



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE
AMONÍACO PARA LA CENTRAL TÉRMICA
DE CICLO COMBINADO IC ANADOLU
(TURQUÍA)**

Autor: Elena Menéndez Menéndez
Director: Álvaro Melgar Fiz
Pablo Raso Murillo

Madrid
Agosto 2015

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN ACCESO RESTRINGIDO DE DOCUMENTACIÓN

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor **Dña. Elena Menéndez Menéndez**, como alumna de la UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS (COMILLAS), **DECLARA** que es el titular de los derechos de propiedad intelectual, objeto de la presente cesión, en relación con la obra **Diseño y construcción de un sistema de dosificación de amoníaco para la Central Térmica de Ciclo Combinado Ic Anadolu (Turquía)** (Proyecto Final de Carrera), que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual como titular único o cotitular de la obra.

En caso de ser cotitular, el autor (firmante) declara asimismo que cuenta con el consentimiento de los restantes titulares para hacer la presente cesión. En caso de previa cesión a terceros de derechos de explotación de la obra, el autor declara que tiene la oportuna autorización de dichos titulares de derechos a los fines de esta cesión o bien que retiene la facultad de ceder estos derechos en la forma prevista en la presente cesión y así lo acredita.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad y hacer posible su utilización de *forma libre y gratuita (con las limitaciones que más adelante se detallan)* por todos los usuarios del repositorio y del portal e-ciencia, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución, de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra (a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión.

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia, el repositorio institucional podrá:

(a) Transformarla para adaptarla a cualquier tecnología susceptible de incorporarla a internet; realizar adaptaciones para hacer posible la utilización de la obra en formatos electrónicos, así como incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.

(b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.

(c) Comunicarla y ponerla a disposición del público a través de un archivo institucional, accesible de modo restringido, en los términos previstos en el Reglamento del Repositorio Institucional.

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra que cede con carácter no exclusivo a la Universidad por medio de su registro en el Repositorio Institucional tiene derecho a:

a) A que la Universidad identifique claramente su nombre como el autor o propietario de los derechos del documento.

b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.

c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada. A tal fin deberá ponerse en contacto con el vicerrector/a de investigación (curiarte@rec.upcomillas.es).

d) Autorizar expresamente a COMILLAS para, en su caso, realizar los trámites necesarios para la obtención del ISBN.

d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.

b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.

c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

a) Deberes del repositorio Institucional:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.

- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.

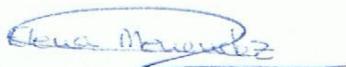
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.

b) Derechos que se reserva el Repositorio institucional respecto de las obras en él registradas:

- retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 17 de agosto de 2015

ACEPTA



Fdo. Elena Menéndez Menéndez

Proyecto realizado por el alumno/a:

Elena Menéndez Menéndez

Fdo.: Elena Menéndez Fecha: 17 / 08 / 15

Autorizada la entrega del proyecto cuya información no es de carácter
confidencial

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Álvaro Melgar Fiz

Fdo.: [Signature] Fecha: 17 / 08 / 15

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Pablo Raso Murillo

Fdo.: [Signature] Fecha: 17 / 08 / 15

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

José Ignacio Linares Hurtado

Fdo.: Fecha: / /

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE AMONÍACO PARA LA CENTRAL TÉRMICA DE CICLO COMBINADO IC ANADOLU (TURQUÍA)

Autor: Menéndez Menéndez, Elena.

Directores: Melgar Fiz, Álvaro.

Raso Murillo, Pablo.

Entidad colaboradora: Fluideco Equipos Industriales S.L.

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

La construcción de una central térmica de ciclo combinado supone una gran inversión. Por consiguiente, debe estar diseñada de forma que se maximice su vida útil y el coste de mantenimiento sea lo más reducido posible.

Dos de los principales problemas que pueden tener los circuitos agua/vapor son la corrosión y la acumulación de impurezas. Estos factores influyen notablemente en el rendimiento de la planta y pueden acabar con alguno de los equipos que la componen. Es por ello por lo que resulta tan importante el control químico. La elección del tratamiento más adecuado depende de diversos factores como el punto en el que se quiere dosificar el químico y la compatibilidad de éste con los materiales del circuito.

Para combatir la corrosión, es necesario que las propiedades del agua de aporte sean de elevada pureza. Además, un elevado valor del pH del agua puede reducir la velocidad de corrosión. Otro elemento a considerar es el oxígeno disuelto, que puede acelerar el proceso de corrosión.

La función principal del tratamiento químico es garantizar el adecuado funcionamiento del ciclo durante su vida útil.

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema de dosificación de amoníaco que permita aumentar el pH del agua para combatir la corrosión y maximizar la vida útil. La dosificación se lleva a cabo en dos puntos distintos: Las bombas de condensado y el agua de alimentación del condensador. Las características de estos puntos son distintas por lo que se debe adaptar el sistema de manera que soporte las condiciones de funcionamiento de ambos puntos en cuanto a presión, temperatura y caudal.

El sistema consta de los siguientes elementos principales: cuadro de control, bomba de llenado, tanque de dilución, lavador de gases y cuatro bombas dosificadoras, dos para cada destino.

Metodología

La selección y el diseño de todos los elementos que componen el sistema se realiza basándose en criterios técnicos y de calidad, cumpliendo las normas internacionales aplicables y los requerimientos del cliente final.

El sistema está diseñado para que pueda controlarse en modo remoto desde el DCS o de forma manual para tareas de mantenimiento y pruebas.

A partir de los datos químicos del amoníaco y del caudal máximo y de operación de cada destino, se determina el caudal máximo de las bombas y el tamaño del depósito. Las características de las líneas se muestran en la siguiente tabla:

Concepto	Uds.	Valor	
		Agua de alimentación	Bombas de condensado
pH requerido	[-]	9,2-9,6	9,4-9,8
Caudal	[l/h]	0,36	20,5
Presión máxima	[barg]	10	42,5

Tabla A. Características generales del sistema

Fuente: Propia

Para garantizar la adecuada conservación del sistema y puesto que no se aloja en el interior de un edificio se decide utilizar un contenedor en el que albergar todos los elementos. Sus dimensiones están condicionadas al transporte en camión y al tamaño de los equipos en su interior.

El depósito requerido para cumplir con la demanda de amoníaco debe ser de 3500 l. Se opta por una disposición horizontal ya que se adapta mejor al espacio disponible en el contenedor. Se elige como material de fabricación del depósito HDPE y se diseña para que tenga indicador de nivel, venteo o conexión al lavador de gases, boca de hombre, etc.

El depósito se encuentra sobre un cubeto diseñado para albergar el 110% del volumen del depósito. Las limitaciones que tiene en cuanto a dimensiones son: la necesidad de dejar un pasillo mínimo a lo largo del contenedor de 400 mm, el largo máximo no debe superar la longitud de paneles desmontables del contenedor desde donde se introduce, y por último la altura mínima posible.

Por otra parte, con el objetivo de neutralizar los gases en el depósito, se instala un lavador de gases tipo borboteador conectado a la línea de venteo del depósito.

La bomba de llenado se encarga de hacer llegar el químico al depósito donde se efectúa la dilución. Para esta función se elige una bomba neumática aprovechando la conexión de aire de servicio disponible y las buenas prestaciones que ofrece.

Para controlar la entrada de aire a la bomba, la línea cuenta con un filtro que regula el caudal de aire (con la ayuda de un manómetro) y eliminan las posibles impurezas. A continuación se encuentra un presostato cuya función es mandar una señal al DCS para avisar de que la bomba está en funcionamiento en el caso de que detecte presión en el circuito de aire.

En cuanto a las bombas dosificadoras, se eligen modelos distintos para cada destino que se adapten a sus características y que cuenten con variador de frecuencia para poder controlar el caudal. Aunque se tienen dos bombas por destino, sólo una de ellas debe funcionar durante la dosificación quedando la otra en reserva, el DCS decide la bomba que debe arrancar en cada caso dependiendo de las horas de funcionamiento acumuladas por cada bomba.

El tamaño de las líneas se establece según criterios técnicos y se considera recomendable utilizar un diámetro mayor en aspiración (OD12) y uno menor en impulsión (OD8). Las

líneas son de tubing de acero inoxidable SS 316, salvo algunas conexiones del depósito y del lavador de gases que son en PVC.

Con el objetivo de asegurar una correcta dilución se dispone de un agitador, cuyas características se determinan en función del tamaño del depósito y de las características del fluido. Se opta por un modelo con motor horizontal debido al reducido espacio disponible entre la parte superior del depósito y el contenedor.

El funcionamiento de las bombas y del agitador puede controlarse tanto desde el DCS, en modo remoto, como desde el cuadro de control, en modo manual desde el interior del contenedor.

El cuadro cuenta con pulsadores start/stop, leds de marcha/fallo, selectores de modo manual/remoto y seta de emergencia. Adicionalmente se instala un transformador en el interior del cuadro para los elementos monofásicos y otro en el exterior para los accesorios del contenedor como luminaria, aire acondicionado, etc.

Desde el punto de vista del cuadro, se envían al DCS 6 señales de estado start/stop, 5 señales fallo/no fallo, 5 señales modo manual/remoto, 1 señal de alarma de la seta de emergencia y 1 señal analógica del transmisor de presión. Desde el DCS se reciben 5 órdenes start/stop (para el modo remoto) y 4 señales analógicas de caudal para las bombas dosificadoras.

En modo manual se puede controlar desde el cuadro el arranque y paro de las bombas dosificadoras y el agitador, regular el caudal de las bombas dosificadoras a través de variadores de frecuencia o desde la propia bomba u obtener información sobre el funcionamiento de las bombas y el agitador. El funcionamiento de la bomba neumática no se puede controlar a través del cuadro de control, sólo se puede obtener información de marcha/paro.

En modo remoto, el control del sistema reside en el DCS, donde se toman las decisiones basándose en la información que se recibe del sistema.

Tanto el contenedor como el cuadro de control, el agitador y las bombas de dosificación de las bombas de condensado deben ir pintados para proteger las soldaduras frente a la corrosión. El color de cada elemento lo establece el cliente.

Para controlar el nivel del depósito y proteger los equipos, se dota al depósito de un transmisor de presión. Éste se instala en la parte inferior del lateral del depósito y mide la columna de líquido sobre él. A partir de ese dato manda una señal de 4-20 mA al DCS que corresponde al nivel del depósito. Basándose en esta información, se configuran tres alarmas asociadas al nivel del depósito:

- Nivel alto: Alarma para que el operador pare la bomba neumática
- Nivel bajo: Alarma que para el agitador
- Nivel muy bajo: Alarma que para las bombas dosificadoras

Para controlar el caudal de las bombas dosificadoras se incluye una columna de calibración. Su funcionamiento consiste en medir la cantidad de fluido que desaloja durante un determinado tiempo (un minuto), durante el cual la válvula del depósito está cerrada, de forma que el caudal de las bombas proviene de la columna de calibración. Como los caudales son muy distintos dependiendo de la bomba, se elige un tamaño de columna de calibración intermedio.

Por motivos de seguridad y para mantener controlado el sistema en todo momento, cada línea de impulsión de las bombas dosificadoras cuenta con un manómetro con membrana separadora y una válvula de seguridad. La escala de los manómetros se selecciona basándose en la presión máxima a la que puede trabajar el sistema, ya que a partir de entonces actuarán las válvulas de seguridad, taradas a dicha presión (42,5 bar y 10 bar). La escala de los manómetros se elige de modo que la presión de tarado de las válvulas de seguridad sea $\frac{2}{3}$ del final de escala, por ello los manómetros seleccionados son de 60 bar y 16 bar.

Como consecuencia del caudal oscilante de las bombas, es necesario contar con amortiguadores de pulsaciones que disminuyan este efecto. Su capacidad y materiales se determinan dependiendo del caudal de la línea, la presión de operación y las propiedades del fluido. Se colocan en la línea de impulsión de cada par de bombas dosificadoras.

Para proteger los equipos y facilitar las tareas de mantenimiento se dota al sistema de diversos tipos de válvulas (de bola, antirretorno, de seguridad y manifold). Las válvulas de seguridad están taradas a la presión de diseño de cada uno de los destinos, de esta forma, cuando se alcanza esa presión, se descarga al depósito parte del fluido a través de estas válvulas para reducir la presión. Se conectan a la línea de impulsión de cada bomba.

Otro elemento que se emplea para proteger los equipos son los manifolds. El cliente requiere su uso para los instrumentos que no cuentan con membrana separadora. En el caso de este sistema únicamente se emplea en el transmisor de presión.

Resultados

Una vez ensamblado el sistema, se comprueba su funcionamiento y se realizan las pruebas FAT (Factory Acceptance Test) en presencia del cliente, el cual se muestra satisfecho tanto con el diseño como con los resultados de las pruebas.

Tras comprobar el funcionamiento, se embala el sistema en una jaula de madera con protección de plástico para evitar la entrada de agua o humedad. Adicionalmente, se cuenta con una caja de madera en la que se incluyen todos los accesorios necesarios, así como las conexiones de los puntos terminales que no se han instalado para mantener las dimensiones exteriores del contenedor como límites del sistema para su transporte. Ambos paquetes incluyen en su interior bolsas de gel de sílice para mantener las condiciones de humedad.

Los paquetes se envían a la planta en un único camión, por cuenta del cliente. Una vez allí se debe realizar la puesta en marcha del sistema.

Conclusiones

El diseño se ha llevado a cabo cumpliendo las normas internacionales aplicables a los materiales y misión del sistema, así como las condiciones especificadas por el cliente. Además, se tienen en cuenta todas las configuraciones posibles y se opta finalmente por la óptima en función de las características, el espacio disponible y el coste.

Se completa satisfactoriamente el pedido del cliente en el menor plazo de tiempo posible. Se produce un retraso de dos semanas como consecuencia de una incidencia con un suministrador. El cliente acepta este retraso sin penalización.

Diseño y construcción de un sistema de dosificación de amoníaco para la Central Térmica de Ciclo Combinado Ic Anadolu (Turquía)

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Por otra parte, se cumple con el presupuesto calculado inicialmente, sin costes adicionales para solventar problemas.

AMMONIA CHEMICAL DOSING SYSTEM DESIGN AND ASSEMBLY FOR IC ANADOLU COMBINED CYCLE THERMAL POWER PLANT (TURKEY)

Author: Menéndez Menéndez, Elena.

Supervisors: Melgar Fiz, Álvaro.

Raso Murillo, Pablo.

Collaborating entity: Fluideco Equipos Industriales S.L.

ABSTRACT

Introduction

The construction of a combined cycle thermal power plant represents a massive investment. Therefore, its design must be appropriate to maximise its lifetime and minimise maintenance costs.

The main issues on water/steam cycle are corrosion and pollution. They have an impact on plant performance and can damage some of the equipment. That is the reason of the importance of chemical dosing system. The best chemical treatment depends on several aspects, including the part of the cycle where the chemical dosing is injected and the fluid compatibility with the materials used in the cycle.

To avoid corrosion, make-up water needs to be highly pure. High pH value can reduce corrosion rate, while dissolved oxygen can increase the corrosion process. The main function of chemical treatment is to ensure proper cycle operation during its lifetime.

The purpose of this project is to design a chemical dosing system with ammonia to raise water pH value at two different points: Condensate pumps discharge and make-up condenser. These points have different characteristics, so the system must be able to operate under both situations (in terms of pressure, flow and temperature).

The main equipment included in the system consist of: Control panel, filling pump, diluting tank, gas scrubber and four metering pumps (two per destination).

Methodology

The skid component's selection and design is based on technical and quality criteria, complying with applicable international standards and customer requirements. The system is designed to be controlled both in remote mode from DCS or in manual mode for maintenance and testing operations.

The maximum flow rate for pumps and tank capacity was determined by the chemical data of ammonia and operating and maximum flow in each destination. Main characteristics of discharge lines are shown below:

Concept	Units	Value
----------------	--------------	--------------

		Make-up condenser	Condensate pumps discharge
Required pH	[-]	9,2-9,6	9,4-9,8
Pump's flow	[l/h]	0,36	20,5
Maximum pressure	[barg]	10	42,5

Table B. General system characteristics

Source: Own elaboration

To ensure proper system protection (given it will not be kept in a building), the system will be located inside a container. The container's size must be enough to store all the equipment but is limited to the lorry's size.

The tank must have 3,500 l capacity to comply with ammonia demand and is positioned horizontally for better fitting the container. The material chosen for the tank is HDPE and is designed to include level indicator, venting or gas scrubber connection, manhole, etc.

The tank is located over a retention bund which is capable of holding 110% of tank's volume. Retention bund size limitations are as follow: it is necessary to allow a minimum space along the container of 400 mm, the maximum length should not exceed the removable panel's length to allow its insertion and the minimum possible height.

Moreover, in order to neutralize ammonia vapours inside the tank, a gas scrubber with stand pipe is connected to the tank vent line.

The filling pump is in charge of leading the chemical to the tank, where dilution is performed. A pneumatic pump is chosen due to its good performance and available air service connection.

To control pump air inlet, there is a regulating filter to adjust air flow (using a pressure gauge) and remove any pollution. Thereupon, there is a pressure switch that informs about filling pump running to DCS if there is pressure in the line.

There are two kinds of dosing pumps, depending on their destination (to suit their characteristics), equipped with frequency inverter to control chemical flow. Only one pump is running during dosing process, DCS is responsible for choosing the pump which is running depending on total running hours of each pump.

The size of the line is selected according to technical criteria and is considered appropriate to use bigger diameter for suction (OD 12) than for discharge lines (OD 8). Lines are made of stainless steel tubing SS 316, excepting some tank and gas scrubber connections, which are made of PVC.

In order to ensure the correct dilution, an agitator is used. Its design is based on the chemical properties and tank size. Its motor is located horizontally due to the reduced space between tank and container.

Pumps and agitator are controlled from DCS in remote mode and from control panel (inside the container) in manual mode.

The control panel has start/stop buttons, run/fault leds, manual/remote selectors and emergency stop. Additionally, there is a transformer installed inside the control panel for single-phase elements and another outside the control panel for container accessories such as lighting, air conditioning, etc.

The control panel sends to DCS 6 start/stop status signals, 5 fault/no fault signals, 5 manual/remote mode signals, 1 emergency alarm signal (from the emergency button) and 1 analog signal (from the pressure transmitter). DCS sends 5 start/stop orders (for remote mode) and 4 analog signals for metering pumps flow.

In remote mode, the control of the system lies in the DCS, where all decisions are made following the information received from the system.

The container, control board, agitator and metering pumps for condensate pumps discharge must have a coat of paint in order to protect welds against corrosion. The colour of each element is established by the client.

To control the tank level and protect the equipment, the tank has a pressure transmitter. It is installed in the bottom of the lateral side of the tank and measures the liquid column above it. This information is sent to DCS in a 4-20 mA signal which corresponds to tank level. With this information, three level alarms are configured:

- High level alarm: The operator must stop pneumatic pump
- Low level alarm: It stops agitator
- Low low level alarm: It stops metering pumps

To check metering pumps' flow, a calibration column is used. It works by measuring the amount of fluid that leaves the instrument during a pre-determined time (one minute). During this time, the tank valve must be closed so that the pump flow comes from the calibration column. As the flow rates are very different depending on the pump, an intermediate calibration column size is chosen.

For safety reasons and to keep the system controlled all the time, every discharge line connected to metering pumps has a pressure gauge with separating gasket and a pressure security valve. The pressure gauge range is selected based on the maximum pressure in which the system can operate. When the maximum level is reached safety valves act (loaded at 42.5 bar and 10 bar). The pressure gauge range is chosen so that loaded pressure of safety valves is 2/3 of full range, therefore the selected manometers are 60 bar and 16 bar.

As a result of the oscillating pump flow, a pulsation damper is needed to reduce its effect. Capacity and materials are determined depending on the line flow, operating pressure and fluid properties. They are placed in the discharge line every two pumps.

In order to protect equipment and ease maintenance works, there are several types of valves along the system (ball valves, check valves, pressure security valves and manifolds). Pressure safety valves are loaded at dosing point design pressure. When pressure reaches this value, part of the fluid is routed to tank and the system pressure decreases. These valves are connected in the discharge line of every metering pump.

Another element used to protect equipment are manifolds. The client requires manifolds for all instruments that do not have separating gasket. In this system, it is only necessary for pressure transmitter.

Results

Once the system is assembled, its operating is checked and the FAT (Factory Acceptance Test) takes place in presence of the client, who is pleased with both design and test results.

After checking the system operation, it is packed in a wooden crate with plastic protection to prevent it from water drops or moisture. Additionally, there is a wooden box which contains all necessary accessories and terminal points' connection. Both packages include silica gel bags inside to maintain an appropriate humidity level.

The packages are sent to the plant in a single lorry by the client. Once the system arrives, the start-up must be carried out.

Conclusions

The design has been carried out in compliance with international standards for materials and system operating, as well as client requirements and conditions. Moreover, all possible configurations have been taken into account and the final design is based on the optimal combination of features, space and costs.

Client's order was successfully completed in the shortest possible time. Two weeks delay due to a supplier issue occurred. The client accepts this delay without extra costs.

Moreover, it meets the initial estimated budget, without any extra cost to solve problems.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE
AMONÍACO PARA LA CENTRAL TÉRMICA
DE CICLO COMBINADO IC ANADOLU
(TURQUÍA)**

Autor: Elena Menéndez Menéndez

Director: Álvaro Melgar Fiz

Pablo Raso Murillo

Madrid
Agosto 2015

0. ÍNDICE

0. ÍNDICE	1
0.1. Lista de tablas	3
0.2. Lista de figuras	4
CAPÍTULO I. MEMORIA.....	5
1.1 MEMORIA	6
1.1.0 Lista de abreviaturas	6
1.1.1 Introducción	9
1.1.1.1 Centrales térmicas de ciclo combinado	9
1.1.1.2 Control químico.....	14
1.1.2 Contexto	21
1.1.2.1 Central de Ic Anadolu.....	21
1.1.2.2 Condiciones e información del sistema de dosificación.....	23
1.1.3 Objetivo y descripción funcional	25
1.1.4 Alcance del proyecto	27
1.1.4.1 Suministros disponibles	27
1.1.4.2 Puntos terminales	28
1.1.5 Diseño del sistema de dosificación	30
1.1.5.1 Contenedor	32
1.1.5.2 Cubeto, depósito y lavador de gases	33
1.1.5.3 Líneas	37
1.1.5.4 Cuadro de control y transformador	38
1.1.5.5 Bombas.....	42
1.1.5.6 Agitador.....	45
1.1.5.7 Transmisor de presión	45
1.1.5.8 Amortiguadores de pulsación.....	47
1.1.5.9 Manómetros	48
1.1.5.10 Elementos de la línea de aire.....	49
1.1.5.11 Columna de calibración	50
1.1.5.12 Válvulas.....	51
1.1.5.13 Filtro	55
1.1.5.14 Accesorios.....	55
1.1.6 Análisis de alternativas	56
1.1.7 Resultados finales.....	56
1.1.8 Planificación.....	58
1.1.9 Conclusiones.....	61
1.1.10 Normas y estándares	61
1.2 CÁLCULOS	64
1.2.1 Cálculos químicos	64
1.2.2 Cálculos del cubeto y depósito.....	68
1.2.3 Cálculos de líneas.....	69
1.2.4 Cálculos del transmisor de presión	69
1.2.5 Cálculos de amortiguadores de pulsaciones	71
1.2.6 Cálculos de la columna de calibración	72

1.3 ANEXOS.....	74
1.3.1 Sistema de identificación de Centrales KKS	74
1.3.2 Pruebas FAT.....	76
CAPÍTULO II. PLANOS	78
2.1 LISTADO DE PLANOS.....	79
2.2 PLANOS	80
CAPÍTULO III. PLIEGO DE CONDICIONES	106
3.1 PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES Y ECONÓMICAS.....	107
3.1.1 Hitos de pago y formas de pago	107
3.1.2 Penalidades	108
3.1.3 Avals	109
3.1.4. Garantía	110
3.1.5 Suspensión o cancelación	114
3.2 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	119
3.2.1 Skid de dosificación química	120
3.2.2 Otros equipos auxiliares	120
3.2.3 Materiales y servicios.....	122
3.2.4 Opcionales	123
3.3 PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES.....	124
3.3.1 Productos químicos	124
3.3.2 Depósitos.....	124
3.3.3 Bombas	125
3.3.4 Tuberías y válvulas	126
3.3.5 Accesorios.....	126
3.3.6 Otros	126
CAPÍTULO IV. PRESUPUESTO	129
4.1 RECUENTO DE RECURSOS	130
4.2 COSTES PARCIALES	132
4.3 COSTES TOTALES.....	134
CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA	136
5.1 BIBLIOGRAFÍA.....	137

0.1. Lista de tablas

Tabla 1. Condiciones del emplazamiento.....	21
Tabla 2. Datos de temperatura.....	22
Tabla 3. Datos de precipitaciones	22
Tabla 4. Datos de evaporación	22
Tabla 5. Datos de niebla y nieve.....	23
Tabla 6. Datos del sistema de dosificación	23
Tabla 7. Condiciones de operación y diseño.....	24
Tabla 8. Condiciones del agua desmineralizada.....	27
Tabla 9. Condiciones del agua de servicio	27
Tabla 10. Condiciones del agua potable	27
Tabla 11. Condiciones del aire comprimido.....	28
Tabla 12. Condiciones eléctricas	28
Tabla 13. Compatibilidad química del amoníaco	31
Tabla 14. Datos químicos iniciales (Agua de alimentación)	64
Tabla 15. Datos químicos iniciales (Impulsión de las bombas de condensado)	64
Tabla 16. Datos de caudal.....	65
Tabla 17. Resultados para amoníaco 15%.....	66
Tabla 18. Resultados para amoníaco 12,5%.....	67
Tabla 19. Resultados para amoníaco 10%.....	67
Tabla 20. Posibles dimensiones del depósito.....	68
Tabla 21. Posibles dimensiones del cubeto.....	68
Tabla 22. Resultados de velocidad en las líneas.....	69
Tabla 23. Valores del transmisor de presión con el depósito lleno	70
Tabla 24. Resultados de señales para los niveles.....	71
Tabla 25. Resultados de los amortiguadores de pulsaciones.....	72
Tabla 26. Resultados de la columna de calibración	73
Tabla 27. Reparto de pagos	107
Tabla 28. Recuento de elementos en SS 316.....	130
Tabla 29. Recuento de elementos en PVC.....	130
Tabla 30. Recuento de instrumentos	131
Tabla 31. Recuento de bombas y agitadores	131
Tabla 32. Costes parciales de elementos en SS 316	132
Tabla 33. Costes parciales de elementos en PVC.....	132
Tabla 34. Costes parciales de instrumentación	133
Tabla 35. Costes parciales de bombas y agitadores	133
Tabla 36. Costes totales del Proyecto	134

0.2. Lista de figuras

Figura 1. Esquema de una central de ciclo combinado.....	9
Figura 2. Corrosión en un tubo del calentador de agua de alimentación del HRSG	16
Figura 3. Corrosión en el haz de tubos de la caldera	17
Figura 4. Pitting.....	17
Figura 5. Detalle de las conexiones de los TPs que se envían por separado	30
Figura 6. Detalle del contenedor	33
Figura 7. Estudio de deformación del depósito por elementos finitos.....	34
Figura 8. Detalle del depósito y el cubeto	35
Figura 9. Detalle del indicador de nivel	35
Figura 10. Detalle del lavador de gases.....	36
Figura 11. Detalle de la línea de aspiración.....	37
Figura 12. Detalle de una tubería en PVC.....	38
Figura 13. Detalle del cuadro de control	39
Figura 14. Detalle de la bomba neumática	42
Figura 15. Detalle de una bomba de la línea de alta presión	44
Figura 16. Detalle de una bomba de la línea de baja presión	44
Figura 17. Detalle del agitador	45
Figura 18. Detalle del transmisor de presión	46
Figura 19. Detalle de un manifold.....	46
Figura 20. Detalle de un amortiguador de pulsaciones.....	47
Figura 21. Detalle de un manómetro de baja presión	48
Figura 22. Detalle de un manómetro de alta presión	49
Figura 23. Detalle del filtro regulador y el presostato	49
Figura 24. Detalle de la columna de calibración.....	50
Figura 25. Detalle de una válvula de bola con palomilla, extremos roscados H-H	51
Figura 26. Detalle de una válvula de bola con palomilla, extremos roscados M-H.....	52
Figura 27. Detalle de una válvula de bola con palanca	52
Figura 28. Detalle de una válvula de retención.....	52
Figura 29. Detalle de una válvula de seguridad.....	53
Figura 30. Detalle de una válvula de bola en PVC.....	54
Figura 31. Detalle de una válvula de retención en PVC	54
Figura 32. Detalle del filtro en Y	55
Figura 33. Detalle de conector bicono para tubing	55
Figura 34. Detalle del sistema ensamblado.....	57
Figura 35. Detalle parcial del sistema ensamblado.....	57
Figura 36. Detalle del embalaje.....	57
Figura 37. Lista de tareas de planificación	59
Figura 38. Diagrama de Gantt.....	60

CAPÍTULO I.

MEMORIA

1.1 MEMORIA

1.1.0 Lista de abreviaturas

AISI: American Iron and Steel Institute

ANSI: American National Standards Institute

API: American Petroleum Institute

ASME: American Society of Mechanical Engineers

ASTM: American Society for Testing and Materials

ATEX: Atmosphères Explosives

BS: British Standard

CCR: Central Control Room

CE: Conformidad Europea

CFC: Clorofluorocarburos

COSHH: Control of Substances Hazardous to Health

DCS: Distributed Control System

DIN: Deutsches Institut für Normung

DVS: Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft

EEC: Eurasian Economic Commission

EN: European Standards

EPDM: Etileno Propileno Dieno tipo M

EPRI: Electric Power Research Institute

EU: European Union

FAT: Factory Acceptance Test

FCA: Free Carrier

H: Conexión hembra

HCFC: Hidroclorofluorocarbono

HDPE: High Density Polyethylene

HLA: High Level Alarm

HRSG: Heat Recovery Steam Generator

IAPWS: International Association for the Properties of Water and Steam

IBC: Intermediate Bulk Container

IEC: International Electromechanical Commission

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

IP: Ingress Protection

ISO: International Organization for Standardization

KKS: Kraftwerk-Kennzeichen-System

LLA: Low Level Alarm

LLLA: Low Low Level Alarm

M: Conexión macho

MSS: Manufacturers Standardization Society

NACE: National Association of Corrosion Engineers

NFPA: National Fire Protection Association

NPSH: Net Positive Suction Head

OD: Outside Diameter

PCB: Polychlorinated Biphenyl

P&ID: Piping and Instrumentation Diagram

PP: Polipropileno

PSV: Pressure Safety Valve

PTFE: Politetrafluoroetileno/Teflón

PVC: Policloruro de Vinilo

RAL: Reichsausschuß für Lieferbedingungen und Gütesicherung

REACH: Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

SI: Sistema Internacional

SS 304: Stainless Steel Type 304 (Austenitic: 18% Cr, 8% Ni)

SS 316: Stainless Steel Type 316 (Austenitic: 18% Cr, 10% Ni)

TP: Terminal Point

TS: Turkish Standards

UNE: Una Norma Española

UNESA: Asociación Española de Industria Eléctrica

1.1.1 Introducción

1.1.1.1 Centrales térmicas de ciclo combinado

Las centrales de ciclo combinado se caracterizan por transformar la energía térmica del combustible en electricidad mediante dos ciclos termodinámicos acoplados: Brayton¹ (turbina de gas) y Rankine² (turbina de vapor), que trabajan con fluidos distintos. El primero trabaja con gases de combustión y opera a alta temperatura. El segundo lo hace con agua/vapor y a menor temperatura.

Ambos están conectados a través de un intercambiador de calor que se denomina caldera de recuperación de calor (HRSG, Heat Recovery Steam Generator). La unión de los dos ciclos supone la obtención de mayor rendimiento global en comparación con el de una central térmica convencional con un solo ciclo.

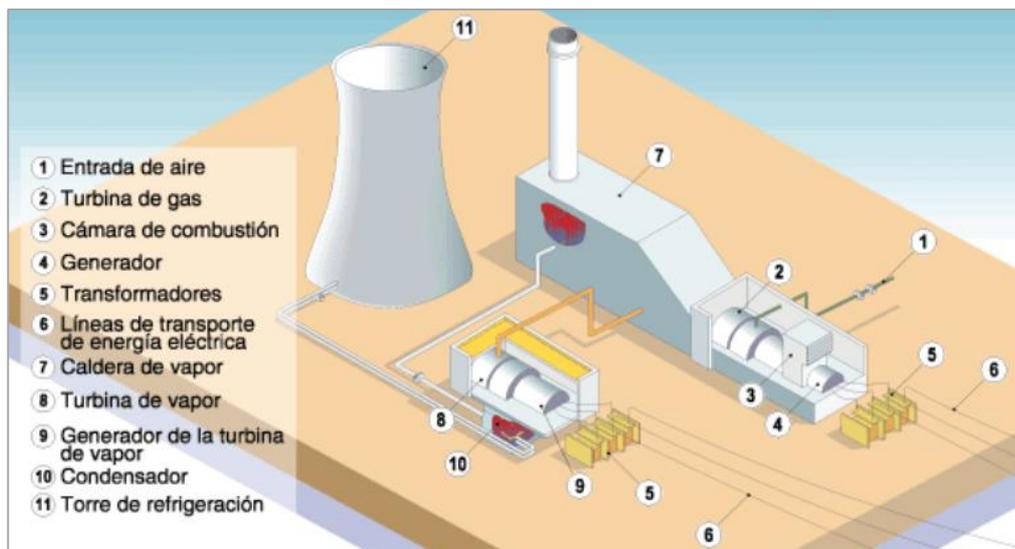


Figura 1. Esquema de una central de ciclo combinado

Fuente: UNESA

El ciclo de gas está formado por los elementos principales siguientes:

- Compresor de aire
- Cámara de combustión
- Cámara de expansión (turbina de gas)

¹ George Brayton, ingeniero mecánico americano

² William John Macquorn Rankine, ingeniero y físico escocés

El ciclo agua/vapor está compuesto por los siguientes elementos:

- Tanque de alimentación
- Bombas de alimentación
- Turbina de vapor
- Condensador
- Bombas de condensado
- Otros

El aire entra en el compresor cuya función es inyectarlo a alta presión en la cámara de combustión para facilitar la combustión y refrigerar las zonas calientes. A continuación se produce la mezcla combustible-aire y se provoca la combustión a temperatura y presión determinados para mejorar el rendimiento del proceso.

Posteriormente, los gases se expanden en la turbina de gas en varias etapas a lo largo de las cuales la temperatura del gas va disminuyendo. A través de los álabes de la turbina, se transforma la energía en energía mecánica rotativa que se transmite al eje. Éste está conectado al compresor, que consume parte de esta energía, y al generador eléctrico.

A la salida de la turbina de gas, los gases se encuentran todavía a una temperatura elevada por lo que se dirigen a una caldera de recuperación para su utilización en el ciclo de agua/vapor. En la caldera se produce una transferencia de calor de los gases de escape de la turbina a un fluido (agua desmineralizada), que circula por los tubos, transformándose en vapor.

A continuación, el vapor se expande en la turbina de vapor accionando el rotor de un generador eléctrico que se encuentra acoplado en el mismo eje de la turbina. Este generador transforma la energía mecánica de rotación en electricidad de media tensión.

A la salida de la turbina, el vapor se dirige al condensador, donde se condensa mediante un foco frío (agua de río o del mar), que posteriormente se devuelve a su origen si se trata de un ciclo abierto, o pasa por torres de refrigeración para su enfriamiento si se trata de un ciclo cerrado.

Normalmente se suelen acoplar las turbinas de gas y de vapor en un mismo eje, de manera que accionen conjuntamente un mismo generador.

Con el objetivo de disminuir las pérdidas por transporte, tanto en la electricidad producida por la turbina de gas como en la de vapor, se eleva la tensión en los transformadores para llevarla a la red general.

Los principales elementos de las centrales térmicas de ciclo combinado se describen a continuación:

Turbina de gas

Como se ha mencionado anteriormente, al salir de la cámara de combustión, los gases atraviesan la turbina de gas a alta temperatura (por encima de 1200 °C) moviendo los álabes de la misma y por tanto su eje. La temperatura máxima a la que pueden llegar los gases está condicionada por las características de los materiales de los cuales están hechos los álabes. Esta restricción supone también la limitación de la máxima potencia y rendimiento.

