



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y dimensionamiento de los sistemas eléctricos en
una instalación de inyección de amoniacó para una
industria cementera

Design and sizing of the power systems of an ammonia
injection plant for a cement industry

Autor

Abel Fernández Cañadas Pérez

Director

Raúl Igual Catalán

Escuela Universitaria Politécnica de Teruel
2019



RESUMEN

Este proyecto aborda lo referente al diseño de una instalación de inyección de amoníaco en una industria cementera para la reducción de los gases contaminantes NOx (óxidos de nitrógeno). Se explica el proceso de creación del cemento y en qué punto de la producción se generan dichos gases. Se da a conocer por qué es importante no emitir gases NOx a la atmósfera y cómo se pueden limitar.

El proyecto se centra en presentar el diseño de los sistemas eléctricos de la instalación de inyección de amoníaco. Se incluyen los planos detallados de todos los sistemas eléctricos asociados a la instalación y se describen los más característicos. Estos planos se dividen en tres grandes bloques: la zona de descarga de amoníaco, la zona de inyección de amoníaco y la zona de análisis de emisiones.

Junto con el diseño de los sistemas eléctricos de la instalación de inyección de amoníaco se calculan las secciones mínimas del cableado de potencia que alimenta a los diferentes elementos de esta instalación junto con sus protecciones.

ABSTRACT

This project addresses the design of an ammonia injection facility in a cement industry for the reduction of NOx (nitrogen oxides) pollutant gases. The project explains the process of cement manufacturing and gases generation. The project highlights why is important not to emit NOx gases into the atmosphere and how they can be limited.

The project presents the design of the electrical systems of the ammonia injection facility. Detailed plans of all electrical systems associated with the facilities are included. The most relevant plans are described. Plans are divided into three groups: the area of ammonia unloading, the area of ammonia injection and the area of emission analysis.

Together with the design of the electrical systems of the ammonia injection facility, the optimum sections of the cables that feed the different electrical systems are calculated. Their associated protections are also included.

ÍNDICE

1	JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS:.....	1
2	INGENIERÍA DEL MEDIO AMBIENTE EN LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES:....	1
2.1	Medio ambiente en entornos industriales.....	1
2.2	Limitaciones en las emisiones.....	1
3	INDUSTRIA CEMENTERA:.....	2
3.1	Cómo se fabrica el cemento.....	2
3.2	Aparición del NOx.....	4
4	GASES NOx EN LA INDUSTRIA CEMENTERA (Limitaciones):.....	4
4.1	Por qué es perjudicial y por qué hay que limitarlo.	4
4.2	Legislación aplicable a la emisión de gases NOx en la industria cementera.	6
5	INSTALACIÓN DE INYECCIÓN DE AMONIACO PARA LIMITAR LOS GASES NOx: .	6
5.1	Por qué se utiliza amoníaco para neutralizar los NOx.	6
6	DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE INYECCIÓN DE AMONIACO:.....	8
6.1	Descripción general de una instalación de inyección de amoníaco:.....	8
6.2	Zona descarga amoníaco.....	9
6.3	Zona inyección amoníaco.....	10
6.4	Zona analizador.....	11
6.5	Dispositivos eléctricos que componen la instalación de inyección de amoníaco. .	11
6.6	Descripción de los cuadros y esquemas eléctricos.....	18
6.6.1	Simbología de los dispositivos eléctricos y elementos auxiliares.....	18
6.6.2	Estructura de los planos de la instalación.....	21
6.6.3	Esquemas de los cuadros eléctricos.....	24
6.7	Conclusiones del diseño del sistema automático de inyección de amoníaco.....	40
7	CÁLCULOS DEL CABLEADO DE LA INSTALACIÓN DE INYECCIÓN DE AMONIACO:	41
7.1	Cables a calcular.....	41
7.2	Fundamentos de cálculo.....	42
7.3	Ejemplo de cálculo.....	43
7.4	Resultados.....	45
7.5	Conclusiones.....	46
8	CONCLUSIONES Y POSIBLES MEJORAS.....	47
9	REFERENCIAS.....	48

ANEXO I: Planos que forman toda la instalación de inyección de amoníaco

ANEXO II: CD con los planos en formato DWG para visualizar en CAD y documento Excel con los cálculos de las secciones de los cables

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Trituradora de piedra.....	2
Figura 2	Molino de rodillos de crudo.....	3
Figura 3	Horno rotativo formación de Clinker.....	3
Figura 4	Molino de cemento rotativo.....	4
Figura 5	Gráfica de reducción de NO con urea.....	8
Figura 6	Elementos de la instalación de inyección de amoníaco.....	8
Figura 7	Elementos que componen la zona de descarga amoníaco.....	9
Figura 8	Elementos que componen la zona inyección amoníaco.....	10
Figura 9	Elementos que componen la zona analizador.....	11
Figura 10	Bomba de descarga de amoníaco.....	11
Figura 11	Electroválvula.....	12
Figura 12	Electroválvula de regulación.....	12
Figura 13	Sensores inductivos.....	13
Figura 14	Transmisor de presión.....	13
Figura 15	Caudalímetro.....	13
Figura 16	Ventilador de presión.....	14
Figura 17	Analizador de gases NOx.....	14
Figura 18	Soplante/ turbina.....	14
Figura 19	Barrera de señales.....	15
Figura 20	Relés de alimentación.....	15
Figura 21	Elementos de protección y arranque de motores.....	16
Figura 22	Bloque teSys.....	16
Figura 23	Protección térmica bloque teSys.....	17
Figura 24	Contactos del contactor del bloque teSys.....	17
Figura 25	Tarjetas de señales analógicas ABB.....	17
Figura 26	Cuadros que componen la instalación y número de planos que contienen.....	22
Figura 27	Ejemplo de esquema eléctrico.....	23
Figura 28	Cajetín de esquema en el interior de un CCM.....	24
Figura 29	Distribución de los elementos en el cuadro intermedio descarga amoníaco.....	26
Figura 30	Esquema de la Protección general cuadro intermedio descarga amoníaco.....	28
Figura 31	Esquema Protección fuente del cuadro intermedio descarga amoníaco.....	30
Figura 32	Esquema conexión de las barreras digitales y los relés en el cuadro intermedio descarga amoníaco.....	31
Figura 33	Esquema de conexiones barreras de señales digitales del cuadro intermedio descarga amoníaco.....	33
Figura 34	Esquema de conexión de las barreras digitales con los sensores en el cuadro intermedio descarga amoníaco.....	35
Figura 35	Esquema de conexión de las barretas PTC en el cuadro intermedio descarga amoníaco.....	36
Figura 36	Distribución de los elementos en el cuadro del CCM zona descarga amoníaco...37	
Figura 37	Esquema de control de arranque de las bombas en el CCM zona descarga amoníaco.....	38
Figura 38	Ejemplo de cable par-pos.....	41



ABREVIATURAS

- NOx: Óxidos de Nitrógeno.
- R.D.: Real Decreto.
- AAI: Autorización Ambiental Integrada.
- SNCR: Reducción Selectiva No Catalítica.
- SCR: Reducción Selectiva Catalítica.
- ppm: Partes Por Millón.
- ATEX: ATmósfera EXplosiva.
- PTC: Positive Temperature Coefficient (coeficiente de temperatura positivo).
- CCM: Centro de Control y Mando.
- dc: Direct Current (corriente continua).
- ac: Alternating Current (corriente alterna).
- mA: Mili Amperios.
- A: Amperios.
- V: Voltios.
- kW: Kilovatios.

1 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS:

La cantidad de gases que se pueden emitir a la atmósfera tras la combustión está regulada y, por tanto, se debe controlar. Este proyecto surge a partir de estas limitaciones. En concreto se centra en los gases NO_x (óxidos de nitrógeno) que contribuyen a la destrucción de la capa de ozono. Para limitar estas emisiones se recurre a la inyección de amoníaco a la salida de la combustión para que reaccione con los NO_x y, así, reducir la presencia de estos gases.

En este proyecto se diseña el sistema de cableado de alimentación y control de los equipos necesarios para la regulación de la inyección de amoníaco teniendo en cuenta que el amoníaco es un líquido inflamable y puede crear atmósferas altamente explosivas.

También hay que resaltar que este proyecto forma parte de una instalación real, que actualmente se encuentra en funcionamiento, por lo que los equipos que se describen coinciden con equipos comerciales reales. En concreto, se diseña el cableado y sistema de control de inyección de amoníaco para una industria cementera localizada en la Comunidad Valenciana.

2 INGENIERÍA DEL MEDIO AMBIENTE EN LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES:

2.1 Medio ambiente en entornos industriales.

En los entornos industriales, sobretodo donde existen procesos de combustión, se generan gases que disminuyen la calidad del aire de la atmósfera. Este empeoramiento de la calidad del aire puede conllevar daños para la salud de las personas, lluvias ácidas, destrucción de la capa de ozono, etc.

Para controlar o disminuir las emisiones y así mejorar la calidad del aire, las industrias deben cumplir con lo establecido en la Ley 34/2007 en lo referente a la calidad del aire.

2.2 Limitaciones en las emisiones.

En las combustiones se producen diferentes tipos de gases según el combustible utilizado. En nuestro caso los gases más restrictivos o perjudiciales con respecto a calidad del aire (Ley 34/2007) van a ser los óxidos de nitrógeno.

Para la determinación en la autorización de los valores límite de emisión, o medidas técnicas que los complementen o sustituyan, según lo previsto en el artículo 13.4.a) de la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, el órgano competente deberá tener en cuenta:

a) La adopción de las técnicas y medidas adecuadas para prevenir la contaminación y en la medida de lo posible las mejores técnicas disponibles, considerando en particular, la información suministrada por la Administración General del Estado, de acuerdo con lo establecido en el artículo 8.1 de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación para aquellas actividades para las que esté disponible.

b) Las características técnicas de la instalación, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente.

c) La naturaleza de las emisiones y su potencial traslado de un medio a otro, así como su incidencia en las personas y el medio ambiente potencialmente afectados.

d) Los planes y programas aprobados de acuerdo a lo establecido en los apartados 1 y 2 del artículo 16 de la Ley 34/2007, de 15 de noviembre.

e) El apartado 1 establece las competencias del gobierno en cuanto a leyes medioambientales, siempre en coordinación con la Comunidad Europea. El artículo 2 establece los plazos reglamentarios de aplicación de las normativas en las Comunidades Autónomas.

f) Los valores límite de emisión fijados, en su caso, por la normativa en vigor en la fecha de la autorización, o en los tratados internacionales suscritos por el Estado español o por la Unión Europea. (R.D. 100/2011)

3 INDUSTRIA CEMENTERA:

3.1 Cómo se fabrica el cemento.

Uno de los principales ingredientes del cemento es la piedra caliza. La piedra caliza se transporta desde una cantera hasta la industria cementera para pasarla por una trituradora ya que de la cantera salen piedras demasiado grandes para el proceso de fabricación.



Figura 1. Trituradora de piedra (FMS, 2014)

Para hacer cemento necesitamos añadir a la piedra caliza algunos ingredientes más como la arcilla. Al igual que la piedra caliza, la arcilla también se extrae de una cantera y pasa por el mismo proceso que la piedra caliza. Estos dos elementos se mezclan en unos porcentajes de, 92 % piedra caliza y 8 % arcilla. Esta mezcla se transporta hasta el molino de crudo donde se le añaden ciertos compuestos para asegurar que el cemento tenga siempre las mismas características. Se suele añadir arena para aportar sílice y hierro para que aporte limonita. Los distintos elementos son triturados en un molino hasta que quedan en forma de polvo fino.

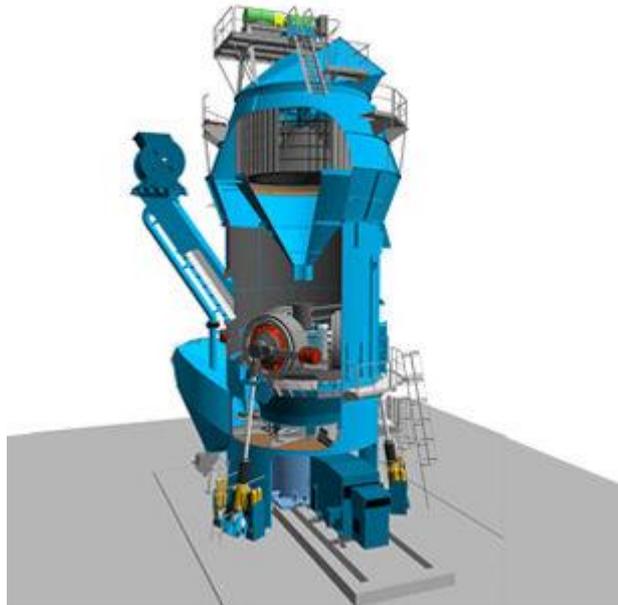


Figura 2. Molino de rodillos de crudo. (FLSmidth, 2019)

Este polvo se transporta hasta un horno a más de 2000°C donde se producen las uniones químicas necesarias para producir el clinker.



Figura 3. Horno rotativo formación de clinker. (Zhongbo Heavy, 2019)

El clinker sale en forma de piedras muy frágiles que deben triturarse, por lo que se pasa por otro molino donde se vuelve a convertir el material en polvo. El clinker se endurece rápidamente por lo que no se podría trabajar con él, así que se le añade yeso dentro del molino para mezclar los dos materiales y así controlar este tiempo de fraguado. A la salida del molino ya tenemos el cemento listo para el uso en la construcción. (youtube, 2015).

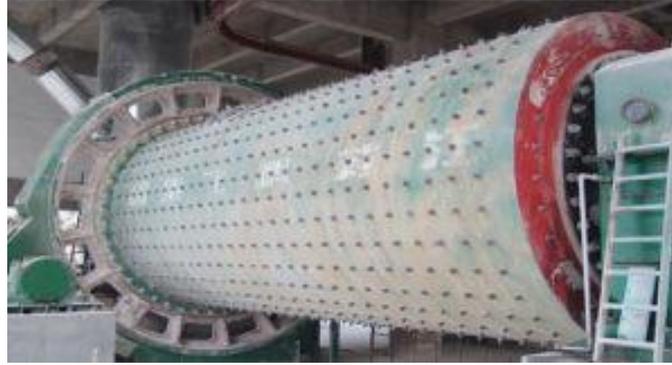


Figura 4. Molino de cemento rotativo. (Focus Technology, 2019)

3.2 Aparición del NOx.

Los gases NOx aparecen en la combustión que se realiza para obtener la temperatura idónea en el horno. Al trabajar a altas temperaturas el nitrógeno del aire se oxida obteniendo óxidos de nitrógeno entre otros gases derivados de la combustión como el CO₂.

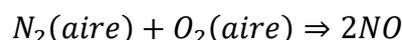
4 GASES NOx EN LA INDUSTRIA CEMENTERA (Limitaciones):

4.1 Por qué es perjudicial y por qué hay que limitarlo.

“La formación de NO en procesos de combustión es compleja y puede producirse a través de tres mecanismos (Alzueta & Abián, 2010):

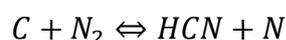
- Formación de NO térmico o de Zeldovich:

La formación de NO térmico transcurre a través del mecanismo postulado por Zeldovich (1946) a partir de la interacción entre el nitrógeno y el oxígeno molecular presente en el aire de combustión y temperaturas superiores a 1300 °C.



- Formación de NO inmediato o de Fenimore:

El mecanismo propuesto por Fenimore en 1972 sugiere que la formación de NO inmediato, en llamas de hidrocarburos, ocurre rápidamente por reacción de nitrógeno molecular con radicales de hidrocarburo, principalmente CH, CH₂, y C en reacciones del tipo:



Estas reacciones conducen a la formación de compuestos intermedio (HCN, NH, H₂CN) que posteriormente evolucionan a NO por reacción con especies oxigenadas, dependiendo el grado de conversión de las condiciones estequiométricas y de la temperatura de llama. No obstante, el NO inmediato solo contribuye, habitualmente, en un bajo porcentaje a la cantidad total de NO producido durante la combustión.

- Formación de NO del combustible:

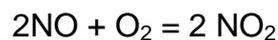
La formación del NO del combustible se produce por oxidación del nitrógeno contenido en la biomasa tratada. Aunque los mecanismos de reacción que conducen a la formación de NO a partir del nitrógeno del combustible no se conocen en profundidad, este mecanismo de reacción representa la mayor contribución a la formación de NO global. Se conoce que aproximadamente la mitad de este nitrógeno se volatiliza, y que a bajas temperaturas la mayor contribución a la formación de NOx es debida al nitrógeno que permanece en el residuo carbonoso o *char*.

