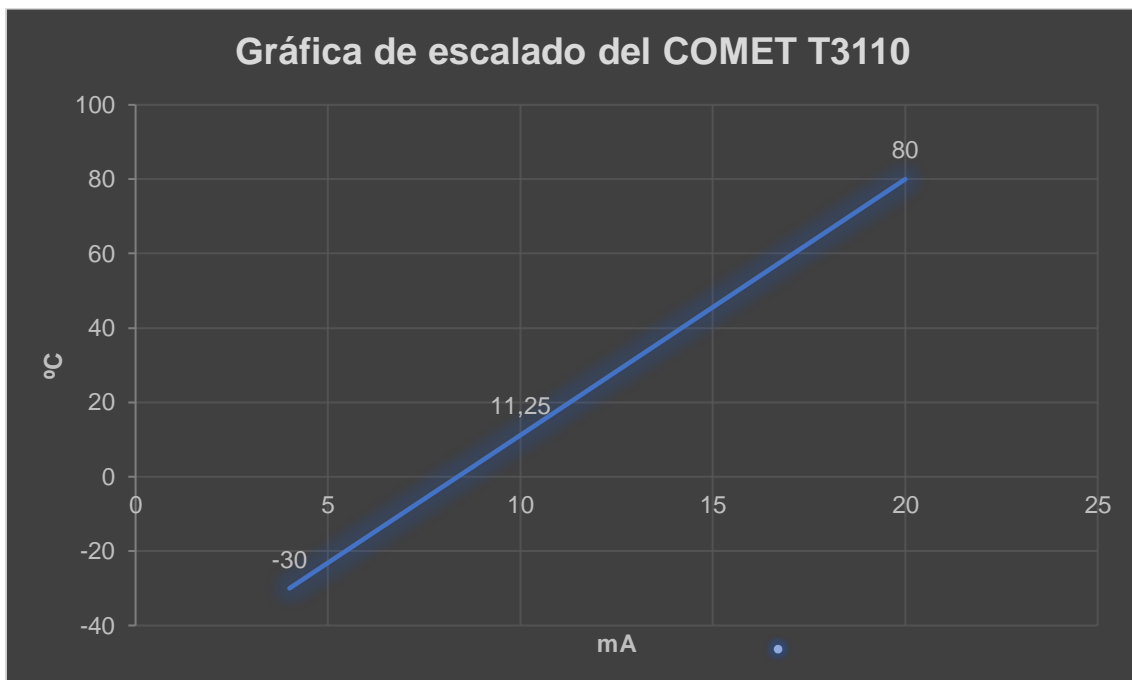


Figura 1 Gráfica de escalado del sensor de temperatura y humedad COMET T3110

## 5.2 Corrección lineal de las mediciones de NOX, CO y Partículas

A los valores escalados de las señales analógicas, se les aplica una corrección haciendo uso de las funciones de calibración y rango de calibración para Gas 1 y Gas 2 dados por la Central, que se muestran en el [Anexo II](#) como m y b. Esta función será la de una recta:

$$y = Ax + B$$

Sustituyendo, la ecuación quedará de la siguiente manera:

$$\text{Valor Corregido} = \text{Señal Escalada} \times A + B$$

siendo A la pendiente de la recta y B el término independiente. Estos valores, que son diferentes para Gas 1 y Gas 2, los obtiene la Central mediante la toma de muestras en las Turbinas.

## 5.3 Cálculo de base seca para las medidas de NOX, CO y Partículas

Después de haber corregido linealmente los valores de NOX, CO y Partículas, es necesario realizar los cálculos de base seca de estos contaminantes.

Este cálculo se realiza con el objetivo de obtener las medidas reales de los contaminantes, teniendo en cuenta la presencia del oxígeno (O<sub>2</sub>) seco. Es parte del proceso inyectar oxígeno en las chimeneas, y esto produce que el nivel de contaminantes baje. Por lo tanto, es necesario incluir este factor para el cálculo real de las variables que miden contaminantes.