Los elementos asociados al sistema de turbina de gas son los siguientes: filtros de admisión de aire, compresor, cámaras de combustión, turbina y sistemas auxiliares.

Caldera de recuperación de calor

El calor procedente de los gases de escape de la turbina de vapor se emplea para calentar agua por convección a través de haces tubulares y convertirla en vapor para la turbina. Se trata del elemento de conexión entre los dos ciclos de la planta. La caldera cuenta con distintos niveles de presión:

- Alta presión: Unos 120 bar y entre 32 y 570 °C.
- Media presión: Aproximadamente 25 bar y entre 230 y 570 °C.
- Baja presión: Unos 4 bar y 150 °C.

La caldera de recuperación está compuesta por los siguientes elementos principales: Desgasificador, tanque de agua de alimentación, calderines, bombas de alimentación, economizadores, evaporadores, sobrecalentadores y recalentadores.

Es de gran importancia que el vapor que llega a la turbina desde la caldera se encuentre en las condiciones adecuadas. Los factores más importantes que deben controlarse son la temperatura, la presión, la cantidad de oxígeno disuelto, el pH y el contenido en sales y en sílica.

Turbina de vapor

El vapor llega a la turbina desde la caldera de recuperación. Habitualmente las calderas están divididas en tres cuerpos según las condiciones de temperatura y

presión a las cuales entra el vapor en cada una de ellas. Se denominan turbina de alta presión (más de 100 bar y 500 °C), turbina de media presión (25 bar y 500 °C) y turbina de baja presión (3 bar y temperatura próxima a la saturación). La división supone un mejor aprovechamiento del vapor y evita los problemas que genera la condensación en las últimas fases de la turbina.

Las turbinas de vapor cuentan con escalonamientos de presión que provocan una reducción de la velocidad del chorro vapor que depende de la temperatura y la presión del mismo.

Las turbinas de vapor de ciclo combinado cuentan con ciertas ventajas frente a las de centrales térmicas convencionales, como la presión de vapor menor. Estas condiciones permiten que el diseño de la turbina sea más sencillo y el tamaño más reducido.

Condensador

Este equipo se sitúa a continuación de la turbina y su función es que el fluido que lo recorre cambie de vapor a fase líquida por transferencia de calor con otro medio (cesión de calor al exterior). El medio puede ser aire, utilizando un ventilador, o agua, bien en circuito semicerrado con torre de refrigeración o bien en circuito abierto con agua de río o mar.

La estructura del condensador es de un intercambiador carcasa-tubo, donde el medio refrigerante recorre los tubos y el vapor atraviesa por la carcasa, aprovechando una mayor superficie de transferencia de calor.

Las condiciones en el condensador son de saturación, que corresponden a la presión correspondiente a la temperatura de condensación del vapor.

Las principales razones del uso del condensador son:

- Reducir la presión a la salida de la turbina y como consecuencia aumentar el salto de presión, que conlleva mayor rendimiento y potencia en la turbina
- El aumento de presión necesario posteriormente se puede realizar con una bomba hidráulica, ya que el aumento de presión de un gas resulta muy caro energéticamente.

Además del vapor, el condensador recibe el agua de aportación al ciclo para reponer purgas. Se requiere agua desmineralizada que provenga del tanque de reserva de condensado para reducir la cantidad de impurezas y evita, en la medida de lo posible, la corrosión.

Otra función del condensador es eliminar los gases incondensables como el oxígeno hasta alcanzar valores admisibles para los materiales de los equipos utilizados y para el tipo de tratamiento químico que tenga el agua de alimentación. Estos gases se eliminan a través de eyectores o bombas de vacío. Este sistema no logra eliminar todo el oxígeno, y por tanto, se suelen añadir secuestrantes de oxígeno, como la hidracina o carbohidracida, que controlan el nivel de oxígeno disuelto.

Los tubos del condensador trabajan bajo condiciones notablemente duras, expuestos a la corrosión, las incrustaciones y la proliferación de microorganismos, por ello resulta especialmente importante la selección de los materiales adecuados a la hora de diseñarlo, así como un tratamiento químico adecuado.

Aporte de agua al condensador

A pesar de tratarse de un ciclo cerrado, se producen ciertas pérdidas de agua en el sistema de drenaje de las tuberías, intercambiadores y equipos o fugas de vapor como consecuencia de roturas o fallos en la instalación. Por ello, es necesario contar con un sistema de aportación de agua desmineralizada de forma continua (agua de alimentación del condensador). El agua puede agregarse tanto en el tanque de almacenamiento de agua como en el condensador. Cuando la presión del tanque supera un determinado valor, es preferible que la adición de agua se haga en el condensador, que requiere menor presión y altura.

Bombas de condensado

El agua líquida se transporta desde el condensador, gracias a las bombas de condensado, al tanque de agua de alimentación. Se trata de bombas centrífugas de una única etapa o multietapa, en función del salto de presión requerido.

La presión debe aumentar lo suficiente como para alcanzar dicho tanque, que se encuentra a una altura considerable, y combatir las pérdidas de carga que implica atravesar los distintos equipos.

Al haber una distancia reducida entre el nivel del pozo desde el que aspiran y las bombas, se necesita crear cierta presión hidrostática (NPSH) a la entrada de las mismas para evita el fenómeno de cavitación, que resulta muy perjudicial para los equipos.

1.1.1.2 Control químico

El objetivo principal de las de las centrales térmicas es producir energía eléctrica al menor coste y de manera segura. Para lograrlo, debe alcanzar un valor elevado de rendimiento. Para ello, es imprescindible que todos los elementos que conforman la planta estén en buenas condiciones, ya que el fallo de alguno de ellos puede suponer grandes pérdidas y la indisponibilidad de la planta.

Conforme mejora la eficiencia de los ciclos combinados, se utilizan materiales nuevos y diseños novedosos. Pero el aumento de complejidad y rendimiento del ciclo también se asocia a fallos en las tuberías de la caldera de recuperación de calor (HRSG). Según estudios realizados por el Instituto de Investigación de la Energía Eléctrica (EPRI), de los cinco factores principales que causan estos fallos (corrosión acelerada por flujo, corrosión por fatiga, corrosión por subdepósitos y pitting), cuatro están relacionados y pueden combatirse mediante tratamientos químicos.

Uno de los problemas más importantes y que afecta notablemente al rendimiento del ciclo agua/vapor es la acumulación de impurezas en los tubos de la caldera. El origen de las impurezas puede ser por la corrosión de los propios tubos de la caldera, pero gran parte de ellos proviene de los óxidos arrastrados de los sistemas previos a la misma.

La función principal de los tratamientos químicos es mantener las propiedades de los materiales que componen el circuito. Esto permite que los elementos funcionen de manera segura, fiable, eficiente y económica a lo largo de su ciclo de vida. Mediante tratamientos químicos se puede controlar y limitar la corrosión, ya sea su generación, arrastre, decantación o ataque a los materiales y componentes del ciclo.

Los tratamientos químicos se simplifican considerablemente si no se utilizan aleaciones de cobre en el circuito. Este material tiene muy buenas características en cuanto a transmisión de calor pero se ve afectado por el uso de amoníaco, además reduce el nivel de pH de operación en el condensador y el agua de alimentación, con el consiguiente aumento del riesgo de corrosión acelerada por flujo.

El método para mantener la integridad de los materiales requiere unas características especiales del agua de aporte, su pureza debe ser de un nivel elevado. De esta forma se previene la corrosión de sistemas de caldera, vapor, condensado y agua de alimentación, así como la formación de impurezas en las superficies de intercambio de calor.

Para alcanzar el objetivo es necesario conocer en todo momento las propiedades tanto del agua de alimentación como del vapor a lo largo del circuito. Esto conlleva que se pueda actuar rápidamente e implantar medidas para reducir todo lo posible los daños que pueda ocasionar a los materiales. Para ello, las centrales cuentan con sistemas de muestreo.

En el condensador se suelen utilizar aleaciones de cobre y en el resto del circuito acero al carbono. Ambos materiales pueden verse afectados por la corrosión por lo que cuentan con capas de óxido protectoras en la superficie.

En las zonas consideradas de alta temperatura (mayor de 200 °C) el contenido en oxígeno es reducido, favoreciendo la formación de una capa protectora de magnetita en las superficies de acero. En cambio, en las zonas de baja temperatura (por debajo de 200 °C) las superficies de acero quedan expuestas al proceso de corrosión. Por otra parte, cuando el flujo es turbulento, favorece la disolución del hierro en el agua que aumenta la corrosión y el transporte de productos de corrosión que llegan hasta las zonas de alta temperatura.

Impurezas

Los contaminantes que entran en el circuito generan o aceleran la corrosión en los materiales de los distintos elementos. Generalmente la entrada de los mismos se encuentra muy alejada de la zona en la que se producen los daños.

Su origen suele estar en los calentadores de agua de alimentación y en los condensadores, desde allí llegan a la zona de alto flujo de calor de la caldera, a continuación el vapor los arrastra y llegan hasta la turbina. Las zonas más afectadas suelen ser la caldera, los tubos del generador de vapor y los álabes y discos de la turbina.

Algunos contaminantes aparecen exclusivamente durante el arranque de la planta y se eliminan una vez el circuito queda purgado. Sin embargo, existen otros que suponen una amenaza constante para el sistema.

Se puede diferenciar entre contaminantes orgánicos e inorgánicos. Los primeros son térmicamente menos estables, por lo que a altas temperaturas se descomponen en pequeñas moléculas. No se ha comprobado todavía que éstas influyan en el proceso de corrosión de los componentes del ciclo agua/vapor. No obstante, son fácilmente detectables mediante la medición de la conductividad catiónica.

Los efectos más perjudiciales e importantes que pueden tener las impurezas son los siguientes:

- Incrustaciones: se deben principalmente a sales de calcio y magnesio, que al calentarse se concentran en depósitos duros y térmicamente aislantes. Además de suponer un problema en sí mismas, favorecen la aparición de corrosión en aquellas zonas en las que se adhieren. Los daños que provocan son: reducción del coeficiente de transmisión de calor, reducción de la sección de paso del fluido y rotura de los tubos de agua como consecuencia del sobrecalentamiento. La forma de evitarlo es mediante el control de estas sales en el agua de alimentación, eliminando o minimizando su concentración.
- Corrosión: El origen principal es el oxígeno disuelto en agua, el dióxido de carbono libre y los ácidos inorgánicos. Los efectos que provocan, como consecuencia de la disolución del metal, son la pérdida de espesor y resistencia mecánica del material y la formación de depósitos, que pueden producir daños importantes si se acumulan en puntos determinados. Para evitarlo, es importante eliminar los ácidos inorgánicos durante el tratamiento del agua de aporte y reducir todo lo posible los gases libres, principalmente el oxígeno disuelto y el dióxido de carbono.

Corrosión

La corrosión del circuito agua/vapor es el fenómeno que más afecta a la planta durante su vida útil. Su origen es la reacción química y electroquímica entre el metal y el medio responsable de su ataque. Este fenómeno comienza en la superficie del material y va profundizando hacia el interior.



Figura 2. Corrosión en un tubo del calentador de agua de alimentación del HRSG

Fuente: POWER Magazine

Existen numerosas variedades de corrosión, los más habituales son: Corrosión galvánica, corrosión generalizada, pitting, corrosión por aireación diferencial, corrosión interangular, corrosión selectiva, erosión-corrosión, corrosión bajo tensión, corrosión fatiga y agrietamiento por hidrógeno.



Figura 3. Corrosión en el haz de tubos de la caldera

Fuente: TomasNet

El fenómeno denominado pitting se caracteriza por ser un modo de corrosión en forma de picaduras que se da de forma severa y localizada, los contaminantes contribuyen a la aceleración de la rotura de la película protectora del material. El valor del pH en la zona cercana disminuye notablemente, de manera que se acelera el proceso de corrosión.



Figura 4. Pitting

Fuente: Exponent

Necesidad del control químico

Resulta de gran importancia un adecuado control químico para el correcto funcionamiento de la central. De lo contrario, cualquier fallo puede tener como

consecuencia la reducción de la disponibilidad, seguridad y fiabilidad de la misma, que afectará directamente a los resultados económicos de la planta.

Algunos de los fallos que pueden darse relacionados con el control químico se describen a continuación:

- Fallos en el circuito agua/vapor como consecuencia de la corrosión o por ensuciamiento de las superficies de transmisión de calor.
- Fallos en equipos rotatorios, como bombas, turbinas, etc., debido a falta de lubricación como consecuencia del deterioro de los aceites lubricantes.
- Fallos de aislamiento en equipos eléctricos por deterioro del aceite aislante.
- Fallos en equipos neumáticos o hidráulicos provocados por la mala calidad del aire o agua de servicio.
- Fallos resultantes de la dosificación incorrecta de reactivos.

La misión del control químico no se limita a evitar los fallos anteriormente mencionados. El alcance de sus funciones es mucho más amplio, como por ejemplo controlar el efecto sobre el medio ambiente de los efluentes generados en la central o llevar un registro y seguimiento de todos los datos que se recogen.

Tratamientos del ciclo agua-vapor

Es importante elegir un tratamiento químico apropiado que reduzca la corrosión y el transporte de impurezas. Los puntos de aplicación de los tratamientos son el agua de la caldera y el agua de alimentación. También hay que considerar los siguientes factores a la hora de elegir el tratamiento:

- La velocidad de corrosión disminuye en materiales que tienen como base el hierro si se aumenta el valor del pH.
- Si se tiene agua absolutamente pura, se puede añadir una cantidad de oxígeno reducida en forma gaseosa para que reduzca la velocidad de corrosión. En el caso en el que el agua no sea absolutamente pura, esta acción provoca alta velocidad de corrosión.
- El cobre y las aleaciones del mismo se corroen con oxígeno y amoníaco.
- La corrosión en el cobre y las aleaciones se reduce si el pH tiene valores entre 8 y 9.

La misión principal de los tratamientos químicos es garantizar el funcionamiento adecuado del ciclo durante su vida útil. Si el tratamiento no es el adecuado, puede producir fallos en los tubos que pueden conllevar paradas, con la consiguiente pérdida económica que supone. Los objetivos de los tratamientos químicos se resumen en tres:

- Eliminar el oxígeno responsable de la formación de capas de óxido en las superficies de transmisión de calor.
- Controlar el pH dependiendo de los materiales de los distintos elementos del ciclo para evitar la corrosión.
- Evitar arrastres al vapor por concentración de sales disueltas y formación de espuma.

Existen cuatro tratamientos químicos principales reconocidos por entidades como EPRI, Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), Asociación Internacional para el Estudio de las Propiedades del Agua y del Vapor (IAPWS). Estos son: tratamiento con fosfatos, tratamiento cáustico, tratamiento con compuestos volátiles y tratamiento oxigenado.

Para el tratamiento de agua de caldera los más recomendables son el tratamiento con fosfatos, con compuestos volátiles y cáustico. En cambio, para el agua de alimentación los más indicados son el tratamiento con compuestos volátiles y el tratamiento oxigenado.

- Tratamiento con fosfatos

Se utiliza para minimizar o prevenir la corrosión en el circuito, actuando como tampón de pH que elimina el desequilibrio químico que puede darse por la entrada de agua del condensador o por descomposición de especies químicas.

Es el tratamiento más utilizado para el agua de caldera, a pesar de que algunas unidades, especialmente las que trabajan a altas temperaturas (por encima de 140 bar) y con grandes flujos de calor, sufren problemas de secuestro/retorno de fosfatos y por consiguiente la formación de depósitos. Este fenómeno se caracteriza por la desaparición, por absorción o precipitación de sales de sulfato y fosfato de calcio y magnesio en el agua de la caldera bajo determinadas condiciones. La solubilidad de los precipitados de fosfato es inversa a la temperatura.

La concentración de fosfato que se utiliza busca minimizar la formación de hidróxido libre por precipitación del fosfato, evitando de esta manera el ataque cáustico. En

función de la calidad del agua de aporte se tiene un nivel distinto de impurezas y por tanto es necesaria una concentración diferente de fosfato.

- Tratamiento cáustico

Este tratamiento se basa en la adición de hidróxido de sodio en baja concentración para alcanzar el pH adecuado en la caldera y conseguir protección frente a la corrosión.

- Tratamiento con compuestos volátiles

El uso del tratamiento con compuestos volátiles se aplica con éxito desde hace tiempo en centrales de combustibles fósiles y se puede utilizar para ciclos combinados que operen con agua desmineralizada de alta calidad y agua de alimentación de buena calidad para aumentar el pH y evitar la corrosión.

Para ciclos diseñados exclusivamente en materiales férricos se utiliza amoníaco o amina neutralizante para aumentar el pH del condensador y del agua de alimentación para que alcance valores en torno a 9,4 en la zona de baja presión de la caldera, de esta forma se minimiza la corrosión acelerada por flujo. Para lograrlo es necesario que el pH del condensado/agua de alimentación no baje de 9,6.

Para ciclos en los que se tienen aleaciones de cobre se utiliza amoníaco o amina neutralizante para aumentar el pH del condensado y el agua de alimentación. La diferencia reside en que a diferencia del caso anterior, el valor máximo de pH que se debe alcanzar es 9,1 para minimizar el transporte de cobre por el sistema. Además de amoníaco, se suele usar hidracina o carbohidracina para controlar el oxígeno disuelto y proteger, de esta forma, las aleaciones de cobre. En el caso de la hidracina, tiene como ventaja que no produce sales ni productos corrosivos.

- Tratamiento oxigenado

Estos tratamientos utilizan agua de elevada pureza oxigenada para eliminar la corrosión acelerada por flujo en el circuito de agua de alimentación. Este tratamiento es únicamente recomendable para sistemas que solo tengan materiales férricos. Las aleaciones de cobre en presencia de agua oxigenada se disuelven rápidamente.

Estos tratamientos también utilizan amoníaco o amina neutralizante para regular el pH del condensado y el agua de alimentación y así reducir el transporte de impurezas. Por otra parte, el oxidante también se añade para favorecer la formación de una capa protectora en los materiales ferrosos.

1.1.2 Contexto

1.1.2.1 Central de Ic Anadolu

La central de Ic Anadolu se encuentra en la provincia de Kirikkale, Turquía. La zona en la que se sitúa es una zona industrial y la población más cercana está a 3,2 km.

La planta de 840 MW está formada por dos turbinas de gas y una turbina de vapor acopladas en el mismo eje. Las turbinas de gas están diseñadas con cámara de combustión que permiten una emisión de NO_x reducida. Los gases de escape de las turbinas de gas alimentan un HRSG de triple presión con recalentamiento. Este vapor es usado por una turbina de vapor con calentamiento de triple presión. El método para enfriar el vapor es un condensador enfriado por aire.

Además de las normas internacionales y las condiciones del cliente, el equipo debe cumplir la normativa de la misma, garantizando el certificado CE y la documentación correspondiente, a pesar de no encontrarse dentro de Unión Europea.

Condiciones ambientales

Todos los equipos y materiales deben ser aptos para funcionar en las condiciones establecidas a continuación:

Concepto	Uds.	Valor
Temperatura de diseño del aire	[°C]	15
Temperatura mínima exterior (invierno)	[°C]	-22 (Humedad relativa 100%)
Temperatura máxima exterior (verano)	[°C]	42 (Humedad relativa 62%)
Humedad media	[-]	60%
Mínima humedad (verano)	[-]	8%
Máxima humedad (invierno)	[-]	100
Elevación sobre el nivel del mar	[msnm]	764
Presión	[bara]	0,923

Tabla 1. Condiciones del emplazamiento

Fuente: Propia

El sistema de dosificación debe diseñarse de tal forma que pueda operar sin sobrecalentamiento, limitaciones o funcionamiento incorrecto a causa de las condiciones ambientales. Además de esto, debe ser capaz de trabajar en la totalidad del rango de condiciones ambientales indicadas.

A continuación se incluyen datos más detallados de las condiciones ambientales del lugar.

Temperatura

Los meses más cálidos son Julio y Agosto, por el contrario, el mes más frío es Enero.

Concepto	Uds.	Valor
Temperatura media anual	[°C]	12,6
Temperatura mínima registrada (Enero)	[°C]	-22,4
Temperatura máxima registrada (Julio)	[°C]	41,6

Tabla 2. Datos de temperatura

Fuente: Propia

Lluvia

Generalmente los meses con mayores precipitaciones son Abril y Mayo, siendo las estaciones más lluviosas invierno y primavera.

Concepto	Uds.	Valor
Precipitación media anual	[mm]	375,6
Precipitación media mensual máxima (Mayo)	[mm]	49,9
Precipitación media mensual mínima (Agosto)	[mm]	8,4
Precipitación diaria máxima (Junio)	[mm]	100,6

Tabla 3. Datos de precipitaciones

Fuente: Propia

Viento

La velocidad máxima del viento registrada es 28,1 m/s en dirección oeste.

Evaporación

Los datos máximos de evaporación se recogen durante el mes de Julio. En cambio, durante los meses de Enero, Febrero, Marzo y Diciembre no se registran datos de evaporación.

Concepto	Uds.	Valor
Evaporación mensual máxima (Julio)	[mm]	295
Evaporación diaria máxima (Julio)	[mm]	17

Tabla 4. Datos de evaporación

Fuente: Propia

Niebla y nieve

Concepto	Uds.	Valor
Número medio de días con nieve al año	[días]	18,8
Número medio de días con capa de nieve al año	[días]	17,5
Máxima capa de nieve (Enero)	[cm]	48
Número medio de días con niebla al año	[días]	12,5

Tabla 5. Datos de niebla y nieve

Fuente: Propia

1.1.2.2 Condiciones e información del sistema de dosificación

Para evitar el riesgo de corrosión e incrustaciones, el agua que llega al HRSG debe tratarse químicamente previamente. Se pretende dosificar continuamente tanto al agua de alimentación como al sistema de condensado para controlar el valor del pH y el contenido de oxígeno en el ciclo agua/vapor.

En el caso del sistema de dosificación de amoníaco, la principal función es mantener el nivel del pH del agua de alimentación del HRSG dentro de los límites establecidos para minimizar el transporte de productos de corrosión, óxidos metálicos, etc. al HRSG. El sistema de dosificación de amoníaco debe diseñarse para alcanzar los siguientes valores:

Concepto	Uds.	Valor	
		Agua de alimentación	Descarga de las bombas
pH	[-]	9,2-9,6	9,4-9,8

Tabla 6. Datos del sistema de dosificación

Fuente: Propia

El sistema de dosificación de amoníaco debe dosificar el químico diluido a dos destinos distintos:

- Agua de alimentación del condensador
- Descarga de las bombas de condensado

Para ello, el sistema debe contar al menos con los siguientes elementos:

- Bomba de llenado
- Depósito de almacenamiento con los accesorios necesarios para regular su funcionamiento
- 2 bombas de dosificación para el agua de alimentación
- 2 bombas de dosificación para la descarga de las bombas
- Skid o bastidor que albergue todos los equipos necesarios

- Cuadro de control

Todos los elementos deben ir alojados en un contenedor dotado de un sistema de acondicionamiento de temperatura para mantener los equipos en condiciones óptimas de funcionamiento y protegerlos de las condiciones ambientales en el exterior.

Los datos de las condiciones de operación y diseño de los dos destinos se muestran a continuación:

Concepto	Uds.	Valor	
		Agua de alimentación	Descarga de las bombas
Presión máxima de operación	[barg]	8,3	33,79
Presión de diseño	[barg]	10	42,5
Temperatura máxima de operación	[°C]	15	38,4
Temperatura de diseño	[°C]	40	85

Tabla 7. Condiciones de operación y diseño

Fuente: Propia

La elección y diseño de los equipos se realiza basándose en esta información.

Instrumentación y control

El funcionamiento del sistema debe poder manejarse y controlarse tanto localmente desde el cuadro de control como remotamente desde el DCS (Distributed Control System), basándose en la información recibida del sistema de toma de muestras.

Salud, seguridad y medio ambiente

El diseño de los equipos debe garantizar su funcionamiento de forma segura teniendo en cuenta todas las posibles condiciones desfavorables climatológicas, medioambientales o de proceso. Se deben tener en cuenta aquellas condiciones que se puedan presentar tanto en la puesta en marcha como en la parada o situaciones de emergencia, de forma que se asegure la fiabilidad y la seguridad del sistema.

Vida útil

La planta se diseña para una vida útil de 30 años o 200.000 horas de funcionamiento, la opción que ocurra antes, bajo las condiciones de operación y mantenimiento.

Unidades de medida

Se emplea el Sistema Internacional de Unidades (SI).

1.1.3 Objetivo y descripción funcional

El objetivo del proyecto es diseñar y construir un sistema capaz de dosificar amoníaco diluido a cada uno de los destinos para lograr un pH dentro del rango indicado. Para ello se cuentan con los equipos básicos descritos anteriormente y todo lo necesario para asegurar un buen funcionamiento del conjunto.

El sistema de dosificación se encuentra en el interior de un contenedor climatizado y cuenta con un depósito de 3500 l de capacidad provisto de agitador e indicador de nivel visual.

Se instala un amortiguador de pulsaciones en cada línea de descarga, con el objetivo de reducir el flujo pulsante, además de los accesorios habituales de visualización, control y seguridad como por ejemplo manómetros, válvulas de alivio y columna de calibración.

El sistema cuenta con dos bombas para cada destino, sumando un total de cuatro bombas. Cuando la dosificación es necesaria, actúa una única bomba, la otra queda de reserva. En caso de fallo en alguna bomba, la otra debe ponerse en marcha. El funcionamiento de una bomba u otra depende del número de horas que acumule en funcionamiento cada una. El DCS debe decidir la bomba que debe arrancar cada vez que se dosifique para compensar las horas de trabajo de ambas bombas. Todas las bombas dosificadoras y el agitador se pueden controlar manualmente desde el cuadro de control o en modo remoto desde el DCS.

Para evitar olores del químico dentro del contenedor, existe un lavador de gases de tipo borboteador que filtra los vapores que llegan desde el venteo del depósito antes de expulsarlos al exterior del contenedor. Para su funcionamiento se requiere agua de servicio como medio filtrante.

Para controlar la dosificación de forma manual se incluye un cuadro de control con elementos externos como interruptor principal (ON/OFF), seta de emergencia y selectores de modo manual o remoto entre otros.

En caso de emergencia se debe presionar la seta de emergencia, una vez se solventa la emergencia, el operador debe tirar de la seta de emergencia para que se pueda reanudar el funcionamiento.

En modo manual se pueden poner en marcha tanto las bombas como el agitador mediante los botones start/stop. El estado de funcionamiento o fallo/paro de estos

equipos se indica en el cuadro de control mediante dos señales luminosas y también se muestra en el DCS.

Proceso de llenado

Este proceso debe llevarse a cabo cuando el nivel del depósito es muy bajo (señal de alarma en el DCS) o antes. Una vez que se ha alcanzado ese nivel y se ha informado al DCS, los operadores deben encargarse de suministrar el químico en el área de dosificación.

Antes de cada llenado el lavador de gases debe estar lleno con agua de servicio hasta el nivel necesario para su correcto funcionamiento. También se debe comprobar que los ventiladores están activados.

Proceso de dilución agua-amoníaco

Si se desea diluir amoníaco con agua, se necesita llenar primero el depósito con agua. Se debe calcular previamente la proporción de agua y amoníaco necesaria para obtener la concentración requerida. A continuación se llena el depósito con agua mediante una válvula manual hasta alcanzar el nivel apropiado.

Para llenar el depósito de amoníaco se utiliza la bomba neumática. El químico se introduce a éste a través de un tubo buzo que llega al fondo del depósito para asegurar la correcta dilución.

Hay que considerar que la preparación de la dilución de amoníaco y agua requiere de un proceso de mezcla que proporciona el agitador. Es importante que no se ponga en marcha hasta que no se supera el nivel bajo del depósito, para proteger tanto el eje como las hélices del mismo. Esta acción se puede llevar a cabo desde el DCS o desde panel de control. Una vez se completa la dilución y el depósito está lleno, el agitador puede pararse.

Proceso de dosificación

El control de la dosificación se lleva a cabo por medio de las bombas. Como existen dos destinos con características distintas, según la demanda que se tenga, deben funcionar unas bombas u otras. El caudal se puede regular de forma manual o desde el DCS.

Medidas de seguridad

Es recomendable el uso de prendas de seguridad para trabajar con químicos. En caso de exposición al químico, se debe usar el lavaojos o ducha de seguridad más cercana.

Es recomendable enjuagarse la zona afectada durante al menos quince minutos para eliminar por completo los restos del químico. El contenedor cuenta con una ducha de seguridad suministrada por el cliente final.

1.1.4 Alcance del proyecto

1.1.4.1 Suministros disponibles

Agua desmineralizada

Se utiliza para diluir amoníaco en el depósito y para limpiar el sistema. Se opta por este suministro ya que para la mezcla se necesita agua sin impurezas que puedan dañar al ciclo. También se utiliza para la limpieza del sistema para evitar que las bombas y demás elementos puedan estropearse.

Concepto	Uds.	Valor
Presión de operación	[barg]	4-10
Temperatura de operación	[°C]	5-40

Tabla 8. Condiciones del agua desmineralizada

Fuente: Propia

Agua de servicio

Se utiliza para llenar el lavador de gases. Se elige este suministro puesto que su funcionamiento no requiere una calidad específica del agua, una vez neutralizados los vapores, se desecha.

Concepto	Uds.	Valor
Presión de operación	[barg]	3
Temperatura de operación	[°C]	5-35

Tabla 9. Condiciones del agua de servicio

Fuente: Propia

Agua potable

Se utiliza en la ducha de emergencia y en el lavaojos. Aunque la suministre el cliente final, se debe tener en cuenta la necesidad de este suministro.

Concepto	Uds.	Valor
Presión de operación	[barg]	4,2
Temperatura de operación	[°C]	5-35

Tabla 10. Condiciones del agua potable

Fuente: Propia

Aire comprimido

Es necesario para el funcionamiento de la bomba neumática. Se suministra desde los compresores a toda la planta.

Concepto	Uds.	Valor
Presión de operación	[barg]	7,5

Tabla 11. Condiciones del aire comprimido

Fuente: Propia

Electricidad

Se dispone de corriente alterna de tres fases y puesta a tierra. Este suministro es necesario para el funcionamiento del cuadro, las bombas, el agitador, luminarias y accesorios del contenedor, etc.

Concepto	Uds.	Valor
Frecuencia	[Hz]	50
Tensión nominal	[V]	400/230

Tabla 12. Condiciones eléctricas

Fuente: Propia

1.1.4.2 Puntos terminales

Se entiende como puntos terminales o límites de batería los puntos finales de conexión del sistema, es decir, lo que se conecte a continuación no forma parte del alcance del proyecto y depende del cliente.

Para facilitar el transporte y que no sobresalgan las bridas del contenedor, se envían las conexiones de los puntos terminales en una caja independiente para que se coloquen en la planta.

Cada punto terminal se designa con las siglas TP y un número que lo distingue. Los datos de cada uno se describen a continuación:

TP 1

Corresponde a la entrada de agua de servicio al lavador de gases. Se conecta mediante una brida de 1" de PVC.

TP 2

Se refiere al venteo del lavador de gases. Termina en una brida de 2" de PVC. Se elige este tamaño para favorecer la salida de los gases neutralizados. Esta conexión se encuentra en el exterior del contenedor.

TP 3

Esta conexión permite la entrada de aire comprimido. Se trata de un conector bicono para tubing de OD 8 de acero inoxidable SS 316.

TP 4

Se trata de la conexión entre la manguera flexible y el IBC. La conexión es roscada de acoplamiento rápido, de 2" de PVC.

TP 5

Corresponde a la salida del químico en la línea de alta presión. La conexión se lleva a cabo a través de un conector bicono para tubing de OD 12 de acero inoxidable SS 316.

TP 6

Se refiere a la salida de químico en la línea de baja presión. La conexión se hace mediante un conector bicono para tubing de OD 12 de acero inoxidable SS 316.

TP 7

Se trata de la entrada de agua desmineralizada. La conexión se hace mediante una brida de 1" de acero inoxidable SS 316.

TP 8

Este punto terminal corresponde a la entrada de agua potable para el lavaojos y la ducha de emergencia. Los datos de la conexión dependen del cliente y del modelo que seleccione.

TP 9

Se trata del drenaje del lavaojos y la ducha de emergencia. Aunque también corre a cargo del cliente, se facilita la conexión desde el plato de la ducha hasta el exterior del contenedor. La conexión es roscada, de 1 1/4" de PP.

TP 10

Por último, se encuentra el drenaje del lavador de gases por el que sale el agua que neutraliza los vapores. Se trata de una brida de 3/4" en PVC.



Figura 5. Detalle de las conexiones de los TPs que se envían por separado

Fuente: Propia

1.1.5 Diseño del sistema de dosificación

Para el diseño de todos los elementos que componen el sistema de dosificación se tienen en cuenta todas las normas y estándares internacionales que puedan afectar a dicho diseño además de las especificaciones impuestas por el cliente.

El criterio que prima a la hora de seleccionar un equipo entre las posibles opciones es el de menor coste, sin dejar de cumplir los requisitos establecidos de calidad y basándose en la experiencia de los resultados obtenidos en otros casos.

En cuanto a tubería y accesorios, cuanto menor sea el diámetro de la conexión menor es el coste del elemento, salvo que se trate de tamaños poco habituales. En el diseño se intenta utilizar siempre el menor diámetro que cumpla los requerimientos para un correcto funcionamiento. En otros elementos como los instrumentos y otros equipos se adaptan los tamaños de los fabricantes a los de las líneas a los que van conectados.

Respecto a la elección entre suministradores, también se tiene en cuenta el criterio económico, sin ser menos importante el plazo de entrega. Este último factor puede suponer el retraso en la entrega del equipo, especialmente en elementos críticos como bombas, cuadro de control, depósito o válvulas de seguridad, que tienen un plazo de entrega amplio o bien son necesarios para el ensamblaje del resto del sistema. Otro de los motivos de la elección es el material del equipo ofertado, no solo por cuestiones de compatibilidad con el químico, sino por calidad. Para la toma de decisión se tiene

en cuenta la experiencia en anteriores proyectos con productos iguales o similares de los suministradores y la calidad del servicio ofrecido.

Siempre se consideran suministradores homologados. En el caso de considerar la oferta de algún suministrador sin homologar, éste tiene que superar un proceso de prueba que demuestre su validez.

Para garantizar el buen funcionamiento del conjunto, se siguen con detalle los procesos de fabricación de los equipos ensamblados por empresas subcontratadas, vigilando que se cumplan los criterios técnicos requeridos.

Por norma, siempre se consideran varias opciones en cuanto a suministradores para el diseño de cada elemento, las opciones que se describen a continuación en la descripción de diseño de cada elemento se refieren a las características disponibles una vez seleccionado el suministrador.

Los equipos que cuenten con alguna soldadura requieren una capa de pintura como medida de protección ante la posible corrosión. En este grupo se incluyen el contenedor, el cuadro de control, las bombas y el agitador. Para estos dos últimos, por especificación, se pide el color asociado al fluido del sistema.

El químico a dosificar es amoníaco, que presenta un buen nivel de compatibilidad con los materiales habitualmente empleados en este tipo de equipos. A continuación se muestra una tabla con los efectos del químico en los distintos materiales que se pueden considerar a la hora del diseño:

Material	Nivel de compatibilidad
EPDM	Excelente
HDPE	Excelente
Hastelloy	Excelente
Hypalon	Efectos severos
PP	Excelente
PTFE	Excelente
PVC	Buena
SS304	Excelente
SS316	Excelente
Viton	Efectos severos

Tabla 13. Compatibilidad química del amoníaco

Fuente: Propia

1.1.5.1 Contenedor

Para determinar las dimensiones del contenedor se tiene en cuenta el tamaño estándar de los contenedores, ya que ampliar las dimensiones puede suponer un aumento considerable del coste del mismo. También se debe tener en cuenta tanto para la anchura como para la altura las dimensiones habituales de los camiones, ya que el transporte hasta el puerto marítimo se debe hacer en este medio.

Las dimensiones exteriores son 7500x2250x2676 mm (largo x ancho x alto). Cuenta con un falso techo de chapa prelacada y como aislamiento tiene manta de fibra de vidrio, de forma que la altura libre interior es de 2300 mm.