Teniendo en cuenta que la formación de NO del combustible depende de la concentración de oxígeno, temperatura y propiedades del combustible tales como reactividad, contenido de volátiles y contenido de nitrógeno, hay que pensar en mecanismos de reducción de NOx que sean lo más económicos posible y flexibles.” (Alzueta & Abián, 2010)

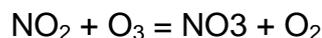
En nuestro caso la combustión no se realiza con biomasa sino con combustibles fósiles como el gasóleo, generando temperaturas en el horno de unos 2000°C. Teniendo en cuenta estos datos, la generación de NOx es debido al primer caso, “Formación de NO térmico”.

El oxígeno y el nitrógeno presentes en el aire se combinan para dar NO a causa de las altas temperaturas de combustión. Posteriormente, el NO se oxida parcialmente, dando lugar a NO₂ (NOx térmico). Por tanto, una combustión genera los dos contaminantes en proporciones variables (*Herramientas de ingeniería, 2019*).

Tal y como se recoge en (*Herramientas de ingeniería, 2019*), “una vez en la atmósfera, el NO se oxida a NO₂:



La luz del sol convierte el NO₂ en NO nuevamente a un ratio que depende de la intensidad de radiación solar y la cantidad de ozono existente.



El átomo de oxígeno (O) de la reacción anterior puede también combinarse con oxígeno molecular (O₂) para formar ozono (O₃).” (*Herramientas de ingeniería, 2019*)

La peligrosidad del NO₂ se manifiesta en contacto con el agua, donde el NO₂ produce ácido nitroso (HNO₂) y ácido nítrico (HNO₃), que son muy corrosivos. Cuando el ácido nítrico entra en contacto con el agua de lluvia da lugar a la lluvia ácida. Este fenómeno es muy perjudicial para árboles, plantas e incluso elementos estructurales como puentes, elementos metálicos, etc. (*Herramientas de ingeniería, 2019*)

Otro efecto visible se produce “cuando el NOx y compuestos orgánicos volátiles (VOCs) reaccionan en la presencia de la luz del sol”, dando lugar a la formación de niebla tóxica. Este

efecto es especialmente acusado en verano, pudiendo perjudicar a niños o personas con problemas pulmonares como el asma. (*Herramientas de ingeniería*, 2019)

4.2 Legislación aplicable a la emisión de gases NOx en la industria cementera.

Puesto que la industria cementera objeto de este trabajo fin de grado se encuentra en la Comunidad Valenciana, el organismo competente que regula los límites de emisiones es la Generalitat Valenciana. Este organismo emite un certificado llamado *Autorización Ambiental Integrada (AAI)* que regula los límites de contaminación según la actividad de la industria, en nuestro caso la producción de *clinker* o cemento.

En el AAI de la industria bajo estudio podemos encontrar diferentes tablas que nos indican los límites de emisiones de cada elemento. En nuestro caso, nos guiaremos únicamente por los límites de los gases NOx, ya que son las emisiones de estos gases las que necesitamos controlar.

Límites de emisión y periodicidad de control		
Actividad: Id.01: Horno de clinker para la fabricación de cemento		
Focos: 01/002		
Contaminante	VLE	Control
Partículas	30 mg/Nm ³	Continuo
	20 mg/Nm ³ a partir del 9 de abril de 2017	
SO ₂	50 mg/Nm ³	Continuo
NOx (Expresado como NO ₂)	1600 mg/Nm ³	Continuo
	500 mg/Nm ³ a partir del 9 de abril de 2017	

Tabla 1. Datos de la Autorización Ambiental Integrada propio de la empresa, página 9.

Como podemos ver en la tabla anterior, el análisis de los gases emitidos por la chimenea del horno debe ser continuo, por lo que además de la instalación de regulación para la inyección del amoníaco se debe instalar un analizador de gases NOx para recopilar los datos necesarios para el cumplimiento de la normativa.

5 INSTALACIÓN DE INYECCIÓN DE AMONIACO PARA LIMITAR LOS GASES NOx:

5.1 Por qué se utiliza amoníaco para neutralizar los NOx.

Para controlar la emisión de óxidos de nitrógeno existen dos grandes grupos de medidas que se pueden adoptar: las primarias y las secundarias. Las primarias hacen referencia a la optimización de la operación en la industria. Ejemplos de medidas primarias son la

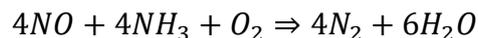
minimización del exceso de aire a utilizar o la disminución de la temperatura de la llama. (Alzueta & Abián, 2010)

En nuestro caso no podemos aplicar ninguna de estas dos opciones. La empresa en cuestión es muy antigua por lo que minimizar el exceso de aire del proceso conllevaría unos costes inadmisibles y tampoco es viable reducir la temperatura puesto que necesitamos cerca de 2000°C para poder tener el proceso químico necesario para producir el cemento. Sabiendo esto, solo nos queda aplicar las medidas secundarias de reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno.

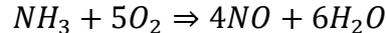
“Las medidas secundarias posibles incluyen principalmente: tecnologías de *reburning*, reducción selectiva no catalítica (SNCR) y reducción selectiva catalítica (SCR).” (Alzueta & Abián, 2010)

Puesto que vamos a inyectar amoníaco para que reaccione con los NOx, la medida secundaria a utilizar es *la reducción selectiva no catalítica (SNCR)*.

Según Alzueta & Abián (2010), “el proceso de reducción selectiva no catalítica (SNCR) incluye la adición de un agente nitrogenado selectivo de reducción de NO en una zona de la caldera cuyas condiciones sean de alta concentración de O₂ y de alta velocidad de reacción. Bajo dichas condiciones, los agentes selectivos de reducción tales como el amoníaco y urea reaccionan con NO produciendo nitrógeno molecular, en reacciones del tipo:



que están en competencia con reacciones tales como:



Con objeto de maximizar la reducción de NO mediante este proceso, es imprescindible controlar bien las condiciones de operación, en concreto, la temperatura. La Figura 4 muestra, a modo de ejemplo, la reducción de NO en el proceso de SNCR en función de la temperatura.”(Alzueta & Abián, 2010)

A la hora de inyectar el agente selectivo debemos tener en cuenta la franja de temperaturas entre las que dicho agente selectivo y el NO interactúan. Si la temperatura es inferior a la franja más a la izquierda no produciremos ningún cambio. Por lo contrario si la temperatura es superior a la franja más a la derecha, el agente selectivo se oxida por lo que obtendremos el resultado contrario al esperado y produciremos más NO.

En nuestro proyecto la inyección de amoníaco se produce a la salida del horno donde empieza la chimenea. En esta zona tenemos alrededor de 900°C por lo que tenemos una temperatura idónea para realizar el proceso de SNCR con buen resultado. Es ahí donde se propone instalar el sistema de inyección de amoníaco bajo estudio.

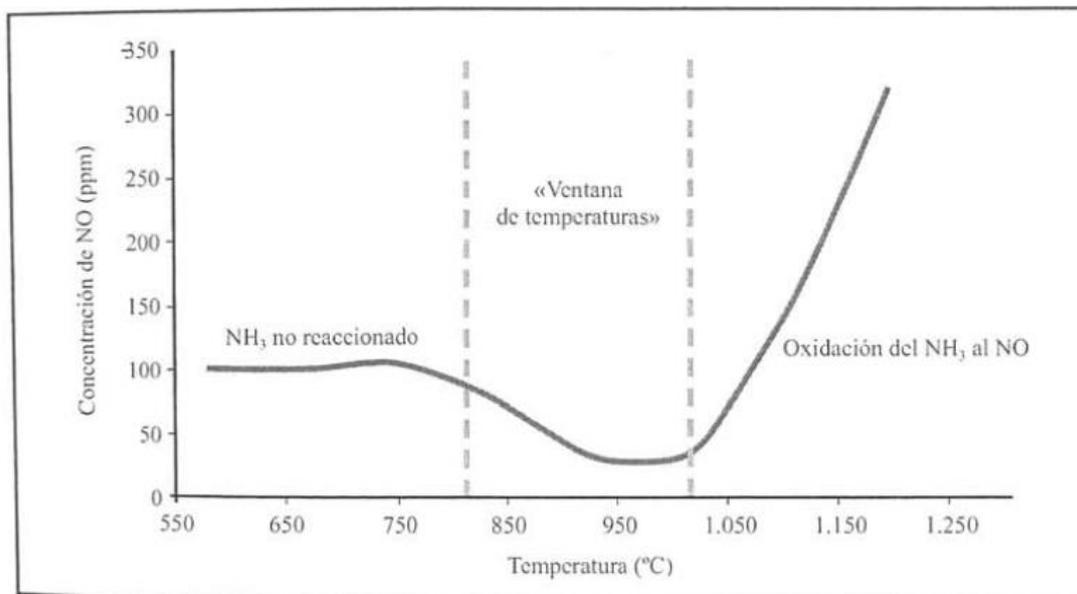


Figura 5. Reducción de NO con urea (150 ppm) como agente selectivo de reducción de NO, 4% de concentración de O₂. Datos experimentales de Alzueta et al. (1998b). (Alzueta & Abián, 2010)

6 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE INYECCIÓN DE AMONIACO:

6.1 Descripción general de una instalación de inyección de amoniaco:

En este trabajo Fin de Grado se ha realizado el diseño de la instalación de inyección de amoniaco.

Antes de entrar en detalle, vamos a exponer los elementos generales que componen la instalación de inyección de amoniaco para la reducción de gases de nitrógeno.

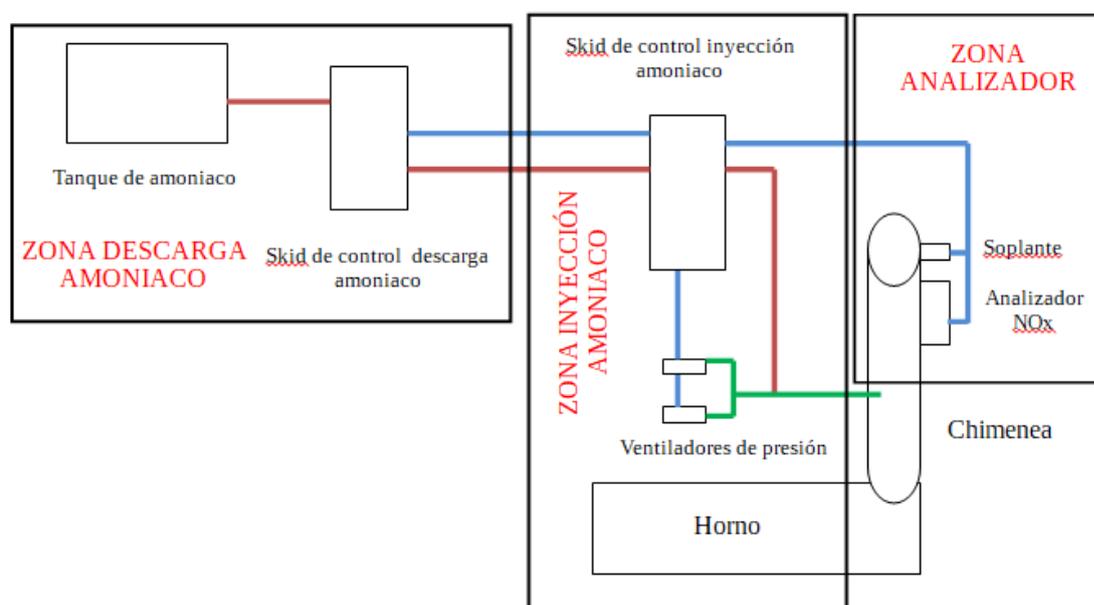


Figura 6. Distribución general de los elementos de la instalación de inyección de amoniaco.

En el esquema anterior vemos los elementos que necesitamos, a grandes rasgos, en una instalación de inyección de amoníaco. Las líneas rojas son tuberías que transportan el amoníaco a las distintas zonas, las azules son los cables de alimentaciones de equipos y los cables de transporte de señales y las verdes son tuberías en las que se mezcla el amoníaco con aire.

Para entrar más en detalle hemos separado la instalación en tres zonas, *zona descarga amoníaco*, *zona inyección amoníaco* y *zona analizador*. El amoníaco es transportado desde la *zona de descarga de amoníaco* a la *zona de inyección de amoníaco* donde se inyecta a la chimenea que cuenta también con un sistema de análisis (*zona analizador*).

6.2 Zona descarga amoníaco

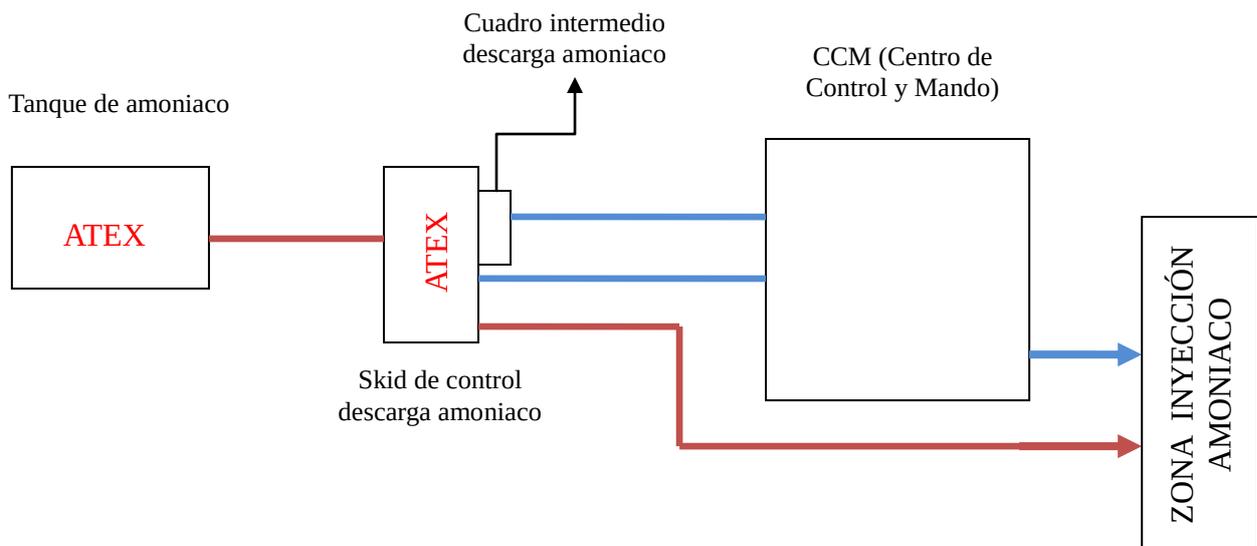


Figura 7. Descripción detallada de los elementos que componen la zona de descarga amoníaco.

En la figura 7 se muestra el esquema de la zona de descarga del amoníaco. Como podemos observar tenemos un tanque para almacenar el amoníaco. Desde el *tanque de amoníaco*, mediante tuberías y unas bombas, se transporta el amoníaco hacia el *skid de control descarga amoníaco*. El skid es un conjunto de elementos que funcionan juntos. En este caso está formado por:

- 2 bombas de descarga
- 4 electroválvulas
- 1 válvula de regulación
- 13 sensores inductivos
- 3 medidores de presión
- 1 caudalímetro.

Los elementos instalados deben contar con el certificado EX que indica que el equipo puede instalarse en una zona ATEX (Atmósfera Explosiva) ya que el amoníaco es inflamable.

Todos estos elementos se encuentran dentro del *skid de control descarga amoníaco*. En el interior del *cuadro intermedio descarga amoníaco* tenemos los elementos de alimentación y protección de todos los sensores y de las electroválvulas, es decir: magneto-térmicos, transformador, fuente de alimentación, embarrados, barreras para señales, relés y bornas.

Dentro del CCM (*Centro de Control y Mando*) tenemos los elementos que controlan el arranque de las bombas y las tarjetas que controlan las señales digitales y analógicas. El CCM actúa como punto de comunicación entre la *zona descarga amoniaco* y la *zona inyección amoniaco*.

Todos estos elementos que hemos ido nombrando se explican en detalle en el apartado 6.5.

