

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDIDA
G-160 DE 80/16 BAR PARA ALIMENTACIÓN
DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN EN APA

Autor: Juan Manuel TRAVERSO SOTO

Fecha: Julio 2007

A photograph of a laboratory setting featuring several large glass vessels (likely reactors or storage tanks) mounted on a metal frame. The vessels are connected by a network of pipes and valves, typical of a chemical process control system. The background shows a clean, well-lit laboratory environment with white benches and blue structural elements.



ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDIDA DE 80/16 BAR PARA ALIMENTACIÓN A UNA RED DE DISTRIBUCIÓN EN APA

Autor: Juan Manuel Traverso Soto

RESUMEN DEL PROYECTO

1) Introducción

En general, el transporte de gas natural se realiza a través de canalizaciones de gran diámetro a una presión que puede estar comprendida entre 72 y 84 bar. La distribución del gas natural se lleva a cabo, salvo casos excepcionales, a presiones mas bajas, entre 10 y 59 bar, y, casi siempre, por canalizaciones de diámetros menores. Se requiere, en consecuencia, disponer de instalaciones capaces de regular la presión la presión del gas desde la presión normal de transporte, hasta la de distribución, y de medir, con el grado de precisión requerido, la cantidad de gas que se entrega a los clientes o que se trasvasa de un lugar a otro de la red.

Las estaciones de regulación y medida se encuentran ubicadas en los puntos de entrega (salidas) y en ellas se reduce la presión del gas hasta 16 bar, como iniciación del proceso de adaptación a la presión final a la que se utiliza por empresas y particulares, que puede bajar hasta 20 milibar.

En estas instalaciones también se efectúa la medición del gas entregado.

Con motivo del desarrollo de nuevos gasoductos, actualmente están en fase de construcción más estaciones de regulación y medida.

El gestor técnico del Sistema como responsable de la Gestoría Técnica de la Red Básica y de Transporte Secundaria de Gas Natural, tiene que garantizar la continuidad y seguridad del suministro de gas natural.

Con este fin se ha decidido la realización de un proyecto para la instalación de una E.R.M. (Estación de Regulación y Medida) G-160 en el Termino Municipal de Los Barrios (Cádiz) con el objeto de suministrar gas natural en APA a una empresa distribuidora, para la gasificación a través de una red de distribución local y futuros ramales, no objeto de este Proyecto, dentro del entorno geográfico.

2) Descripción de la instalación

El objeto del presente Proyecto es el diseño e instalación de una E.R.M. G-160 para un caudal de $3000 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$, con una presión de entrada de 80 bar máx. (APB) y salida 16 bar máx. (APA), formada por dos líneas constituidas por conjuntos de filtrado, precalentamiento, regulación (reducción de presión 80/16 bar) y medida, además de un sistema de odorización del gas conectado a la línea de salida.

El diseño e instalación de la ERM G-160 tiene como finalidad la iniciación del proceso de adaptación del gas natural a la presión final utilizada por empresas y particulares en el Termino Municipal de Los Barrios (Cádiz), que puede bajar hasta 20 milibar (consumo doméstico), y la medición del caudal consumido por estos mismos con el fin de cobrar el transporte de gas natural utilizado.

Tanto la E.R.M. como las canalizaciones de entrada y salida, se diseñan para un caudal nominal de $4250 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$ suministrada por cada una de las dos (2) líneas de regulación iguales y equipadas, siendo la 2ª de reserva y

existiendo la posibilidad de instalar una tercera, que se queda en este proyecto en bridas.

La Estación de Regulación y Medida G-160 equipada con contador de turbina en las dos líneas esta diseñada para un caudal nominal de 4250 m³(n)/h por línea, para una salida regulada a 16 bar máx.

La E.R.M. estará formada por un recinto en el cual se instalarán los conjuntos de filtrado, calentamiento, regulación, medida, by-pass de medida, además de las válvulas de aislamiento en la entrada y salida de cada línea.