Además, existen varios aspectos a considerar en el diseño del contenedor. A petición del cliente los laterales deben ser desmontables, en ambos extremos tiene que haber una puerta, debe contar con espacio suficiente para dos equipos de aire acondicionado y ducha de emergencia.

Los elementos críticos por su gran tamaño son el cubeto y el depósito. Debe haber un pasillo de al menos 400 mm a lo largo del contenedor, de forma que quepa una persona. Por otra parte, se debe prestar especial atención a la altura del depósito sobre el cubeto para que exista cierto margen con las luminarias del contenedor.

El contenedor cuenta con una base metálica de chapa de acero galvanizado conformado en frío, paneles de cemento, aislamiento y refuerzo para equipos. Toda la superficie está diseñada para soportar hasta 500 Kg/m².

En cuanto a la cubierta, está fabricada en chapa galvanizada conformada en frío y cerramiento a base de chapa galvanizada y perfilada ondulada.

El cerramiento lateral consiste en panel sandwich compuesto de chapa de acero prelacada sobre base galvanizada por ambas caras y aislamiento intermedio térmico y acústico.



Figura 6. Detalle del contenedor

Fuente: Propia

Las puertas exteriores son de aluminio con panel sandwich y cuentan con barra antipánico interior, cerradura y manilla exterior.

La instalación eléctrica cuenta con interruptores/conmutadores, luminarias de 2x36W estancas, luminarias de emergencia, enchufes de 16A, enchufes de 16A estancos, cuadro de protección y mando de acometida desde el cuadro, preinstalación eléctrica para aire acondicionado y extractor mural.

Para evitar en la medida de lo posible la corrosión de las soldaduras se aplica un procedimiento de pintura a la cara exterior de los paneles con dos capas de pintura del RAL 7035. Tanto el color como el prelacado son peticiones del cliente para estructuras y edificios.

1.1.5.2 Cubeto, depósito y lavador de gases

Teniendo en cuenta las características del fluido y que el depósito tiene que estar colocado dentro de un contenedor, no es necesario que éste sea de acero inoxidable, puede ser de polietileno de alta densidad (HDPE) que resulta más económico y ofrece unas buenas prestaciones mecánicas y químicas. Para el cubeto también se elige este material, en cambio para el lavador de gases se opta por polipropileno (PP) ya que las planchas de este material se adaptan mejor a las dimensiones de este elemento.

El diseño del depósito está basado en la norma alemana DVS para soldadura de HDPE, aunque no contempla los depósitos horizontales. Por ello se hace un estudio por elementos finitos para asegurar que el diseño sea adecuado. Se toma como

deformación máxima admisible un valor de 1/200 y para la tensión máxima 1/4 de la tensión de rotura. Los resultados obtenidos son satisfactorios.

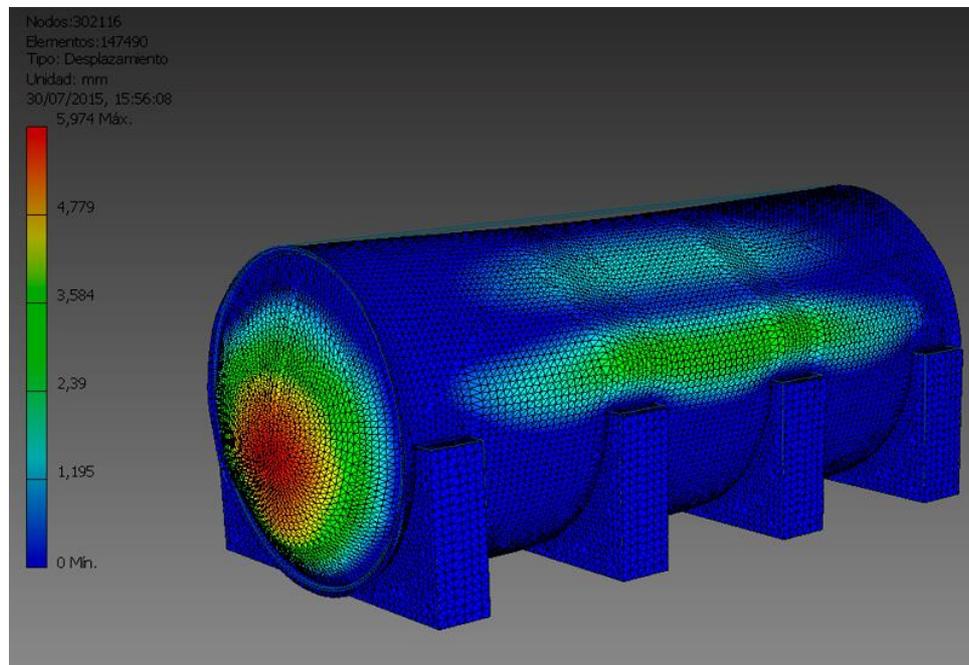


Figura 7. Estudio de deformación del depósito por elementos finitos

Fuente: Profeplas

A partir del volumen calculado se debe determinar el diámetro y el largo del depósito. En cuanto al diámetro, el límite lo marca la altura del contenedor, teniendo en cuenta que debe haber espacio suficiente para el agitador. En función de las dimensiones establecidas el suministrador del depósito fija las dimensiones finales de la manera que mejor se adapte a los tamaños de las planchas de HDPE disponibles. Las dimensiones finales son 1300x2700 mm (diámetro x largo).

El depósito cuenta con las siguientes características:

- Boca de hombre
- Venteo hacia el lavador de gases
- Entrada de agua desmineralizada
- Entrada de químico mediante tubo buzo, de esta forma se garantiza la mezcla rápida con agua y se evita que se creen atmósferas explosivas ya que el tubo queda sumergido.
- Salida de químico hacia las bombas

- Retorno de las válvulas de seguridad
- Conexión para el agitador
- Rebose (unido al drenaje)
- Drenaje
- Indicador de nivel tipo boya inversa
- Conexión para el transmisor de presión
- Escalera



Figura 8. Detalle del depósito y el cubeto
Fuente: Propia



Figura 9. Detalle del indicador de nivel
Fuente: Propia

Tanto el lavador de gases como el cubeto siguen criterios de diseño propios del suministrador. El cubeto se diseña para que tenga una capacidad de al menos el 110% de la capacidad del depósito. Para determinar el ancho se tiene en cuenta el diámetro del depósito y un margen de aproximadamente 200 mm. En este caso se tiene la limitación del tamaño del contenedor y la necesidad de dejar un pasillo de 400 mm de ancho.

En cuanto al largo, se tiene que considerar la longitud lateral del contenedor que es desmontable, ya que está diseñado para poder meterlo a través del mismo. Por otra parte, se tiene en cuenta el espacio necesario para las bancadas de las bombas y para el lavador de gases.

Para la altura del cubeto, lo más recomendable es que sea lo más pequeña posible para que la bancada esté a la misma altura o más baja que la salida del depósito y el

fluido llegue a las bombas por gravedad. Por lo tanto, este aspecto también limita las dimensiones del cubeto, que finalmente se diseña con un ancho que permite un pasillo de 400 mm y una altura reducida, respetando a su vez el límite de longitud respecto al lateral desmontable del contenedor. Las dimensiones finales del cubeto son 4500x1560x550 mm (largo x ancho x alto) y con capacidad aproximada de 3860 l.

El lavador de gases resulta un elemento indispensable, ya que se encarga de neutralizar los vapores del amoníaco dentro del contenedor. El diseño del lavador de gases se basa en la experiencia en proyectos similares y tamaños de depósito parecidos. Las dimensiones finales las determina el suministrador. El lavador tiene las siguientes características:

- Entrada de gases mediante tubo buzo. Su funcionamiento consiste en la dilución de los vapores de amoníaco en el agua del lavador, para ello la tubería de entrada está sumergida en el agua aproximadamente 40 mm, esta profundidad reducida a su vez evita que se cree depresión en el depósito como consecuencia de la succión de las bombas.
- Entrada de agua de servicio. El lavador se rellena cada vez que se carga el depósito o una vez al mes, lo que tenga lugar antes.
- Rebose (unido al drenaje).
- Drenaje.
- Indicador de nivel.
- Venteo al exterior del contenedor.



Figura 10. Detalle del lavador de gases

Fuente: Propia

1.1.5.3 Líneas

Para elegir el diámetro adecuado de las tuberías se tienen en cuenta las pérdidas de carga existentes, el diámetro que se suele usar por experiencia en proyectos de estas características y el impacto en el coste de los equipos instalados en la línea según el diámetro de la misma.

Líneas de SS 316

Las líneas de acero inoxidable son de tubing por requisito del cliente. Los tamaños más empleados para estas características son OD 8 y OD 12. Se selecciona un diámetro distinto en función del uso de la línea como se indica a continuación:

- Entrada de agua desmineralizada: Existen dos líneas, una que llega al depósito para llevar a cabo la dilución y otra conectada a la línea de aspiración que permite la limpieza de toda la red. A pesar de que la línea por parte del cliente tiene un diámetro mayor, se coloca una reducción para conservar la homogeneidad del tamaño de las líneas en OD 12.
- Entrada de aire de servicio: Se mantiene el mismo tamaño que la entrada de aire de la bomba neumática por lo que la línea es de 1/4"
- Aspiración: El diámetro de aspiración se diseña mayor que el de impulsión para facilitar que el fluido llegue por gravedad a la bomba. En este caso se elige 1/2" para los distintos elementos de la línea y OD12 para el tubing, basándose en la experiencia y los cálculos de pérdida de carga.
- Impulsión: Se reduce el diámetro con respecto a la línea de aspiración ya que interesa aumentar la velocidad del fluido. Como el diámetro de 3/8" para los distintos elementos y OD8 para el tubing cumple con las pérdidas de carga permitidas, se opta por esta opción que reduce el coste del resto de elementos instalados en la línea.



Figura 11. Detalle de la línea de aspiración

Fuente: Propia

Líneas de PVC

Se utiliza PVC en las líneas complementarias del sistema: Venteo, rebose y drenaje del depósito y del lavador de gases, entrada de químico al depósito y entrada de agua al lavador de gases. En estas líneas el cliente no exige el uso de tubing y resulta más económico el uso de PVC teniendo en cuenta que es compatible.



Figura 12. Detalle de una tubería en PVC

Fuente: Propia

Los diámetros de las líneas son muy variados. A continuación se describe el motivo por el cual se han elegido en función del servicio que ofrezca la línea:

- Entrada de amoníaco al depósito: Se elige un diámetro de 1" porque corresponde con el tamaño de la boca de salida de la bomba neumática, de esta forma se evita tener que poner reducciones.
- Entrada de gases al lavador de gases: Para facilitar la salida de gases del depósito esta línea se diseña con un diámetro bastante más grande que el resto de líneas, 2".
- Entrada de agua al lavador de gases: Se mantiene el diámetro de la línea por parte del cliente en 1", ya que es un tamaño apropiado para el uso que se le va a dar y favorece el llenado rápidamente.
- Salida del lavador de gases (rebose y drenaje): Se elige un tamaño adecuado y que resulta económico respecto a los elementos insertados en la línea. Se establece un diámetro de 3/4".

1.1.5.4 Cuadro de control y transformador

El cuadro de control se encarga de gobernar el funcionamiento del sistema. Su actividad se centra en el control de las bombas dosificadoras y de llenado, el agitador,

el transmisor de presión y el cuadro auxiliar del contenedor para las luminarias, aire acondicionado y enchufes.

Para el diseño de este elemento se han seguido las especificaciones del cliente y las normas pertinentes, permitiendo el funcionamiento tanto en modo manual como remoto desde el DCS. Se encarga su fabricación a un proveedor con experiencia en este tipo de aplicaciones.

El cuadro cuenta con los siguientes elementos:

- Interruptor principal (ON/OFF): Es el encargado de dar o cortar tensión al cuadro.
- 5 pulsadores marcha y 5 pulsadores paro: Un pulsador por cada bomba dosificadora (4) y otro para el agitador.
- 6 led de marcha: Uno por cada bomba dosificadora, uno para el agitador y otro para la bomba de llenado (presostato). Encendidos en caso de marcha (rojo) y apagados en caso de paro.
- 5 led de fallo: Uno por cada bomba dosificadora y otro para el agitador. Encendidos en caso de fallo (naranja) y apagados si no hay fallo.
- 5 selectores local (manual)/OFF/remote (automático).
- Seta de emergencia con protección: Secciona todas las bombas y el agitador.



Figura 13. Detalle del cuadro de control

Fuente: Propia

Además del cuadro, se instalan dos transformadores, uno para todos los accesorios del contenedor como luminaria, aires acondicionados etc., que se coloca al lado del

cuadro de control, y otro en el interior del cuadro para aquellos elementos monofásicos como las bombas de la línea de baja presión, leds del cuadro, etc.

El cuadro y el transformador exterior llevan aplicada una capa de pintura a modo de protección para las soldaduras del RAL 7035 por petición del cliente.

Las señales cableadas se describen a continuación:

- Se envían 6 señales de estado start/stop: Una por bomba dosificadora, una para la bomba de llenado y otra para el agitador.
- Se envían 5 señales de estado fallo/no fallo: Una por bomba dosificadora y otra para el agitador.
- Se envían 5 señales de posición de los selectores manual/remoto: Una por bomba dosificadora y otra para el agitador.
- Se envía 1 señal de alarma de seta de emergencia.
- Se envía 1 señal 4-20 mA del transmisor de presión para el control del nivel del depósito.
- Se reciben 5 órdenes start/stop: Una por bomba dosificadora y otra para el agitador.
- Se reciben 4 señales 4-20 mA para regular el caudal de las bombas.

Las señales son digitales a excepción de las que van de 4-20 mA, que son analógicas y se interpretan como una cifra exacta, ya sea del nivel del depósito o del caudal de las bombas.

Desde el punto de vista del DCS se tienen las siguientes señales:

- 17 señales digitales de entrada: Recogen información sobre estados start/stop de las todas las bombas y agitador, estados fallo/no fallo y posición de los selectores manual/remoto de las bombas dosificadoras y el agitador y señal de alarma de la seta de emergencia.
- 5 señales digitales de salida: Correspondientes a la orden marcha paro de las bombas dosificadoras y el agitador.
- 1 señal analógica de entrada: Procedente del transmisor de presión que informa del nivel del depósito
- 4 señales analógicas de salida: Para regular el caudal de las bombas dosificadoras cuando el sistema está en modo remoto.

Funcionamiento en modo manual

Este modo se suele utilizar durante labores de mantenimiento y prueba de las bombas o el agitador. Las órdenes se dan desde el cuadro de control y todas las bombas o el agitador pueden ponerse en marcha o pararse gracias al botón start/stop.

Los enclavamientos que se producen como consecuencia de las alarmas de nivel del depósito no funcionan en este modo.

Dependiendo de las bombas, el ajuste de caudal se hace de maneras distintas. Las bombas que dosifican a la descarga de las bombas de condensado se ajustan mediante la longitud de carrera o variadores de frecuencia instalados en el cuadro de control. Las bombas con destino agua de alimentación del condensador se regulan en la propia bomba mediante la rueda destinada a este ajuste.

Funcionamiento en modo remoto

El control de las bombas y el agitador se lleva a cabo desde el DCS, que a su vez recibe información de su estado.

El DCS se encarga de enviar el comando start/stop a las bombas y el porcentaje de caudal necesario mediante una señal de 4 a 20 mA. En cuanto al agitador envía la señal start/stop.

El operador desde el DCS establece el porcentaje de caudal (0-100%) y selecciona cuál de las dos bombas debe funcionar. En caso de que la bomba falle, el DCS decide qué debe hacer el sistema.

Los enclavamientos de las bombas y el agitador dependen del nivel del depósito. Se deben configurar en el DCS los siguientes lazos de seguridad:

- Alarma de nivel alto (HLA): Esta alarma salta cuando el nivel del depósito está cercano a alcanzar el nivel máximo y está asociada al funcionamiento de la bomba neumática. Para esta señal no existen enclavamientos, los operarios son los encargados de regular el caudal de entrada de aire que pone en funcionamiento la bomba. La alarma se activa al alcanzar aproximadamente el 92% del nivel del depósito.
- Alarma de nivel bajo (LLA): Cuando salta esta alarma el agitador debe pararse. Para evitar dañar el equipo, se debe configurar la alarma para que salte en el momento en el que el nivel de fluido está entre 300 y 400 mm por encima de las hélices. El enclavamiento encargado de la orden de paro se debe configurar para cuando el nivel del depósito esté en el 35% aproximadamente.

- Alarma de nivel muy bajo (LLLA): Esta alarma se activa cuando se deben parar las bombas dosificadoras para evitar que se dañen. Es recomendable configurar el enclavamiento de la orden de paro para un nivel de depósito alrededor del 10%.

1.1.5.5 Bombas

Existen dos tipos de bombas en el sistema de dosificación:

- Bomba neumática: Es la encargada de llenar el depósito de amoníaco desde el IBC.
- Bombas de dosificación: Son las encargadas de hacer llegar el reactivo químico a los puntos de destino. Estas bombas a su vez se dividen en dos tipos: las que trabajan a mayor presión (consideradas en adelante como bombas de alta presión) y las que trabajan a menor presión (consideradas en lo sucesivo bombas de baja presión).

Para la elección de las bombas se tienen en cuenta la presión y temperatura máxima de operación y de diseño y el caudal necesario.

Se opta por una bomba neumática en vez de una bomba eléctrica para llenar el depósito de amoníaco porque se dispone de una línea de aire y su funcionamiento es adecuado en estos casos debido a su robustez. Además, como punto a favor, las bombas neumáticas pueden trabajar en vacío, frente a las eléctricas, donde un eventual funcionamiento en vacío produce su rotura.



Figura 14. Detalle de la bomba neumática

Fuente: Propia

En cuanto a las bombas de dosificación, se eligen aquellas que son de membrana y cumplen con las especificaciones y compatibilidades del fluido. Por otra parte, a la hora de elegir el motor se tienen en cuenta criterios como la alimentación eléctrica, el grado de protección del motor, si son adecuados para trabajar con variadores de frecuencia o el grado de protección IP. También se considera si son adecuados para trabajar en atmosfera explosiva (ATEX) ya que en este caso no es necesario y es un factor que encarece mucho la bomba.

El grado de protección está relacionado con la norma internacional IEC 60529 relativa a grados de protección de equipos eléctricos. El primer número indica el nivel de protección frente al polvo y el segundo el nivel de protección frente a líquidos. Cuanto mayor sean ambos números, mejor protección ofrece el equipo.

Para las bombas de alta presión se elige un modelo de SS 316 con diafragma en PTFE. El motor tiene una potencia instalada de 0,75 kW, 400 V, 3 fases y protección IP55. Además, cumple con la norma API 675 referente a bombas de desplazamiento positivo para servicios industriales del petróleo, químicos y gas. Se requiere la aplicación de una capa de pintura de categoría C3 (duración media) según la norma ISO 12944-2 con RAL 4005 a modo de protección frente a corrosión, ya que tienen cuerpo en acero al carbono y soldaduras.

El caudal de estas bombas se puede controlar mediante el ajuste manual de la longitud de carrera (del 10 al 100%), o mediante una señal de 4 a 20 mA proporcional al caudal. Esta última se envía desde el variador de frecuencia que funciona de 25 a 50 Hz de acuerdo con el motor. Por lo tanto las señales que se envían están entre 12 y 20 mA.

El caudal máximo que puede dar la bomba es de aproximadamente 23 l/h a 50 Hz y con longitud de carrera máxima (100%). Por el contrario, el caudal mínimo posible se encuentra en aproximadamente 1,15 l/h a 25 Hz y 10% de longitud de carrera.



Figura 15. Detalle de una bomba de la línea de alta presión

Fuente: Propia

Para las bombas de baja presión se opta por un modelo utilizado habitualmente con éxito y que ofrece unas prestaciones adecuadas al servicio que se requiere. Resultan económicas y sus dimensiones son reducidas, que supone una ventaja en comparación con las de alta presión, ya que el espacio disponible en la bancada es reducido. La potencia máxima es de 0,022 kW, 240 V, 1 fase y protección IP65. Estas bombas no necesitan pintarse ya que no tienen soldaduras.

El caudal se regula manualmente en la propia bomba o mediante una señal proporcional al caudal de 4 a 20 mA, correspondiendo 4 mA a 0l/h y 20 mA a 10 l/h.



Figura 16. Detalle de una bomba de la línea de baja presión

Fuente: Propia

1.1.5.6 Agitador

Uno de los factores limitantes a la hora de elegir el agitador más apropiado es la altura disponible desde el depósito al techo interior del contenedor. Como esta distancia es reducida, la opción más favorable técnicamente supone utilizar un agitador que tenga el motor horizontal.

El modelo de agitador se determina en función del tamaño del depósito y las propiedades del fluido, a partir de esa información se determina la longitud del eje, el diámetro y tipo de hélice y el material.

Finalmente se escoge un agitador con potencia de 0,37 kW, 380 V, protección IP55, longitud de eje de 1200 mm y diámetro de las hélices de 450 mm con una velocidad de giro de 136 rpm. El material del conjunto agitador-motor es SS 316.



Figura 17. Detalle del agitador

Fuente: Propia

Como medida de protección frente a la corrosión y según la especificación del cliente se aplica una capa de pintura de tipo C3 (duración media) según la norma ISO 12944-2 con RAL 4005.

1.1.5.7 Transmisor de presión

El transmisor de presión está conectado al depósito en la parte inferior y controla el nivel del mismo a través de un sensor piezorresistivo. Es el encargado de mandar al cuadro de control una señal para los siguientes casos:

- Nivel del depósito alto: Cuando se alcanza este nivel se manda una señal de alarma al DCS y se debe parar la bomba neumática de forma manual.
- Nivel del depósito bajo: En este nivel se envía una señal de alarma al DCS que tras recibirla envía otra señal de paro del agitador.

- Nivel del depósito muy bajo: Al alcanzar este nivel el DCS recibe una señal de alarma y envía otra de orden de paro de las bombas dosificadoras.

Los niveles están establecidos para evitar que los equipos se dañen.

El transmisor tiene capacidad para enviar hasta cuatro señales, en este caso sólo son necesarias tres.

La presión máxima que se puede tener en caso de que el depósito esté lleno es de 0,122 bar. Las opciones disponibles son 0...0,25 bar y 0...1 bar. El modelo elegido es el que tiene rango de 0 a 250 mbar. Aunque resulte un poco amplio para la presión que se tiene, es el más adecuado.



Figura 18. Detalle del transmisor de presión

Fuente: Propia

La señal tiene un rango 4-20 mA, que varía en función del nivel que tiene el depósito.

Según la especificación del cliente, todos los instrumentos que no incluyan diafragma o sello separador deben contar con manifold para protegerlo de golpes de presión. Este elemento está formado por dos válvulas, una de vacío y otra de conexión al circuito.



Figura 19. Detalle de un manifold

Fuente: Propia

1.1.5.8 Amortiguadores de pulsación

El amortiguador de pulsaciones consta de un recipiente en el que se encuentra un gas, generalmente nitrógeno, que ocupa todo el volumen. Éste está a una presión inferior a la del circuito y se denomina presión de hinchado.

La función de este instrumento es estabilizar el caudal variable y oscilante provocado por cada ciclo de las bombas dosificadoras. Parte del volumen impulsado por la bomba en cada ciclo entra en el amortiguador y es devuelto durante el ciclo de aspiración. La cantidad de fluido que entra en el instrumento provoca que el gas de su interior se comprima, reduciendo su volumen y aumentando su presión. El volumen inicial del gas es el volumen total del amortiguador.



Figura 20. Detalle de un amortiguador de pulsaciones

Fuente: Propia

El material del elemento que separa el gas del fluido del circuito puede ser caucho (EPDM, butil, silicona, etc.) o material termoplástico (PTFE). El primer tipo se denomina vejiga y al último membrana o fuelle. La elección de una opción u otra depende de las características del circuito (presión de trabajo y temperatura) y la compatibilidad del fluido con los materiales empleados.

El volumen de los amortiguadores elegidos finalmente es de 0,07 l con vejiga de butil.

1.1.5.9 Manómetros

Al tener líneas que van a soportar presiones distintas, los manómetros también deben ser distintos. Para elegir el rango de estos equipos se considera que aproximadamente la presión máxima de operación, marcada por la válvula de seguridad (42,5 bar en alta presión y 10 bar en baja presión), tiene que ser 2/3 de la escala. Por lo tanto para las líneas de alta presión el final de escala debe estar en 63,5 bar y para las líneas de baja presión en 15 bar. Finalmente, adecuándose a los rangos disponibles de los suministradores, se eligen manómetros de final de escala 60 bar y 16 bar.



Figura 21. Detalle de un manómetro de baja presión

Fuente: Propia

Los manómetros van situados en la línea de impulsión de cada bomba y la conexión a la misma se hace a través de válvulas de bola. En las líneas de alta presión se colocan dos válvulas antes de cada manómetro para asegurar la protección del instrumento. Normalmente se suelen colocar a partir de 60 bar en manómetros, amortiguadores de pulsación y drenajes, pero por especificación se tiene que incluir con la presión que se tiene. En las líneas de baja presión únicamente es necesaria una válvula.

Para estos manómetros no es necesario utilizar manifold ya que cuentan con diafragma separador que los protege de picos de presión.



Figura 22. Detalle de un manómetro de alta presión

Fuente: Propia

1.1.5.10 Elementos de la línea de aire

Desde el punto de entrada del aire de servicio hasta la bomba neumática existen dos elementos que controlan el suministro de aire: un filtro regulador y un presostato.

La bomba neumática se pone en marcha mediante el filtro regulador. Éste además de filtrar el aire para que no lleguen impurezas a la bomba, dispone de una válvula que regula el caudal de aire que llega a la bomba. Para establecer el caudal deseado cuenta con un manómetro que indica la presión del aire. A mayor presión, mayor caudal de aire llega a la bomba.



Figura 23. Detalle del filtro regulador y el presostato

Fuente: Propia

Por otra parte, el presostato se encarga de detectar si hay presión en la línea y por tanto llega aire a la bomba. Si esto sucede, manda una señal al DCS para indicar que la bomba neumática está en funcionamiento.

1.1.5.11 Columna de calibración

La misión de la columna de calibración es medir el caudal dosificado por las bombas de forma visual.

Para realizar la medición se mantiene abierta la válvula superior para que ventee mientras se llena la columna y se abre la válvula inferior. A continuación se cierra la válvula del depósito para las bombas aspiren del volumen almacenado en la columna. Se establece un tiempo fijo y se mide el volumen desalojado durante dicho tiempo. También se puede establecer un volumen fijo y controlar el tiempo hasta que se desaloja.



Figura 24. Detalle de la columna de calibración

Fuente: Propia

Al tener dos caudales distintos resulta difícil la elección de la capacidad más adecuada. Se debe tomar una intermedia entre las calculadas para cada caudal. El rango de capacidades comerciales es: 100, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 20000 ml. Las capacidades que requieren los caudales son de 341,67 y 6 ml. Aunque sea un poco lento para el caudal de baja presión, se considera la capacidad de 250 ml la más apropiada para el equipo de dosificación.

1.1.5.12 Válvulas

Para el correcto funcionamiento del sistema se eligen los distintos tipos de válvulas que se describen a continuación. El tamaño de las válvulas está condicionado por el tamaño de la línea en la que van instalados.

Válvulas de bola SS 316

Este tipo de válvulas se utilizan a lo largo de todo el sistema para aislar los elementos en operaciones de mantenimiento, para drenaje, etc.

Para la línea de aspiración entre el depósito y las bombas dosificadoras el tamaño es 1/2". En cambio, se opta por 3/8" para las líneas de impulsión, desde las bombas dosificadoras hasta los puntos terminales. Las válvulas de la línea de entrada agua desmineralizada tanto para el depósito como para la línea de limpieza son del mismo tamaño que la línea de aspiración, es decir, 1/2".

El material de estas válvulas es acero inoxidable SS 316 con asientos de PTFE.

Dependiendo de las conexiones y el espacio que necesiten se tienen tres tipos de válvula de bola. Las válvulas con palomillas son apropiadas para zonas en las que se dispone de poco espacio para manipularlas.



Figura 25. Detalle de una válvula de bola con palomilla, extremos roscados H-H

Fuente: Genebre

Para las zonas donde los elementos van unidos unos a otros sin tubería de conexión las válvulas deben tener extremos M-H.



Figura 26. Detalle de una válvula de bola con palomilla, extremos roscados M-H
Fuente: Genebre

En las zonas que se dispone de espacio suficiente para manipular las válvulas, el modelo más adecuado y cómodo es el que cuenta con palanca.



Figura 27. Detalle de una válvula de bola con palanca
Fuente: Genebre

Válvulas de retención SS 316

Este tipo de válvulas se utilizan en determinadas líneas para evitar que el fluido circule en sentido contrario al establecido para la dosificación.



Figura 28. Detalle de una válvula de retención
Fuente: Genebre

Las válvulas de retención o antirretorno van colocadas en las líneas de impulsión de cada bomba dosificadora (3/8") y en la línea de limpieza (1/2") y están hechas en acero inoxidable SS 316.

Válvulas de seguridad (PSV)

Estas válvulas se usan para aliviar la sobrepresión en la línea de impulsión en caso de fallos, líneas obstruidas, etc., de esta manera la presión de las bombas de dosificación está controlada y estabilizada, evitando que aumente y pueda dañar los instrumentos, la planta o a los operarios. Se colocan justo después de la bomba y se conecta directamente con el depósito.

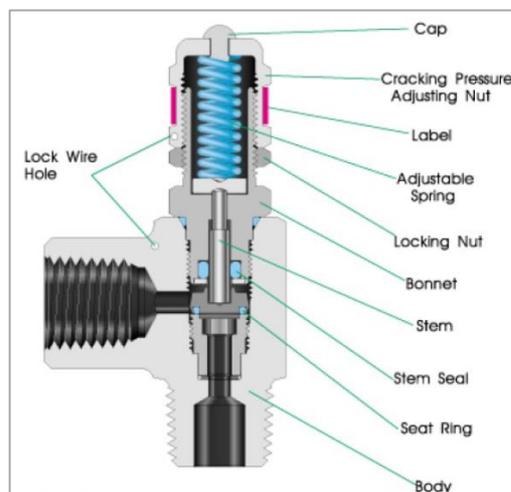


Figura 29. Detalle de una válvula de seguridad

Fuente: Hy-Lok

Las válvulas de seguridad o de alivio están taradas a la presión máxima establecida en cada línea, es decir, 42,5 bar en las líneas de alta presión y 10 bar en las de baja presión. El material de estas válvulas es acero inoxidable SS 316.

Válvulas de bola PVC

Este tipo de válvulas se encuentran en las líneas conectadas al lavador de gases, la entrada de químico en el depósito y el rebose y drenaje del mismo. Permiten el llenado y vaciado del depósito y del agua del lavador de gases.



Figura 30. Detalle de una válvula de bola en PVC

Fuente: Propia

El material de estas válvulas es PVC y el tamaño depende de la línea en la que van instaladas (3/4" o 1").

Válvulas de retención PVC

Estas válvulas están instaladas en la línea de rebose del depósito y del lavador de gases, de manera que permiten que el exceso de fluido salga en caso de llenado excesivo e impiden que retorne.



Figura 31. Detalle de una válvula de retención en PVC

Fuente: Propia

El material de estas válvulas es PVC como la línea en la que van instaladas.

1.1.5.13 Filtro

En la línea de aspiración se utiliza un filtro en Y para retener el paso de partículas, alargando de esta forma la vida del sistema, especialmente de las bombas, y evitando posibles fallos.



Figura 32. Detalle del filtro en Y

Fuente: Genebre

El material de este filtro es acero inoxidable SS 316.

1.1.5.14 Accesorios

Además de todos los elementos que se han descrito anteriormente existen diversos accesorios que se utilizan para la conexión de distintos elementos como pueden ser bridas, conectores, etc.

Las bridas se emplean en las conexiones con el depósito, el lavador de gases y en determinados puntos terminales. Los tamaños y materiales varían en función de las características de la línea.

Para conectar tubing con válvulas u otros elementos se utilizan conectores bicono. Estas conexiones constan de dos conos se agarran a la tubería sin dañar la pared de la misma, asegurando un funcionamiento sin fugas.

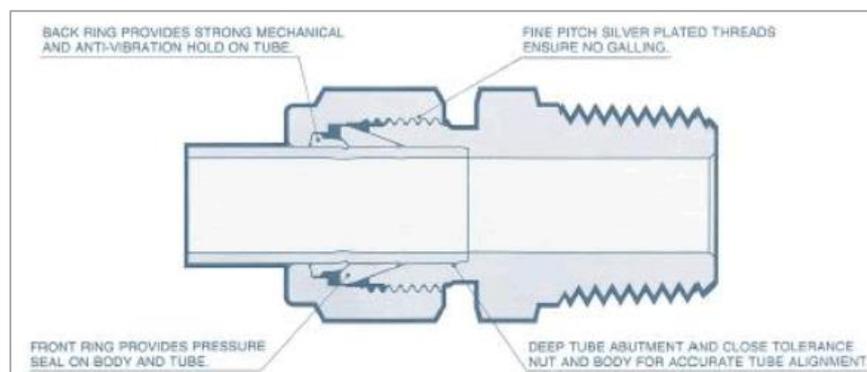


Figura 33. Detalle de conector bicono para tubing

Fuente: Waverley brownall

1.1.6 Análisis de alternativas

En cuanto al diseño del sistema, se presentan diversas posibilidades de configuración a partir del pedido del cliente.

Se estudia la posibilidad de situar el sistema en el interior de un edificio o en un contenedor. Al final se opta por la opción del contenedor porque se adapta mejor al emplazamiento que quiere darle el cliente al sistema.

Como consecuencia de la opción edificio o contenedor, surge la opción de colocar el depósito vertical u horizontal. Es más habitual que se coloque vertical, pero al elegir un contenedor, con la capacidad necesaria del depósito, resulta imposible esta configuración por problemas de espacio.

Una vez decidida la posición del depósito surge una nueva alternativa. La boca de hombre suele situarse en la parte superior del depósito, pero en este caso al estar tan cercano al techo del contenedor se considera la opción de situarlo en un lateral. Esto supondría mayores tensiones pero facilitaría la manipulación. Finalmente se diseña con la boca de hombre en el lateral añadiendo refuerzos.

Por último, el uso de agitador se propone como opcional. En un primer momento se descarta su uso ya que el cliente establece que no haya dilución en el depósito si no que se dosifique amoníaco concentrado. Esta decisión conlleva, según la normativa de seguridad, el uso de equipos ATEX que encarecen el sistema considerablemente aunque permite que el depósito sea más pequeño. Finalmente se elige que el químico se dosifique diluido, considerando varias opciones de dilución (10%, 12,5% y 15%). La dilución hace necesario el uso de agitador y un depósito de mayores dimensiones, pero resulta más económico y seguro que la opción inicial contemplada.

1.1.7 Resultados finales

Después de elegir todos los materiales necesarios y los elementos más recomendables, se procede al ensamblaje del sistema. Para introducir el depósito y el cubeto es necesario desmontar el lateral del contenedor. Una vez instalados, se procede con el bastidor para las bombas e instrumentos.

A continuación se muestran detalles del sistema una vez terminado el ensamblaje:



Figura 34. Detalle del sistema ensamblado

Fuente: Propia



Figura 35. Detalle parcial del sistema ensamblado

Fuente: Propia

A pesar de que la entrega se efectúa en Madrid, el sistema debe estar preparado para su transporte. Por ello, es necesario embalarlo para protegerlo de los rigores del proceso de envío.

El embalaje consiste en una jaula de madera con protección de plástico en la parte interior para evitar la entrada de agentes externos como humedad o gotas de agua.



Figura 36. Detalle del embalaje

Fuente: Propia

Las dimensiones de la jaula son tales que se minimice el espacio no usado en su interior para reducir los costes de envío todo lo posible.

Todos los accesorios, conexiones de puntos terminales, etc. se colocan en una caja de madera cerrada, independiente del contenedor.

Adicionalmente, se colocan en el interior del contenedor y de la caja bolsas desecantes de gel de sílice para asegurar una atmosfera con bajo nivel de humedad en el interior. Además, la madera está sometida a tratamiento fitosanitario.

Para introducir el contenedor en la jaula, primero se coloca éste sobre la base de la jaula. A continuación se fijan los laterales con clavos y por último la parte superior.