6.3 Zona inyección amoniaco

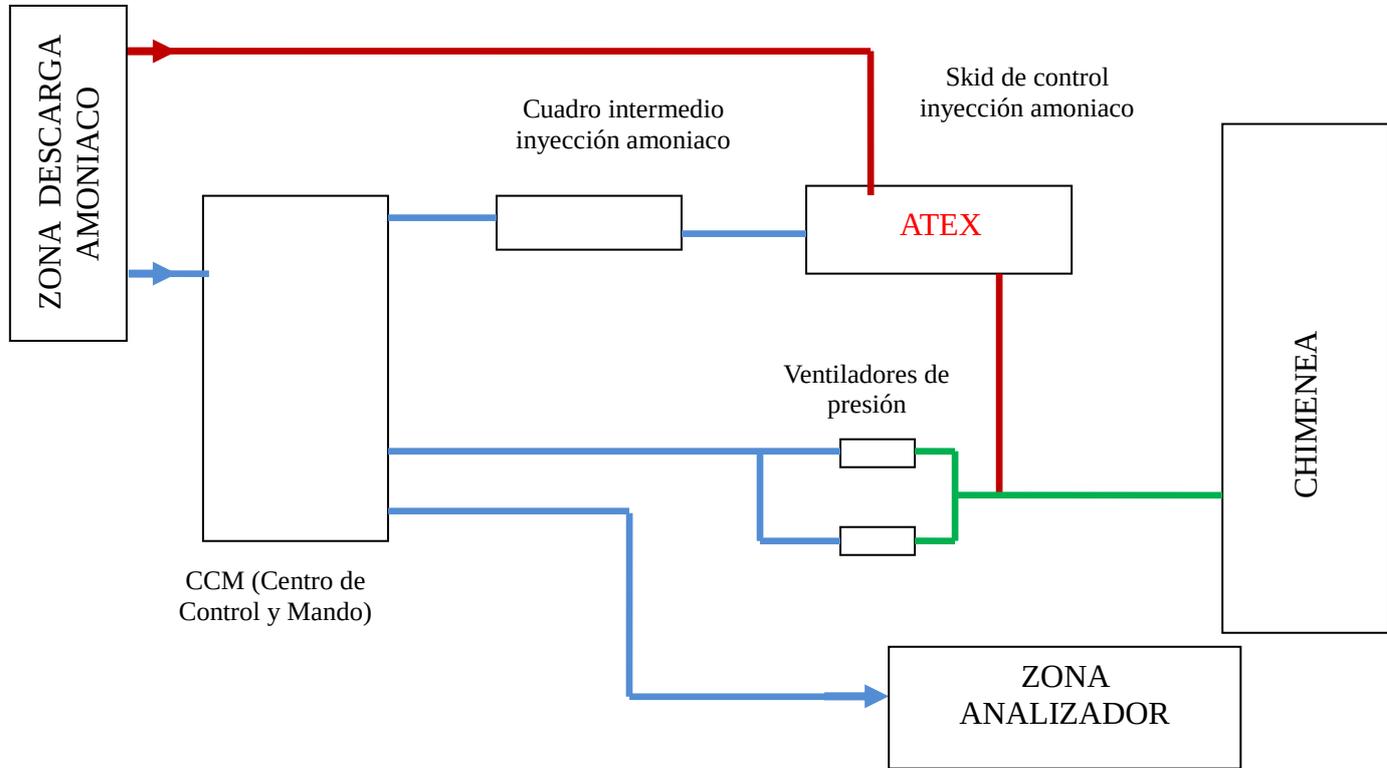


Figura 8. Descripción detallada de los elementos que componen la zona inyección amoniaco.

La alimentación del CCM de la *zona descarga amoniaco* sale del CCM de la *zona inyección amoniaco* para que todos los equipos estén alimentados desde el mismo punto de la instalación, es decir, todas las alimentaciones a cuadros y equipos salen desde el CCM de la *zona de inyección de amoniaco*. Al igual que en el CCM de la *zona descarga amoniaco*, en el interior de este se disponen los elementos que controlan el arranque de los *ventiladores de presión* y las tarjetas que controlan las señales analógicas y digitales. Desde este CCM también alimentamos el *cuadro intermedio inyección amoniaco* y la *zona analizador*.

El *cuadro intermedio inyección amoniaco* es muy similar al *cuadro intermedio descarga amoniaco*, sólo cambia el número de sensores y equipos que controla pero dispone de los mismos elementos (magneto-térmicos, transformador, fuente de alimentación, embarrados, barreras para señales, relés y bornas).

En este caso el *skid de control inyección amoniaco* se encarga de controlar las presiones y los caudales de entrada de amoniaco a las tuberías por donde los *ventiladores de presión* inyectan aire para pulverizar el amoniaco. El caudal de amoniaco inyectado dependerá de las lecturas del *analizador NOx* instalado en la salida de la chimenea.

6.4 Zona analizador

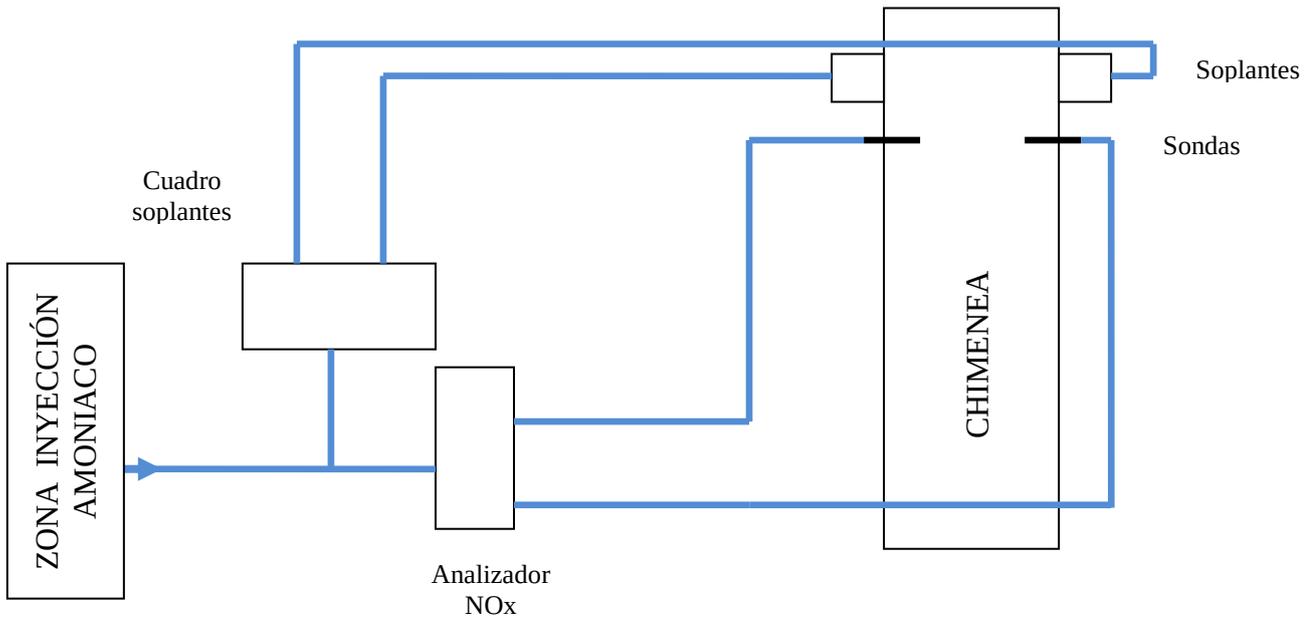


Figura 9. Descripción detallada de los elementos que componen la zona analizador.

Como se ha mencionado anteriormente, las alimentaciones, tanto del *cuadro soplantes* como del *analizador NOx*, proceden del CCM de la *zona inyección amoníaco*. Las *soplantes* son unos motores que se encargan de inyectar aire para limpiar las dos sondas. En el *cuadro soplantes* se encuentran los elementos de protección y de control de las mismas.

El *analizador NOx* se encuentra en otro cuadro y se encarga de recibir las lecturas de las sondas y transformarlas en valores que nos indican la cantidad de gas NOx hay a la salida de la chimenea.

6.5 Dispositivos eléctricos que componen la instalación de inyección de amoníaco.

A continuación, vamos a describir los diferentes elementos alimentados a través de la instalación eléctrica (línea azules de las Figuras 6, 7, 8 y 9) que componen el sistema de inyección de amoníaco. Estos elementos fueron nombrados en las secciones 6.2, 6.3 y 6.4. Los elementos que aquí se presentan han sido seleccionados a partir de los catálogos y hojas de características de los fabricantes, por lo que son elementos comerciales reales.

- Bombas de descarga de amoníaco(Figura 10):

Son bombas preparadas para trabajar en entornos de atmósfera explosiva (ATEX) utilizadas para la descarga del amoníaco desde el tanque de amoníaco hasta el sistema de transporte de amoníaco. Se ubican en el *skid de control descarga amoníaco* (Figura 7). (Gasoleos Ferrer, 2019)

MOTOR:

Voltaje: 230-400 VCA trifásico.

Frecuencia: 50 Hz.

Potencia: 2,2 kW.

Protección IP-55.

Protección condensables: encapsulado.

Certificado ATEX EExd IIBT4



Figura 10. Bomba de descarga de amoníaco. (Gasóleos Ferrer, 2019)

Velocidad de giro: 1500 rpm.
Aislamiento: Clase F.
Acoplamiento reductor/motor: brida.
Nivel de ruido: 80 dB(A).

- Electroválvulas (Figura 11):

En el skid de control descarga amoníaco (Figura 7) y en el skid de control inyección amoníaco (Figura 8) existen cuatro electroválvulas. Las cuatro electroválvulas tienen distintas funciones (Altec, 2019):

- Dos electroválvulas controlan la entrada y la salida de amoníaco del skid de control descarga amoníaco, es decir, una controla que se pueda descargar amoníaco desde el tanque de amoníaco hacia las tuberías del skid de control descarga amoníaco y la otra controla que pueda salir ese amoníaco hacia el skid de control inyección amoníaco.

- Una de las otras electroválvulas controla el lavado de las tuberías. Para limpiar los filtros y eliminar posibles impureza se inyecta agua a presión por las tuberías.

- La electroválvula restante se utiliza como seguridad. En caso de que aumente considerablemente la presión o que por una avería se desee vaciar las tuberías que transportan el amoníaco, esta electroválvula se encarga de controlar el retorno del amoníaco al tanque.

En el skid de control inyección amoníaco (Figura 8) disponemos sólo de tres electroválvulas ya que no se necesita la de retorno en caso de aumento de presión puesto que se encarga la del skid de control descarga amoníaco.

- Electroválvula de regulación (Figura 12):

La electroválvula de regulación, ubicada en la zona descarga amoníaco (Figura 7), se encarga de controlar el caudal de amoníaco que se transporta desde el skid de control descarga amoníaco hasta el skid de control inyección amoníaco.

- Modelo: W300
- Versiones disponibles: CE/UL/CSA/ATEX
- Par: 300Nm
- Fuente de alimentación: 24Vac/dc o 100-240Vac
- Frecuencia de alimentación: 50 - 60Hz
- Tipo de mando proporcional: 0-10V 4-20mA



Figura 11. Electroválvula (Altec, 2019)



Figura 12. Electroválvula de regulación (Esapyronic, 2013).

- Sensores inductivos (Figura 13) :

Los sensores inductivos se utilizan para controlar el estado de las válvulas. Se encuentran en el *skid de control descarga amoníaco* y en el *skid de control inyección amoníaco* (Figuras 7 y 8). Estos sensores son de tipo inductivos NAMUR específicos para zona ATEX. Los sensores NAMUR son específicos para zonas de alto riesgo. Funcionan como un sensor convencional, pero tienen separados los circuitos de detección y amplificación para evitar el aumento de tensión de salida cerca de la zona con riesgo de explosión.

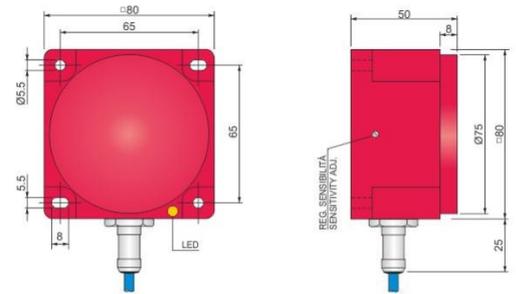


Figura 13. Sensores inductivos (Aeco, 2019)

- Transmisores de presión (Presostato, Figura 14):

Los transmisores de presión o presostatos, se utilizan para saber en todo momento la presión de las tuberías. En caso de que aumente la presión por encima de un determinado valor, se apagará la bomba de descarga y se abrirá la electroválvula de retorno al tanque. Estos dispositivos se encuentran tanto en el *skid de control descarga amoníaco* (Figura 7) como en el *skid de control inyección amoníaco* (Figura 8).

- Requisitos de alimentación:
12 a 28 VCC, 12 a 28 VCA 50 a 400 Hz.
- Señal de salida: 4 a 20 mA CC en 900 Ω máximo.



Figura 14. Transmisor de presión (Dwyer, 2019).

- Caudalímetro (Figura 15):

Para saber que caudal nos está dando la válvula de regulación utilizamos un caudalímetro. Este equipo nos aportará la medición de caudal en todo momento y así será más rápido controlar el ángulo de apertura de la electroválvula reguladora.

Estos dispositivos se encuentran tanto en el *skid de control descarga amoníaco* (Figura 7) como en el *skid de control inyección amoníaco* (Figura 8).

- Salida del caudalímetro: 4-20mA.
- Tensión de alimentación: 5-24Vdc.



Figura 15. Caudalímetro (Icenta, 2013)

- Ventiladores de presión (Figura 16):



Los ventiladores de presión se encargan de inyectar aire a la chimenea en la *zona inyección amoníaco* (Figura 8). Tienen una potencia de 2,2 kW, trabaja en trifásica a 400V y tienen un factor de potencia de 0,87. (Fanware, 2019)

Como se ha nombrado, estas turbinas se utilizan para mezclar aire a presión con el amoníaco antes de la inyección y así vaporizar el amoníaco y asegurar una buena concentración de oxígeno en la chimenea.

Figura 16. Ventilador de presión (Fanware, 2019)

- Analizador NOx (Figura 17):



Figura 17. Analizador de gases NOx (Siemens, 2014)

El analizador de gas, ubicado en la *zona analizador* (Figura 9), se compone de un elemento central que se encarga de mandar y recibir las señales de las sondas para analizar los datos recabados. Las sondas se disponen enfrentadas casi a la salida de la chimenea. Una de las sondas emite un haz de luz que es captado por la otra sonda. La cantidad de luz captada por la sonda receptora indica la cantidad de partículas NOx existentes en el aire a la salida de la chimenea. (Siemens, 2014)

Es un equipo diseñado para medir distintos gases según la configuración dada. Tal y como se indica en la documentación del analizador, si se establece la configuración E, podemos medir de forma continua un proceso SNCR (Reducción Selectiva No Catalítica).

- Soplantes (Figura 18):



Figura 18. Soplante/ turbina (Jiangsu Dynamic, 2005)

Se instalan dos soplantes en la chimenea (Figura 9) para limpiar las impurezas que puedan quedar pegadas en las sondas de medida del *analizador NOx*. Tienen una potencia de unos 0,37 kW y trabajan a 230 V. (Jiangsu Dynamic, 2005)

- Barreras de señales a zona ATEX (Figura 19):



Estas son las barreras que hacen de separador galvánico entre las señales de entrada y salida de la zona ATEX. Dichas barreras actúan como un amplificador. Los sensores inductivos conectados en la parte azul (salidas a zona ATEX) son de tipo NAMUR, lo que quiere decir que no llevan incorporado el bloque amplificador. Esto hace que el sensor trabaje a muy bajas intensidades y la barrera se encarga de detectar y amplificar dichas señales en una zona externa a la zona ATEX.

Figura 19. Barrera de señales (RS, 2013)

En la parte superior (bornas grises) tenemos las entradas y salidas normales (no ATEX) y en la inferior (bornas azules) tenemos las entradas y salidas que van a zona ATEX.

Las barreras digitales trabajan con salidas de 125Vac y las analógicas a 24Vdc en un rango de 4-20mA. Se encuentran tanto en el *cuadro intermedio descarga amoniaco* (Figura 7) como en el *cuadro intermedio inyección amoniaco* (Figura 8).

- Relés de alimentación (Figura 20):



Figura 20. Relés de alimentación (imagen de la instalación real)

Esta imagen corresponde al *cuadro intermedio inyección amoniaco* (Figura 8). En ella podemos ver un grupo de barreras digitales y los relés de alimentación de los equipos de 24 Vdc. Estos relés también se utilizan para enviar señales que indican si el equipo está en marcha o no ya que como hemos indicado las señales digitales van a 125 Vac. Más adelante en los esquemas eléctricos (apartado 6.6) podremos ver mejor la función del relé en esta instalación. Los relés los podemos encontrar tanto en el *cuadro intermedio descarga amoniaco* (Figura7) como en el *cuadro intermedio inyección amoniaco* (Figura 8).