En primer lugar, es necesario calcular los factores de corrección de base seca. En el caso de las variables NOX y CO, se aplica el siguiente criterio:

Siempre que:  $O_2 \text{ seco} > 20$

$$\text{Corrección Base Seca} = \frac{5,9}{20,9 - O_2 \text{ seco}}$$

En el caso de que no se cumpla la condición,  $\text{Corrección Base Seca} = 0$ .

Para la variable Partículas, el factor de corrección de base seca se calcula de otra manera:

$$\begin{aligned} & \text{Corrección Base Seca Partículas} = \\ & = \frac{100}{100 - \left(100 - \frac{100 \times O2 \text{ húmedo}}{O2 \text{ seco}}\right)} \times \frac{1013}{Pg} \times \frac{273,15 + Tg}{273,15} \times \frac{5,9}{20,9 - O2 \text{ seco}} \times Part \end{aligned}$$

donde Pg = Presión del Gas, Tg = Temperatura del Gas y Part = Partículas.

Una vez obtenidos los factores de corrección de base seca, se aplican sobre cada variable tal y como indica la siguiente ecuación:

$$(NOX) \text{ Base Seca} = NOX \text{ corregido linealmente} \times \text{Corrección Base Seca}$$

## 5.4 Cálculo de la humedad relativa

Se realizará también un cálculo para obtener la Humedad Relativa mediante el O2 húmedo y el O2 seco. La fórmula aplicada es la siguiente:

$$\text{Humedad Relativa} = 100 - \left(\frac{100 \times O2 \text{ húmedo}}{O2 \text{ seco}}\right)$$







**Universidad  
de La Laguna**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

---

**Automatización Emisiones de los Gases 1 y 2 de  
la Central Térmica de Candelaria**

Trabajo Fin de Grado

**6. PRESUPUESTO**

Autor: Daniel Pérez Gutiérrez

Tutora académica: Silvia Alayón Miranda

Tutor externo: Juan David González Pacheco

Junio 2020



## 6.1 Presupuesto

El presupuesto del presente TFG se ha dividido en dos partes: la primera recoge el coste del equipamiento necesario (Tabla 1), y la segunda el coste de la mano de obra (Tabla 2). En la Tabla 3 se muestra el presupuesto final.

PRESUPUESTO EQUIPAMIENTO					
Equipo	Descripción	Referencia	Precio Unitario (€)	Cantidad	Importe (€)
CPU 313C-2DP	Autómata S7-300 (Siemens)	6ES7313-6CG04-0AB0	1.148,00	2	2.296,00
SIMATIC IPC547G	PC Concentrador (Siemens)	6AG4104-4GA12-1DX1	6.249,00	1	6.249,00
DIxDC24V	Módulo de entradas digitales (Siemens)	6ES7 321-1BL00-0AA0	313,00	2	626,00
AI8x14BIT	Módulo de entradas analógicas (Siemens)	6ES7 331-7HF00-0AA0	894,00	4	3.576,00
AO8x12BIT	Módulo de salidas analógicas (Siemens)	6ES7 332-5HF00-0AA0	1.270,00	4	5.080,00
Manguera de F.O. OM1 6,5/125 4 pares	Cable de fibra óptica		5,00	100	500,00
Caja de empalme de 8 conexiones			50,00	2	100,00
Pigtail Multimodo 62,5/125 ST			23,32	16	373,12
Protectores de Empalme			1,60	16	25,60
Cassetes para protectores de Empalme			60,80	16	972,80
Latiguillos ST/ST			16,50	3	49,50
Licencia Step7 V5.5	Licencia para programación de los S7-300 (Siemens)	6ES7810-4CC10-0YA5	1.641,92	2	3.283,84
Licencia WinCC V7.4	Licencia para programación del SCADA (Siemens)	6AV6371-1DQ17-4AX0	2.503,18	1	2.503,18
<b>Total Equipamiento:</b>					<b>25.635,04</b>

Tabla 1. Presupuesto: equipamiento

PRESUPUESTO MANO DE OBRA		
Número de horas	Coste por hora (€)	Total (€)
270	30,00	8.100,00

Tabla 2. Presupuesto: mano de obra

<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	
Descripción	Importe (€)
Equipamiento	25.635,04
Mano de obra	8.100,00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>33.735,04</b>
13% Gastos generales	4.385,56
6% Beneficio industrial	2.024,11
<b>SUBTOTAL</b>	<b>40.144,71</b>
7% IGIC	2.810,13
<b>TOTAL</b>	<b>42.954,84</b>

Tabla 3. Presupuesto total

Asciende el presupuesto del presente proyecto a la expresada cantidad de CUARENTA Y DOS MIL NOVECIENTOS CINCUENTA Y CUATRO EUROS con OCHENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.