Cuando se termina de embalar, se fijan las marcas de envío, inscritas en una placa de madera, en el lateral de todos los paquetes que se envían. Para ello se utiliza tinta resistente al agua y se indica el destino en inglés, de forma que sea claro y legible. A los paquetes se adjunta una lista de paquetes que facilite la identificación de las mercancías.

Una vez finalizado el embalaje, se cargan los paquetes en un camión. Se requiere un solo camión de dimensiones normales, ya que los paquetes no superan la longitud total de éste y tanto la anchura como la altura se tienen en cuenta a la hora de diseñar el contenedor para evitar necesitar un camión de dimensiones especiales.

Una vez cargado el sistema, éste depende del cliente y queda cubierto el servicio ofertado. Aunque posteriormente tiene que llevarse a cabo la puesta en marcha una vez esté instalado en la central.

1.1.8 Planificación

A la hora de ejecutar el proyecto se establecen unos tiempos estimados para cada tarea necesaria, de tal forma que se planifiquen tanto el comienzo de cada una de ellas como su final y aquellas que condicionan el comienzo de otras.

Aunque el objetivo es acabarlo lo antes posible, la planificación requiere también cierta prudencia ya que se necesita organizar las tareas que deben llevarse a cabo dejando un colchón de tiempo por si se produce cualquier incidencia que pueda retrasar la fecha final de entrega.

Se muestran por separado la lista de tareas y el diagrama de Gantt de las tareas numeradas anteriormente.

Diseño y construcción de un sistema de dosificación de amoníaco para la Central Térmica de Ciclo Combinado Ic Anadolu (Turquía)

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Memoria

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Equipo de dosificación química	132 días	mié 05/11/14	jue 07/05/15	
2	Realización y envío de P&ID, descripción funcional y planos de construcción	10 días	mié 05/11/14	mar 18/11/14	
3	Aprobación preliminar de P&ID, descripción funcional y planos de construcción	15 días	mié 19/11/14	mar 09/12/14	2
4	Realización y envío de documentación eléctrica	20 días	mié 05/11/14	mar 02/12/14	
5	Aprobación preliminar de documentación eléctrica	25 días	mié 03/12/14	mar 06/01/15	4
6	Compra y fabricación de cuadro de control	30 días	mié 21/01/15	mar 03/03/15	5;12FF+5 días
7	Compra y fabricación de contenedor	45 días	mié 10/12/14	mar 10/02/15	3
8	Compra y fabricación de bombas	50 días	mié 10/12/14	mar 17/02/15	3
9	Compra y fabricación de cubeto, depósito y lavador de gases	45 días	mié 10/12/14	mar 10/02/15	3
10	Compra y fabricación de válvulas de seguridad	50 días	mié 10/12/14	mar 17/02/15	3
11	Compra y fabricación de instrumentación	35 días	mié 10/12/14	mar 27/01/15	3
12	Aprobación definitiva de documentación eléctrica	35 días	mié 07/01/15	mar 24/02/15	5
13	Aprobación definitiva de planos de construcción	42 días	mié 10/12/14	jue 05/02/15	3
14	Compra de válvulas, tubería y accesorios	15 días	vie 06/02/15	jue 26/02/15	13
15	Ensamblaje del sistema	32 días	mié 04/03/15	jue 16/04/15	14;6;7;8;9;10;11
16	Cableado	5 días	vie 17/04/15	jue 23/04/15	15;6
17	Pruebas FAT	2 días	vie 24/04/15	lun 27/04/15	16
18	Resolución de no conformidades	5 días	mar 28/04/15	lun 04/05/15	17
19	Documentación final para envío	5 días	mar 28/04/15	lun 04/05/15	17
20	Embalaje	2 días	mar 05/05/15	mié 06/05/15	19;18
21	Envío FCA Madrid	1 día	jue 07/05/15	jue 07/05/15	20

Figura 37. Lista de tareas de planificación

Fuente: Propia

1.1.9 Conclusiones

A lo largo de todo el proyecto se siguen las normas internacionales que aplican al sistema de dosificación y las especificaciones indicadas por el cliente.

La elección de los equipos y materiales se hace basándose en las especificaciones técnicas y en criterios internos de calidad, validando diferentes ofertas de suministradores.

En cuanto al diseño, se han considerado todas las posibilidades disponibles y se ha elegido la más adecuada en cada caso basándose en criterios técnicos y económicos, siempre con la aprobación del cliente.

Las pruebas FAT con el cliente se llevan a cabo satisfactoriamente y el cliente se muestra satisfecho con el resultado final del sistema de dosificación (Ver Anexo 1.3.2). Durante las pruebas se comprueba el funcionamiento de todos los equipos y queda constancia por escrito.

Se cumple el presupuesto inicial con margen. En éste se reserva una cantidad para contingencias que no resulta necesario utilizar.

Por último, el plazo de entrega se retrasa dos semanas, con la aceptación del cliente, por problemas de entrega de un suministrador. Se aplican medidas correctivas y se abre un proceso de estudio interno para tomar las medidas necesarias para que no se vuelva a dar este caso.

1.1.10 Normas y estándares

1999/45/EC: Preparados peligrosos

2003/10/EC: Directiva de ruidos

2004/108/EC: Compatibilidad electromagnética

2006/95/EC: Directiva de equipos de baja tensión

67/548/EEC: Sustancias peligrosas

American Standards: Materiales no autorizados

AISI: Clasificación de aceros

ANSI B 16.5: Bridas

API 675: Bombas de desplazamiento positivo

ASME B 1.20: Tuberías

ASME B 16.34: Válvulas

ASME B 31.3: Tuberías

ASME PTC-36: Medida del ruido

ASTM: Materiales

ATEX: Motores y bombas

British Standard: Restricciones de materiales (conglomerados)

BS EN 13480: Tuberías

BS EN 10255: Tuberías

BS EN 10216: Tuberías

Codes of Practice: Materiales no autorizados

Control of Substances Hazardous to Health (COSHH) Regulations: Sustancias peligrosas

Dangerous Preparations Directive: Sustancias peligrosas

Dangerous Substances Directive: Sustancias peligrosas

DIN: Normalización

Directivas de la EU: Sustancias peligrosas

DVS: Soldadura de HDPE

EN 837: Manómetros

EN 15609-1: Procedimiento de soldadura

EN 15614-1: Procedimiento de soldadura

EN 61298: Procesos de medida y dispositivos de control

Eurocodes: Materiales no autorizados

IAPWS: Propiedades del agua y vapor

IEC 60028: Resistencia del cobre

IEC 60044: Transformadores

IEC 60445: Código de colores de los cables

IEC 60529: Grados de protección para motores y bombas

IEC 61000: Compatibilidad electromagnética

IP: Para motores y bombas

ISO 7919: Niveles de vibración para las bombas

ISO 9001: Certificado de calidad del sistema

ISO 10816: Vibración de las bombas

ISO 12944-2: Pintura

MSS: Válvulas y accesorios

NACE: Corrosión

NFPA: Protección contra incendios

RAL: Pintura

Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)

Regulation: Sustancias peligrosas

Turkish Standards (TS): Materiales no autorizados

UNE 157001 2002: Criterios generales para la elaboración de proyectos

1.2 CÁLCULOS

1.2.1 Cálculos químicos

Los primeros cálculos que se deben realizar son los relativos a la cantidad de amoníaco a dosificar, dependiendo del pH que se quiera alcanzar y la concentración que se puede tener. A partir de estos datos se puede obtener la capacidad mínima del depósito para la autonomía dada por el cliente.

Normalmente, para la industria se suele suministrar amoníaco diluido al 15%, pero se tienen en cuenta también a la hora de hacer los cálculos la dilución al 12,5% y al 10%.

Como datos iniciales se cuenta con el valor inicial del pH del agua a tratar, el pH que se quiere alcanzar y la cantidad de amoníaco al 100% para alcanzar dicho pH.

Agua de alimentación		
pH inicial	pH final	NH3 puro
[-]	[-]	[ppm]
7	9,2	0,42
7	9,4	0,96
7	9,6	1,99

Tabla 14. Datos químicos iniciales (Agua de alimentación)

Fuente: Propia

Impulsión de la bombas de condensado		
pH inicial	pH final	NH3 puro
[-]	[-]	[ppm]
9	9,4	0,8
9	9,6	1,66
9	9,8	3,03

Tabla 15. Datos químicos iniciales (Impulsión de las bombas de condensado)

Fuente: Propia

A partir de un pH con valor igual a 9 resulta más complicado aumentar el pH utilizando amoníaco, por ello las cantidades de amoníaco necesarias para la impulsión de la bombas de condensado en proporción son más elevadas que las del agua de alimentación, a pesar de que el rango a aumentar es mucho menor.

En ambos casos, para los cálculos posteriores se va a tomar como referencia el valor medio de pH a alcanzar, es decir, 9,4 en el caso de agua de alimentación y 9,6 para impulsión de la bombas de condensado.

Partiendo de la concentración de amoníaco se calcula la cantidad de producto diluido necesario:

$$D_{dil} = \frac{D_{NH3}}{C}$$

Donde

D_{dil} : Dosis de producto diluido [ppm]

D_{NH3} : Dosis de amoníaco puro [ppm]

C: Concentración deseada [-]

Una vez calculada la cantidad de amoníaco diluido necesaria para alcanzar el valor de pH, se obtiene el caudal máximo y de operación de químico necesario.

$$Q_{NH3} = \frac{Q \cdot D_{dil}}{10^6}$$

Donde

Q_{NH3} : Caudal de amoníaco [Kg/h]

Q: Caudal de agua en destino [Kg/h]

Los datos del caudal de agua en los distintos casos se indican en la siguiente tabla:

Concepto	Uds.	Valor	
		Agua de alimentación	Impulsión de la bomba de condensado
Caudal máximo	[Kg/h]	50000	1355646
Caudal de operación	[Kg/h]	14000	727300

Tabla 16. Datos de caudal

Fuente: Propia

Una vez obtenido el caudal de químico necesario, se consideran el caudal máximo de éste y el doble del caudal de operación para determinar el caudal máximo que deben tener las bombas. Se selecciona la opción mayor entre los dos valores de cada destino.

Respecto a la capacidad del depósito, hay que tener en cuenta la autonomía solicitada por el cliente de 14 días. Por lo tanto, la capacidad mínima para cumplir la autonomía viene dada por la siguiente expresión:

$$V_{aut} = Q_{NH_3} \cdot 24 \cdot 14$$

Donde:

V_{aut} : Capacidad mínima del depósito para 14 días de funcionamiento [l]

La capacidad real mínima que se considera que debe tener el depósito se calcula como la suma de la capacidad mínima para cumplir 14 días de autonomía para agua de alimentación e impulsión de la bombas de condensado en condiciones normales de operación.

A partir de este último dato se fija la capacidad final que debe tener el depósito.

Resultados para una concentración de amoníaco del 15%:

Concepto	Uds.	Valor			
		Caudal máximo		Caudal de operación	
		Bomba de condensado	Agua alimentación	Bomba de condensado	Agua alimentación
Dosis necesaria de NH3 al 100%	[ppm]	1,66	0,96	1,66	0,96
Concentración de NH3	[-]	15%	15%	15%	15%
Dosis de producto diluido	[ppm]	11,07	6,40	11,07	6,40
Caudal de agua en destino	[Kg/h]	1355646,00	44000,00	727300,00	13000,00
	[l/h]	1442176,60	46808,51	773723,40	13829,79
Caudal de NH3	[l/h]	15,96	0,30	8,56	0,09
Caudal máximo de las bombas	[l/h]	15,96	0,30	17,13	0,18
Capacidad del depósito (14 días)	[l]	5362,59	100,66	2877,01	29,74
Capacidad mínima del depósito	[l]	5463,25		2906,75	
Capacidad final del depósito	[l]	3000			

Tabla 17. Resultados para amoníaco 15%

Fuente: Propia

Resultados para una concentración de amoníaco del 12,5%:

Concepto	Uds.	Valor			
		Caudal máximo		Caudal de operación	
		Bomba de condensado	Agua alimentación	Bomba de condensado	Agua alimentación
Dosis necesaria de NH3 al 100%	[ppm]	1,66	0,96	1,66	0,96
Concentración de NH3	[-]	13%	13%	13%	13%
Dosis de producto diluido	[ppm]	13,28	7,68	13,28	7,68
Caudal de agua en destino	[Kg/h]	1355646,00	44000,00	727300,00	13000,00
	[l/h]	1442176,60	46808,51	773723,40	13829,79
Caudal de NH3	[l/h]	19,15	0,36	10,28	0,11
Caudal máximo de las bombas	[l/h]	19,15	0,36	20,55	0,21
Capacidad del depósito (14 días)	[l]	6435,11	120,79	3452,42	35,69
Capacidad mínima del depósito	[l]	6555,90		3488,10	
Capacidad final del depósito	[l]	3500			

Tabla 18. Resultados para amoníaco 12,5%

Fuente: Propia

Resultados para una concentración de amoníaco del 10%:

Concepto	Uds.	Valor			
		Caudal máximo		Caudal de operación	
		Bomba de condensado	Agua alimentación	Bomba de condensado	Agua alimentación
Dosis necesaria de NH3 al 100%	[ppm]	1,66	0,96	1,66	0,96
Concentración de NH3	[-]	10%	10%	10%	10%
Dosis de producto diluido	[ppm]	16,60	9,60	16,60	9,60
Caudal de agua en destino	[Kg/h]	1355646,00	44000,00	727300,00	13000,00
	[l/h]	1442176,60	46808,51	773723,40	13829,79
Caudal de NH3	[l/h]	23,94	0,45	12,84	0,13
Caudal máximo de las bombas	[l/h]	23,94	0,45	25,69	0,27
Capacidad del depósito (14 días)	[l]	8043,88	150,99	4315,52	44,61
Capacidad mínima del depósito	[l]	8194,87		4360,13	
Capacidad final del depósito	[l]	4500			

Tabla 19. Resultados para amoníaco 10%

Fuente: Propia

1.2.2 Cálculos del cubeto y depósito

Una vez calculado el volumen que debe tener el depósito, se determina tanto el diámetro como el largo del depósito.

$$V_{dep} = L \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

Donde:

V_{dep} : Volumen del depósito

L: Largo del depósito

D: Diámetro del depósito

Como sólo se dispone del dato del volumen, se proponen distintos diámetros y largos, teniendo en cuenta el espacio disponible en el contenedor y la relación L/D, esta última se intenta que no sea muy grande.

Diámetro	Largo	Volumen	L/D
[mm]	[mm]	[m3]	[-]
1600	1800	3,619	1,125
1400	2400	3,695	1,714
1300	2700	3,584	2,077

Tabla 20. Posibles dimensiones del depósito

Fuente: Propia

Se eligen las dimensiones de la última opción ya que la altura del depósito es crítica para que quepa el agitador dentro del contenedor.

En cuanto al cubeto, partiendo de las bases descritas para unas dimensiones apropiadas, con el dato del volumen que tiene que alojar, se proponen medidas para el ancho y el largo del cubeto, a partir de las cuales se determina la altura del mismo. La altura se redondea a un valor que facilite su fabricación y con éste se calcula la capacidad final del cubeto.

Ancho	Largo	Alto	Alto final	Volumen	% de volumen
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m3]	[-]
1800,00	3100,00	689,96	700,0	3,91	111,60%
1660,00	3660,00	633,68	650,0	3,95	112,83%
1560,00	4500,00	548,43	550,0	3,86	110,31%

Tabla 21. Posibles dimensiones del cubeto

Fuente: Propia

La última opción ofrece el cubeto de menor altura sin comprometer el resto de medidas ni su capacidad por lo que es el que se utiliza finalmente.

1.2.3 Cálculos de líneas

Para determinar el tamaño de las tuberías se tiene en cuenta la velocidad del fluido y el impacto económico. Las pérdidas de carga no se consideran ya que por experiencia se sabe que son muy reducidas.

La velocidad del fluido se calcula para comprobar que las líneas están correctamente dimensionadas. Se estima como límite máximo en impulsión un valor de aproximadamente 2 m/s para mantener las propiedades físicas del químico y evitar cavitación.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para las distintas líneas teniendo en cuenta las posibilidades de funcionamiento.

Concepto	Uds.	Valor			
		Aspiración		Impulsión	
		Baja presión	Alta presión	Baja presión	Alta presión
Caudal	[l/h]	0,36	20,5	0,36	20,5
Diámetro	[mm]	10	10	6	6
Velocidad	[m/s]	0,0013	0,0725	0,0035	0,2014

Tabla 22. Resultados de velocidad en las líneas

Fuente: Propia

La velocidad resultante para los diámetros elegidos es muy pequeña. El causante de este valor tan bajo es el caudal, que es muy reducido. Aun así, se mantienen los diámetros seleccionados por economía de montaje y coste frente a diámetros más reducidos, ya que estos requieren más soportes. Además, la experiencia demuestra que para el tipo de fluido empleado no se presentan problemas de circulación por baja velocidad.

1.2.4 Cálculos del transmisor de presión

El transmisor de presión es capaz de emitir una señal en función de la columna de líquido que tenga sobre su sensor, por ello se sitúa en la parte inferior del lateral del tanque. Esta señal sirve para identificar el nivel del depósito de forma que se active una alarma cuando el depósito tiene un nivel muy bajo, bajo y alto.

La presión máxima que soportará el transmisor corresponde a la columna de líquido cuando el depósito esté lleno, es decir, cuando soporta una columna de altura igual al diámetro del depósito. Para calcular la presión se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = \frac{D \cdot \rho_{NH_3}}{10000}$$

Donde:

P: Presión máxima en el fondo del depósito

ρ_{NH_3} : Densidad de NH₃

A partir del resultado obtenido anteriormente y después de elegir el rango del transmisor más adecuado, se calcula el porcentaje de señal y la señal que se tendrá en el caso de que el depósito esté completamente lleno:

$$S = 4 + 16 \frac{P}{P_{escala}}$$

Donde:

S: Valor máximo de la señal [mA]

P: Presión máxima en el depósito [bar]

P_{escala} : Presión de final de escala [bar]

Concepto	Uds.	Valor
Presión	[bar]	0,122
Final de escala	[bar]	0,250
Señal	mA	11,821
Porcentaje de señal	[-]	48,880

Tabla 23. Valores del transmisor de presión con el depósito lleno

Fuente: Propia

Para determinar el porcentaje de señal que debe tener cada nivel, y por tanto la señal, se establece una altura para cada uno de los niveles. La elección de esta altura está basada en la experiencia y en criterios de seguridad en cuanto a protección de los equipos como bombas y agitador.

A partir de la altura total se calcula el porcentaje de altura de cada uno de los niveles establecidos, teniendo en cuenta el diseño horizontal del depósito, ya que el volumen no varía linealmente con la altura. Con ese dato se calcula el porcentaje de señal tomando como dato de partida el porcentaje para la altura total calculado anteriormente.

Una vez obtenido el porcentaje sólo queda determinar la señal en mA a partir del porcentaje de altura del depósito, la presión máxima del depósito y el final de escala del transmisor. El cálculo y los resultados se muestran a continuación.

$$S_{parcial} = 4 + 16 \frac{P \cdot H}{P_{escala}}$$

Donde:

$S_{parcial}$: Señal parcial en función del porcentaje de altura [mA]

H%: Porcentaje de altura del fluido en el depósito [-]

Altura	Porcentaje de altura	Porcentaje de señal	Señal	Nivel
[mm]	[-]	[-]	[mA]	[-]
1300	100,00%	48,88%	11,821	Lleno
1120	86,15%	42,11%	10,738	Alto
500	38,46%	18,80%	7,008	Bajo
200	15,38%	7,52%	5,203	Muy bajo
0	0,00%	0,00%	4,000	Vacío

Tabla 24. Resultados de señales para los niveles

Fuente: Propia

1.2.5 Cálculos de amortiguadores de pulsaciones

A partir del caudal y de la velocidad de la bomba se calcula la cilindrada del pistón:

$$C = \frac{Q_B \cdot 1000}{V_B \cdot 60}$$

Donde:

C: Cilindrada del pistón [cm³/embolada]

Q_B: Caudal de la bomba [l/h]

V_B: Velocidad de la bomba [emboladas/min]

Por otra parte, se establece un valor de pulsación residual del 2%, con esta cifra y la presión de operación se pueden obtener los valores de P₁ y P₂.

$$P_1 = P_{op} \cdot (1 - p_{res})$$

$$P_2 = P_{op} \cdot (1 + p_{res})$$

Donde:

P_1 y P_2 : Presión máxima y mínima en el circuito

P_{op} : Presión de operación [barg]

P_{res} : Pulsación residual [-]

Para calcular el volumen que deben tener los amortiguadores se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_0 = \frac{P_2 \cdot C / 2}{0,9 \cdot 0,8 \cdot (P_2 - P_1)}$$

Donde:

V_0 : Volumen del amortiguador de pulsaciones [ml]

Los resultados de los cálculos descritos anteriormente se reflejan en la siguiente tabla teniendo en cuenta los dos destinos y sus características.

Concepto	Uds.	Agua de alimentación	Bombas del condensador
Cilindrada del pistón	[cm ³ /emb]	0,06	3,67
Presión mínima	[barg]	8,13	33,11
Presión máxima	[barg]	8,47	34,47
Volumen del amortiguador	[ml]	1,06	65,06

Tabla 25. Resultados de los amortiguadores de pulsaciones

Fuente: Propia

Aunque el resultado del amortiguador de la línea de baja presión es muy pequeño, se elige el volumen mínimo del fabricante que es 0,07 l. Para el amortiguador de la línea de alta presión también se elige este modelo ya que se encuentra cercano al volumen calculado.

1.2.6 Cálculos de la columna de calibración

El cálculo de la capacidad de la columna de calibración es sencillo, consiste en calcular el volumen que circula durante un tiempo determinado (60 segundos). Se obtienen dos capacidades según las bombas de alta y baja presión.

$$V_{ccal} = \frac{Q}{60 \cdot 1000}$$

Donde:

V_{cal} : Volumen de la columna de calibración [l/h]

Q: Caudal de las bombas [ml]

Los resultados que se obtienen son los siguientes:

Caudal	Capacidad
[l/h]	[ml]
20,50	341,67
0,36	6,00

Tabla 26. Resultados de la columna de calibración

Fuente: Propia

1.3 ANEXOS

1.3.1 Sistema de identificación de Centrales KKS

Debido al gran tamaño de la planta y el extenso número de elementos que la componen, se establece un sistema de códigos para homogeneizar la designación de todos los componentes. Cada código debe ser único y referirse a un único elemento.

Para los elementos nombrados en este sistema existen tres niveles de codificación:

- Nivel 0: Designación de la planta. Queda definido por un carácter alfanumérico (G).
- Nivel 1: Designación del sistema. Está formado por un carácter numérico (F_0), tres alfabéticos (F_1 , F_2 y F_3) y dos numéricos a continuación (F_N).
- Nivel 2: Designación del equipo. Está formado por dos caracteres alfabéticos (A_1 y A_2) y uno numérico (A_N).

Para el sistema de dosificación, los caracteres G y F_0 se agrupan con el código 10. El primer dígito hace referencia al bloque de potencia y el segundo representa equipos comunes. El código 10 engloba los elementos relativos a la turbina de vapor y su generador para el bloque 1 y los sistemas comunes al bloque 1.

F_1 , F_2 y F_3 indican el subsistema dentro de la planta. El código se elige a partir de una lista facilitada por el cliente. Para el sistema de dosificación el código correspondiente es QCB, que significa sistema de amoníaco.

Dentro del sistema, F_N define las secciones en las que se divide. La numeración se hace por décadas consecutivas basadas en la complejidad del sistema. En el caso de que resulte insuficiente, se pueden usar unidades dentro de cada década. Los números utilizados son los siguientes:

- 10: Entrada de agua, entrada de químico, entrada de aire y aspiración.
- 20 y 30: Líneas de alta presión.
- 40 y 50: Líneas de baja presión
- 70: Salida de alta presión
- 80: Salida de baja presión
- 90: Lavador de gases

En cuanto a la designación del equipo, los caracteres alfabéticos (A_1 y A_2) se establecen dependiendo del tipo de servicio que ofrece el elemento. El cliente facilita una lista con los principales equipos. En el sistema de dosificación los códigos utilizados son los siguientes:

- AA: Válvulas, amortiguadores de pulsaciones, filtro regulador y manifold
- AP: Bombas
- AT: Filtro en Y
- BB: Equipos de almacenamiento (depósito y lavador de gases)
- BR: Líneas
- CF: Control del caudal (columna de calibración)
- CL: Control del nivel (indicador de nivel, transmisor de presión)
- CP: Control de presión (manómetros y presostato)
- GH: Cuadro eléctrico

A_N consiste en un número de tres cifras asociado a la función del elemento. Las distintas funciones se agrupan en centenas y están asociadas a los valores de A_1 y A_2 . Dentro de cada centena se usan todos los valores que sean necesarios para designar los elementos de ese grupo. Las cifras empleadas según el grupo al que pertenecen son las siguientes:

AA

- 001-199: Válvulas principales, antirretorno y amortiguadores de pulsaciones.
- 200-299: Válvulas neumáticas de control
- 500-599: Drenaje, venteo y rebose
- 700-799: Válvulas de control de instrumentos
- 900-999: Válvulas de seguridad (PSV)

BR:

- 001-199: Líneas principales
- 200-299: Drenaje, venteo y rebose

CF, CL y CP:

- 001-199: Señal remota analógica

- 500-599: Indicador o medidor local

1.3.2 Pruebas FAT

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema se realizan pruebas internas y posteriormente en presencia del cliente. Ambas resultan satisfactorias y corroboran la validez del diseño y montaje llevados a cabo. El cliente se muestra muy satisfecho con el resultado final del sistema.

El primer aspecto que se comprueba es que no haya pérdidas en el depósito, para ello se mantiene lleno de agua durante al menos 24 horas. Todas las conexiones del depósito deben mantenerse cerradas durante este proceso.

A continuación se comprueba la concordancia del montaje con los planos realizados, especialmente las medidas generales del sistema, las placas de identificación, componentes, etc.

Las pruebas de funcionamiento comprenden los siguientes puntos:

- Comprobación de las válvulas: Deben estar en el estado adecuado (abierta/cerrada).
- Comprobación de ausencia de pérdidas del depósito.
- Arranque de las bombas de dosificación.
- Verificación de la calibración adecuada de las válvulas de seguridad a la presión establecida. Para llevar a cabo esta comprobación se requiere cerrar las válvulas de descarga.
- Comprobación de la línea de descarga de las válvulas de seguridad en el depósito.
- Comprobación del caudal por medio de la columna de calibración a la presión de descarga de las válvulas de seguridad.
- Confirmación del correcto funcionamiento del agitador.
- Vaciado del depósito a través del drenaje una vez finalizadas las pruebas.

Las pruebas eléctricas se resumen en los siguientes puntos:

- Comprobación de la fuente de alimentación y de la distribución.
- Prueba de alarmas y comprobación del hardware.

CAPÍTULO II.

PLANOS

2.1 LISTADO DE PLANOS

Plano 1: Plano general de la planta

Plano 2: P&ID

Plano 3: Disposición General

Plano 4: Detalle del sistema

Plano 5: Detalle del contenedor

Plano 6: Detalle del depósito

Plano 7: Detalle del lavador de gases

Plano 8: Detalle de la bomba neumática

Plano 9: Detalle de la bomba de alta presión

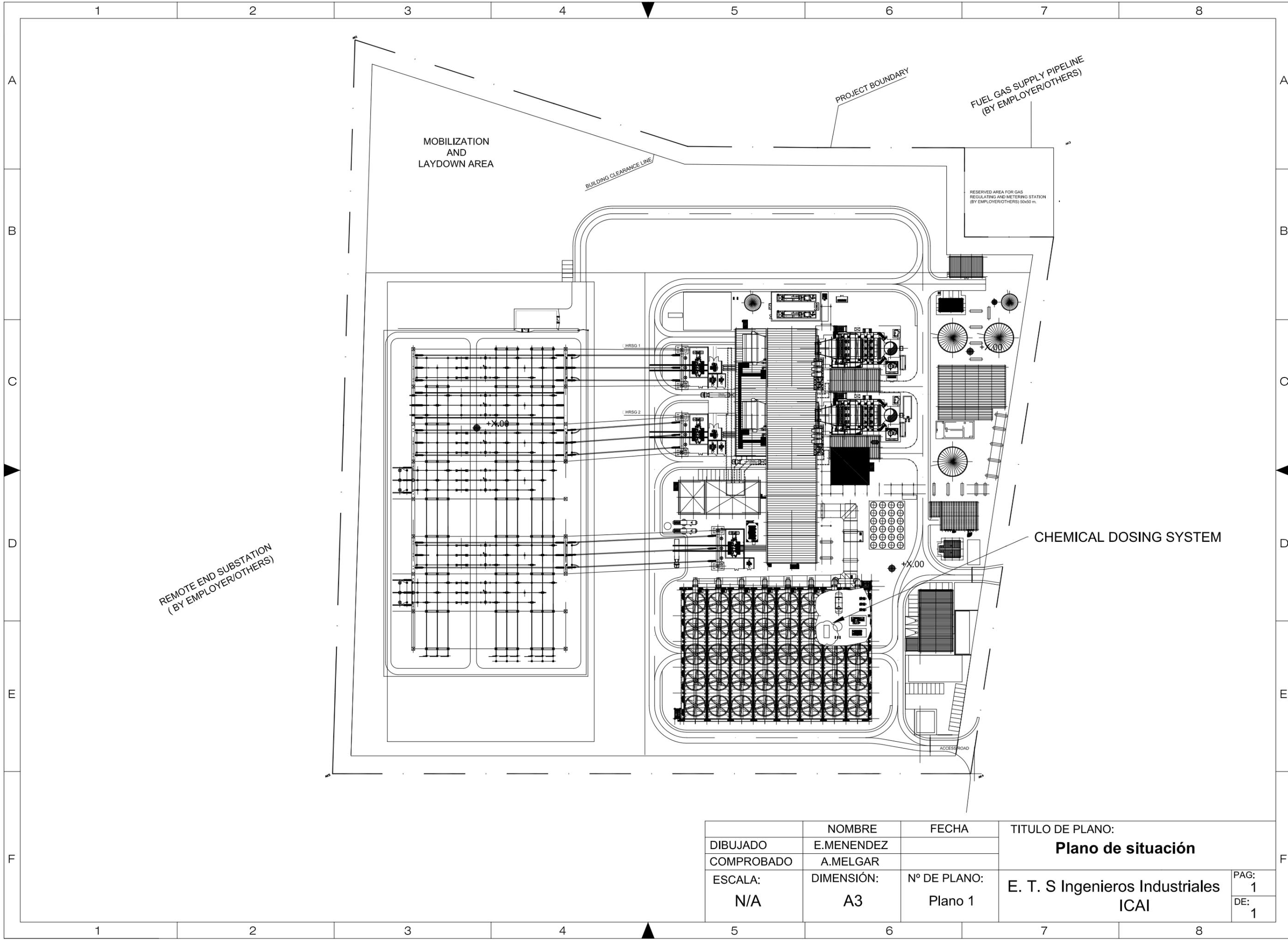
Plano 10: Detalle de la bomba de baja presión

Plano 11: Detalle del cuadro de control

Plano 12: Detalle del transformador

Plano 13: Esquemas eléctricos

2.2 PLANOS



REMOTE END SUBSTATION
(BY EMPLOYER/OTHERS)

MOBILIZATION
AND
LAYDOWN AREA

BUILDING CLEARANCE LINE

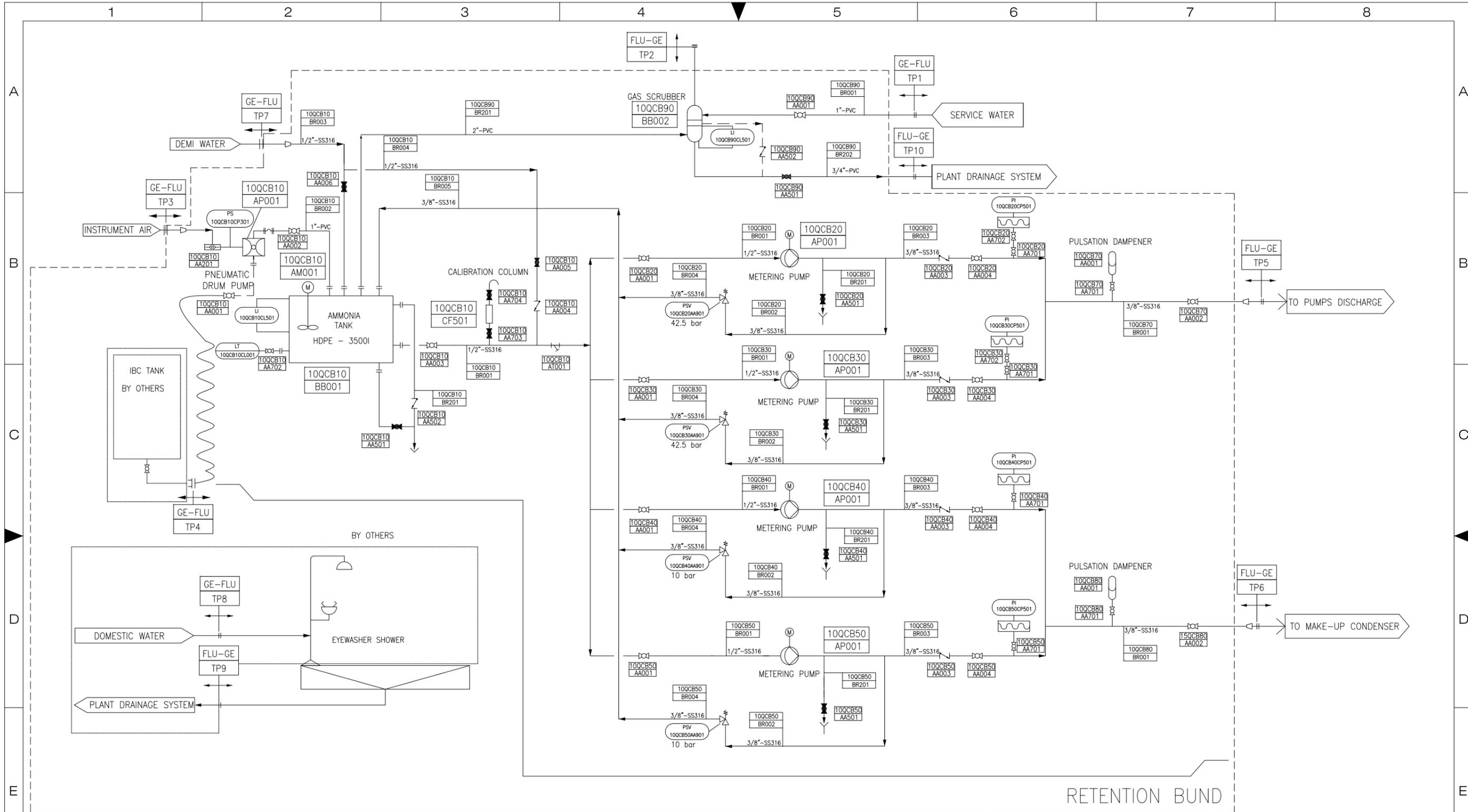
PROJECT BOUNDARY

FUEL GAS SUPPLY PIPELINE
(BY EMPLOYER/OTHERS)

RESERVED AREA FOR GAS
REGULATING AND METERING STATION
(BY EMPLOYER/OTHERS) 50x50 m.