- Bloque teSys (Figura 21):

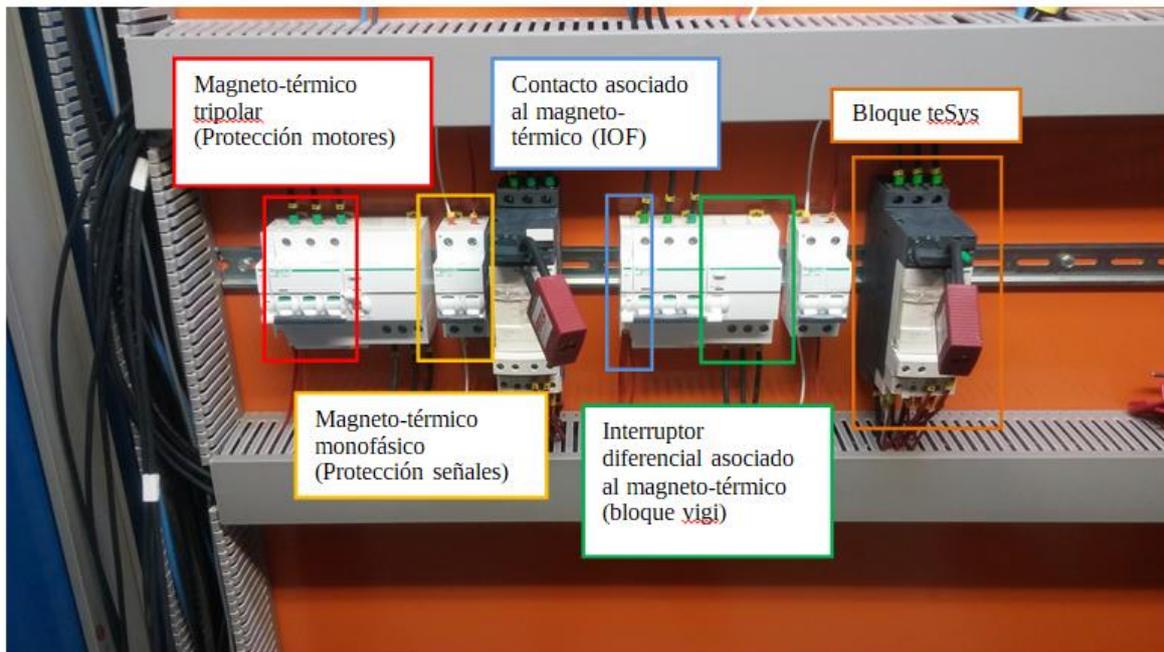


Figura 21. Elementos de protección y arranque de motores (imagen de la instalación real)

Estas conexiones corresponden a las alimentaciones de los *ventiladores de presión* (Figura 8). Estos equipos los encontramos tanto en el *CCM de la zona descarga amoníaco* (Figura 7) como en el *CCM de la zona inyección amoníaco* (Figura 8). En la imagen podemos ver un magnetotérmico con *bloque vigi* para proteger los equipos frente a sobretensiones, cortocircuitos y derivaciones. El *bloque vigi* es un interruptor diferencial asociado a un interruptor magnetotérmico. Esto hace que cualquier defecto detectado por uno de los dos elementos de protección haga saltar tanto el diferencial como el magnetotérmico.

A continuación se dispone un magnetotérmico que protege y alimenta las señales digitales para el control de los bloques teSys.

El bloque teSys (Figura 22) es un equipo que se encarga de controlar el arranque de motores y de protegerlos durante su funcionamiento. Es desmontable y puede ser cambiado según las exigencias de los equipos a alimentar. Está constituido por tres bloques:

- Seccionador (Figura 22): es un interruptor con distintas posiciones, bloqueo o paro, modo manual (puesta en funcionamiento de forma manual) y arranque automático.



Figura 22. Bloque teSys (Schneider, 2018)

- Protección térmica (Figura 23): protege los motores frente a calentamiento. Esta protección térmica es regulable y se debe ajustar a la intensidad nominal consumida por el motor. Al ser regulable ofrece una protección más ajustada que la del magneto-térmico.



Figura 23. Protección térmica bloque teSys (Schneider, 2018)

- Contactor: es un interruptor controlado por una bobina (se activa al energizarse la bobina). Se encarga de controlar o habilitar la alimentación de los motores en función de una señal de control. La bobina del contactor se encuentra interna en el bloque teSys pero podemos cambiar el tipo de contactos que se asocian a ella con los bloques de contactos (Figura 24).



Figura 24. Contactos del contactor del bloque teSys (Schneider, 2018)

- Tarjetas digitales y analógicas (Figura 25):



Figura 25. Tarjetas de señales analógicas ABB (imagen de la instalación real)

Aquí tenemos una imagen que corresponde a las tarjetas remotas de señales digitales. Tienen entradas y salidas para controlar el arranque de los distintos elementos y a la vez ver qué equipos están en funcionamiento. Estas señales se controlan desde las oficinas de la empresa en cuestión. Estas tarjetas hacen de interconexión entre los elementos instalados en campo (sensores, electro-válvulas, caudalímetros, etc.) y los ordenadores de control de las oficinas. Estos equipos los encontramos tanto en el CCM de la zona descarga amoniaco (Figura 7) como en el CCM de la zona inyección amoniaco (Figura 8).

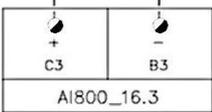
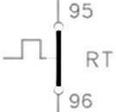
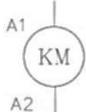
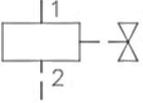
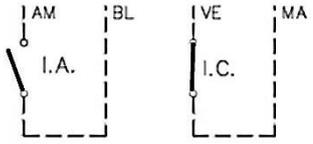
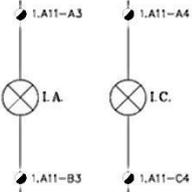
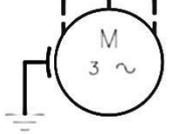
6.6 Descripción de los cuadros y esquemas eléctricos

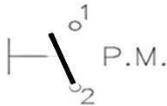
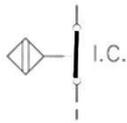
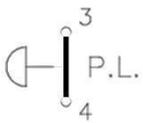
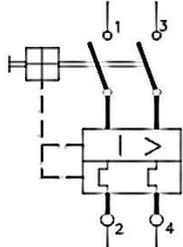
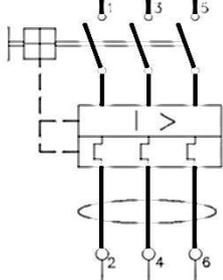
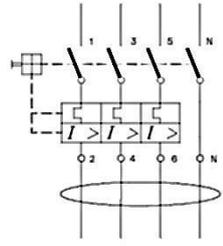
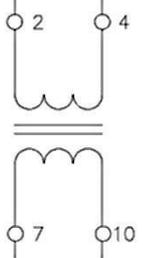
A continuación, nos centraremos en los bloques eléctricos de la instalación de inyección de amoniaco. Vamos a presentar los distintos planos eléctricos de la instalación industrial. Para ello es imprescindible, en primer lugar, definir la simbología de los dispositivos eléctricos y elementos auxiliares que veremos en los planos (sección 6.6.1).

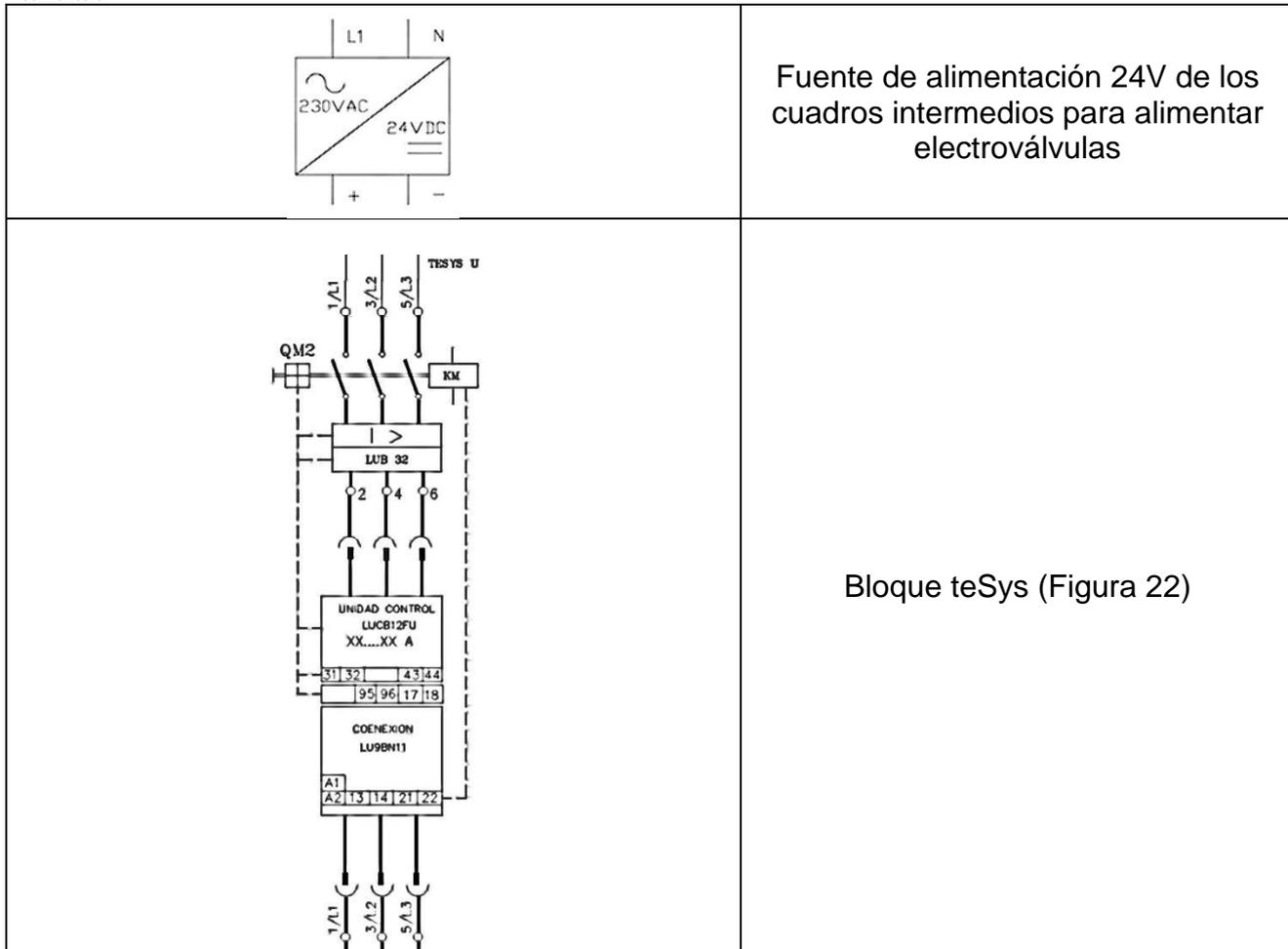
6.6.1 Simbología de los dispositivos eléctricos y elementos auxiliares

Aquí mostramos los distintos símbolos que irán apareciendo en los esquemas eléctricos.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Barrera de señales a zona ATEX (Figura 19)
	Relé (Figura 20)
	Borna de salida del CCM (Centro de Control y Medida)
	Borna seccionable con fusible
	Bornas internas de los cuadros intermedios
	Borna de conexión tarjetas digitales
	Punto de conexión con sensores de la zona ATEX
	Caudalímetro, medidor de presión (Figuras 14 y 15)

	<p>Bornas de conexión tarjetas analógicas (Figura 25)</p>
	<p>Contacto asociado a la protección térmica del bloque teSys (Figura 23)</p>
	<p>Contactor bloque teSys (Figura 24)</p>
	<p>Electroválvula (Figura 11)</p>
	<p>Contactos asociados a la electroválvula</p>
	<p>Entradas de las tarjetas digitales</p>
	<p>Salidas de las tarjetas digitales</p>
	<p>Motor (Figuras 10, 16, 18)</p>

	<p>Pulsador</p>
	<p>Sensor inductivo (Figura 13)</p>
	<p>Seta de emergencia</p>
	<p>Interruptor magneto-térmico bipolar (Figura 21)</p>
	<p>Interruptor magneto-térmico tripolar con bloque vigi (Figura 21)</p>
	<p>Interruptor magneto-térmico tetrapolar con bloque vigi (Figura 21)</p>
	<p>Transformador de 400/125V de los cuadros intermedios para las señales digitales</p>



6.6.2 Estructura de los planos de la instalación.

A continuación, veremos una explicación de los elementos que podemos encontrar en los planos. Indicaremos de cuántos planos se compone la instalación y cómo están divididos, explicaremos lo que indican los distintos tipos de líneas y veremos cómo está estructurado el cajetín de los planos.

Con los esquemas de bloques vistos anteriormente vemos que tenemos tres cuadros eléctricos (*cuadro intermedio descarga amoniaco*, *cuadro intermedio inyección amoniaco* y *cuadro soplantes*) y los dos CCM. Para cada uno de estos cuadros se ha creado un *plano de cuadro*, donde puede verse la distribución de los automatismos en los raíles de los cuadros, tal cual quedarían instalados. Estos planos están fuera de la numeración que se describe en la parte inferior de esta sección. Aparte de estos planos de cuadro, están los planos de conexión que muestran los automatismos y los cables que llegan y salen de ellos. Estos son los planos a utilizar para realizar las conexiones físicas de los elementos. A continuación, describiremos los *planos de conexión* asociados a cada bloque.

El *cuadro intermedio descarga amoniaco* (Figura 7) tiene un total de 25 planos en los que encontramos los esquemas de conexión de las protecciones generales del cuadro, conexión de las barreras de señales digitales y analógicas a los distintos equipos que se encuentran en el *skid de control inyección descarga amoniaco* y la conexión de los relés de alimentación de las electroválvulas.

El *cuadro intermedio de inyección amoniaco* (Figura 8) tiene un total de 19 planos en los que encontramos los esquemas de conexión de las protecciones generales del cuadro, conexión de las barreras de señales digitales y analógicas a los distintos equipos que se encuentran en el skid inyección y la conexión de los relés de alimentación de las electroválvulas.

El *cuadro soplantes* (Figura 9) tiene un total de 8 planos contando con los planos de conexión del analizador NOx. En estos esquemas vemos como se encuentran conectados los distintos equipos y las protecciones que utilizan.

En el *CCM de la zona descarga amoniaco* tenemos (Figura 7) un total de 8 planos en los que vemos las protecciones que dan tensión a las bombas de descarga, la distribución de los equipos en el cuadro y los puentes desde el cuadro hasta las tarjetas digitales y analógicas.

En el *CCM de la zona inyección amoniaco* (Figura 8) tenemos un total de 4 planos en los que vemos como se alimentan los *ventiladores de presión* y los puentes desde el cuadro hasta las tarjetas de señales digitales y analógicas.

Con todo esto, la instalación automática diseñada consta de un total de 64 planos. Todos estos planos se encuentran en los anexos de este TFG. En esta sección, únicamente vamos a describir algunos de ellos. Un resumen de esta distribución de planos puede verse en la Figura 26.

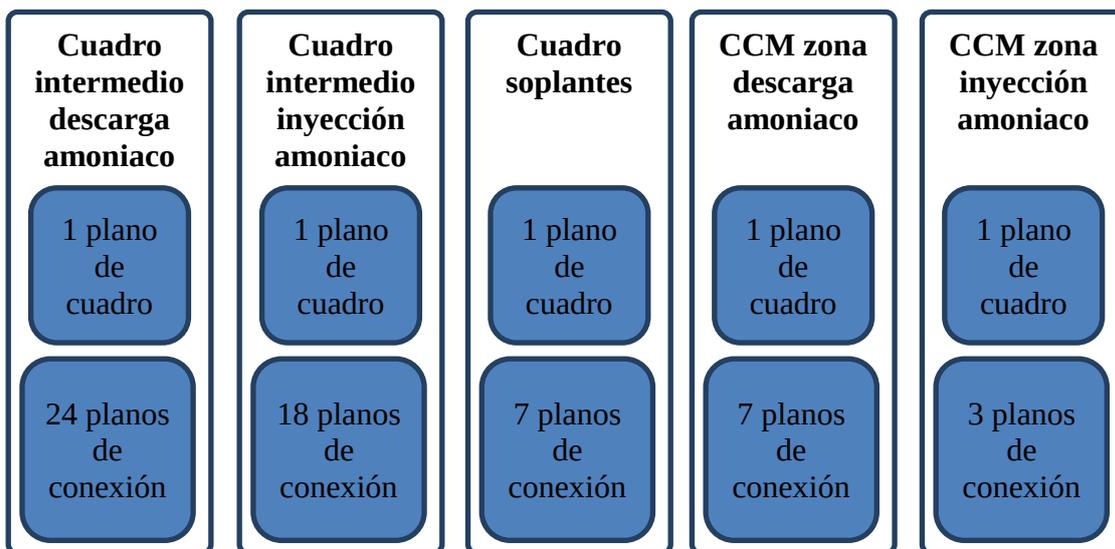


Figura 26. Cuadros que componen la instalación y número de planos que contienen.