Igualmente se instalará en este recinto el conjunto de regulación y medida para el fuel-gas de las calderas.

El recinto de la E.R.M. APB/APA será un edificio aéreo, con cubierta de chapa, muros de ladrillo visto y bloque sobre cimentación de hormigón armado. Al mismo se accede desde el exterior a través de puertas normalizadas de doble hoja metálicas y de una hoja para peatones.

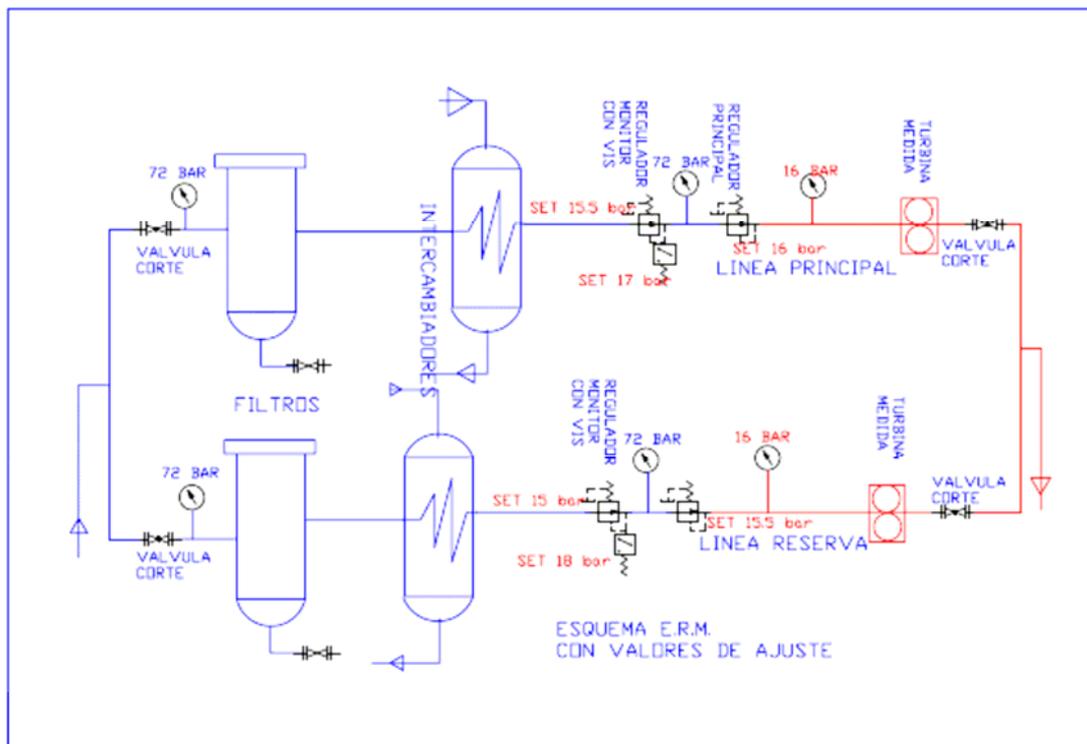
Todos los trabajos concernientes a la instalación y a sus canalizaciones asociadas se realizarán según los requerimientos que establece el Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos en sus instrucciones indicadas anteriormente.

Cada línea de regulación estará constituida básicamente por los elementos que a continuación se relacionan, ordenados según el sentido de circulación del gas:

- **Colector de entrada a E.R.M.**
- **Válvula de entrada de la línea.**

- **Filtro.**
- **Intercambiador.**
- **Válvula de corte automático por sobrepresión de salida.**
- **Regulador monitor.**
- **Regulador activo.**
- **Línea de medida con turbina G-160.**
- **Derivación para by-pass de contraste.**
- **Válvula de salida de línea.**
- **Colector de salida de medida.**

3) Diagrama de flujo del proceso



4) Conclusión

Desde el punto de vista tecnológico, la E.R.M. G-160 cumple los siguientes objetivos:

- 1) La medición del gas transportado, para el cobro de una tarifa por garantizar la continuidad y la seguridad del suministro de gas, así como la coordinación entre los puntos de acceso, a las diferentes compañías distribuidoras que lo reciben.
- 2) Se consigue reducir la presión del gas de 80 a 16 bar con el fin de poder adaptarlo para que pueda llegar de forma efectiva a las diferentes presiones de consumo.