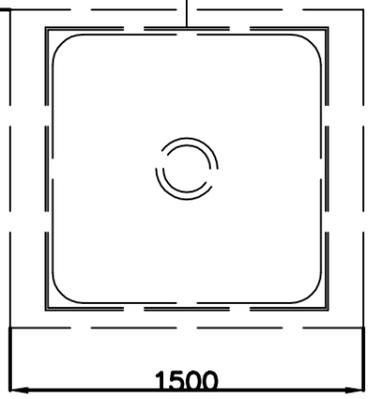
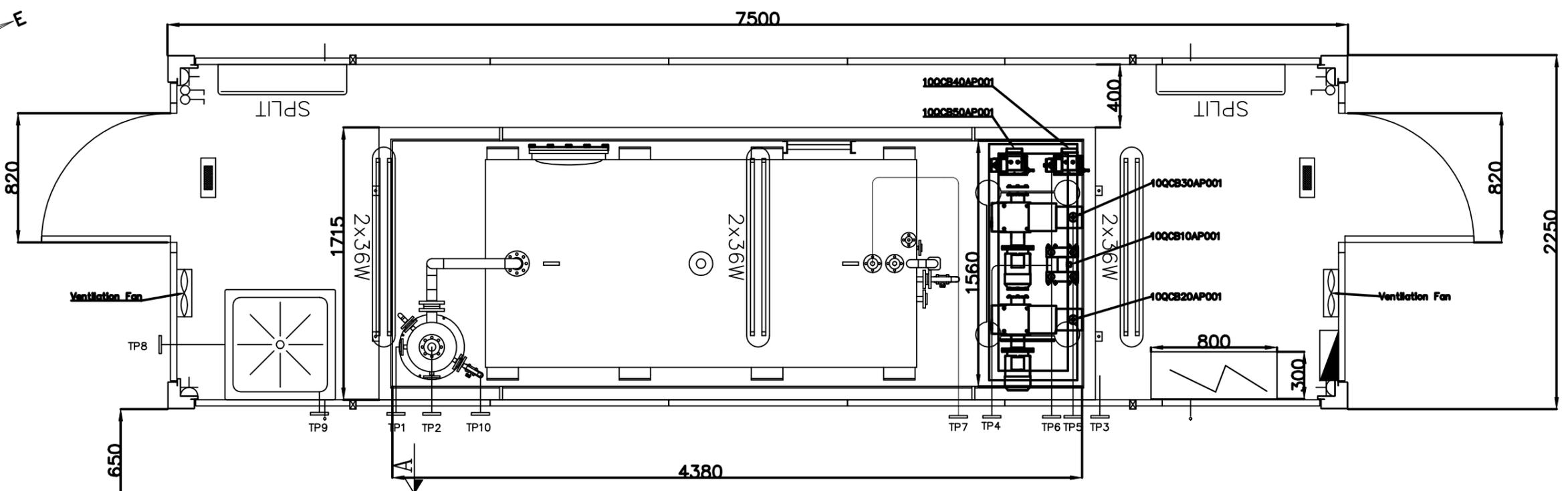
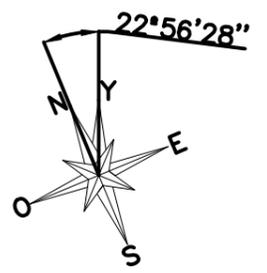
CHEMICAL DOSING SYSTEM

DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
COMPROBADO	E.MENENDEZ		Plano de situación	
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG:
N/A	A3	Plano 1		1
				DE:
				1

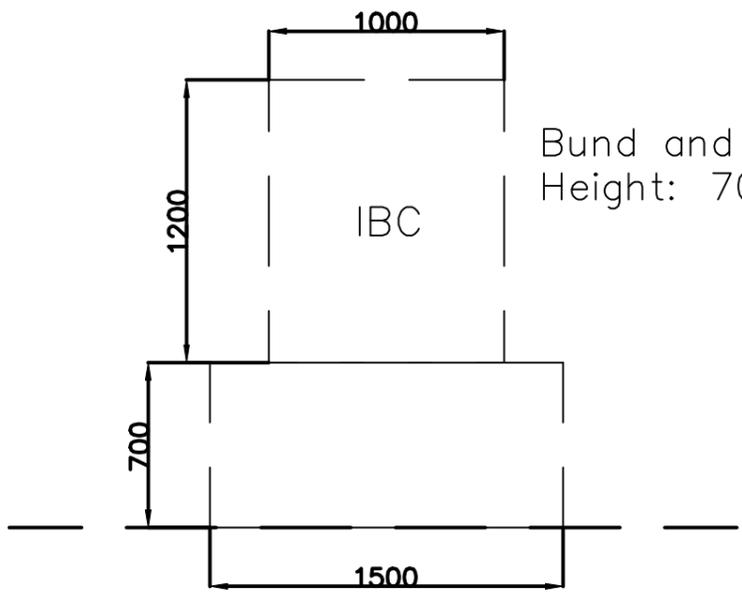


NOTES:
 1. A STAND PIPE WILL BE USED TO INTRODUCE THE CHEMICAL IN THE TANK FOR DILUTION PROCESS
 2. GAS SCRUBBER SHALL BE REFILLED AFTER EVERY CHEMICAL LOADING PROCESS OR ONCE A MONTH (WHICH OCCURS FIRST)

		NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ			P&ID	
COMPROBADO	A.MELGAR				
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI		
N/A	A3	Plano 2			
				PAG:	1
				DE:	1



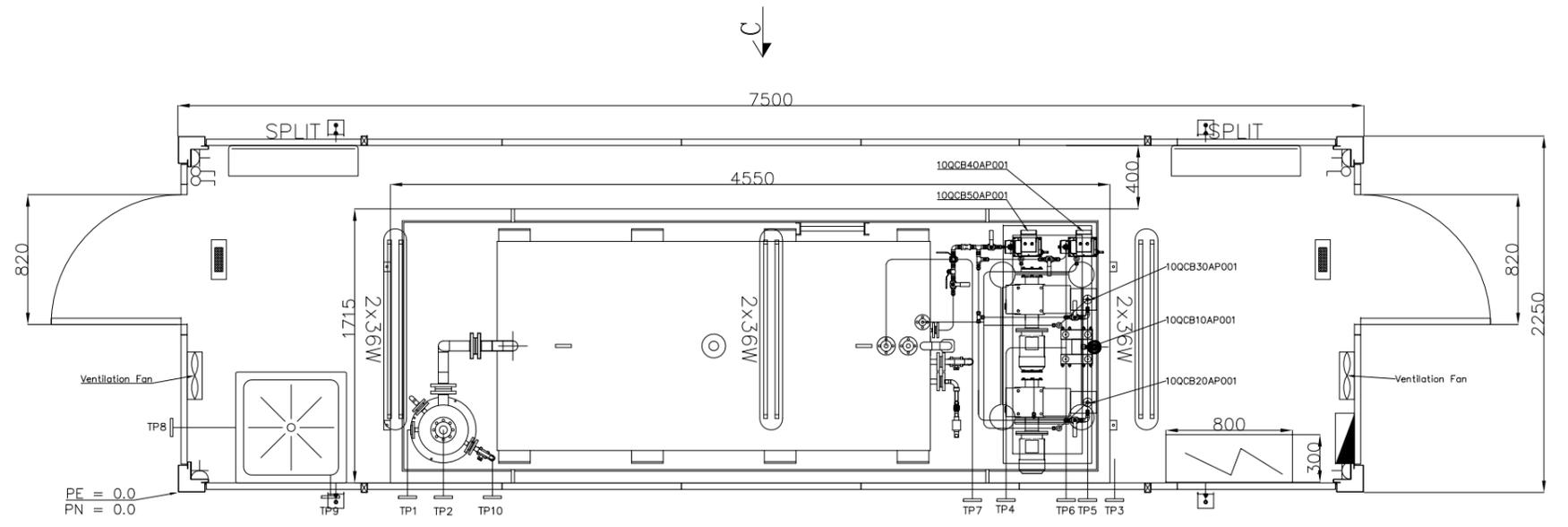
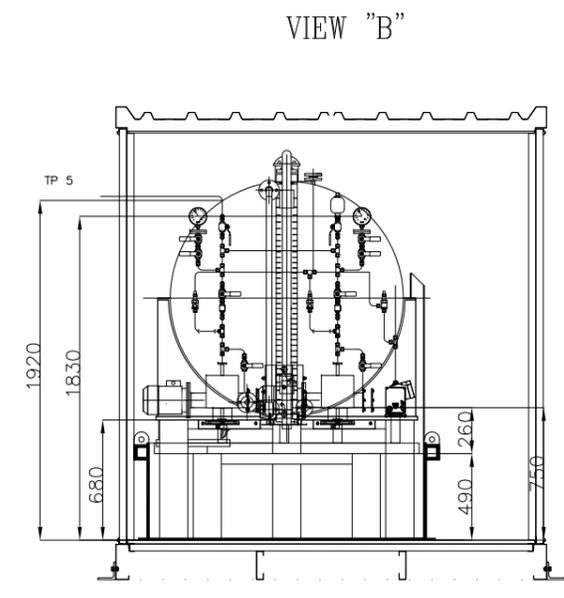
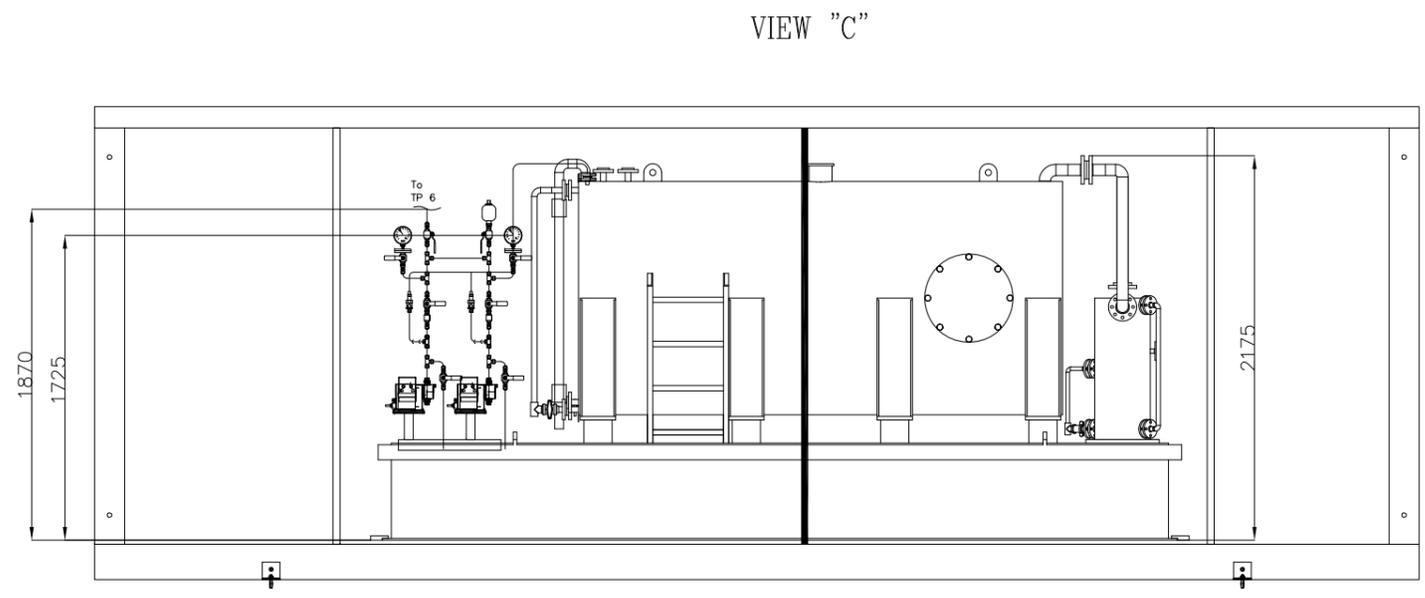
VIEW "A"



Bund and IBC supply by others
Height: 700mm

NOTES:
1. Dimensions in mm

		NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ			General Arrengement	
COMPROBADO	A.MELGAR				
ESCALA: 1:30	DIMENSIÓN: A3	Nº DE PLANO: Plano 3	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI		PAG: 1
					DE: 1

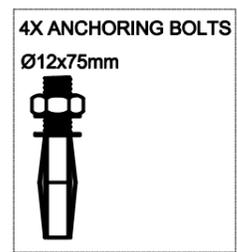
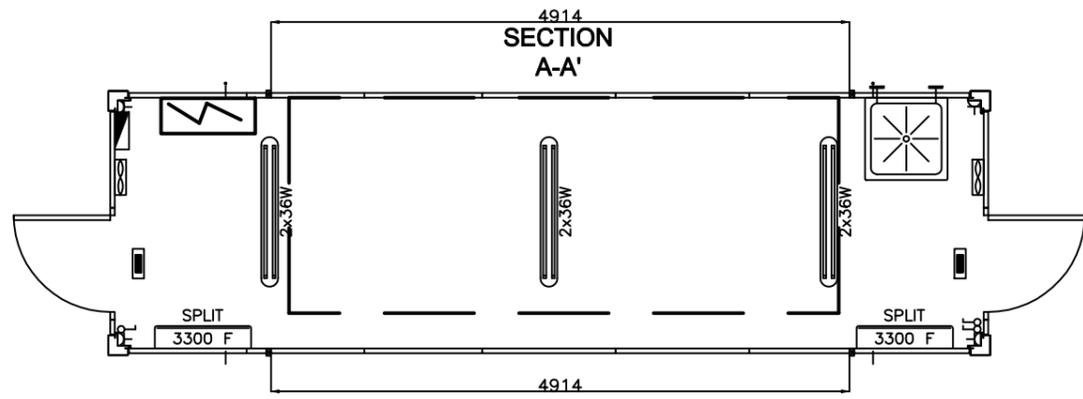
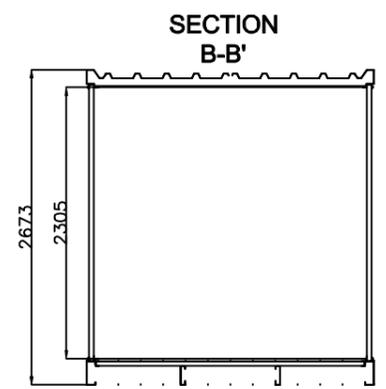
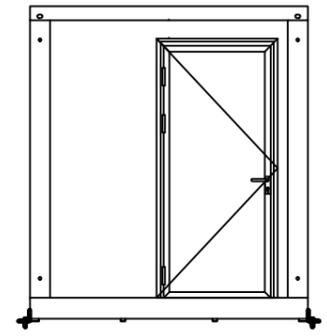
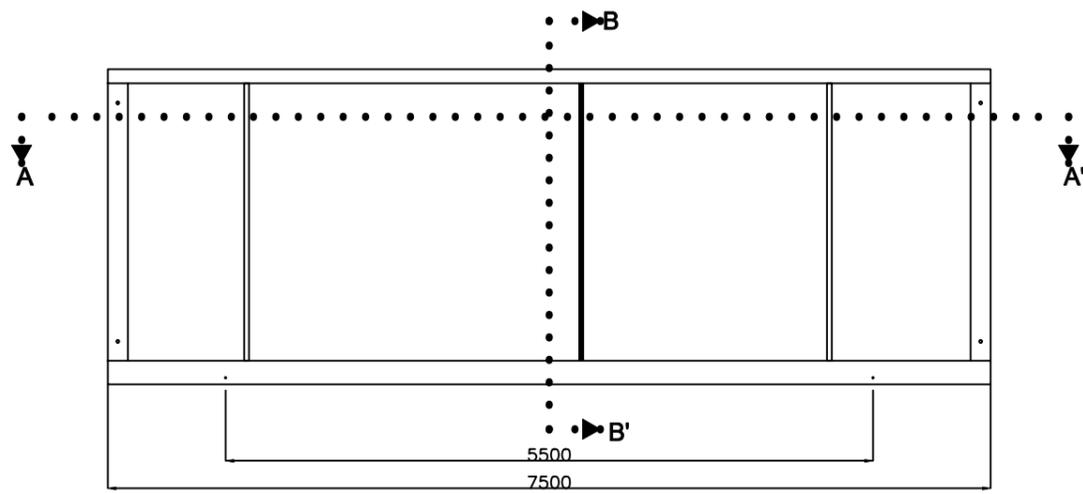
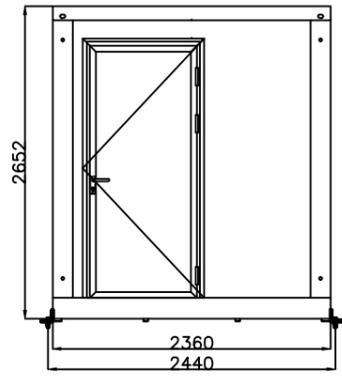


	PE	PN	Elevation
TP1	1453	-100	1320
TP2	1680	-100	1875
TP3	5924	-100	1075
TP4	5924	-100	855
TP5	5753	-100	2140
TP6	5617	-100	2140
TP7	5025	-100	1090
TP8	-100	400	2323
TP9	717	-100	100
TP10	1989	-100	815

TOTAL WEIGHTS
 - With empty tank: 2820kg
 - With full tank: 6320kg

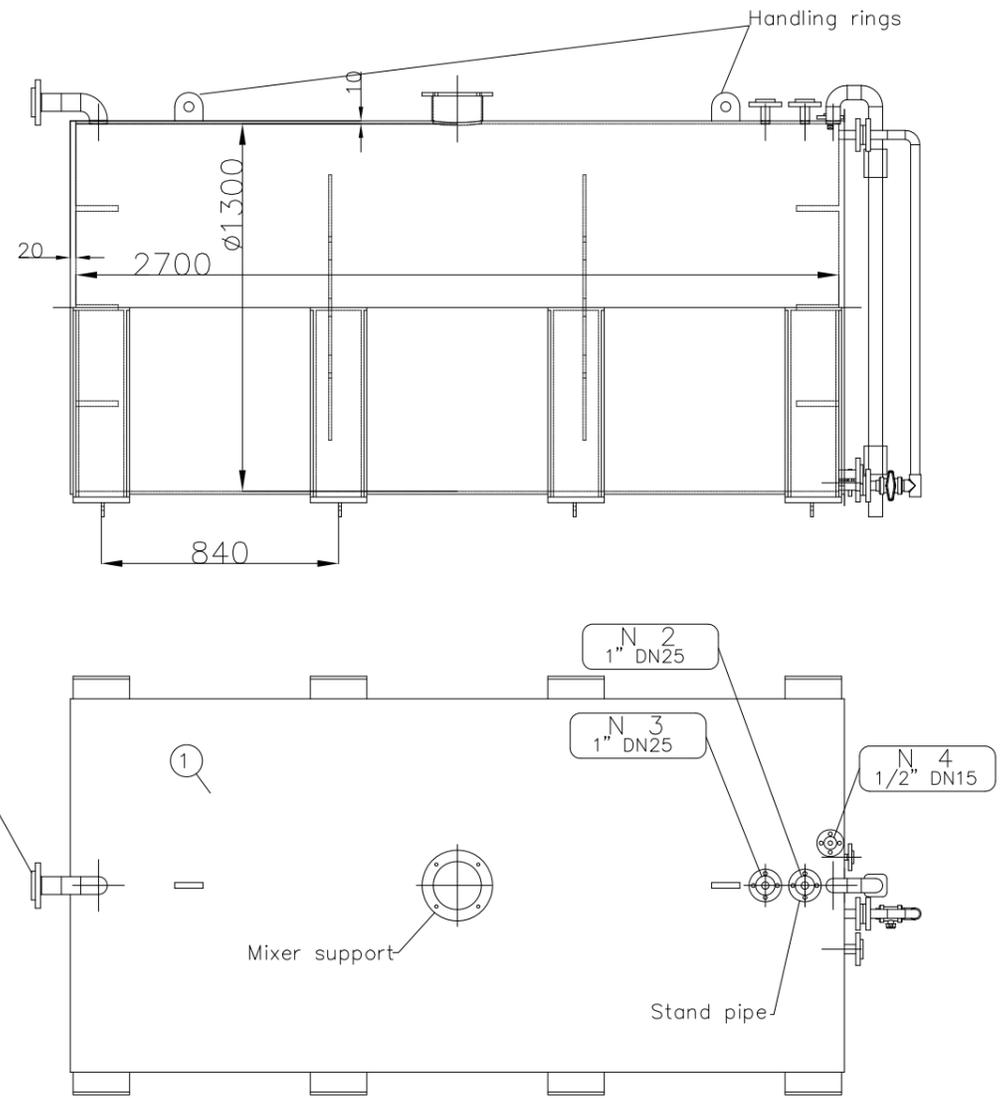
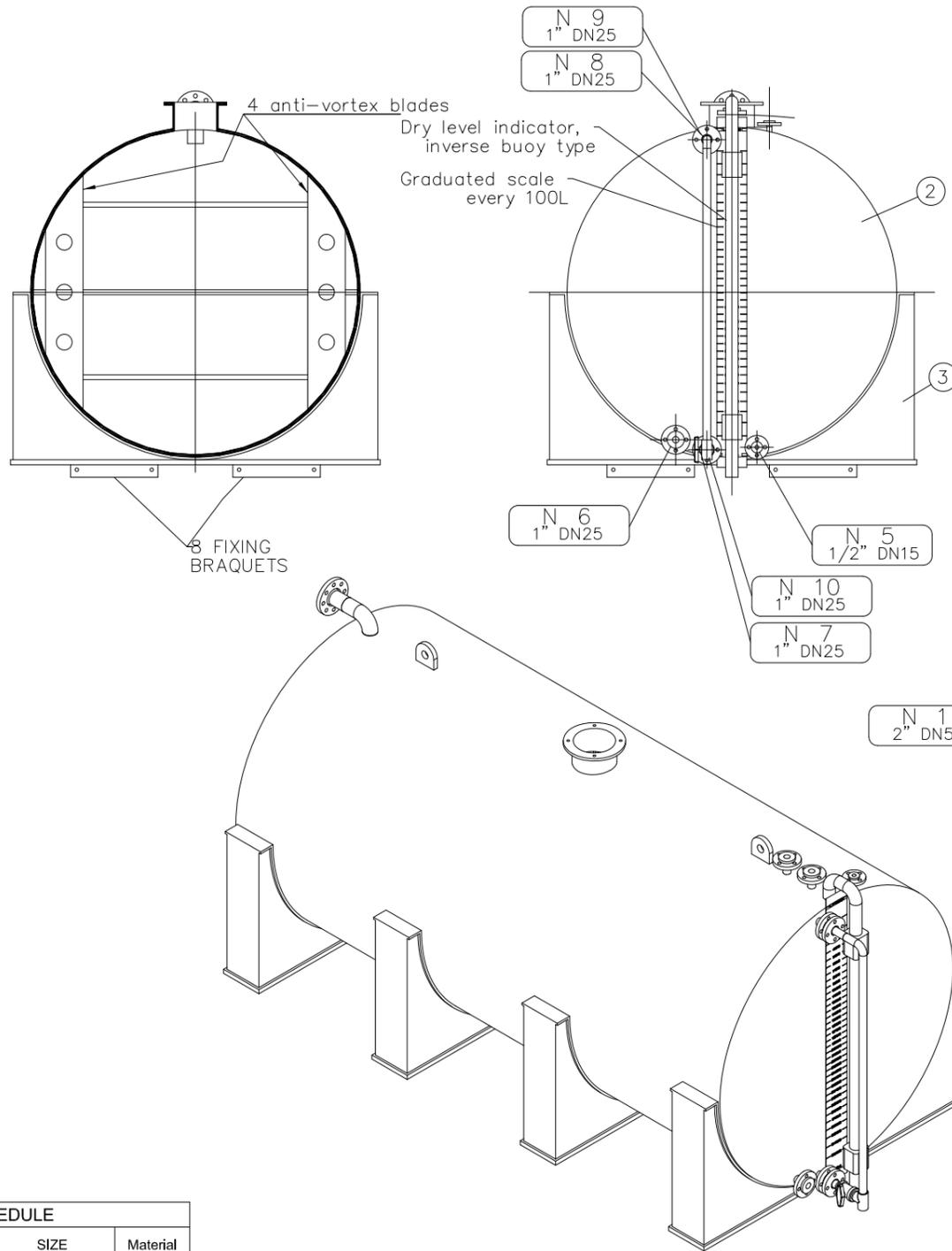
NOTES:
 1. Dimensions in mm
 2. Retention bund volume: 3500L

	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Plano de Detalle	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG:
1:40	A3	Plano 4		1
				DE:
				1



- NOTE:**
1. Roof admissible load 100 Kg/m²
 2. Container volume: 36.15m³
 3. Empty weight: 2500kg

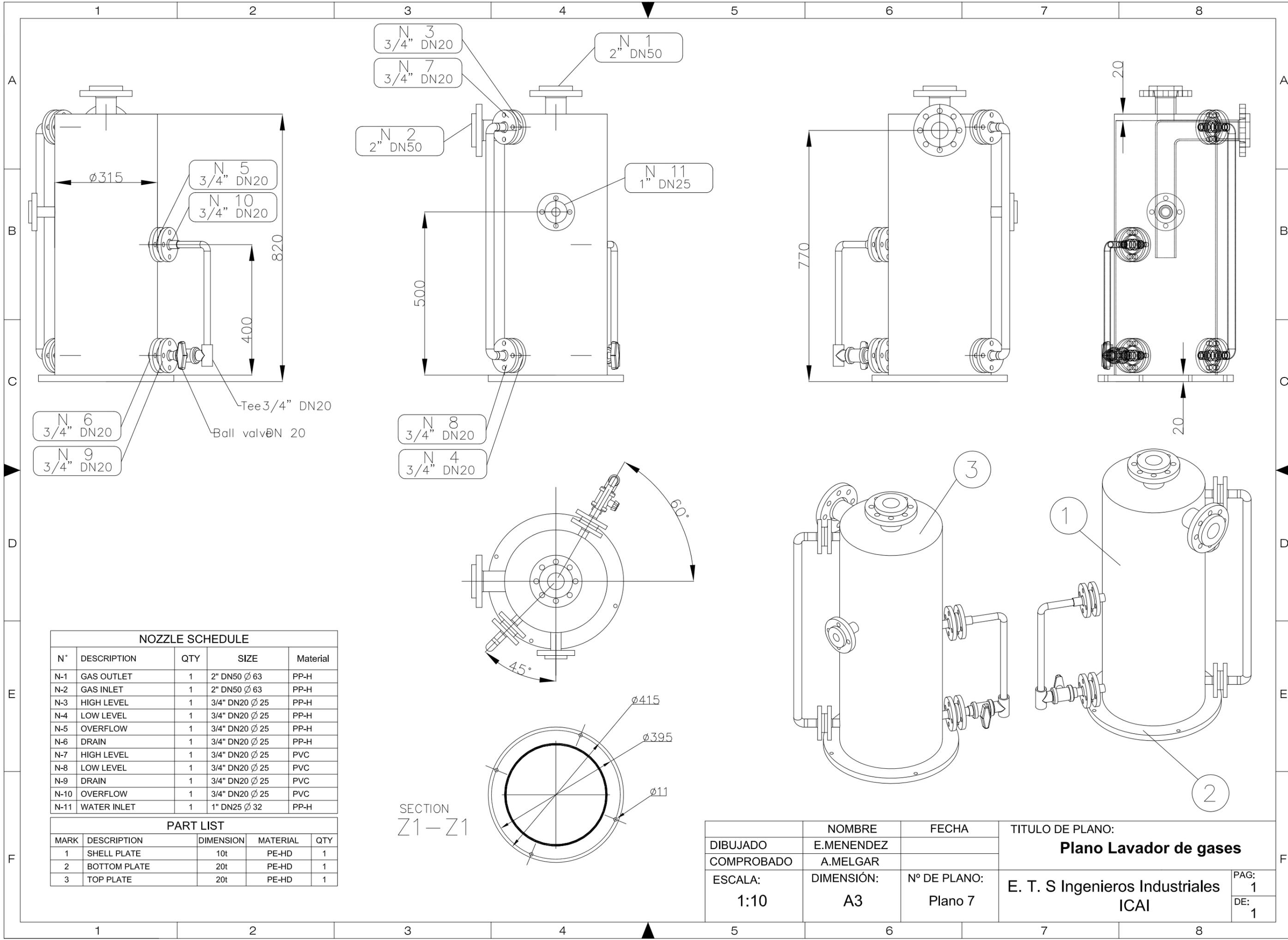
	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Plano de contenedor	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG:
N/A	A3	Plano 5		1
				DE:
				1



NOZZLE SCHEDULE				
N'	DESCRIPTION	QTY	SIZE	Material
N-1	GAS OUTLET	1	2" DN50 Ø63	PE 100
N-2	CHEMICAL INLET	1	1" DN25 Ø32	PE 100
N-3	WATER INLET	1	1" DN25 Ø32	PE 100
N-4	PSV RETURN	1	1/2" DN15 Ø20	PE 100
N-5	CHEMICAL OUTLET	1	1/2" DN15 Ø20	PE 100
N-6	INSTRUMENTATION	1	1" DN25 Ø32	PE 100
N-7	DRAIN	1	1" DN25 Ø32	PE 100
N-8	OVERFLOW	1	1" DN25 Ø32	PE 100
N-9	OVERFLOW	1	1" DN25 Ø32	PVC
N-10	DRAIN	1	1" DN25 Ø32	PVC

PART LIST				
mark	description	dimension	material	qty
1	SHELL PLATE	10t	PE-HD	1
2	SIDE PLATE	20t	PE-HD	2
3	SUPPORT LEG	10t	PE-HD	4

DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
COMPROBADO	E.MENENDEZ		Plano Deposito	
ESCALA:	A.MELGAR			
1:25	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG:
	A3	Plano 6		1
				DE:
				1



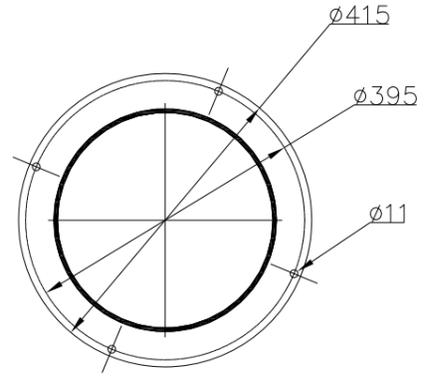
NOZZLE SCHEDULE

N°	DESCRIPTION	QTY	SIZE	Material
N-1	GAS OUTLET	1	2" DN50 Ø 63	PP-H
N-2	GAS INLET	1	2" DN50 Ø 63	PP-H
N-3	HIGH LEVEL	1	3/4" DN20 Ø 25	PP-H
N-4	LOW LEVEL	1	3/4" DN20 Ø 25	PP-H
N-5	OVERFLOW	1	3/4" DN20 Ø 25	PP-H
N-6	DRAIN	1	3/4" DN20 Ø 25	PP-H
N-7	HIGH LEVEL	1	3/4" DN20 Ø 25	PVC
N-8	LOW LEVEL	1	3/4" DN20 Ø 25	PVC
N-9	DRAIN	1	3/4" DN20 Ø 25	PVC
N-10	OVERFLOW	1	3/4" DN20 Ø 25	PVC
N-11	WATER INLET	1	1" DN25 Ø 32	PP-H

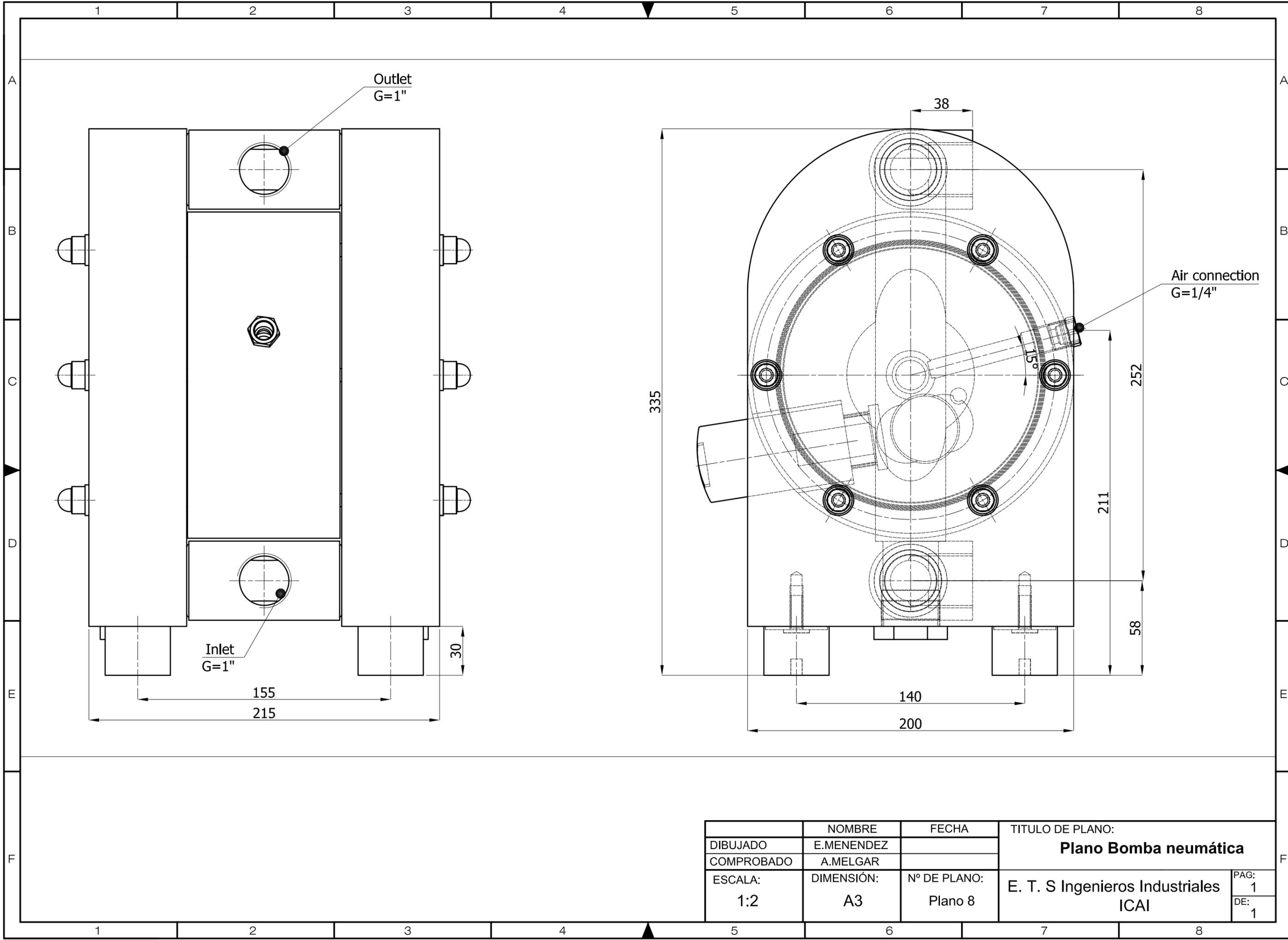
PART LIST

MARK	DESCRIPTION	DIMENSION	MATERIAL	QTY
1	SHELL PLATE	10t	PE-HD	1
2	BOTTOM PLATE	20t	PE-HD	1
3	TOP PLATE	20t	PE-HD	1

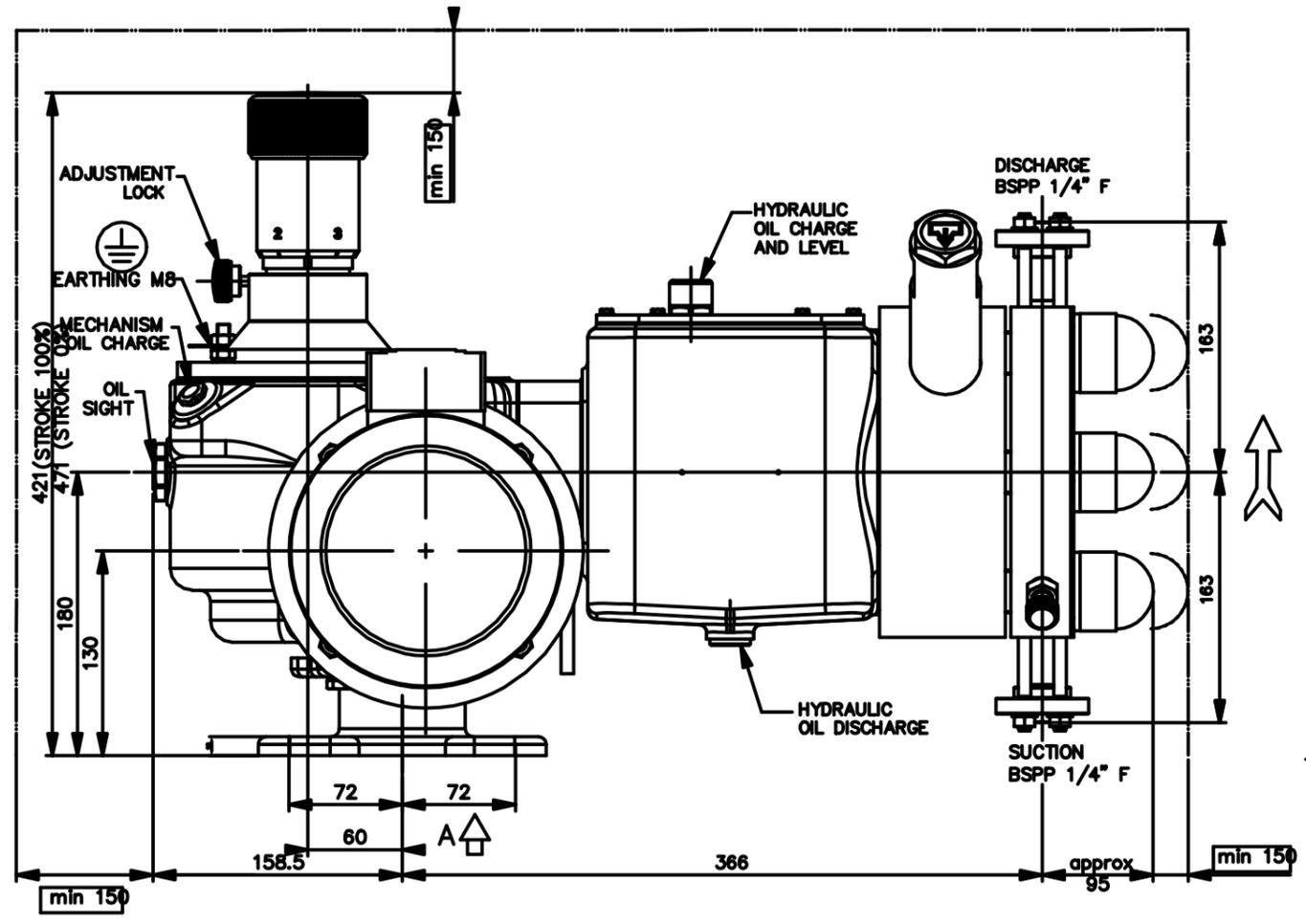
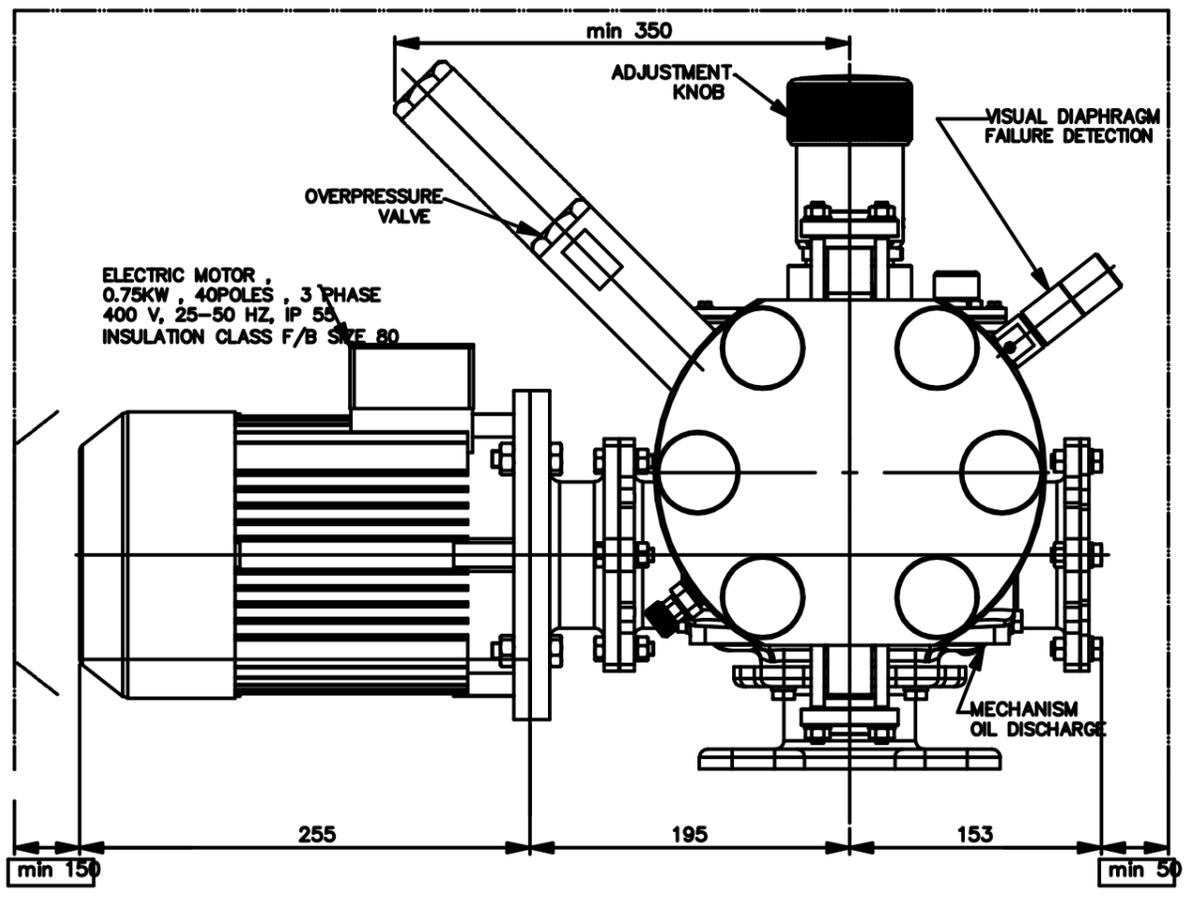
SECTION Z1-Z1