**Universidad  
de La Laguna**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

---

**Automatización Emisiones de los Gases 1 y 2 de  
la Central Térmica de Candelaria**

Trabajo Fin de Grado

**7. CONCLUSIONES**

Autor: Daniel Pérez Gutiérrez

Tutora académica: Silvia Alayón Miranda

Tutor externo: Juan David González Pacheco

Junio 2020



## 7.1 Conclusiones

En este Trabajo Fin de Grado (TFG) se ha realizado un proyecto real, en colaboración con la empresa DIPICELL S.L., que ha consistido en la automatización del sistema de control de contaminantes de la Central Térmica de Candelaria. Durante el TFG se han realizado dos tareas principales: en primer lugar, la programación de los autómatas S7-300 ya existentes en la planta, para la recogida y el procesamiento de los datos de contaminantes provenientes de los sensores. En segundo lugar, el diseño de un SCADA programado con WinCC. Al tratarse de un proyecto real, durante el TFG he podido participar en la instalación de algunos equipos y en la puesta en marcha del sistema programado.

Como resultado final se han cumplido las exigencias del grupo ENDESA (ENEL), automatizando la medición de los contaminantes emitidos por las Turbinas de Gas 1 y Gas 2 de la Central Térmica de Candelaria, para su posterior estudio y control por parte de la Consejería de Medio Ambiente.

Los principales problemas encontrados en la realización de este TFG han estado relacionados con la programación en AWL de los S7-300 mediante el software STEP 7, debido a la complejidad de algunas partes como el cálculo de las medias, el escalado de las señales y los cálculos en base seca.

En la elaboración del TFG he podido poner en práctica conocimientos adquiridos en la carrera, en asignaturas como Automatización Industrial, Electrónica, Informática y Expresión Gráfica; y los he ampliado con otros nuevos, como la programación en AWL, la instalación de equipos industriales, la realización de presupuestos y, sobre todo, el diseño de SCADA mediante el software WinCC.

Pero sin duda, la parte más enriquecedora de este TFG ha sido el poder trabajar en un proyecto de aplicación real, en colaboración con la empresa DIPICELL S.L. y su equipo profesional. Esto me ha enseñado nuevas metodologías de trabajo y me ha aportado una visión más realista del mundo laboral.

## 7.2 Conclusions

In this Final Degree Project (FDP) a real project has been developed, in collaboration with the company DIPICELL S.L. The FDP has tackled the automation of the contaminants' control system of the Candelaria Thermal Power Plant. During the FDP two main tasks were carried out: firstly, the programming of the S7-300 PLCs already existing in the plant, for the collection and processing of pollutant data from the sensors. Secondly, the design of a SCADA programmed with WinCC. During the FDP I have been able to participate in the installation of some equipment and in the start-up of the programmed system.

As a final result, the requirements of the ENDESA group (ENEL) have been met. The automation of the measurement of the pollutants emitted by the Gas 1 and Gas 2 Turbines of the Candelaria Thermal Power Plant has been carried out, for their subsequent study and control by the Ministry of Environment.

The main problems in the realization of this TFG have been related to the AWL programming of the S7-300 PLC using the STEP 7 software, due to the complexity of some parts such as the calculation of the means, the scaling of the signals and the dry base calculations.

In the preparation of the FDP I have been able to put into practice knowledge acquired in the career, in subjects such as Industrial Automation, Electronics, Computing and Graphic Expression. I have also learned new skills, such as programming in AWL, the installation of industrial equipment, budgeting and, above all, the design of SCADA using WinCC software.

The most enriching part of this FDP has been to work on a project with a real application, in collaboration with the company DIPICELL S.L. and its professional team. This has taught me new working methodologies and has given me a more realistic vision of the working world.