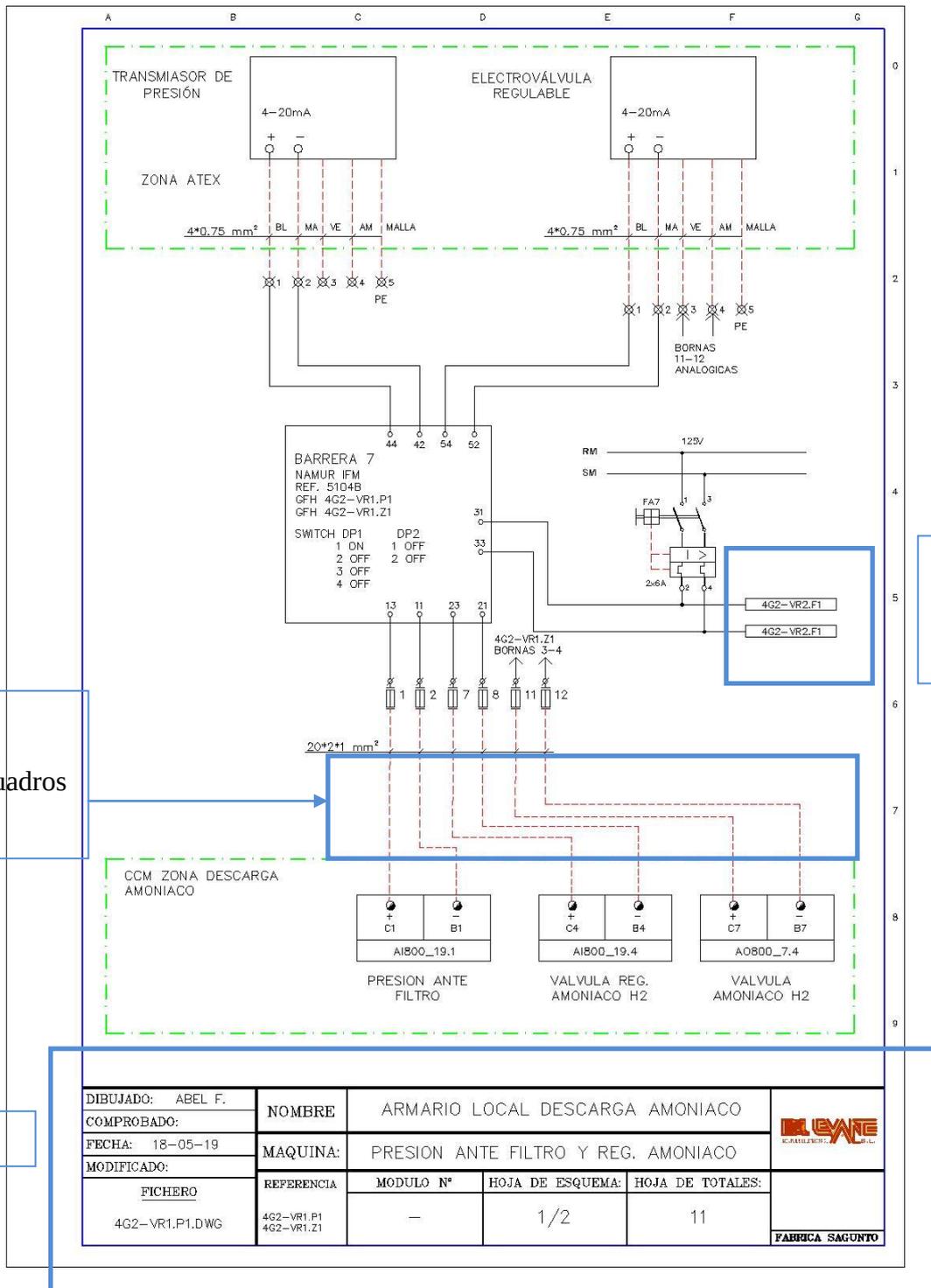


Figura 27. Ejemplo de esquema eléctrico.

Antes de entrar a describir los planos concretos, hemos de explicar algunos elementos comunes a los planos. Comenzaremos con el cajetín. Este elemento nos sirve para ver en qué punto de la instalación estamos. En la parte izquierda del cajetín (Figura 27) de arriba a abajo encontramos el nombre del autor, nombre de la persona que lo revisa, última fecha de modificación del plano, fecha de modificación si se ha realizado algún cambio a mano y el nombre del plano. El nombre del plano corresponde con un código interno de la empresa. En el recuadro *nombre* vemos que pone *armario local descarga amoniaco*, esto nos indica en qué punto de la instalación estamos y desde el punto de vista que vemos el plano. Donde pone *máquina* se indica

qué se controla mediante este esquema eléctrico, en este caso la presión delante del filtro y la regulación de entrada de amoníaco. La *referencia* es un código interno que pone nombre a cada elemento. En el ejemplo de la Figura 27 el código 4G2-VR1-P1 corresponde al *transmisor de presión* (Figura 14) y el código 4G2-VR1-Z1 a la *electroválvula de regulación* (Figura 12).

DIBUJADO: ABEL F.	NOMBRE	CCM ZONA DESCARGA AMONIACO		
COMPROBADO:				
FECHA: 19-09-2017	MAQUINA:	BOMBA N°1 INYECCION LADO SAGUNTO (4G2-PU1.M1)		
MODIFICADO:	REFERENCIA	MODULO N°	HOJA DE ESQUEMA:	HOJA DE TOTALES:
FICHERO 4G2-PU1.M1.DWG		-	8	1/1

Figura 28. Cajetín de esquema en el interior de un CCM.

El CCM es una habitación con distintos cuadros eléctricos. Para poder saber en qué parte del CCM se encuentran los elementos descritos en el plano se pone el número de módulo (Figura 28). Con este número sabemos en qué parte del CCM se encuentran los elementos del esquema eléctrico.

Donde vemos *hoja de esquema* ponemos si es un esquema único o sigue en más hojas. En la Figura 27 vemos que pone 1/2, esto quiere decir que estamos en la hoja uno de un esquema que tiene dos hojas. Dentro del esquema vemos dos líneas que van a unas cajas con un código en su interior. Este es el nombre del plano número dos. Las *hojas de totales* indican el número de plano en el que estamos, es decir, si tenemos un cuadro con 20 hojas esto nos indica en cuál nos encontramos.

Como se ha indicado todo lo que vemos en el plano (Figura 27) se encuentra en el interior del *cuadro intermedio descarga amoníaco* excepto lo que vemos en el interior de los cuadros con líneas discontinuas verdes. Estas líneas verdes indican que los elementos que tienen en el interior se encuentra en otra parte de la instalación, en este caso los equipos de la parte superior están en la zona ATEX de descarga (*skid de control descarga amoníaco* Figura 7) y los de la parte inferior se encuentran en el CCM de la *zona descarga amoníaco* (Figura 7).

Las líneas rojas discontinuas son los cables de señales o alimentaciones que van de un lado de la instalación a otro. En la Figura 27 estas líneas vemos que son de señales ya que van desde el CCM de la *zona descarga amoníaco* hasta una *barrera de señales a zona ATEX* (en el interior del *cuadro intermedio descarga amoníaco* Figura 7) y de esta a la zona ATEX de la *zona descarga amoníaco* (*skid de control descarga amoníaco* Figura 7).

6.6.3 Esquemas de los cuadros eléctricos

A continuación vamos a mostrar y describir algunos de los planos eléctricos de la instalación diseñados.

Los esquemas de conexiones de los equipos como *barreras de señales a zona ATEX*, alimentación de las bombas y ventiladores de presión mediante bloque teSys, protecciones generales y alimentaciones de las electroválvulas mediante relés, son esquemas que se repiten en los diferentes cuadros. Para no repetir esquemas mostraremos sólo los planos que son más significativos. No obstante, todos los planos se incluyen en los anexos del TFG.

En concreto, vamos a mostrar algunos planos correspondientes a la *zona descarga amoníaco* (sección 6.2).

- *En el cuadro intermedio descarga amoníaco:*
 - Plano de distribución de los elementos del cuadro.
 - Planos de conexión: Protección general y Protección fuente.
En estos planos veremos los elementos de protección generales del cuadro.
 - Plano de conexión de las barreras digitales y relés.
 - Plano de conexión de las barreras analógicas.
 - Plano de conexión de las barreras PTC.

- *En el CCM zona descarga amoníaco:*
 - Plano de distribución de los elementos del cuadro.
 - Plano de conexión de la automatización de las bombas de descarga amoníaco.

6.6.3.1 Cuadro intermedio Descarga Amoniaco

A continuación mostramos en detalle el plano del cuadro intermedio descarga amoniaco.

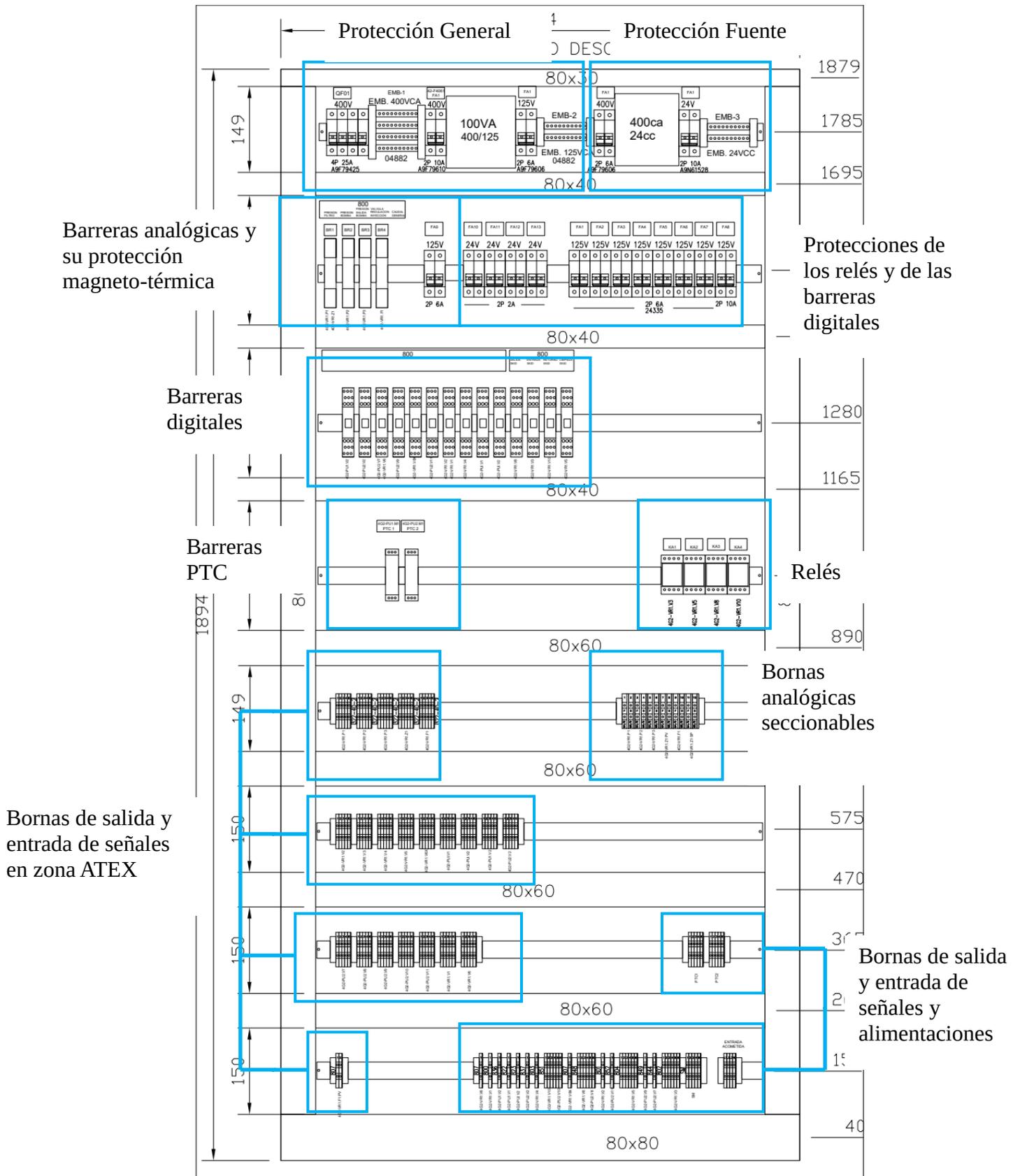


Figura 29. Distribución de los elementos en el cuadro intermedio descarga amoniaco.

En el plano de la figura 29 se ve la distribución de los equipos de protección en el *cuadro intermedio descarga amoníaco*. En el primer carril se incluye:

- La *protección general* del cuadro que consta de un magneto-térmico general, seguido de un embarrado trifásico para la distribución de las líneas de alimentación. A continuación se ponen las protecciones a la entrada y salida del transformador el cual reduce la tensión de 400 a 125 V, ya que es la tensión a la que trabajan los equipos receptores de las señales digitales (*barreras digitales y relés*).
- En la parte derecha (*protección fuente*) tenemos las protecciones de una fuente de alimentación de 24 Vdc que utilizaremos para ciertos equipos de la zona ATEX que funcionan a esta tensión de protección, como las electroválvulas. La salida del transformador y de la fuente se conectan a sendos borneros para facilitar la distribución de las alimentaciones en el cuadro.

En el segundo y tercer carril tenemos las *barreras de señales zona ATEX* que separan las señales de zona ATEX de las que van a los equipos remotos y las protecciones de estas señales. Los térmicos de 125 Vac son para las alimentaciones de las barreras y los de 24 Vdc para la alimentación de las electroválvulas.

En la cuarta fila tenemos dos tipos de elementos, en la izquierda (*barreras PTC*) tenemos dos protecciones térmicas que funcionan asociadas a un contacto de las bombas de descarga. Las bombas de descarga son elementos muy sensibles puesto que el calentamiento excesivo puede provocar un incendio o explosión en la zona ATEX. Estas barreras PTC funcionan igual que las *barreras de señales zona ATEX*. Por otro lado, en la parte derecha (*Relés*) tenemos cuatro relés que están asociados a las alimentaciones de las electroválvulas ya que se controlan con señales digitales (125V ac) y se alimentan con 24V dc.

En las filas siguientes están las bornas de interconexión entre las señales del interior del cuadro y las del exterior. Todas las bornas que están a la izquierda (*Bornas de salida y entrada de señales en zona ATEX*) son de entrada y salida de la zona ATEX y las de la derecha (Bornas de salida y entrada de señales y alimentaciones) son salidas normales (400V, 125V) para evitar que los cables de alimentación generen intensidades indeseadas en los cables que van a zona ATEX mediante campos magnéticos.

A continuación veremos cómo están conectados los elementos del cuadro y los equipos externos.