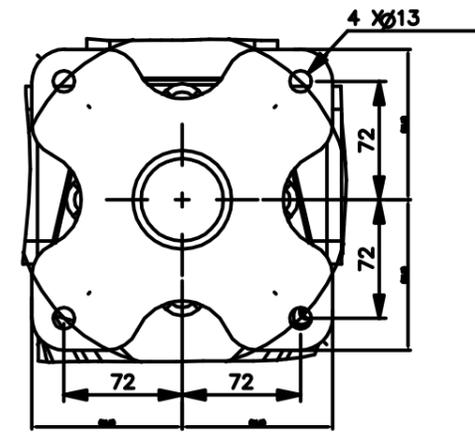
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
COMPROBADO	E.MENENDEZ		Plano Lavador de gases	
ESCALA:	A.MELGAR			
1:10	A3	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG:
		Plano 7		1
				DE:
				1



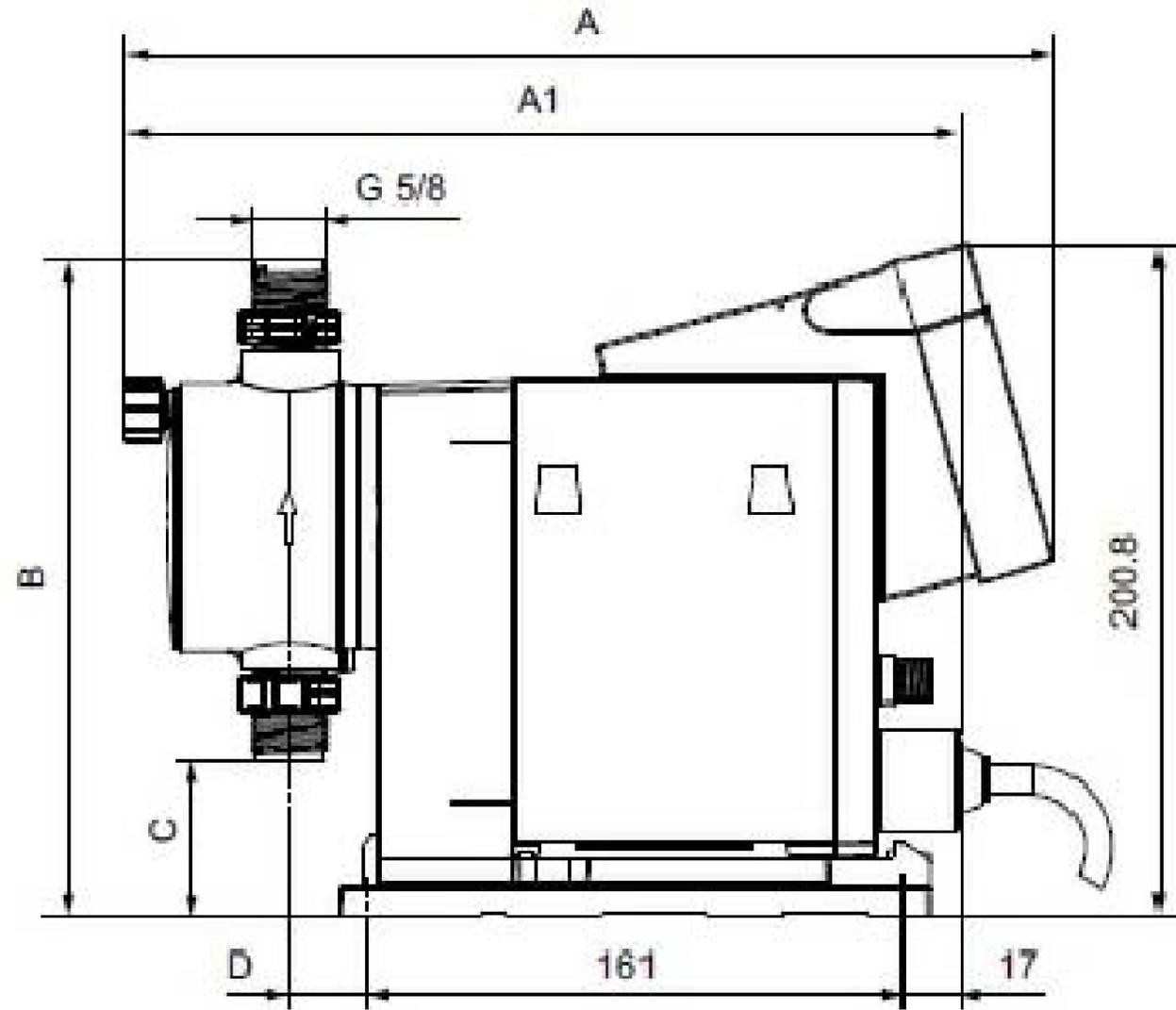
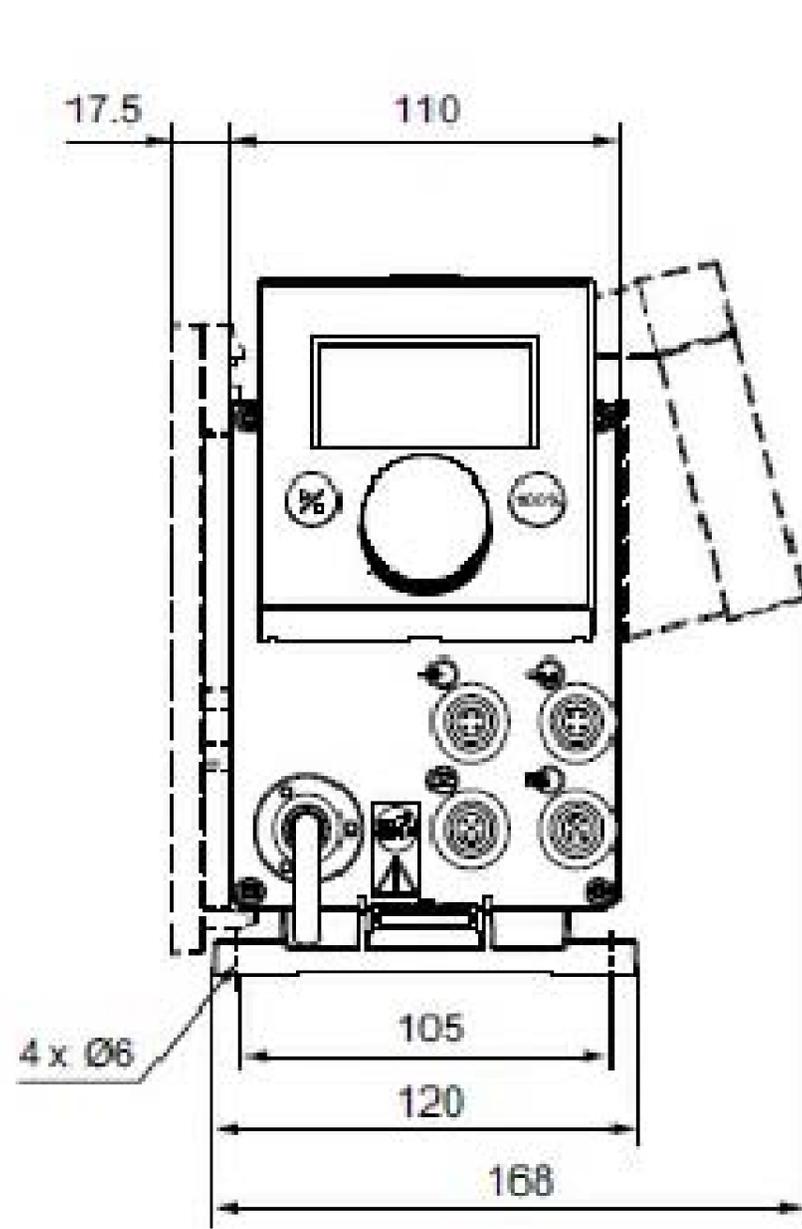
	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Plano Bomba neumática	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG:
1:2	A3	Plano 8		1
				DE:
				1



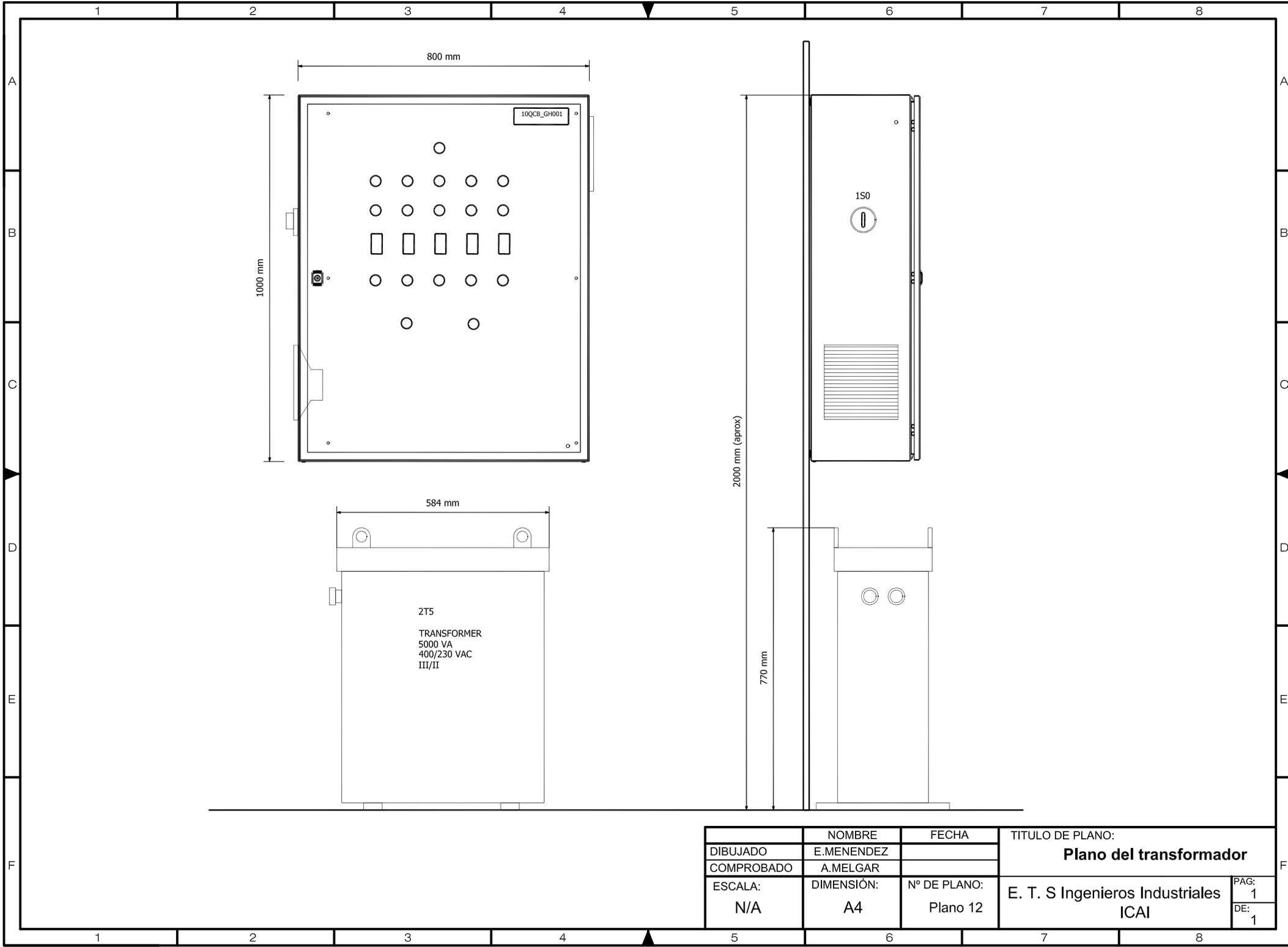
FIXING HOLES - VIEW FROM A



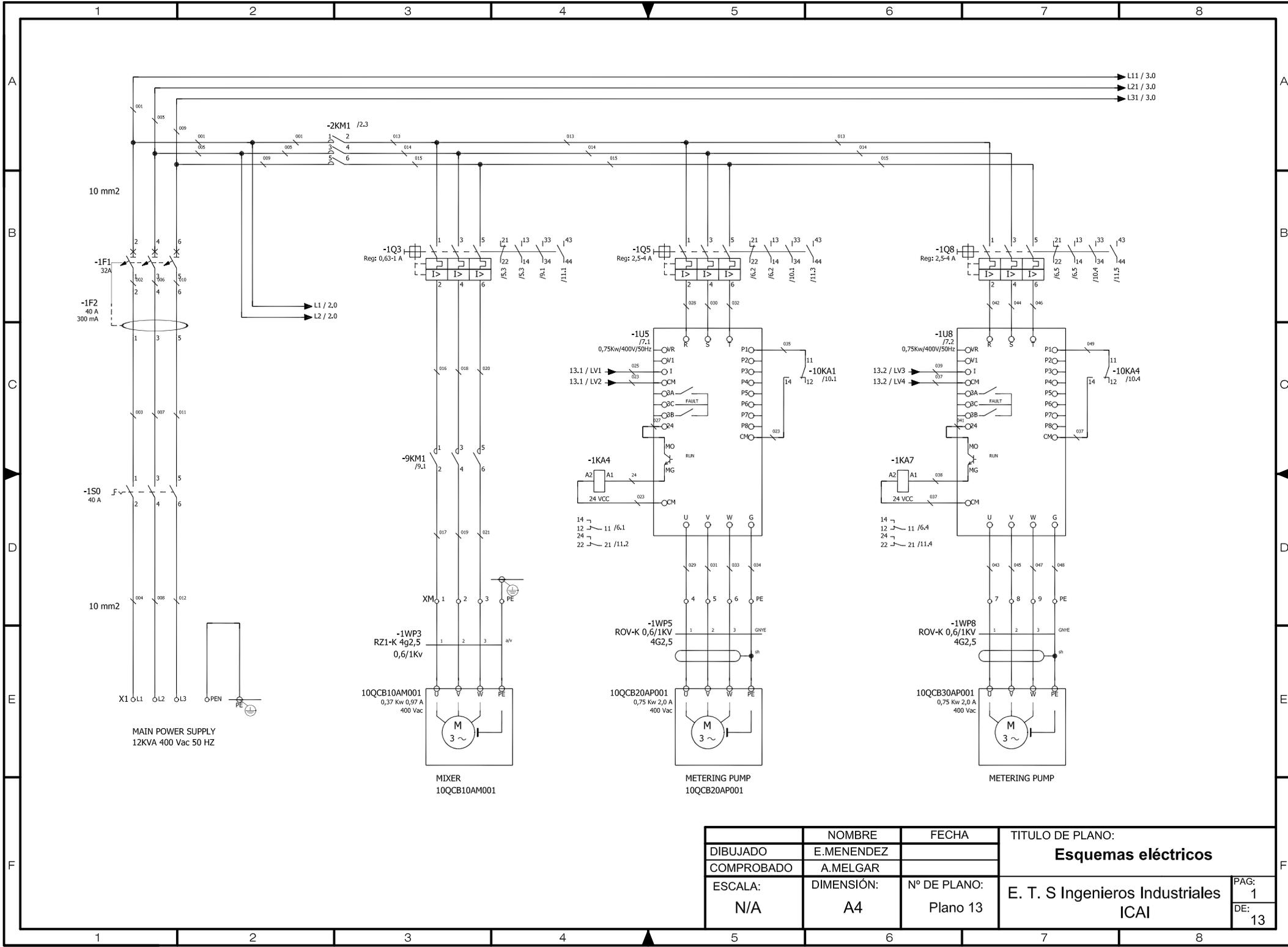
DIBUJADO		NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
COMPROBADO		E.MENENDEZ		Plano Bomba de alta presión	
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI		
1:4	A3	Plano 9	PAG: 1		
			DE: 1		



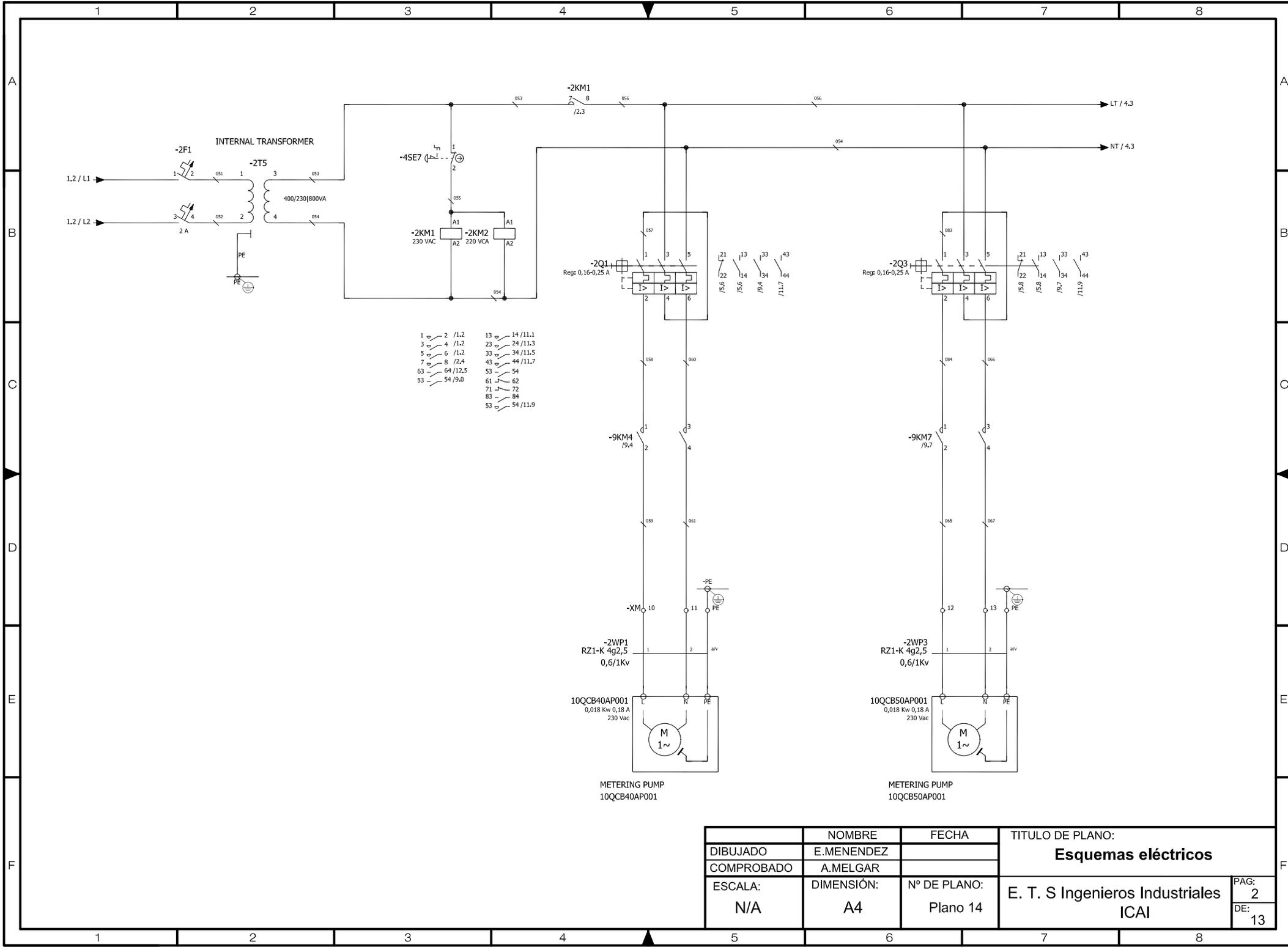
	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Plano Bomba baja presión	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG:
1:2	A3	Plano 10		1
				DE:
				1



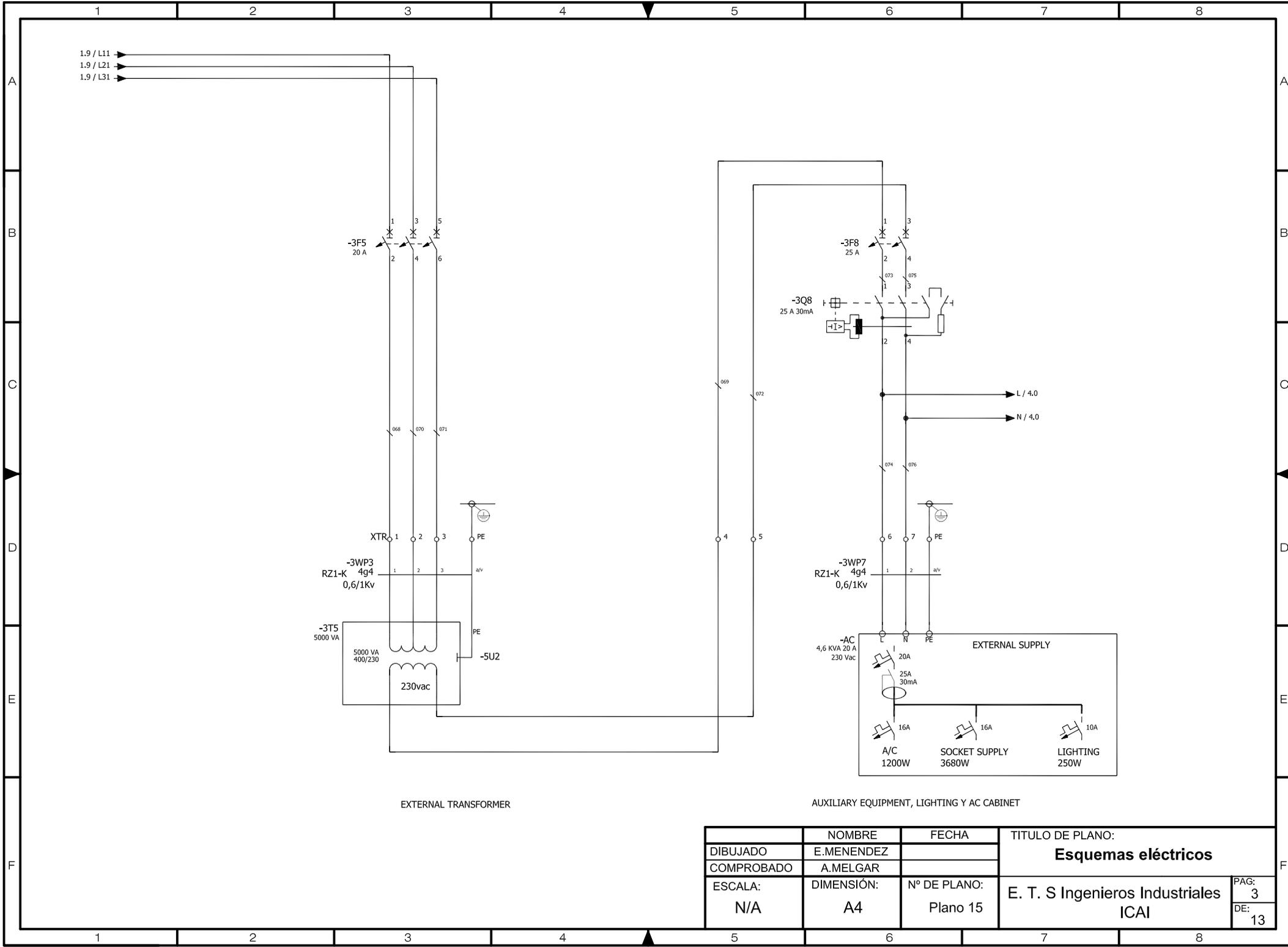
	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Plano del transformador	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG:
N/A	A4	Plano 12		1
				DE:
				1



		NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ			Esquemas eléctricos	
COMPROBADO	A.MELGAR				
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI		PAG: 1
N/A	A4	Plano 13			DE: 13



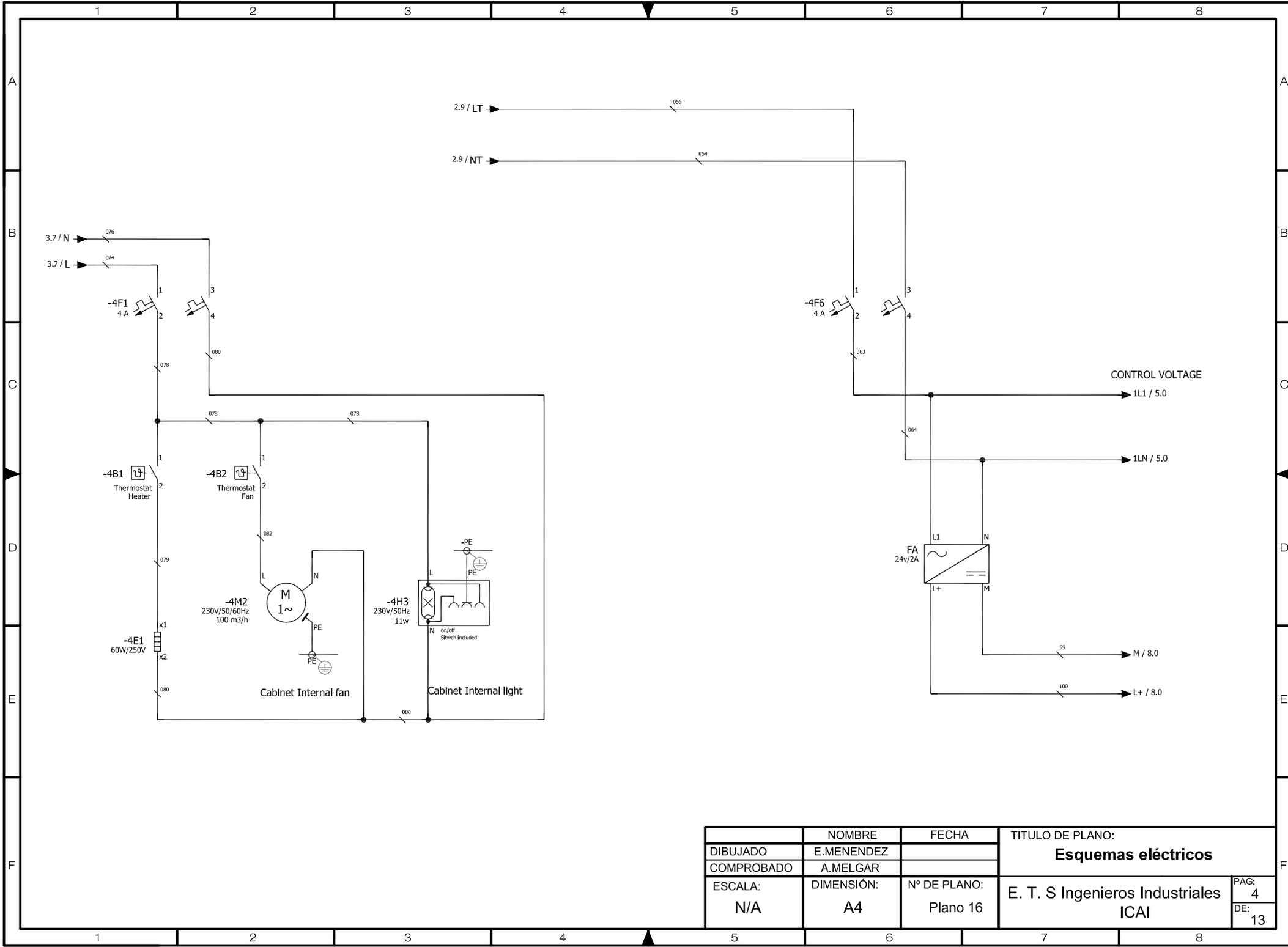
	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Esquemas eléctricos	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG: 2
N/A	A4	Plano 14		DE: 13



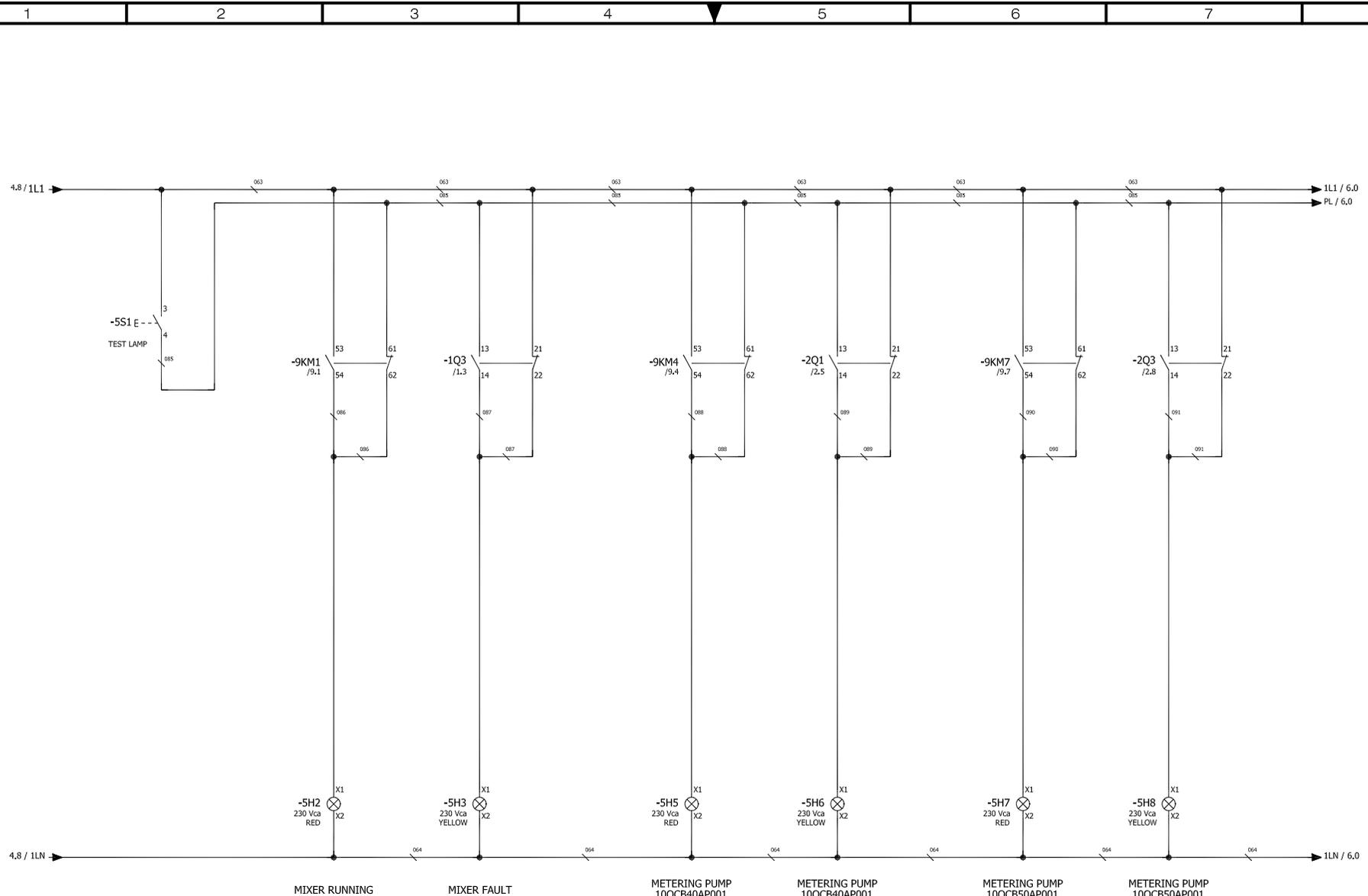
EXTERNAL TRANSFORMER

AUXILIARY EQUIPMENT, LIGHTING Y AC CABINET

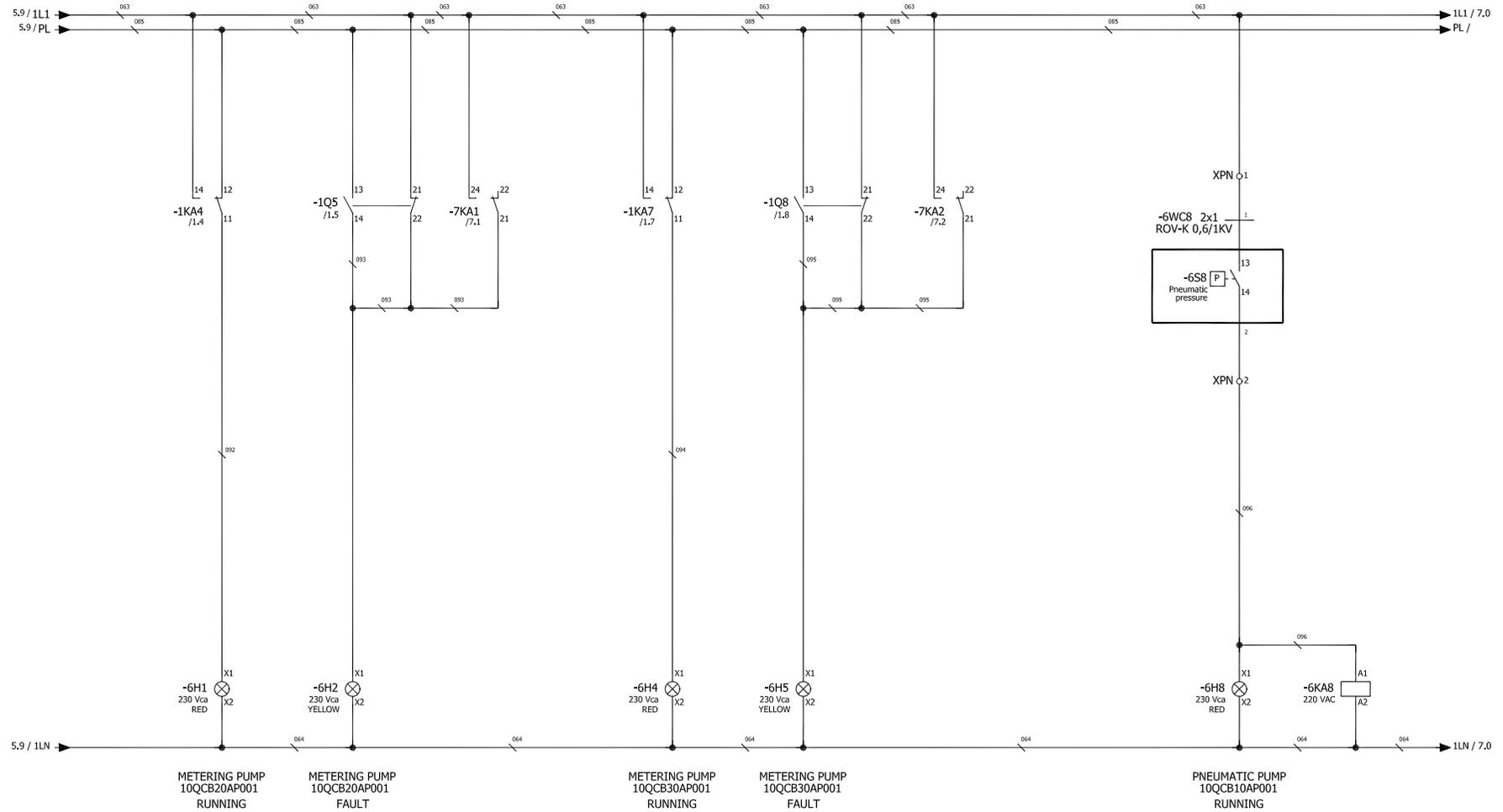
		NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ			Esquemas eléctricos	
COMPROBADO	A.MELGAR				
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI		PAG: 3
N/A	A4	Plano 15			DE: 13



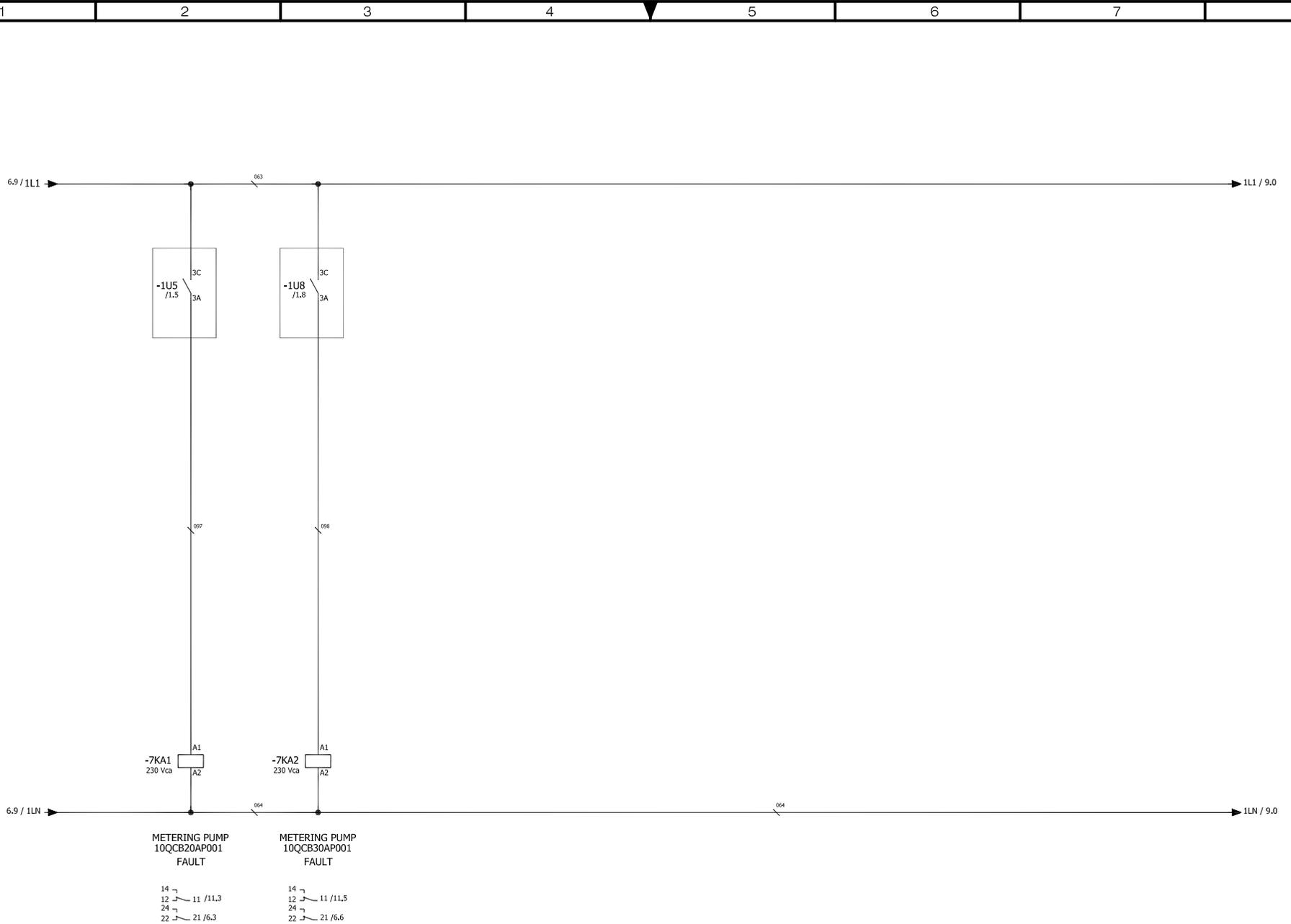
		NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ			Esquemas eléctricos	
COMPROBADO	A.MELGAR				
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI		PAG: 4
N/A	A4	Plano 16			DE: 13



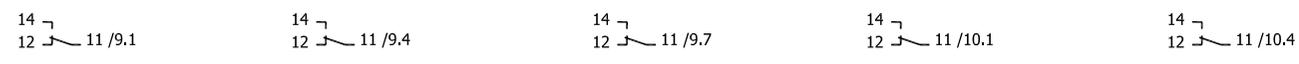
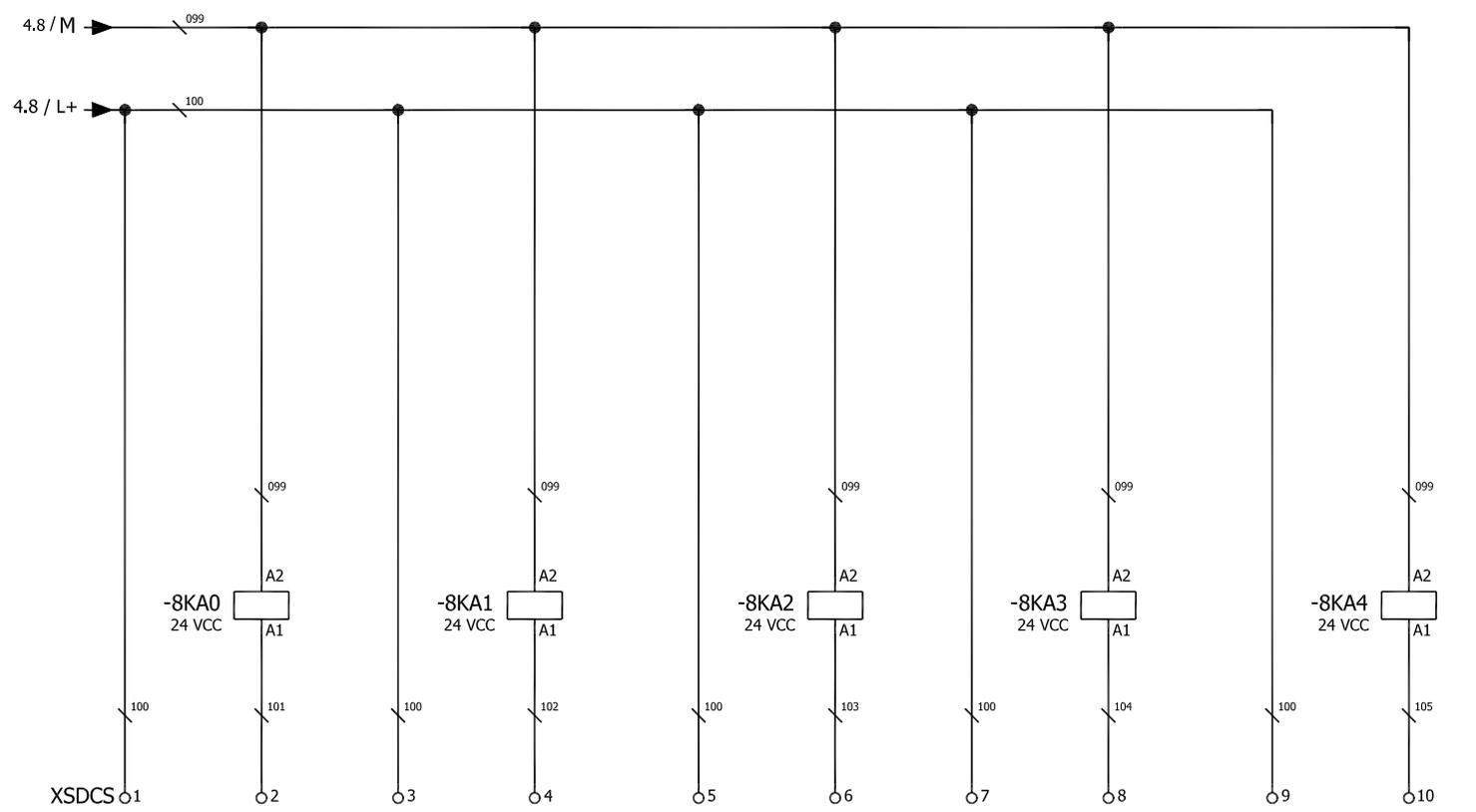
	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Esquemas eléctricos	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG: 5
N/A	A4	Plano 17		DE: 13



	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Esquemas eléctricos	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG:
N/A	A4	Plano 18		6
				DE:
				13



	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Esquemas eléctricos	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG:
N/A	A4	Plano 19		7
				DE:
				13



MIXER ON/OFF
10QCB10AM001

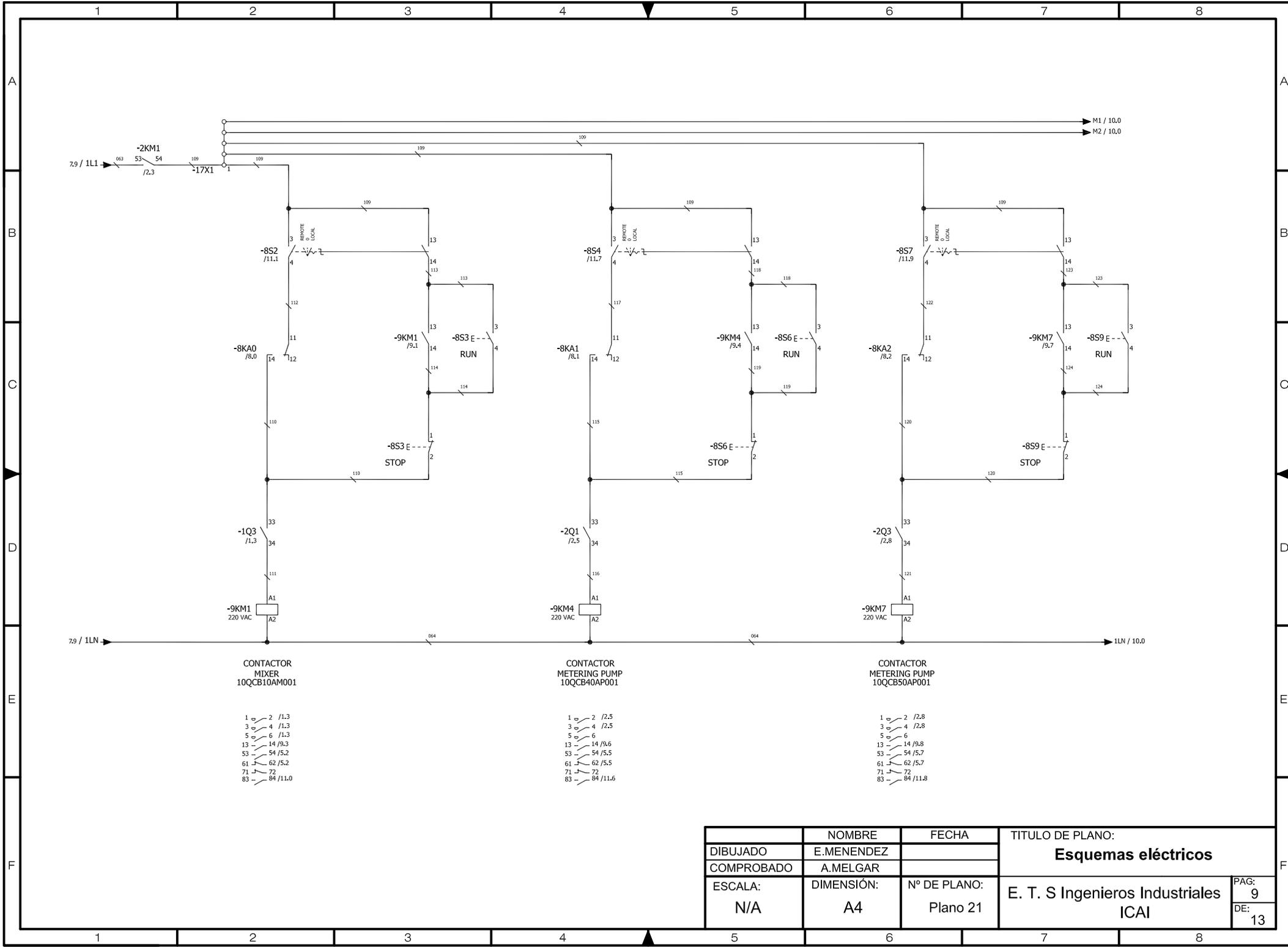
CONTACTOR
METERING PUMP
10QCB40AP001

CONTACTOR
METERING PUMP
10QCB50AP001

CONTACTOR
METERING PUMP
10QCB20AP001

CONTACTOR
METERING PUMP
10QCB30AP001

	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Esquemas eléctricos	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG: 8
N/A	A4	Plano 20		DE: 13



CONTACTOR MIXER
10QCB10AM001

- 1 - 2 /1,3
- 3 - 4 /1,3
- 5 - 6 /1,3
- 13 - 14 /9,3
- 53 - 54 /5,2
- 61 - 62 /5,2
- 71 - 72
- 83 - 84 /11,0

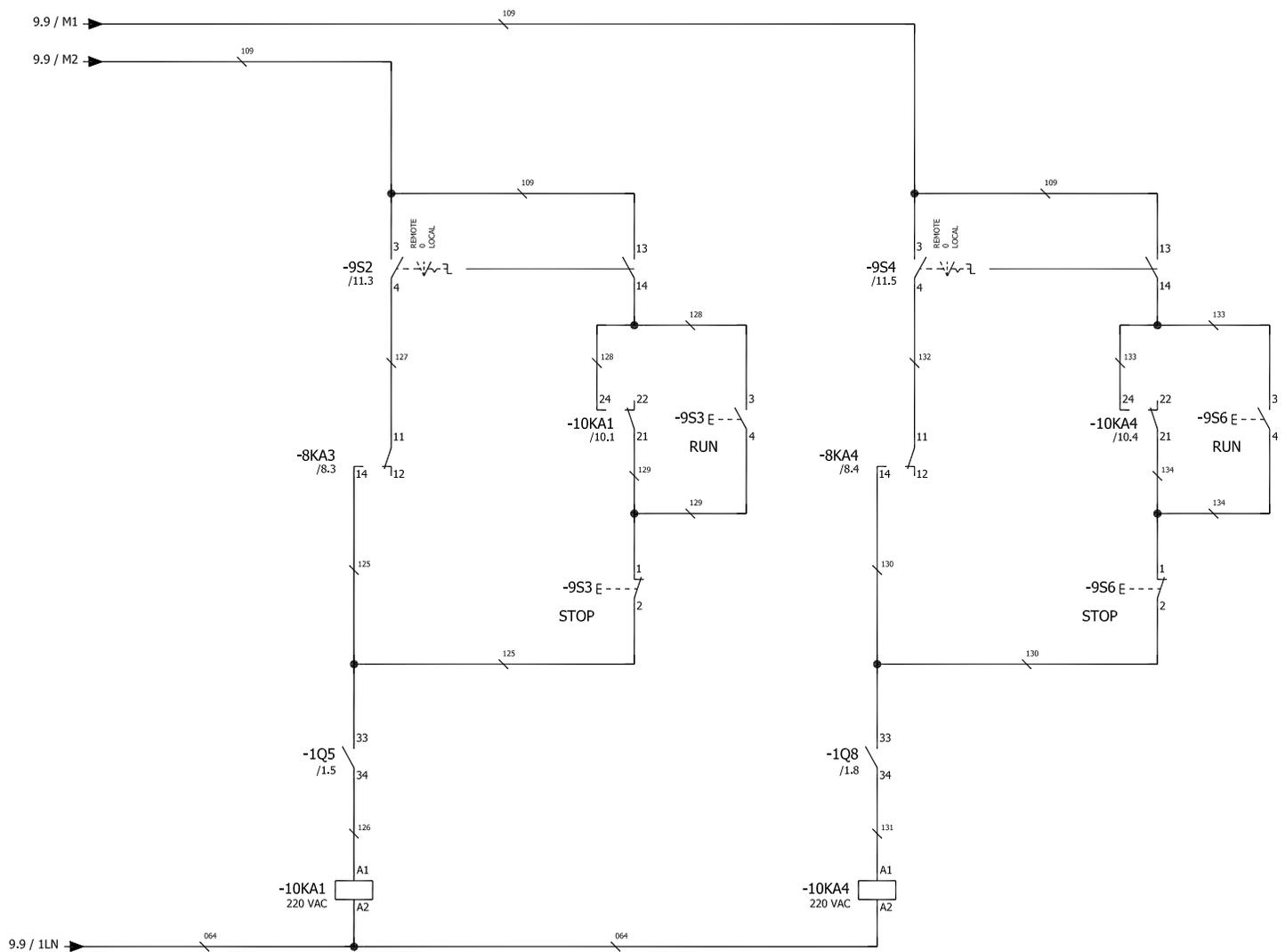
CONTACTOR METERING PUMP
10QCB40AP001

- 1 - 2 /2,5
- 3 - 4 /2,5
- 5 - 6
- 13 - 14 /9,6
- 53 - 54 /5,5
- 61 - 62 /5,5
- 71 - 72
- 83 - 84 /11,6

CONTACTOR METERING PUMP
10QCB50AP001

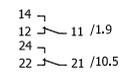
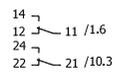
- 1 - 2 /2,8
- 3 - 4 /2,8
- 5 - 6
- 13 - 14 /9,8
- 53 - 54 /5,7
- 61 - 62 /5,7
- 71 - 72
- 83 - 84 /11,8

	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Esquemas eléctricos	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG:
N/A	A4	Plano 21		9
				DE:
				13

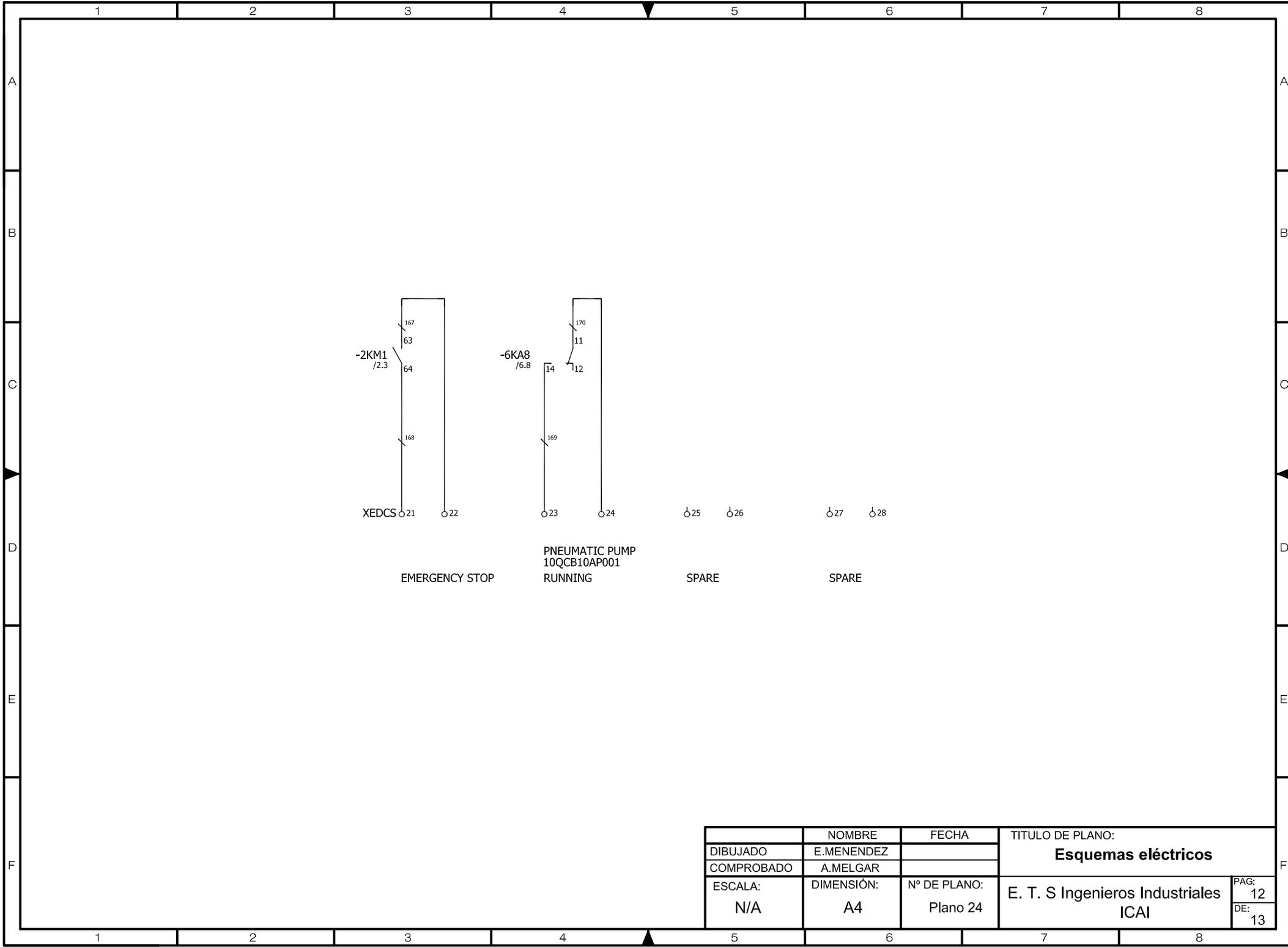


CONTACTOR
METERING PUMP
10QCB20AP001

CONTACTOR
METERING PUMP
10QCB30AP001



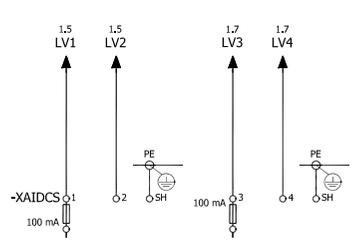
NOMBRE		FECHA		TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ			Esquemas eléctricos	
COMPROBADO	A.MELGAR				
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI		
N/A	A4	Plano 22			
			PAG:	10	
			DE:	13	



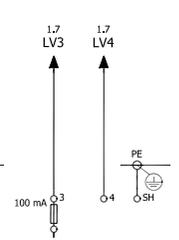
	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Esquemas eléctricos	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG: 12
N/A	A4	Plano 24		DE: 13

1 2 3 4 5 6 7 8

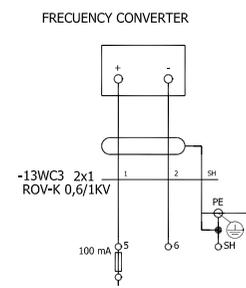
A
B
C
D
E
F



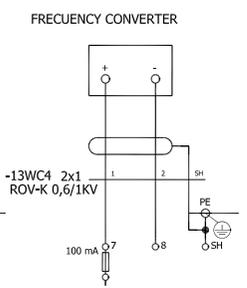
METERING PUMP
10QCB20AP001
% POSIT. DEMAND
4-20 mA from DCS
To Frequency Converter



METERING PUMP
10QCB30AP001
% POSIT. DEMAND
4-20 mA from DCS
To Frequency Converter



METERING PUMP
10QCB40AP001
% POSIT. DEMAND
4-20 mA from DCS
To pump F.C.



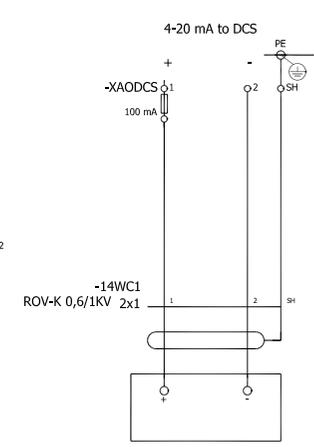
METERING PUMP
10QCB50AP001
% POSIT. DEMAND
4-20 mA from DCS
To pump F.C.



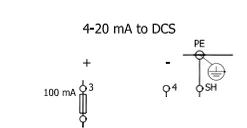
SPARE



SPARE



10QCB10CL001
TANK LEVEL



SPARE

	NOMBRE	FECHA	TITULO DE PLANO:	
DIBUJADO	E.MENENDEZ		Esquemas eléctricos	
COMPROBADO	A.MELGAR			
ESCALA:	DIMENSIÓN:	Nº DE PLANO:	E. T. S Ingenieros Industriales ICAI	PAG: 13
N/A	A4	Plano 25		DE: 13

1 2 3 4 5 6 7 8

**CAPÍTULO III.
PLIEGO DE
CONDICIONES**

3.1 PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES Y ECONÓMICAS

3.1.1 Hitos de pago y formas de pago

Los precios marcados en la orden de compra no pueden aumentar excepto que así lo acepte el cliente por escrito.

Los documentos necesarios (en el formato establecido y sin errores en el contenido) para que se realice el pago se describen a continuación:

- 3 facturas originales y 3 copias compulsadas de las mismas.
- Informe de progreso parcial (hasta la fecha de la factura).
- Documentos que prueben haber alcanzado el hito de pago.

Para el pago por entrega además de lo indicado anteriormente, es necesario:

- Carta de porte
- Lista de bultos
- Certificado de origen
- Otros

A no ser que se indique lo contrario, el cliente debe, una vez recibida la factura del proveedor y copias de todos los documentos necesarios, pagar la cantidad especificada menos cualquier cantidad que deba ser retenida o compensada, de acuerdo con el contrato, durante los 45 días posteriores a la recepción de la factura y los documentos correspondientes.

Es condición indispensable para el pago el envío a tiempo del informe de progreso mensual, el informe de progreso temporal, calendario de fabricación, etc.

El calendario de pagos es el siguiente:

Concepto	Cantidad
Pago por adelantado previa presentación del aval de pago por anticipado y aval de fiel cumplimiento	15% del precio del pedido
Entrega FCA junto con documentos de envío	75% del precio del pedido
Finalización de la puesta en marcha con éxito (no más tarde de Febrero de 2016 si el retraso es atribuible al cliente)	5% del precio del pedido
Fecha de funcionamiento comercial del sistema (no más tarde del 01/02/2017 si el retraso es atribuible al cliente)	5% del precio del pedido

Tabla 27. Reparto de pagos

Fuente: Propia

A menos que se acuerde lo contrario, incluso si el proveedor alcanza los hitos o envía el suministro antes de las fechas acordadas, en ningún caso el cliente está obligado a efectuar ningún pago por cumplir el hito antes de lo acordado. Así mismo, no se permiten pagos parciales por cumplimiento parcial de los hitos.

Los pagos pendientes deben hacerse en la misma divisa que se haya utilizado en el precio del pedido.

Pago anticipado

El pago por adelantado se debe llevar a cabo durante los 15 días siguientes al envío de todos los documentos descritos a continuación en el formato indicado y sin errores en el contenido:

- La factura correspondiente del pago por adelantado generada después de la emisión y confirmación del contrato.
- El aval de pago por adelantado y el aval de fiel cumplimiento de un banco acreditado aceptable para el cliente.

3.1.2 Penalidades

Retraso en el envío de la documentación

Si algún documento reflejado en la lista de documentos que deba enviar el proveedor al cliente se retrasa más allá de la fecha indicada en dicha lista, se aplica una penalidad de 700 \$ por cada día de retraso y por cada documento.

La penalidad máxima que puede haber por retraso en el envío de la documentación está limitada al 5% del precio del pedido.

Cada uno de los documentos o planos que aparecen en la lista de documentos son objeto de penalidad por separado.

Retraso en la entrega

Si la entrega de los suministros se retrasa más allá de la fecha establecida el proveedor debe pagar una penalidad del 2,5% del precio del pedido por cada semana de demora.

En caso de retraso en la entrega y rescisión del contrato, el pago por el retraso de la entrega corre a cargo únicamente del proveedor y el cliente exclusivamente se debe encargar de solucionar las faltas del proveedor para cumplir la fecha de entrega.

La penalidad máxima aplicable por retraso en la entrega tiene como límite el 10% del precio del pedido.

Funcionamiento

El proveedor debe garantizar que el funcionamiento de los equipos cumple tanto el pedido como la especificación técnica en lo que atañe al funcionamiento y prestaciones. El proveedor debe hacer el equipo adecuado de manera que se alcancen los valores garantizados. El cliente tiene derecho a rechazar el suministro si no cumple las garantías de desempeño.

La emisión de ruido establecida en la documentación es garantía obligatoria y no se aceptan desviaciones en la misma.

Cantidad máxima de penalidades

La cantidad máxima que puede pagar el proveedor al cliente por acumulación de penalidades no debe exceder el 15% del precio del pedido.

3.1.3 Avaless

Aval de pago por anticipado

El proveedor debe remitir al cliente un aval del pago por adelantado durante los 10 días siguientes a la asignación de la orden de compra, por una cantidad igual al total del pago adelantado, establecido en el 15% del precio del pedido determinado en la orden de compra.

El aval de pago por adelantado debe llevarse a cabo en un banco reconocido por el cliente, en forma de garantía bancaria irrevocable e incondicional, pagable en un principio y válida hasta dos meses después de la entrega completa. Todos los cargos aplicables en relación a dicho aval debe asumirlos el proveedor.

En el caso de que el aval de pago por adelantado tenga que ampliarse, el proveedor debe prolongar la validez de los avales 28 días antes de la expiración de los mismos.

Aval de fiel cumplimiento y aval de garantía

El proveedor debe remitir al cliente un aval de fiel cumplimiento durante los 15 días siguientes a la emisión de la orden de compra, cuya cantidad debe ser igual al 10% del precio del pedido establecido en la orden de compra.

El aval de fiel cumplimiento debe emitirlo un banco admisible para el cliente, en forma de garantía bancaria irrevocable e incondicional, pagable en un principio, para el debido cumplimiento del contrato.

La cantidad del aval de fiel cumplimiento no se reducirá en la fecha de puesta en marcha de la planta y debe permanecer en la misma cantidad en lo que se denomina aval de garantía.

En el caso de que haya algún cambio, algún anexo, cambio en el alcance, cantidad u opciones acordadas por las partes y que tenga como resultado un aumento en el precio del pedido de más de un 10%, el proveedor debe aumentar la cantidad del aval de fiel cumplimiento respectivamente durante los 14 días siguientes al mencionado cambio.

3.1.4. Garantía

Garantías del proveedor

El proveedor garantiza que en cualquier fase del proyecto:

- 1) Debe actuar en todo momento con la debida competencia, atención y diligencia en cada etapa del proyecto y asegurar mano de obra de calidad durante la ejecución de los trabajos.
- 2) Debe realizar y completar los trabajos en todos los aspectos conforme a los términos del contrato. El resultado final del proyecto debe estar libre de legados o defectos ocultos, ya sea en diseño, ingeniería, mano de obra u otros, de manera que los suministros y todos sus componentes funcionen satisfactoriamente en todos los puntos, hasta el máximo especificado, sin excesivo ruido, calentamiento, vibraciones, etc., de forma que se aplique un factor de seguridad suficiente en el diseño de cada componente.
- 3) Debe diseñar, planificar, fabricar, suministrar, instalar, probar, poner en marcha y garantizar los trabajos de acuerdo con las leyes aplicables y los documentos del contrato, incluyendo reglamentos y normas especificadas en los mismos.
- 4) Todos los suministros proporcionados por el proveedor deben ser nuevos, sin uso previo, de los modelos más recientes o actuales y de primera calidad, de forma que cuenten con todas las mejoras recientes en cuanto a diseño y materiales y adecuados para el propósito y uso para el cual están destinados.
- 5) Cualquier garantía contemplada en el contrato, como la garantía de desempeño, debe cubrirla el proveedor.
- 6) No se deben usar prototipos o diseños modificados en equipos probados, a no ser que se llegue a un acuerdo con el cliente. El proveedor debe asegurar que el

equipo y los materiales utilizados tienen un historial demostrable en aplicaciones similares. La documentación que lo demuestre debe remitirse al cliente.

- 7) Los trabajos no deben incluir ningún material reconocido como perjudicial, o que deba evitarse para el propósito para el cual van a ser aplicados.