- Planos de conexión: *Protección general y Protección fuente del cuadro intermedio descarga amoniaco:*

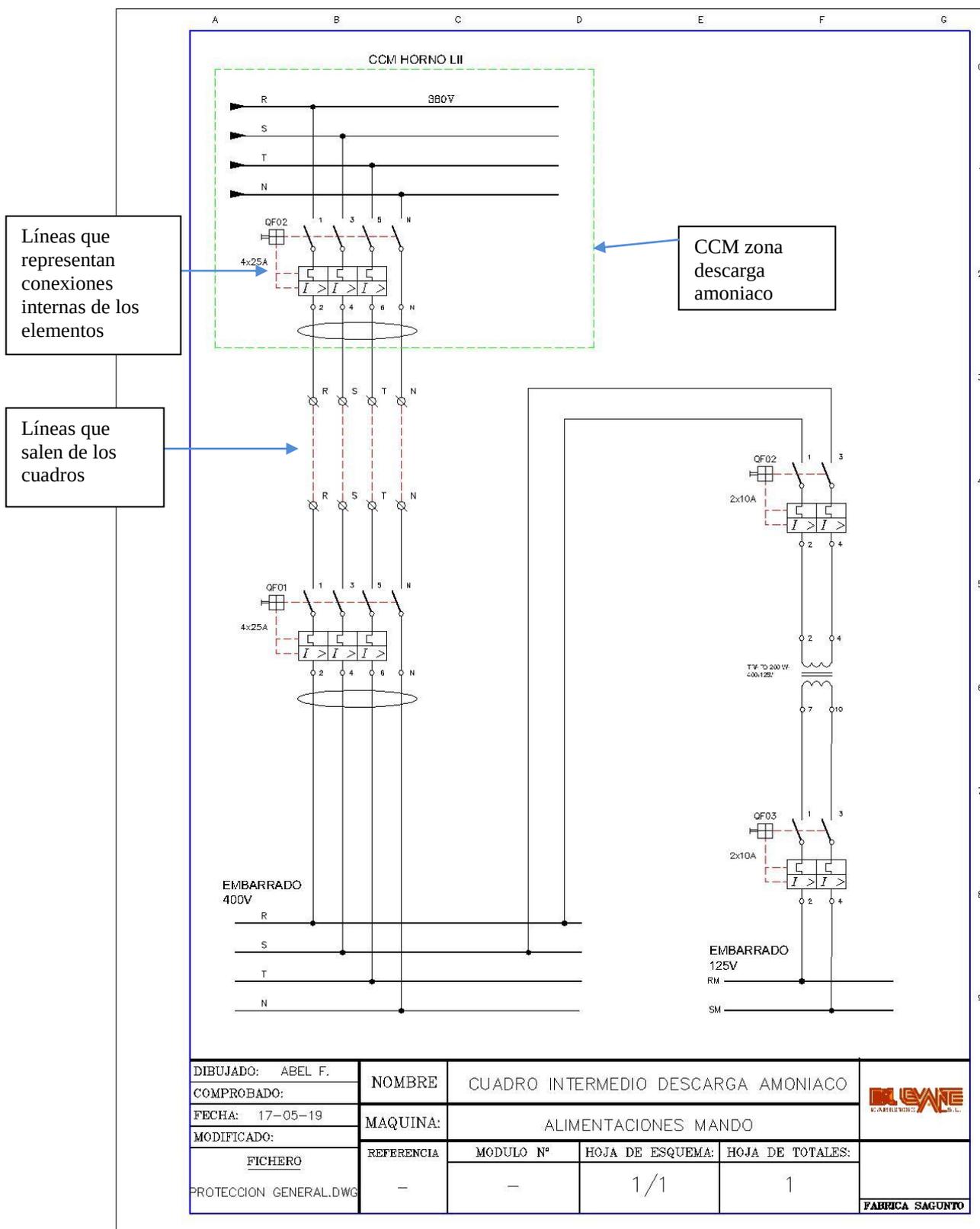


Figura 30. Esquema de la Protección general del cuadro intermedio descarga amoniaco.

Como hemos explicado anteriormente, tenemos el magneto-térmico general (Figura 30) que alimenta el transformador y la fuente de alimentación. Las líneas discontinuas de color verde, indican que lo que hay en su interior se encuentra en un lugar distinto al de los otros elementos. En este caso el plano corresponde al *cuadro intermedio descarga amoníaco* pero la protección de su acometida (línea que alimenta al cuadro) procede del CCM (Centro de Control y Mando) de la *zona descarga amoníaco*.

En el embarrado de 125 V vemos las referencias RM y SM, esto es porque los equipos distinguen entre la fase (RM) y el neutro (SM). Los magneto-térmicos principales que protegen la línea general, el transformador y la fuente de alimentación se nombran como QF y los magneto-térmicos secundarios que protegen las barreras, señales y alimentaciones de algunos equipos se nombran como FA.

Las líneas rojas discontinuas indican que son cables que se encuentran fuera de los cuadros y los CCM.

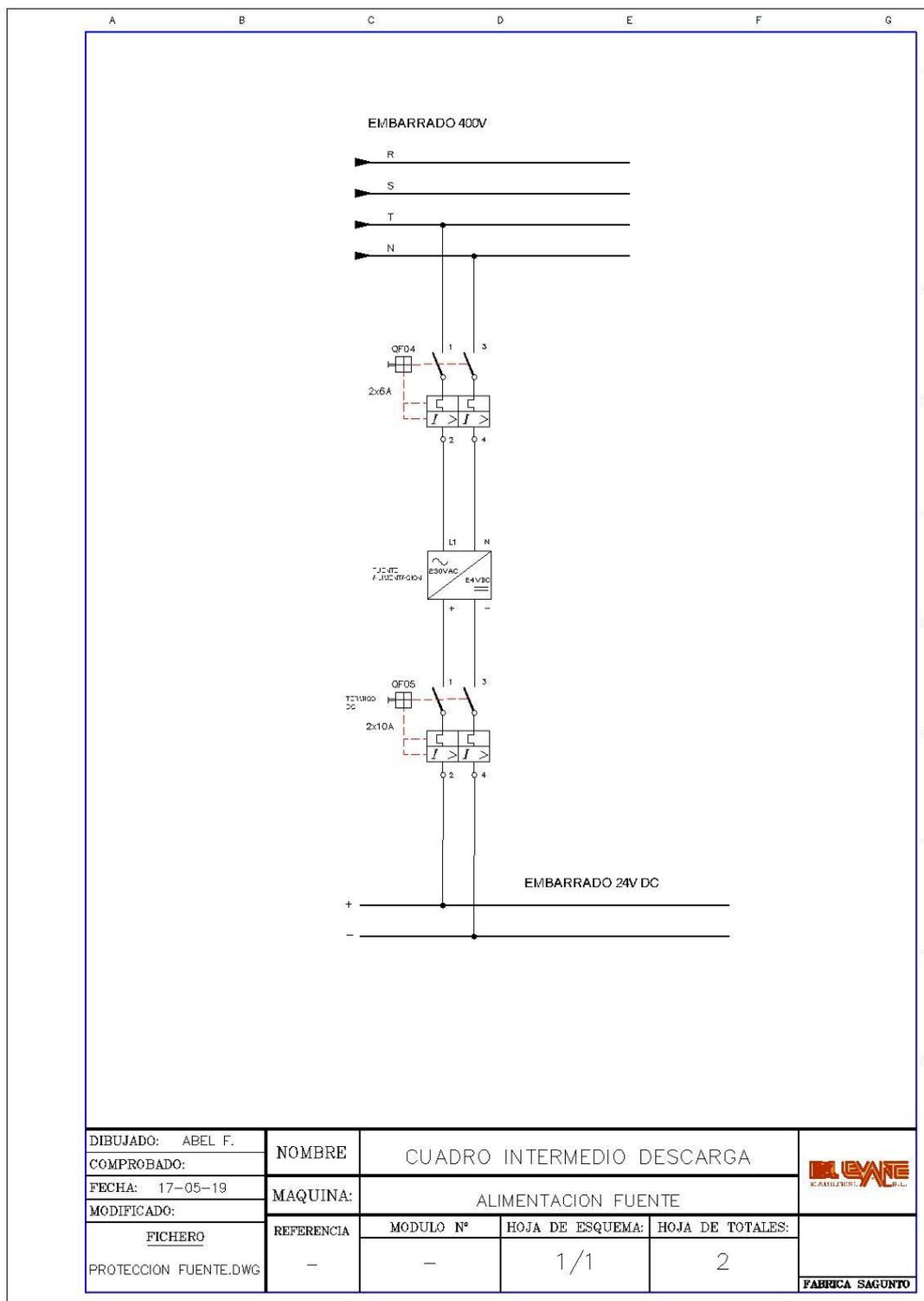


Figura 31. Esquema Protección fuente del cuadro intermedio descarga amoniaco.

En el plano de la Figura 31 tenemos la conexión de las protecciones para la fuente de alimentación de 24V dc. Se pone protección a la entrada y a la salida para proteger ambas líneas de alimentación.

- Planos de conexión: Conexión de los relés para las electroválvulas (cuadro intermedio descarga amoniaco)

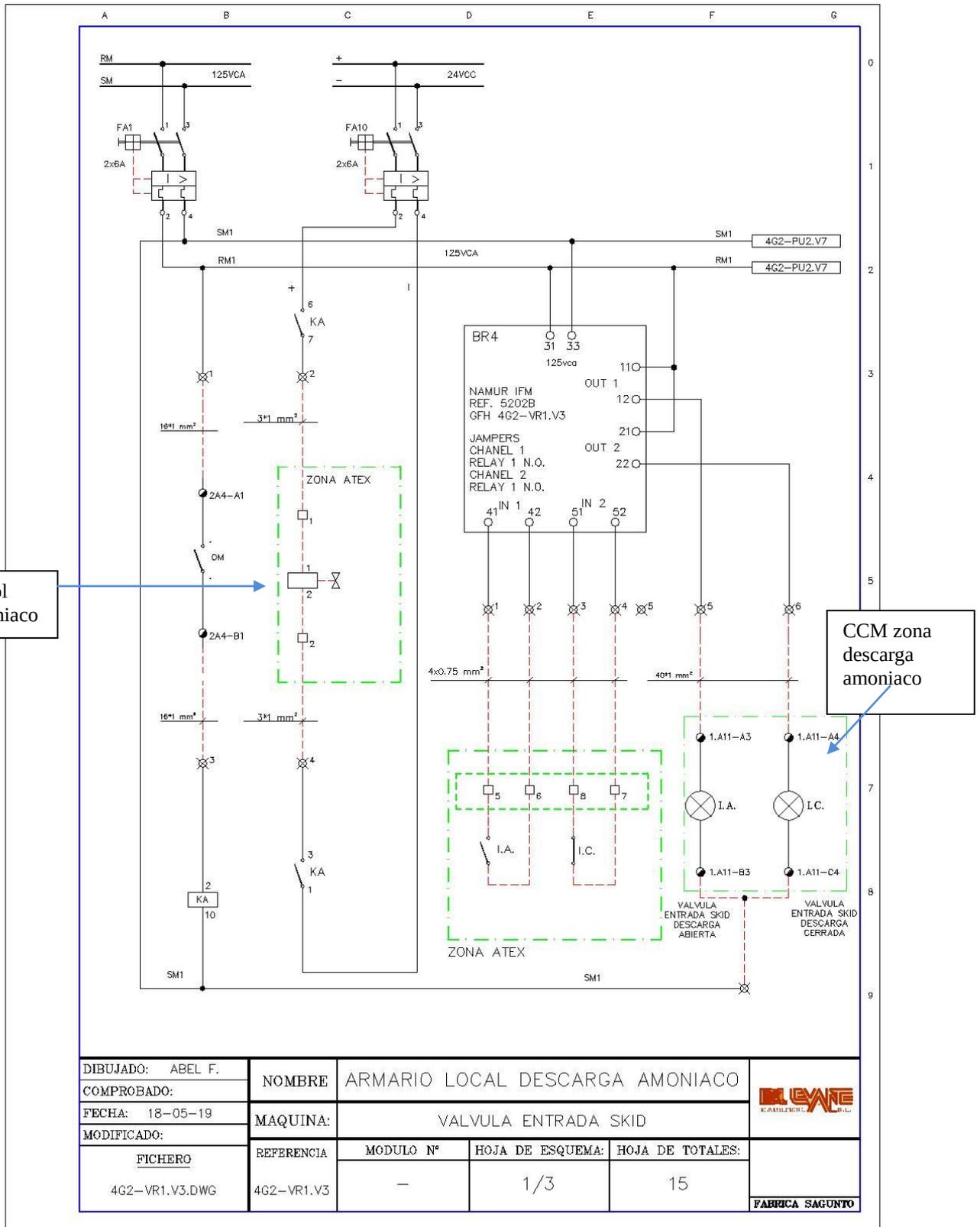


Figura 32. Esquema de conexión de las barreras digitales y los relés en el cuadro intermedio descarga amoniaco

En el esquema de la Figura 32 encontramos elementos de *Barreras digitales* (Figura 29), *Relés* (Figura 29) y *protecciones de los relés y de las barreras digitales* (Figura 29). En Figura 30 tenemos la parte de alimentación del relé que funciona a 125V ac y la parte que va a zona ATEX que se alimenta a 24V dc. Como podemos ver, el relé corta tanto el positivo como el negativo que alimenta a la electroválvula, esto es para evitar tensiones parásitas en los circuitos que se encuentran en la zona ATEX. El contacto OM (Orden de Marcha) es una señal que se controla desde las oficinas de forma remota y se encarga de activar el relé y, en este caso, abrir la entrada del amoníaco al circuito de tuberías.

- Planos de conexión: Conexión de las barreras analógicas (*cuadro intermedio descarga amoniaco*)

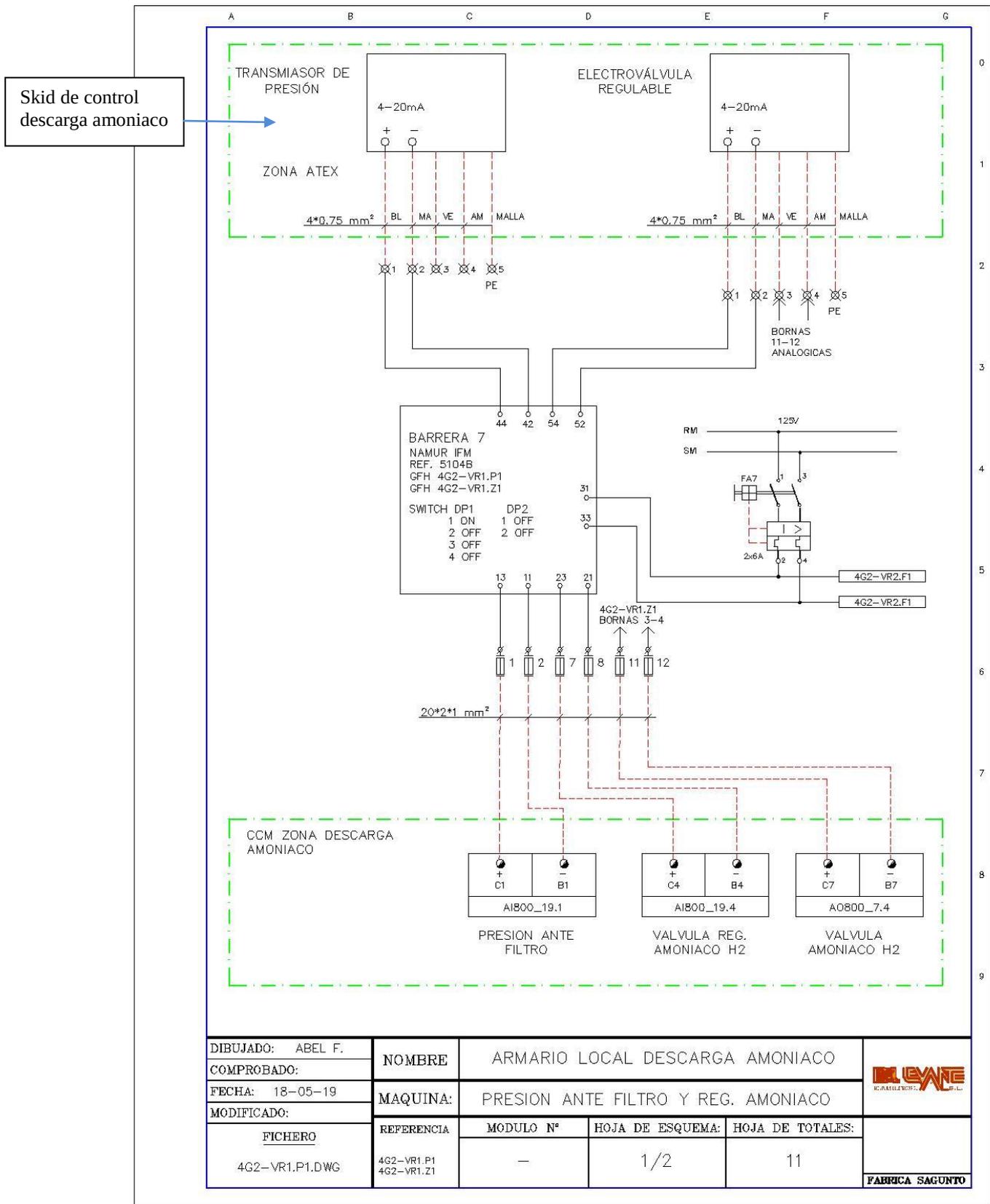


Figura 33. Esquema de conexiones barreras de señales analógicas del *cuadro intermedio descarga amoniaco*.

En la Figura 33 tenemos el esquema de conexiones de dos equipos, en este caso un *transmisor de presión* (Figura 14) y una *electroválvula de regulación* (Figura 12). Estos dos elementos nos dan valores variables por lo que pasan por las barreras analógicas nombradas anteriormente. La electroválvula se regula mediante una señal remota conectada directamente (sin pasar por barrera) a ella ya que trabajamos en corriente continua y a muy bajas intensidades (4-20 mA). Las señales analógicas se pasan por bornas seccionables con fusibles, para poder abrirlas en cualquier momento y comprobar que los equipos mandan bien las señales.

Las líneas rojas discontinuas del plano son líneas que salen del cuadro hacia otra zona, en este caso las líneas van a los equipos de zona ATEX (*skid de control descarga amoníaco*) y a las tarjetas analógicas del CCM de la *zona descarga amoníaco* (Figura 7).

- Planos de conexión: Conexión de las barreras digitales (*cuadro intermedio descarga amoniaco*)

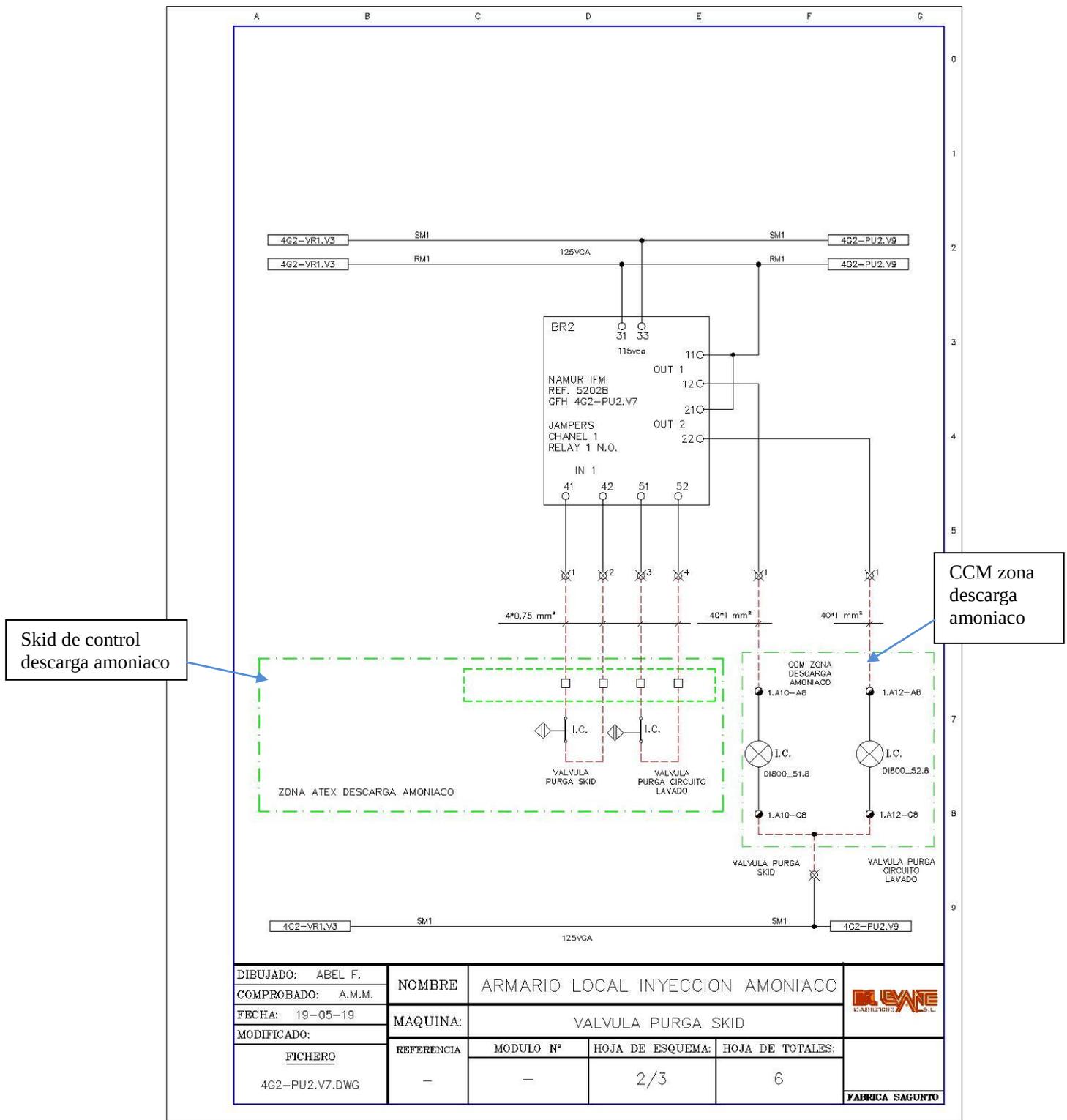


Figura 34. Esquema de conexión de las barreras digitales con los sensores en el *cuadro intermedio descarga amoniaco*.

En la Figura 34 podemos ver el esquema de conexión de las barreras de señales digitales con los distintos sensores que indican si las válvulas están abiertas o cerradas. Las salidas de las barreras van a las entradas de las tarjetas digitales llevando el "positivo" de la señal (RM) y compartiendo el "negativo" común (SM).

- Planos de conexión: Barreras de las PTC (*cuadro intermedio descarga amoniaco*)

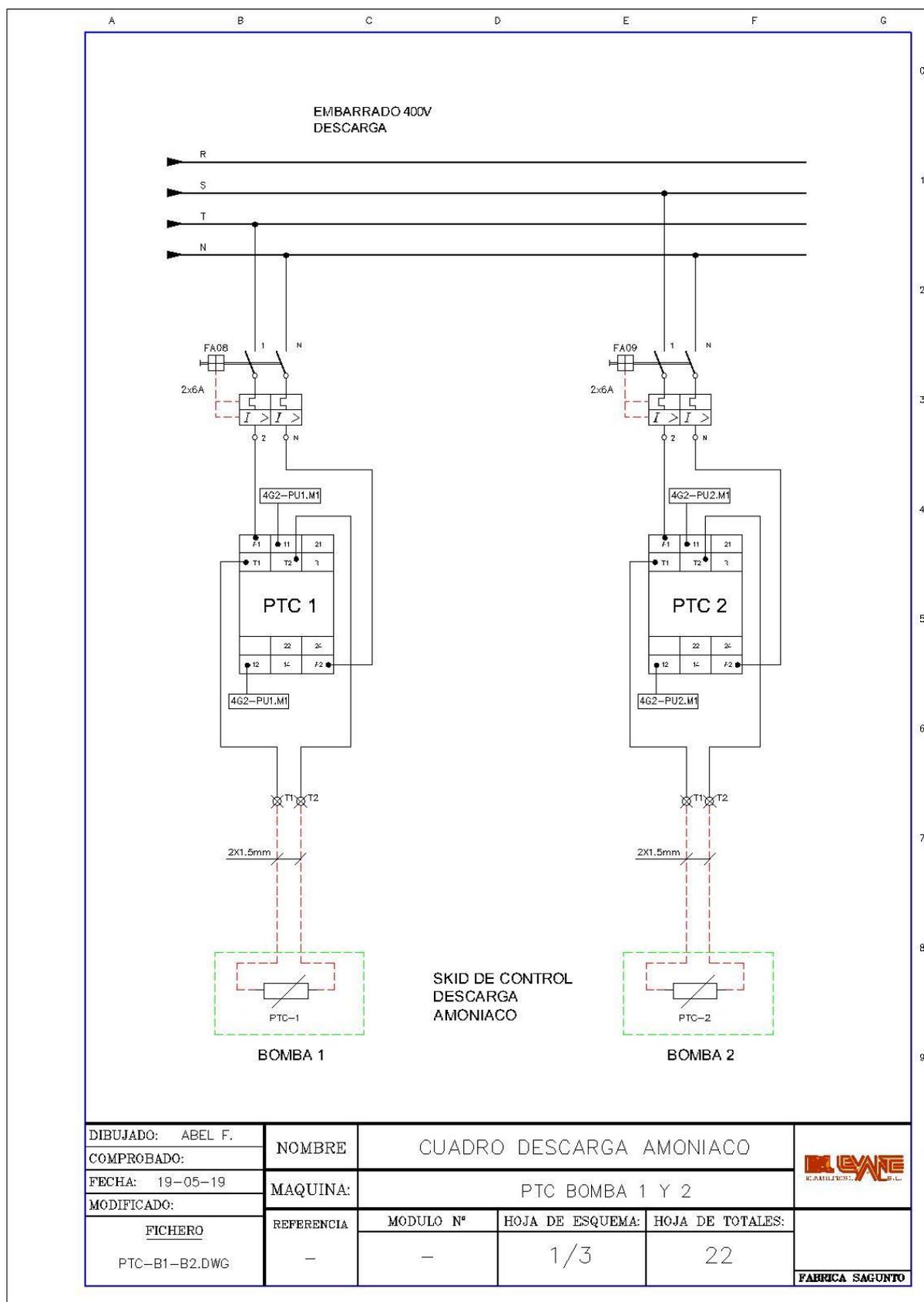


Figura 35. Esquema de conexión de las barretas PTC en el *cuadro intermedio descarga amoniaco*.

En la Figura 37 tenemos el esquema que nos muestra la automatización para el arranque de una de las bombas de descarga de amoníaco. En la parte derecha tenemos la protección para la alimentación de la bomba y la estructura del bloque teSys (Figura 22). Como se ha indicado tenemos varios bloques dentro del teSys por lo que cada uno tiene contactos asociados que se utilizan para el control de la automatización. Estos contactos asociados al bloque teSys se encuentran dentro de las líneas azules discontinuas.

En la parte izquierda tenemos todo el esquema del mando y control para el arranque de la bomba. Tenemos en primer lugar la protección magneto-térmica para la alimentación del mando (125 Vac). Los contactos MF y RT forman parte del bloque teSys siendo el estado del seccionador y del relé térmico respectivamente (Figuras 22 y 23). Si uno de estos contactos está abierto el automatismo no funciona. Seguido a estos contactos tenemos otras tres protecciones más. Primero tenemos un contacto IOF (Figura 21) que es un bloque auxiliar que se adhiere al magneto-térmico que alimenta la bomba y nos indica el estado del mismo, es decir, si el magneto-térmico está abierto, este contacto IOF también lo estará cortando la alimentación del mando. A continuación tenemos la protección térmica interna de la bomba (PTC, Figura 29) que controla su temperatura para evitar el sobrecalentamiento de la bomba debido a que se encuentra en una zona altamente explosiva.

Tras estas protecciones tenemos una seta de emergencia para la protección del personal que pueda haber en la zona.

Una vez todas las protecciones están aseguradas y en su posición de funcionamiento, se puede proceder al arranque de dos formas distintas:

- De forma manual con el pulsador de marcha siempre y cuando esté habilitado el arranque manual (contacto OMM).
- De forma remota mediante el contacto OM.

Estas señales se controlan con las tarjetas digitales vistas anteriormente desde las oficinas. Los contactos 33-34 y 43-44, son contactos asociados al contactor (Figura 24). El primero se utiliza para la realimentación si la alimentación de la bomba se realiza manualmente y el segundo alimenta una señal RC (Retroaviso de Conexión) que indica si el teSys se encuentra en funcionamiento. Además de esta señal tenemos:

- PM: esta señal, al igual que la RC, indica la *Puesta en Marcha*. En asociación con el contacto OMM (Orden de Marcha Manual) sabemos si la bomba está en funcionamiento.
- PL: esta señal se utiliza para indicar si se ha realizado un *Paro Local*, es decir, si se ha pulsado la seta de emergencia.
- EP: el *Estado de Protección* nos indica si alguna de las protecciones ha saltado, ya sea uno de los relés térmicos, el magneto-térmico o que el seccionador del bloque teSys esté abierto.



6.7 Conclusiones del diseño del sistema automático de inyección de amoníaco

En este proyecto se ha incluido un diseño a grandes rasgos de lo que es la instalación final de un sistema de reducción de gases NOx mediante inyección de amoníaco. Los planos más característicos se han mostrado a modo de ejemplo. Muchos de ellos se repiten en los distintos cuadros que forman esta instalación. Todos los detalles de la instalación se muestran en los anexos, donde podemos ver todos los planos que forman la instalación.

Se debe tener en cuenta que este proyecto forma parte de una instalación real que se encuentra en funcionamiento y por tanto se han utilizado elementos comerciales que coinciden con las características de los equipos reales.

En algunos planos la cantidad de símbolos y elemento puede ser desbordante para lectores no especializados en la temática. Hay que tener en cuenta que los planos de conexión incluyen todos y cada uno de los elementos del sistema de inyección de amoníaco para ser utilizados directamente por los instaladores encargados de realizar el despliegue físico.

7 CÁLCULOS DEL CABLEADO DE LA INSTALACIÓN DE INYECCIÓN DE AMONIACO:

En este apartado veremos todo lo relacionado con el cálculo de las líneas de alimentación de los diferentes equipos y cuadros. Además de calcular las líneas de alimentación también indicaremos qué protección deberían llevar estas líneas. Como se ha comentado, se trata de una instalación real, por lo que los cálculos se han realizado con las potencias de los elementos reales. Aquí mostraremos los **cálculos correspondientes a las secciones mínimas admisibles** para cumplir con el reglamento. En algunos planos correspondientes a la instalación real se han declarado secciones y protecciones mayores por un tema de seguridad y porque se han previsto posibles ampliaciones en un futuro. De este modo evitamos volver a re-cablear la instalación si se realiza alguna ampliación futura.

7.1 Cables a calcular

En esta parte del proyecto calcularemos las líneas más importantes, es decir, las líneas de alimentación de los cuadros y las líneas de alimentación de los equipos de potencia como motores. Estas líneas son:

- Alimentación *cuadro CCM zona descarga amoníaco*.
- Alimentación *cuadro intermedio descarga amoníaco*.
- Alimentación *bombas descarga amoníaco*.
- Alimentación *cuadro soplantes*.
- Alimentación *analizador NOx*.
- Alimentación *cuadro intermedio inyección amoníaco*.
- Alimentación *ventiladores de presión*.

Los cables que se encargan de transmitir tanto las señales analógicas como las digitales, no se han calculado puesto que se tratan de señales de decenas de mili-amperios y se han utilizado las secciones y tipo de cables que se utilizan en otras partes de la instalación de producción del cemento. En este caso se utilizan cables de 1mm^2 para las señales digitales y de la misma sección pero con cable par-pos apantallado para las señales analógicas. El cable par-pos consiste en una manguera de cables trenzados por pares de cables los cuales están apantallados individualmente y además recubriendo todos los pares tienen otra pantalla. Estas pantallas metálicas evitan interferencias entre pares y aíslan la manguera de fuentes de ruido externas.



Figura 38. Ejemplo de cable par-pos (Cervi, 2019).

7.2 Fundamentos de cálculo

Para realizar los cálculos de las secciones de los cables se deben tener en cuenta varios factores. Por un lado, hay que calcular las secciones de los cables para que soporten la corriente que van a demandar los equipos que alimentan. Esta corriente depende de potencia y factor de potencia. Además hay que tener en cuenta factores externos a la línea que se va a calcular, como tipo de instalación (por donde van a ir los cables), si hay más de un circuito por la misma acometida, la temperatura ambiente, etc. En la norma UNE-HD-60364-5-52:2014 encontramos todos los datos necesarios para realizar estos cálculos, tablas de intensidades máximas admisibles por los cables según el tipo de instalación, clasificación de los tipos de instalaciones, factores de corrección según el tipo de instalación, etc.

En el cálculo de la sección de un cable por potencia, se toma la suma de potencias de los receptores a los que alimenta el cable. A partir de la potencia, se calcula la corriente que va a circular por el cable. Con la corriente que hemos calculado, se buscan las secciones de los cables en las tablas de la normativa UNE que soporten dicha intensidad. La fórmula que se utiliza para el cálculo por potencia es:

$$I(\text{monofásica}) = \frac{P}{V * \cos\varphi}$$
$$I(\text{trifásica}) = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi}$$

Respecto a los factores de corrección que hay que tener en cuenta para conocer la corriente máxima admisible para cada sección normalizada de cable, tenemos:

- Factor de agrupamiento: en este caso los cables de la nueva instalación se han montado sobre bandejas que ya se disponían con cables de otras instalaciones. En este caso al ser el número de circuitos mayor a 9, el factor de agrupamiento es de 0,73 tal como podemos ver en la tabla B.52.20 de la norma UNE anteriormente citada.
- Factor de temperatura: este factor lo aplicaremos en los cables que van a pasar por la zona del horno, (*zona inyección amoníaco*) ya que en esa zona tenemos una temperatura ambiente de unos 50°C. En la tabla B.52.14 de la norma UNE-HD-60364-5-52:2014 encontramos los factores de corrección para las temperaturas. Para esta temperatura ambiente el factor de corrección es de 0,82.