El uso de cualquiera de estos materiales o sustancias en el sistema o conectados al mismo queda completamente prohibido:

- Cemento que contenga cloruro de calcio.
- Materiales que están formados por fibra mineral, ya sea artificial o natural que tenga un diámetro de 3 micras o menos, y/o una longitud de 200 micras o menos, o que contenga fibras no selladas.
- Espuma de poliisocianurato o poliuretano a no ser que se fabrique sin usar CFC/HCFC.
- Conglomerados dragados del mar que hayan estado en contacto con agua marina.
- Hormigón hecho con conglomerado que provoque una reacción álcali-sílica.
- Espuma de urea formaldehído o materiales que puedan liberar formaldehído en cantidades por encima de los límites establecidos por las normas de seguridad y salud.
- Ladrillos, bloques o baldosas de silicato cálcico, o con un contenido superior al 0,5% de sulfato soluble.
- Polietileno revestido con betún como barrera impermeabilizante.
- Teflón utilizado como recubrimiento en vidrio.
- Madera y contrachapado que provenga de una fuente no sostenible (incluida la selva tropical).
- Todas las pinturas e imprimaciones deben estar libres de plomo.
- Plomo o cualquier material que contenga plomo que pueda ser ingerido, inhalado o absorbido, excepto cuando se requieren especialmente accesorios de aleaciones de cobre que contengan plomo en tuberías de

agua potable por algún requisito reglamentario. Plomo o masilla de aceite de linaza y accesorios para tuberías de cobre en cañerías.

- Otras sustancias conocidas por ser perjudiciales para la salud y seguridad.
- Cualquier sustancia que no cumpla con las normas turcas, Eurocódigos, Normas Americanas o Códigos de Prácticas y cualquier legislación vigente aplicable en el momento de la construcción.
- Cemento de alto contenido de alúmina en elementos estructurales.
- Placas de lana de madera para encofrado permanente para hormigón.
- Productos de asbestos excepto (con el consentimiento por escrito del cliente) en equipos eléctricos o mecánicos en los que su uso no se pueda evitar razonablemente.
- Conglomerados de formación natural para su uso en hormigón armado que no cumplan con British Standard 882: 1983 y/o conglomerados de formación natural para su uso en hormigón que no cumplan con British Standard 8110: 1985.
- Hierro fundido para partes que requieran soportar alta presión de vapor y/o temperatura por encima de los 220 °C.
- Materiales conocidos por riesgo cancerígeno en el momento del contrato
- Cualquier otro material conocido en la industria de la construcción en el momento de uso, por ser perjudicial si se usa o se incorpora en los trabajos.
- No obstante, el cliente queda exento de la garantía en los siguientes casos:
- Defectos atribuibles al diseño, materiales o técnicas de fabricación impuestas por el cliente y por las que el proveedor ha expresado previamente por escrito su objeción.
- Mantenimiento de los equipos especificados por el cliente en el contrato o por terceras partes bajo condiciones no aprobadas previamente por escrito por el proveedor, a excepción de los casos en los que el proveedor haya fracasado proporcionando dichos servicios en el periodo establecido por el cliente.

- Daños o degradación causados por error o negligencia del usuario del equipo.
- Fracaso en el cumplimiento de las instrucciones por escrito del proveedor.

El compromiso y las obligaciones del proveedor bajo estas cláusulas excluye cualquier otra garantía y condición, ya sea oral, escrita, legal, explícita o implícita. Las garantías implícitas de comercialización no aplican.

El proveedor debe declarar el uso de todas las sustancias peligrosas contempladas en las directivas de la EU, la Directiva de Sustancias Peligrosas (Dangerous Substances Directive) 67/548/EEC y la Directiva sobre preparados peligrosos (Dangerous Preparations Directive) 1999/45/EC y proporcionar una justificación por la que una alternativa adecuada, en este caso, no es apropiada. Además, el proveedor debe obtener consentimiento por parte del cliente de los medios de contención seguros, ventilación, transporte, eliminación y descontaminación de la planta asociada.

El uso de sustancias tóxicas, mercurio, asbestos, PCB, sustancias nocivas para la capa de ozono y gases fluorados en cualquier parte de los equipos queda terminantemente prohibido.

Los químicos y materiales que deben utilizarse en el proceso o en sistemas auxiliares deben elegirse con el objetivo de minimizar los peligros potenciales del personal, así como los potenciales impactos medioambientales de acuerdo con el control de sustancias peligrosas para la salud (COSHH) y las recomendaciones del registro, evaluación, autorización y restricción de químicos (REACH). Se debe proporcionar un inventario con todos los químicos peligrosos que deben usarse en la operación y mantenimiento a lo largo de la planta, así como una estimación del inventario anual necesario de consumos.

Periodo de responsabilidad por defectos

El período garantía del proveedor debe ser tal que no expire antes de 24 meses desde la fecha de funcionamiento comercial, en la medida en que las disposiciones legales no establezcan períodos más largos.

Siempre que el cliente lo requiera y sin compensación adicional, el proveedor debe proporcionar la extensión del período de ejecución del proyecto más allá de la fecha de vencimiento del período de garantía, cuya prolongación puede ser requerida por razones atribuibles al cliente.

Si el trabajo de arreglar algún defecto puede afectar al conjunto del proyecto, el cliente puede exigir la repetición de las pruebas excepto las pruebas de aceptación provisional (o pruebas de funcionamiento). La notificación de la repetición de las pruebas debe hacerse durante los 21 días siguientes a la corrección del defecto. Las pruebas deben llevarse a cabo por cuenta y riesgo del proveedor.

El período de garantía respecto a cualquier trabajo, suministro o cualquier servicio asociado, que sea reparado, reemplazado, modificado o de otra forma alterado o corregido después de la aceptación del suministro debe ampliarse de manera que no venza antes de 24 meses desde la fecha de finalización de cualquier reparación, sustitución, modificación, corrección o alteración. En ningún caso debe prolongarse más de 48 meses desde la fecha de funcionamiento comercial. El aval de garantía debe ampliarse el periodo de tiempo mencionado y su validez debe revisarse en consecuencia.

Daños resultantes

A menos que se indique otra cosa en el contrato y a excepción de la magnitud de los daños y perjuicios y daños generales expresamente contemplados en el contrato, excluyendo fraude, negligencia grave, declaración falsa intencionada u otra mala conducta deliberada, ninguna de las partes debe ser responsable de la otra por daños, pérdida de beneficios o ingresos, pérdida de financiación, pérdida de producción, pérdida de oportunidades de dedicarse a otros negocios, pérdida del contrato, pérdida de datos e información, pérdida por cierre de la planta o incapacidad de operar a la capacidad normal, coste de reemplazo de electricidad o capital, existencias o cambios de uso, cargos financieros o costes de capital, o por cualquier daño indirecto, accidental, especial o consecuente de cualquier tipo de naturaleza.

3.1.5 Suspensión o cancelación

Derecho de suspensión del proyecto

El cliente puede suspender en cualquier momento la ejecución de los trabajos del proveedor, ya sea una parte o por completo. Durante dicha suspensión, el proveedor debe almacenar, proteger, preservar y asegurar los equipos. Después, debe reanudar inmediatamente la fabricación cuando el cliente se lo comunique.

Si por motivo de la suspensión, alguna demora, o cualquier causa de la que el cliente, u otro proveedor contratado por el cliente, es responsable, el proveedor se ve impedido o le causa un retraso en cualquiera de los siguientes aspectos:

- a) Entregar el suministro o cualquier parte del mismo que ya esté listo en el período de tiempo establecido en el contrato, o si no está establecido, en el momento apropiado con respecto al calendario de entregas establecido.
- b) Ubicar o probar el suministro o cualquier parte del mismo que haya sido entregado.

Entonces la reparación del proveedor debe conllevar una prolongación del tiempo, que en ningún caso excederá la duración de la suspensión. El proveedor será compensado por los costes adicionales asumidos, de mutuo acuerdo por las partes.

Si algún equipo principal no puede ser entregado dentro del calendario de entrega debido a alguna acción atribuible al cliente o cualquiera de sus subcontratistas o empleados, el proveedor debe almacenarlo (a no ser que las partes acuerden otro procedimiento). Si esos artículos son almacenados, se aplican las siguientes condiciones:

- a) La propiedad debe pasar al cliente acto seguido si no se había hecho ya.
- b) Cualquier cantidad pagable al proveedor por el envío realizado debe pagarse con la presentación de la factura por parte del proveedor.
- c) Todos los gastos razonables asumidos por el proveedor, como la preparación y la colocación en el almacén, la manipulación, inspección, conservación, seguro, almacenamiento y traslado, y cualquier impuesto debe pagarlo el cliente después de que el proveedor presente la factura.

El proveedor debe durante la suspensión, almacenar, preservar, proteger y de cualquier otra forma asegurar los suministros afectados. A no ser que el cliente indique lo contrario, el proveedor debe mantener durante la suspensión a los empleados, mano de obra y sus equipos en o cerca del taller, y permanecer preparado para continuar con los trabajos cuando reciba instrucciones del cliente. El proveedor debe proporcionar al cliente datos de los empleados, mano de obra y equipos afectados por la suspensión.

En el caso de suspensión, el proveedor está autorizado a recibir compensación por todos los costes directos adicionales e inevitables incurridos para proteger y asegurar los suministros, así como suspender y finalizar los trabajos. No obstante, no se pagará ningún coste adicional al proveedor si la suspensión es necesaria como consecuencia de actos u omisiones del mismo.

La suspensión de la fabricación no debe ser mayor que un período continuo de más de 120 días o distintos períodos que en total sumen 210 días antes de la rescisión a no ser que sea por un evento de fuerza mayor o por defecto, incumplimiento, negligencia u omisión voluntaria por parte del proveedor.

Terminación

El cliente, bajo su único criterio, puede rescindir el contrato sin causa en cualquier momento notificándolo al proveedor por escrito.

El cliente rescindirá el contrato si tiene lugar alguno de los siguientes eventos:

- a) El proveedor fracasa en el comienzo de los trabajos a pesar de cumplir las condiciones para el comienzo impuesto por el cliente, o abandona los trabajos o de cualquier otra forma muestra la intención de no comenzar o continuar cumpliendo con sus obligaciones bajo el contrato.
- b) El proveedor no cumple las obligaciones relativas a los materiales.
- c) El proveedor no cumple alguno de los términos, condiciones u obligaciones del contrato, incluyendo pero no limitándose a salud medioambiental y obligaciones de seguridad.
- d) El proveedor infringe o permite infringir algún requisito legal y ley local aplicable a los trabajos.
- e) Los trabajos no cumplen con la ley, de forma que no pueden operar en el país.
- f) El proveedor abandona los trabajos o fracasa en reanudarlos después de 10 días del paro por cualquier fuerza mayor excepto en relación con el ejercicio de sus derechos bajo el contrato.
- g) El proveedor se declare en quiebra, insolvente o en concurso de acreedores.
- h) alguna letra de crédito o títulos de deuda como el aval de pago anticipado, el aval de desempeño, el aval de garantía, póliza de seguro u otra garantía requerida o elegida para ser entregados y mantenidos por el proveedor bajo el contrato no es entregado a tiempo, es suspendido o cancelado, sin que el proveedor proporcione inmediatamente cobertura de reemplazo dentro de los siguientes 5 días laborables.

- i) El proveedor o alguno de sus subcontratistas, agentes o dependientes directa o indirectamente ofrece dar o acepta ofrecer o dar a cualquier persona, cualquier soborno, obsequio, propina o comisión como incentivo o recompensa por hacer o abstenerse de hacer cualquier acción en relación al contrato.

La rescisión debe hacerse efectiva inmediatamente después de que el proveedor reciba la notificación de rescisión describiendo el acto del incumplimiento del proveedor que da lugar a dicha rescisión.

Derechos y obligaciones en caso de terminación

En caso de rescisión por parte del cliente sin motivo, éste debe pagar al proveedor una parte proporcional del precio del pedido, como es apropiado y coherente con los trabajos realizados por el proveedor hasta la fecha de la notificación de rescisión, menos la parte proporcional del precio del pedido previamente pagado al proveedor, más, en caso de que la rescisión del cliente sin causa sea un mes después de la fecha de la orden de compra, cualquier coste directo e inevitable, razonablemente incurrido por el proveedor para terminar el contrato. El cliente se reserva el derecho de rescindir/cancelar el contrato o revisar las cantidades por decisión propia en cualquier momento durante el primer mes después de la fecha de la orden de compra, en ese caso el cliente no reembolsará al proveedor ningún coste.

En el caso de rescisión por causa del cliente, una vez entregada la notificación de rescisión, el proveedor no podrá reclamar ningún pago adicional. En este sentido, el proveedor irrevocablemente y de antemano renuncia a sus derechos de reclamar en referencia a cualquier pago adicional. El proveedor deberá responder de los daños y perjuicios bajo los términos del contrato, incluyendo el retraso en la entrega del suministro o los defectos y/o daños en los suministros como consecuencia del fracaso del proveedor de llevar a cabo sus obligaciones contractuales y deberá ser responsable frente al cliente de los costes adicionales para éste de la parte que queda por pagar del precio del pedido incurridos por el cliente o cualquier parte actuando en nombre del cliente para completar los trabajos, incluyendo, pero no limitándose a todos los costes como consecuencia de medidas urgentes llevadas a cabo para cumplir la fecha de entrega, o si por el contrario ésta ya ha pasado o no se puede cumplir, cualquier fecha adicional establecida por el cliente, o por el contrario, para mitigar cualquier retraso causado por el fallo del proveedor, todos los costes incurridos en la administración del contrato con el proveedor, todos los costes adicionales de mano de obra del cliente,

costes financieros, todos los honorarios legales y los gastos financieros adicionales incurridos como consecuencia de la rescisión.

El cliente está autorizado a:

- i. Retener cualquier pago al proveedor a no ser que el cliente decida que el proveedor está autorizado a recibir más pagos.
- ii. Solicitar la devolución de la letra de crédito.
- iii. Conservar cualquier suministro entregado al cliente hasta la fecha de rescisión.
- iv. Solicitar que el proveedor le entregue cualquier suministro terminado que no se ha entregado aun y/o aceptado previo a dicha rescisión.
- v. Recuperar todas las cantidades pagadas al proveedor en relación al contrato menos los costes incurridos por el proveedor (exceptuando cualquier beneficio) atribuible a los suministros entregados según los puntos iii. y iv.
- vi. Recuperar una suma igual al 15% de la cantidad total pagada al proveedor como penalidad máxima por rescisión como consecuencia de no haber cumplido el contrato.

En el caso de que el cliente decida no conservar ninguno de los suministros según los puntos iii. y iv., el proveedor debe desmontar y volver a transportar cualquier suministro entregado antes de la fecha de la rescisión.

Una vez completadas los trabajos por el cliente o por terceras partes, el coste total de los mismos (que incluye, pero no se limita únicamente a la cantidad de cualquier daño y perjuicio incurrido) se calculará y se notificará al proveedor la cantidad, si la hay, que éste debe pagar al cliente.

3.2 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

El proveedor queda encargado del diseño, fabricación, ensamblaje, revisión, pruebas, limpieza, pintura, entrega, la supervisión técnica durante el izado, arranque y puesta en marcha y la formación en la planta del equipo con todos sus accesorios como se indica en las especificaciones.

Los componentes principales que debe incluir el equipo de dosificación de amoníaco son los siguientes:

- Una bomba de llenado que cargue el depósito con el producto químico.
- Un tanque de almacenamiento de amoníaco que incluya indicador de nivel, transmisor de presión, agitador (si es necesario), otros accesorios y bocas necesarias.
- Dos bombas de dosificación al 100% con regulación automática del caudal a inyectar y ajuste de la dosificación local y remota para aportar amoníaco a la impulsión de las bombas del condensador. Las bombas deben accionarse mediante un motor.
- Dos bombas de dosificación al 100% con regulación automática del caudal a inyectar y ajuste de la dosificación local y remota para aportar amoníaco al suministro de agua de aporte al condensador. Las bombas deben accionarse mediante un motor.
- Un skid que contenga todos los equipos y que se encuentre dentro de un contenedor.

Opcionalmente, se puede ofertar un sistema de dilución automática (un depósito de almacenamiento del producto comercial y otro para la dilución) o únicamente un depósito de químico donde se haga la dilución manualmente.

El equipo se probará en la planta y se comprobará que tiene alta disponibilidad, que las dimensiones son correctas para su funcionamiento, que su uso sea seguro y que este diseñado acorde con las condiciones ambientales y otros requerimientos.

El alcance debe incluir la ejecución y suministro, por parte del proveedor, de todos los trabajos, materiales o servicios en general necesarios para el levantamiento y operación del alcance del suministro dentro de los límites de batería definidos, incluidos los que no se indican expresamente pero son necesarios para el funcionamiento adecuado del equipo.

El proveedor debe suministrar el skid de dosificación de acuerdo con los términos y condiciones de la especificación. No obstante, esta especificación no pretende dar una

descripción completa del equipo a suministrar. Se deben cumplir todos los requisitos o recomendaciones habituales para el diseño, selección de material, fabricación inspección, prueba, preparación para el envío y puesta en marcha de este tipo de equipos e instalaciones de acuerdo con las buenas prácticas de ingeniería, y además están dentro del alcance del proveedor.

El proveedor puede proponer alternativas técnicas o materiales distintos a los requeridos en la especificación si se demuestran ventajas o mejoras en el funcionamiento.

3.2.1 Skid de dosificación química

El abastecimiento de los materiales, fabricación y suministro de todos los equipos de dosificación indicados y todos los elementos auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento del equipo deben incluirse.

La potencia debe contar con un margen que permita una sobrecapacidad de acuerdo con los requisitos de los códigos de diseño en relación a situaciones anormales (actuación de las válvulas de seguridad, etc.).

El equipo de dosificación deberá tener la capacidad y calidad adecuada para llevar a cabo satisfactoriamente las funciones para las cuales es requerido. Las características de operación deben ser apropiadas para alcanzar las condiciones de servicio especificadas. Los accesorios incluidos deberán a su vez ser adecuados para alcanzar los requerimientos mencionados.

El equipo deberá diseñarse de manera que todos los elementos sean fácilmente accesibles para labores de inspección, limpieza, mantenimiento y reparación. También se deben incluir aberturas para inspeccionar fácilmente.

El proveedor debe entregar el equipo con un diseño adecuado. El skid debe diseñarse, fabricarse e inspeccionarse de acuerdo con los códigos y normas internacionalmente reconocidos y cumplir con los términos y condiciones de la especificación en lo que respecta a funcionamiento, criterio de diseño, requerimientos de construcción, garantías y calendario.

El suministro debe cumplir las leyes turcas y de la Unión Europea, reglamentos e instrucciones de las autoridades correspondientes.

3.2.2 Otros equipos auxiliares

El skid de dosificación química debe suministrarse con todos los elementos auxiliares necesarios para su correcto funcionamiento. Además de esto, se deben incluir dentro

del alcance del suministro todos aquellos elementos necesarios para el adecuado funcionamiento, aunque no se mencionen explícitamente. El equipo debe incluir, aunque no exclusivamente lo siguiente:

- Suministro del material, fabricación y suministro de todos los equipos mencionados. (Opcionalmente se puede ofertar un sistema de dilución automática con un depósito con el producto comercial y otro para la dilución, o simplemente un depósito para el químico donde se haga la dilución manualmente).
- Deben incluirse todos los elementos auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento del equipo.
- Contenedor en el que se encuentre el skid de amoníaco con iluminación adecuada y equipos de climatización para mantener en condiciones apropiadas el químico almacenado. Se debe incluir ventilación del contenedor para garantizar el funcionamiento seguro del sistema, de manera que se reduzca la concentración de amoníaco dentro del contenedor.
- Un panel de control local en el interior del contenedor para colocar la distribución eléctrica con el cableado desde el panel hasta las cargas eléctricas del skid, incluyendo el cable de alimentación y cable de control, incluidos los conductos o bandejas que sean necesarios.
- Un lavador de gases para el depósito de amoníaco.
- Tuberías, válvulas, válvulas de seguridad, accesorios e instrumentos para un funcionamiento adecuado y seguro. Los equipos auxiliares como amortiguadores de pulsación o columnas de calibración deben incluirse en la oferta. A continuación del amortiguador de pulsación deberá instalarse una válvula de contrapresión.
- Manguera flexible para el llenado del depósito.
- Drenajes y venteos necesarios.
- Pintura de todo el equipo en el taller. El proveedor debe garantizar la duración del suministro y que éste sea adecuado a las condiciones ambientales señaladas tanto para estar en el exterior (contenedor) como en el interior (equipo dentro del contenedor).
- Documentación necesaria.
- Aislamiento donde sea necesario.
- Placas base, soportes, tornillos, tuercas y juntas necesarias para el ensamblaje del equipo suministrado.
- Herramientas especiales.

- Repuestos y consumibles para la puesta en marcha y arranque. Las piezas de repuesto deben llegar en una caja aparte, identificadas adecuadamente en la lista de bultos.
- Placas de identificación.
- Un motor eléctrico por cada bomba. Éstos deben cumplir las especificaciones señaladas al respecto.
- En el alcance del suministro debe estar incluido toda la instrumentación para señales analógicas y contactos para alarmas y actuadores, cableado entre elementos locales y el panel de control local, incluyendo los transmisores necesarios para las señales de salida y los elementos de control.
- Todo el cableado necesario, bandejas de cables, terminales de cable, materiales de terminación, etc. desde los motores hasta el panel de control deberá proporcionarlos el proveedor para los motores de las bombas y el sistema de aire acondicionado. Además, esto no debe suponer trabajo adicional para el cliente.
- Repuestos y consumibles para dos años de utilización que seleccione el cliente de la lista que le haya propuesto el proveedor.
- Primera recarga de lubricante (si procede).

3.2.3 Materiales y servicios

El alcance del suministro debe incluir los siguientes materiales y servicios:

- Diseño mecánico, eléctrico y de instrumentación.
- Diseño hidráulico y termodinámico del equipo.
- Diseño mecánico de los equipos de acuerdo con los códigos y normas.
- Fabricación y montaje en el taller del proveedor.
- Pruebas e inspecciones requeridas según especificación o códigos y normas aplicables, llevadas a cabo en el taller del proveedor.
- Certificado de los materiales empleados.
- Pintura y aislamiento.
- Certificado CE.
- Garantía de calidad.
- Placas de identificación.
- Embalaje y envío.
- Supervisión del izado y puesta en marcha del equipo.
- Herramientas especiales.
- Repuestos para la puesta en marcha incluidas en la oferta.

3.2.4 Opcionales

- Repuestos para el período de garantía. También una lista de precios de todos los repuestos recomendados y de consumibles necesarios hasta la primera inspección de mantenimiento importante o para 6 años, lo que tenga lugar más tarde. La lista de repuestos debe entregarse junto con la oferta del proveedor.
- El proveedor debe incluir una lista de repuestos y precios unitarios para la puesta en marcha y el arranque. Además, se debe proporcionar una lista de todos los repuestos recomendados y consumibles para 2 años de operación, incluyendo precio unitario y plazo de entrega.
- La entrega completa (transporte y seguro de transporte) hasta la planta, situada en la provincia de Kirikkale, Turquía, de todos los equipos, repuestos, herramientas especiales y otros accesorios.
- Asistencia técnica para las pruebas finales de aceptación, incluyendo medida de emisión de ruido. El proveedor debe enviar al cliente el procedimiento de pruebas de campo.
- Instalación completa.
- Puesta en marcha.

3.3 PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

El funcionamiento conjunto de los equipos y sus accesorios después de la instalación en la planta es responsabilidad del proveedor.

El equipo debe instalarse en un bastidor al que irá atornillado y no soldado, con el objetivo de poderlo desmontar fácilmente para tareas de mantenimiento, evitado asimismo afectar a los elementos adyacentes.

El nivel de sonido de las bombas debe cumplir los requerimientos especificados. El nivel de ruido de los equipos se comprobará en las pruebas de aceptación.

Las características de operación de cada equipo (potencia, presión, capacidad, etc.) y su diseño y materiales deben coincidir o ser similares a otros equipos suministrados por el proveedor a otros clientes y que cuenten con al menos dos años de funcionamiento continuo y satisfactorio sin paradas para mantenimiento.

Los equipos y sus accesorios deben montarse y probarse en talleres donde se hayan ensamblado equipos parecidos durante un periodo mayor a cinco años. Para el montaje de las bombas se deben considerar las limitaciones de peso y tamaño para el transporte.

3.3.1 Productos químicos

El amoníaco debe usarse preferiblemente en concentraciones comerciales y sólo debe diluirse cuando sea necesario.

El amoníaco debe almacenarse en un depósito sobre un cubeto que tenga una capacidad del 110% del depósito. Las instalaciones de almacenamiento deben contar con un equipo adecuado de dispersión de gases.

3.3.2 Depósitos

El sistema debe diseñarse para un uso eficiente del químico. Las instalaciones para la manipulación de químicos deben estar provistas de tal forma que no sea necesaria la manipulación gracias al uso de un contenedor IBC.

El tanque debe llevar agitadores (si es necesario) y debe tener una tapa superior soldada con una boca abatible que permita el montaje de los agitadores. Además de esto, el tanque debe contar con bocas bridadas y soportes para el montaje del skid. El depósito debe tener orejetas de izado, boca de hombre y todas las bocas necesarias (entrada, salida, venteo, rebose, drenaje e instrumentación como mínimo). Debe incluir

también un indicador de nivel visual y alarmas de nivel a través de un transmisor de nivel.

El depósito debe abastecerse con agua desmineralizada y debe dimensionarse para un uso continuo durante 14 días. Debe contar con un espacio mínimo de 150 mm desde la superficie superior del depósito hasta el punto más alto de llenado y debe disponer de un sistema de drenaje adecuado.

Asimismo, el tanque debe contar con un sistema adecuado para desalojar vapores perjudiciales. La línea de venteo debe contar con un lavador de gases cuya salida sea al exterior del contenedor. Este lavador de gases debe incluir indicador de nivel.

3.3.3 Bombas

El sistema de dosificación debe contar con bombas de llenado y bombas de dosificación.

Las bombas de llenado deben encargarse de cargar el depósito con amoníaco desde el IBC.

La dosificación debe llevarse a cabo mediante bombas redundantes, el ajuste del caudal de dosificación debe poder hacerse desde el CCR y localmente en la planta. No debe ser necesario desmontar las bombas, tuberías, depósitos, etc. para el llenado con químico.

Las bombas dosificadoras deben tener motores de accionamiento. La longitud de carrera se debe poder ajustar manualmente y regularse de tal forma que el 50% de la carrera suministre el caudal suficiente para satisfacer las condiciones normales de operación. Las bombas deben incluir todos los accesorios necesarios y deben contar con un manómetro de descarga. Además de lo mencionado anteriormente, cada bomba debe contar con un punto de drenaje donde sea necesario.

Las bombas que suministren el mismo servicio deben ser física y operacionalmente idénticas.

El control del funcionamiento de las bombas de dosificación debe ser automático y proporcional basado en los datos de entrada de los caudalímetros y analizadores monitorizados. Las señales de alarma del panel de control local deben transmitirse al CCR.

Las líneas de las bombas deben contar con válvulas antirretorno tanto en aspiración como en impulsión y válvulas de seguridad cuya descarga se conduzca al depósito.

El diseño de las bombas debe permitir llevar a cabo labores de mantenimiento fácilmente sin afectar a las conexiones a las tuberías.

3.3.4 Tuberías y válvulas

Las tuberías deben ser tubing y cumplir las normas correspondientes.

Todas las válvulas automáticas deben poder controlarse también manualmente.

Las válvulas en contacto con el químico concentrado deben estar provistas de juntas compatibles con el químico. No se permite el uso de asbesto en juntas o cualquier otra parte de la planta.

Todos los instrumentos deben estar montados de forma que puedan aislarse del sistema por medio de válvulas operadas manualmente.

Las tuberías de impulsión deben incluir una válvula de seguridad cuya descarga sea directamente en el depósito con el objetivo de proteger las bombas, tubing y accesorios frente a una posible rotura por sobrepresión.

Las válvulas de seguridad deben diseñarse para soportar una sobrepresión de al menos un 10% mayor que la presión de diseño de las bombas. La capacidad mínima de descarga de las válvulas de seguridad debe ser al menos el caudal de impulsión de las bombas.

3.3.5 Accesorios

Deben incluirse drenajes en las líneas de aspiración e impulsión de las bombas con el objetivo de poder limpiarlas manualmente. Las líneas de aspiración deben contar también con filtros en Y.

Las líneas de impulsión deben estar equipadas con amortiguadores de pulsación para absorber las oscilaciones de presión y caudal, manómetros con sello y válvulas de drenaje. El amortiguador de pulsaciones debe colocarse aguas arriba de los manómetros.

3.3.6 Otros

El contenedor debe contar con una ducha lavaojos (no incluido en el suministro) para su uso en el caso de una exposición al químico sin control. Aunque la ducha no esté dentro del alcance del proyecto, se debe establecer el lugar donde debe ir instalada y las dimensiones máximas que debe tener.

La línea de aspiración debe contar con columna de calibración. Por otra parte, todos los instrumentos de medida deben ser apropiados para operar de forma continua bajo las condiciones ambientales y estar provistos de una válvula, de forma que se pueda reemplazar el instrumento mientras el sistema sigue funcionando.

Los equipos no deben generar ninguna interferencia (magnética, eléctrica o electromagnética) que pueda afectar al funcionamiento de otros instrumentos y equipos de control.

Todos los parámetros y alarmas deben conservarse al menos durante un periodo de 30 días. Los indicadores y alarmas deben estar configurados para avisar de un fallo o funcionamiento incorrecto del sistema. Se deben incluir, aunque no limitarse exclusivamente a las siguientes:

- Indicación de nivel alto o bajo en el depósito.
- Indicación y alarma de nivel bajo-bajo en el depósito.
- Alarma de baja presión del aire
- Cualquier otra alarma necesaria para el funcionamiento seguro y eficiente del sistema.

Los equipos y sus accesorios deben fabricarse y probarse en los talleres del fabricante, donde se deben haber confeccionado equipos similares durante un periodo superior a cinco años. Los equipos del sistema de dosificación deben ensamblarse en los talleres del proveedor, teniendo en cuenta las limitaciones de peso y longitud para el transporte.

Diseño y construcción de un sistema de dosificación de amoníaco para la Central Térmica de
Ciclo Combinado Ic Anadolu (Turquía)

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Pliego de condiciones

CAPÍTULO IV. PRESUPUESTO

4.1 RECUENTO DE RECURSOS

Para facilitar el recuento de material, éste se divide en varios bloques según el material del que estén hechos y su función. Con respecto a las tuberías y accesorios existen dos grupos, los fabricados en PVC y los fabricados en acero inoxidable SS316.

También hay que tener en cuenta en el recuento la instrumentación necesaria y las bombas y agitadores solicitados.

A continuación se muestran los recuentos descritos:

SS 316

Descripción	Uds.	Cantidades		
		Aspiración	Impulsión	Total
Válvula de bola	[-]	10	18	28
Válvula antirretorno	[-]	1	4	5
Válvula de seguridad	[-]	0	4	4
Filtro	[-]	1	0	1
Bridas	[-]	4	0	4
Tubing	[m]	4	9	13

Tabla 28. Recuento de elementos en SS 316

Fuente: Propia

PVC

Descripción	Uds.	Cantidades		
		Depósito	Lavador de gases	Total
Válvula de bola	[-]	2	2	4
Válvula antirretorno	[-]	1	1	2
Bridas	[-]	4	3	7
Tubería	[m]	4	3	7
Manguera	[m]	5	0	5

Tabla 29. Recuento de elementos en PVC

Fuente: Propia

Instrumentación

Concepto	Cantidades
Indicador de nivel	2
Transmisor de presión	1
Presostato	1
Filtro regulador	1
Columna de calibración	1
Manómetro	4
Amortiguador de pulsaciones	2
Manifold	1

Tabla 30. Recuento de instrumentos

Fuente: Propia

Bombas y agitadores

Concepto	Cantidades
Bomba neumática	1
Bomba de alta presión	2
Bomba de baja presión	2
Agitador	1

Tabla 31. Recuento de bombas y agitadores

Fuente: Propia

4.2 COSTES PARCIALES

Siguiendo la misma estructura que en el recuento de materiales, se analizan los costes relativos a los distintos bloques de materiales:

SS 316

Descripción	Cantidad total	Precio unitario	Coste total
	[uds]	[€/ud]	[€]
Válvula de bola	28	5,38	150,64
Válvula antirretorno	5	8,39	41,95
Válvula de seguridad	4	154,3	617,2
Filtro	1	4,7	4,7
Bridas	4	6,75	27
Tubing	13	8,15	105,95
TOTAL			947,44

Tabla 32. Costes parciales de elementos en SS 316

Fuente: Propia

PVC

Descripción	Cantidad total	Precio unitario	Coste total
	[uds]	[€/ud]	[€]
Válvula de bola	4	22,68	90,72
Válvula antirretorno	2	22,94	45,88
Bridas	7	3,47	24,29
Tubería	7	1,59	11,13
TOTAL			172,02

Tabla 33. Costes parciales de elementos en PVC

Fuente: Propia

Instrumentación

Descripción	Cantidad total	Precio unitario	Coste total
	[uds]	[€/ud]	[€]
Transmisor de presión	1	356,00	356,00
Presostato	1	7,25	7,25
Columna de calibración	1	26,45	26,45
Manómetro	4	202,25	809,00
Amortiguador de pulsaciones	2	226,00	452,00
Manifold	1	76,44	76,44
TOTAL			1727,14

Tabla 34. Costes parciales de instrumentación

Fuente: Propia

Bombas y agitadores

Descripción	Cantidad total	Precio unitario	Coste total
	[uds]	[€/ud]	[€]
Bomba neumática	1	662,50	662,50
Bomba de alta presión	2	3100,00	6200,00
Bomba de baja presión	2	680,00	1360,00
Agitador	1	920,00	920,00
TOTAL			9142,50

Tabla 35. Costes parciales de bombas y agitadores

Fuente: Propia

4.3 COSTES TOTALES

Además de los materiales del equipo, existen otros costes que afectan al proceso de fabricación del mismo, desde su diseño hasta la entrega al cliente.

Descripción	Coste	Porcentaje
	[€]	[-]
Depósitos	5209,80	10,67%
Bombas y agitador	9142,50	18,73%
Instrumentación	1727,14	3,54%
Tuberías y elementos en SS316	947,44	1,94%
Tuberías y elementos en PVC	172,02	0,35%
Accesorios en SS 316	482,29	0,99%
Accesorios en PVC	234,72	0,48%
Cuadro eléctrico	9824,00	20,12%
Contenedor	9424,75	19,31%
Embalaje	1722,03	3,53%
Montaje	8400,00	17,21%
Otros	1531,81	3,14%
Horas de ingeniería	20617,17	29,69%
TOTAL	69435,67	

Tabla 36. Costes totales del Proyecto

Fuente: Propia

CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA

5.1 BIBLIOGRAFÍA

Barber, J., 2014. *Stopping Corrosion in Boiler Tube Bundles*

Buecker, B., 2012. *Combined-Cycle Water/Steam: The Lifeblood of the Plant*

Cen, K., Chi, Y., Wang, F. 2007. *Challenges of Power Engineering and Environment, Volume 1*

Fernández Diego, I., Robles Díaz, A. R. 2007. *Centrales de Generación de Energía Eléctrica*

García Garrido, S., 2009-2012. *El ciclo agua-vapor en centrales termosolares*

García Garrido, S., 2007. *Control químico de aguas de caldera y refrigeración de centrales de C. C.*

García Garrido, S., 2007. *Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado*

Layman, C. M., 2013. *Selecting a Combined Cycle Water Chemistry Program*

Tsubakizaki, S. et al. 2013. *Improved Reliability of High-AVT (High-pH Water Treatment) Application to Combined Cycle Plants*

Unión Fenosa Ingeniería, 2000. *Tratamientos de agua de calderas*

Además de la bibliografía anteriormente mencionada, se han utilizado como consulta los catálogos proporcionados por los fabricantes de los diversos elementos del sistema y las siguientes páginas web:

<http://www.coleparmer.com/Chemical-Resistance>

http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/

<http://www.exponent.com>

<http://genebre.es>

<http://www.powermag.com>

<http://pulsation-dampers-hidracar.com/es/portfolio-view/pulsation-dampeners/>

http://www.servyeco.com/530054_es/Productos-qu%25C3%25ADmicos-para-el-tratamiento-de-aguas-de-proceso/

<http://www.thomasnet.com>

<http://www.unesa.es>

<http://valvesandfittings.hylokusa.com>

<http://waverleybrownall.com>