Estos factores de corrección se aplican a las intensidades máximas que soportan los cables ya que estos factores pueden afectar al calentamiento del cable y como consecuencia aumentar la resistencia que ejerce el mismo sobre el paso de la corriente.

Donde I → intensidad
P → potencia que va a soportar el cable.
V → voltaje de la línea (trifásica 400 voltios, monofásica 230 voltios).
cosφ → factor de potencia.

Para los cálculos de los cables por caída de tensión (debida a la longitud del cable), se tiene en cuenta la resistencia que tiene el cable para sacar la sección del mismo. En el Reglamento

Electrotécnico de Baja Tensión se establecen límites de caída de tensión para tensiones inferiores a 1000 V. La fórmula que se utiliza para el cálculo por caída de tensión es:

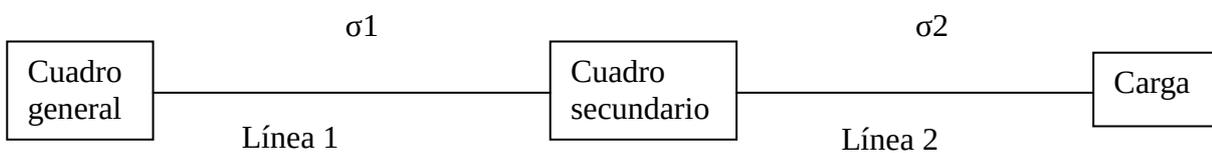
$$S(\text{monofásica}) = \frac{2 * \rho * P * L}{\sigma * V}$$

$$S(\text{trifásica}) = \frac{\rho * P * L}{\sigma * V}$$

- Donde S → Sección del cable.
 ρ → Resistividad del cable dependiendo de si es cobre o aluminio.
 P → Potencia que va a soportar el cable.
 L → Longitud del cable.
 σ → Caída de tensión permitida en la instalación (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión).
 V → Voltaje de la línea (trifásica 400 V, monofásica 230 V).

La caída de tensión la podemos encontrar en la ITC-BT-19. Según esta Instrucción Técnica Complementaria de Baja Tensión vemos que al disponer de centro de transformación propio, la caída de tensión máxima es del 6,5% para motores y elementos distintos de luminarias. La caída de tensión es un valor que se va sumando a lo largo de la línea, es decir, si tenemos tres líneas diferentes pero que cuelgan unas de las otras el sumatorio de caídas de tensión no puede superar ese 6,5%.

- Ejemplo:



$$\sigma_1 + \sigma_2 < 6,5\%(\text{de la tensión de la línea})$$

Para instalaciones monofásicas la caída de tensión sería:

$$\sigma(\text{monofásica}) = 0.065 * 230 = 14.95V$$

Para instalaciones trifásicas la caída de tensión sería:

$$\sigma(\text{trifásica}) = 0.065 * 400 = 26V$$

7.3 Ejemplo de cálculo

En este apartado explicaremos con detalle cómo calculamos cada una de las líneas. Para ello debemos, primero, ver qué tipo de canalización se va a utilizar para sujetar los cables en la instalación. En nuestro caso los cables se han instalado sobre bandeja perforada por lo que es una instalación de tipo E (según norma UNE). En la norma UNE-HD-60364-5-52:2014 nos interesa la tabla B.52.12 donde encontramos la sección de los cables según el tipo de instalación.

Las intensidades que encontramos en esta tabla para instalación de tipo E son:

TABLAS DE INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES

S (mm ²)	I monofásica	I trifásica
1,5	26	23
2,5	36	32
4	49	42
6	63	54
10	86	75
16	115	100
25	149	127
35	185	158
50	225	192

Tabla 2. Intensidades máximas admisibles según la sección del cable y tensión de suministro. (UNE-HD-60364-5-52-2014 tabla B.52.12)

Vamos a hacer un ejemplo de cómo se calcula la línea de una de las bombas de descarga situada en el *skid descarga amoníaco*. En este caso la bomba es trifásica por lo que tenemos una tensión de 400V, una potencia de 2200W, un factor de potencia de 0,9 y una longitud de la línea de 350 metros. Los factores de corrección y la caída de tensión máxima que se aplican son los nombrados en el apartado anterior. Toda la instalación se realiza con cable de cobre.

- Cálculo de sección por potencia:

$$I = \frac{P * 1,25}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} = \frac{2200 * 1,25}{\sqrt{3} * 400 * 0,9} = 4,41 \text{ A}$$

Como vemos en la ecuación anterior, la potencia se multiplica por un factor de 1,25. Esto se debe a que cuando los motores arrancan, tienen un pico de consumo de corriente mayor al de su consumo nominal. Este factor se debe tener en cuenta para calcular la sección de los cables según lo indicado en la ITC-BT-47 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión..

Ahora buscamos en la tabla de intensidades la sección trifásica que soporte esa intensidad. En este caso vemos que la de 1,5mm² soporta 23 A. A este valor se le aplican los factores de corrección por lo que la intensidad que soporta el cable será:

$$I_{admisible} = I_{tabla} * F_{agrupamiento} * F_{temperatura} = 23 * 0,73 * 0,82 = 13,77 \text{ A}$$

El cable de 1,5 mm² valdría para esta línea.

- Cálculo de sección por caída de tensión:

Para la caída de tensión se ha utilizado un 3 % ya que la bomba se alimenta del CCM zona *descarga amoníaco* que se le ha dado una caída de tensión del 3.5% que hace un total de 6.5 %. El 3 % de 400 V es 12 V que es la caída de tensión que utilizaremos en los cálculos siguientes.

$$S = \frac{\rho * P * 1,25 * L}{\sigma * V} = \frac{0,0219828 * 2200 * 1,25 * 350}{12 * 400} = 4,41 \text{ mm}^2$$

La sección mayor más próxima es la de 6 mm² por lo que nos quedaremos con esta.

Ahora que hemos realizado los cálculos de las secciones por ambos métodos debemos escoger la sección más grande correspondiente con el método de cálculo más restrictivo. Esto quiere decir que la sección a instalar será de S = 6 mm².

De modo similar se ha procedido con el resto de líneas de la instalación de inyección de amoniaco. Los resultados obtenidos se muestran en la sección 7.4.

7.4 Resultados

En este apartado se muestran los resultados de calcular las secciones de todos los cables tal y como se ha mostrado en el ejemplo anterior. Para realizarlos de forma más rápida y automática se ha utilizado una tabla Excel (se adjunta como Anexo en un cd).

- Líneas de alimentación de los cuadros:

Alimentación cuadros	P (kW)	PROTECCIÓN	L (m)	cdt (%)	cdt (V)	V	I (A)	S cdt	S potencia	S mayor	S instalada	I max cable (A)
Cuadro soplantes	1	4x6	160	5	20	400	1,60	1,50	1,50	1,50	2,5	19,16
Cuadro analizador	2	4x16	160	5	20	400	3,21	1,50	1,50	1,50	6	32,32
Cuadro intermedio inyección amoniaco	7,2	4x25	130	5	20	400	11,95	4,00	1,50	4,00	6	32,32
Cuadro CCM zona descarga amoniaco	8	4x80	650	3,5	14	400	12,83	25,00	1,50	25,00	35	94,58
Cuadro intermedio descarga amoniaco	4	4x25	350	5	20	400	6,42	4,00	1,50	4,00	6	76,02

- Líneas de alimentación de los equipos:

EQUIPOS	P (kW)	PROTECCIÓN	L (m)	cdt (%)	cdt (V)	V	I (A)	S cdt	S potencia	S mayor	S instalada	I max cable (A)
Soplante 1	0,4625	2x3	25	1	2,3	230	2,23	1,50	1,50	1,50	1,5	15,56
Soplante 2	0,5625	2x3	25	1	2,3	230	2,72	1,50	1,50	1,50	1,5	15,56
Analizador NOx	1	2x16	1	1	2,3	230	4,83	1,50	1,50	1,50	2,5	21,55
Ventilador de presión 1	2,75	3x16	130	5	20	400	4,56	1,50	1,50	1,50	4	25,14
Ventilador de presión 2	2,75	3x16	130	5	20	400	4,56	1,50	1,50	1,50	4	25,14
Bomba descarga 1	2,75	3x16	350	3	12	400	4,41	6,00	1,50	6,00	6	32,32
Bomba descarga 2	2,75	3x16	350	3	12	400	4,41	6,00	1,50	6,00	6	32,32

7.5 Conclusiones

A la hora de realizar los cálculos debemos tener muy presente que la instalación tiene cables muy largos y eso afecta a la caída de tensión. Como vemos en las tablas la sección por caída de tensión es significativamente mayor a la del cálculo por potencia. En esta instalación, hay que distribuir cuidadosamente el porcentaje de caída de tensión admisible a lo largo de toda la instalación para que no se superen los valores máximos y las secciones de los cables no aumenten desproporcionadamente, lo que ocasionaría un incremento de costes y complicaría la instalación.

Así mismo, al ser la caída de tensión el elemento más limitante, esto puede redundar en seguridad para la propia instalación, ya que los cables van a poder soportar mucha más corriente de la que efectivamente circula por ellos.

8 CONCLUSIONES Y POSIBLES MEJORAS

La instalación presentada tiene ciertas partes complejas que hubo que diseñar cuidadosamente. Estamos trabajando con equipos eléctricos que están en contacto directo con productos inflamables, por lo que la seguridad es muy importante. Los cables que van desde los cuadros hasta los equipos de alguna de las zonas ATEX son apantallados. Estas pantallas se conectan en un extremo al chasis de los equipos y en el otro a tierra para evitar chispas que puedan producir un incendio.

Además de esto, estamos trabajando con señales digitales y analógicas que se utilizan como señales de marcha/paro pero también como seguridad para el control de la instalación. Esto supone que debe haber fiabilidad en las señales y se deben evitar interferencias. Para ello, seleccionamos cables par-pos, para las señales analógicas, ya que el apantallamiento de los cables evita las interferencias entre cables y que entren señales externas. Estas pantallas también se conectan a tierra en ambos extremos para que cumplan correctamente su función.

Para los cables que transportan las señales digitales, lo que se ha diseñado son equipos de señales de tensión elevada (125 Vac). Esto también evita que las interferencias que puedan producirse afecten a los equipos de recepción.

Como posibles mejoras al diseño presentado se plantea un control mayor de la temperatura. En esta instalación de reducción de gases de NOx, estamos en todo momento controlando la cantidad de amoníaco que se inyecta a la chimenea según la cantidad de partes por millón (ppm) de gases NOx que detecta el analizador NOx a la salida del proceso de combustión. Para mejorar este sistema de control se podría añadir un sensor de temperatura en la zona donde se inyecta el amoníaco para asegurar que la temperatura es la correcta para que se produzcan las reacciones de forma idónea. Esto nos aportaría velocidad de reacción en caso de que la temperatura fuese mayor o menor a la requerida para realizar este proceso, ya que se detectaría a la salida del horno y no a la salida de la chimenea, ahorraríamos amoníaco y se reducirían las emisiones.

Como hemos visto en los primeros apartados donde explicamos el proceso de reacciones con el amoníaco, la temperatura es un factor a tener muy presente a la hora de tener éxito en la reducción de estos gases tan perjudiciales para el medio ambiente. En la Figura 5 podemos ver el rango de temperaturas a las que el amoníaco reacciona de forma correcta con los NOx. Si nos salimos de este rango de temperaturas estaremos realizando el efecto contrario y produciremos más NOx. Por esta razón considero que es una buena mejora el introducir una sonda de temperatura en la zona donde se inyecta el amoníaco para prevenir esta situación.

9 REFERENCIAS

(Aeco, 2019). Aeco. Sensores inductivos. 2019. Accesible en: <https://www.aecosensors.com/?fuseaction=skdProdotti&idprodotto=7266> (Último acceso 06/04/19)

(Altec, 2019). Altec. Electroválvulas. 2019. Accesible en: <https://www.altecdust.com/productos/electrovalvulas/valvula-atex-21w-exm.html> (Último acceso 05/04/2019)

(Alzqueta & Abián,2010) Generación y eliminación de contaminantes durante la combustión de biomasa. M.U. Alzqueta y M. Abián, Capítulo 17, pp. 43-62, 2010. Energía de biomasa (volumen II). Fernando Sebastián Nogués, Daniel García Galindo y Adeline Rezeau (coordinadores). - Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, ISBN: 978-84-15031-01-7(v.2),2010.

(Cervi, 2019). Cervi, Cable par-pos. 2019. Accesible en: <https://www.cervi.es/ES/3-productos/14--cables-electricos-apantallados/241-cable-apantallado-cervipar-par-pos-500v-cpr.html> (Último acceso 30/08/2019).

(Dwyer, 2019). Dwyer. Transmisores de presión. 2019. Accesible en: <http://www.dwyer-inst.com/Product/Pressure/DifferentialPressure/Gage-Switches-Digital/SeriesAT2DH3> (Último acceso 06/04/2019)

(Esapyronic, 2013). Esapyronic. Electroválvula de regulación. 2013. Accesible en: <http://www.esapyronics.com/wp-content/uploads/2014/12/E1672S.pdf> (Último acceso 05/04/2019).

(Gasoleos Ferrer, 2019). Gasoleos Ferrer. Bomba. 2019. Accesible en: <https://www.gasoleosferrer.com/es/catalogo/gasoleo/bombas-atex.aspx> (Último acceso 12/03/2019)

(Fanware, 2019). Fanware. Ventiladores de presión. 2019. Accesible en: <https://fanware.casals.com/en/50/fans/258-ma-31-t2-2-2kw> (Último acceso 14/03/2019)

(FLSmith, 2019). FLSmith. Molino. 2019. Accesible en: <http://www.directindustry.es/prod/flsmith-dorr-oliver-eimco/product-62016-1488743.html> (Último acceso 20/03/2019)

(FMS, 2014). FMS. Trituradora. 2014. Accesible en: <http://tritadoras-de-roca.com/soluciones/Planta-de-trituraci%C3%B3n-de-escombros-de-concreto-para-agregado.html> (Último acceso 20/03/2019)

(Focus Technology, 2019) Focus Technology. Molino rotativo. 2019 https://es.made-in-china.com/co_jspengfei/product_3-5-10m-Raw-Mill-Used-in-Cement-Production-Line_hriosoeeg.html (Último acceso 20/03/2019)

(Herramientas de ingeniería, 2019) Herramientas de ingeniería. Comportamiento del Nitrógeno a altas temperaturas. 2019. <http://www.herramientasingeneria.com/tech/NOx/NOx.html> (Último acceso 28/02/2019)

(Icenta, 2013). Icenta. Caudalímetro. 2013. Accesible en: https://catalogindustry.com/catalogs/ic-lpm-paddle-wheel-flow-meters/get_pdf (Último acceso 06/04/2019)

(Jiangsu Dynamic, 2005) Jiangsu Dynamic. Soplantes. 2005. Accesible en: https://es.made-in-china.com/co_dynamic-tools/product_Suction-Unit-Ring-Blower-with-High-Flow-RB750-eueyhyhug.html (Último acceso 15/03/2019)

(RS, 2013). RS. Barrera de señales. 2013. Accesible en: <https://es.rs-online.com/web/p/zener-y-barreras-galvanicas/7966979/> (Último acceso 15/03/2019)

(Schneider, 2018). Schneider. Boque teSys. Accesible en: <https://www.se.com/es/es/product/LUB120/tesys-u---base-de-potencia---12-a---na-/?range=682-tesys-u&node=166391479-tensi%C3%B3n-del-circuito> (Último acceso 15/05/2019)

(Schneider, 2018). Schneider. Protección térmica del bloque teSys. Accesible en: <https://www.se.com/es/es/product/LUCB12FU/unidad-de-control-avanzada-lucb---clase-10---3...12-a---110...220-v-cd-ca/> (Último acceso 15/05/2019)

(Schneider, 2018). Schneider. Contactos del contactor del bloque teSys. 2018. Accesible en: <https://www.se.com/es/es/product/LU9BN11/bornero-para-base-de-potencia-lu9/> (Último acceso 15/05/2019)

(Siemens, 2014). Siemens. Analizador de gases. 2014. Accesible en: https://www.automation.siemens.com/sc-static/catalogs/catalog/pa/PA01/es/PA01_es_Kap02.pdf (Último acceso 07/03/2019)

(youtube, 2015) Youtube. ¿Cómo se fabrica el cemento. 2015. Accesible en : https://www.youtube.com/watch?v=mxlb_LkjeXg (Último acceso 07/09/2019)

(Zhongbo Heavy, 2019). Zhongbo Heavy. Horno rotativo. 2019. Accesible en: <http://hu.zhongbo-machine.com/drying-machine/cement-kiln.html> (Último acceso 20/03/2019)