Desde el punto de vista económico:

- 1) La E.R.M G-160 no supone ningún gasto para la Propiedad responsable de la ejecución del Proyecto, que será ENAGAS, siendo este costo asumido por la distribuidora en el T.M. de los Barrios.
- 3) Los gastos de los costes evaluados en el presupuesto del presente Proyecto son asumidos por la Distribuidora, suponiendo unas pérdidas de 0 € para la Propiedad.

Por lo tanto, la instalación objeto del presente Proyecto cumple con los objetivos económicos y tecnológicos establecidos.

La instalación cumple, además, con todas las disposiciones exigidas legalmente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo y Gestión de Residuos.

**ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDIDA G-160
DE 80/16 BAR. PARA ALIMENTACIÓN DE UNA
RED DE DISTRIBUCIÓN EN APA**

DOCUMENTO I: MEMORIA

MEMORIA DESCRIPTIVA

DOCUMENTO I: MEMORIA

MEMORIA DESCRIPTIVA

1.	ANTECEDENTES.....	10
2.	OBJETO Y JUSTIFICACIÓN.....	28
3.	VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	29
	3.1. Viabilidad técnica.....	29
	3.2. Viabilidad legal.....	30
	3.3. Viabilidad económica.....	31
4.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	32
5.	ESTUDIO CLIMATOLÓGICO, OROGRÁFICO, Y GEO TÉCNICO DE LA ZONA.....	33
	5.1. Climatología.....	33
	5.2. Orografía.....	34
	5.3. Aspectos geológicos y excavabilidad de los materiales.....	34

6.	RELACIÓN DE BIENES Y DERECHOS AFECTADOS.....	36
6.1.	Afecciones por redes.....	36
7.	BASES DE DISEÑO.....	40
7.1	Características del gas.....	40
7.2.	Datos técnicos.....	40
7.2.1	Presiones.....	40
7.2.2	Temperaturas.....	40
7.2.3	Caudal.....	41
8.	NORMAS DE PROYECTO.....	41
8.1.	Relación de Normas utilizadas.....	46
8.2.	Especificaciones de materiales.....	48
9.	DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	53
9.1.	Descripción general de la E.R.M. APB/APA G-160 de 4250 m ³ (n)/h.....	53
9.2.	Obra civil, edificio para E.R.M. APB/APA.....	54
9.3.	Obra mecánica E.R.M. APB/APA.....	62
9.3.1.	Válvulas de entrada y salida de línea.....	64

9.3.2. Filtro principal.....	64
9.3.2.1. Clarificación de gases.....	64
9.3.2.2. Selección del equipo clarificador.....	66
9.3.2.3. Filtros de eje vertical de cartuchos.....	67
9.3.2.4. Descripción del filtro.....	73
9.3.2.5. Resumen de características del filtro.....	79
9.3.3. Calentamiento del gas y regulación de temperatura.....	79
9.3.4. Intercambiador de calor.....	81
9.3.4.1. Introducción teórica.....	81
9.3.4.2. Elección del tipo de intercambiador...	86
9.3.4.3. Comprobación de los cálculos del intercambiador de calor.....	103
9.3.5. Instalación de calderas.....	105
9.3.5.1. Introducción teórica.....	105

9.3.5.2. Clasificación de las calderas según la normativa aplicable.....	109
9.3.5.3. Análisis del proceso de combustión de las calderas.....	111
9.3.5.4. Descripción de las calderas.....	118
9.3.5.5. Descripción del sistema de agua caliente.....	130
9.3.5.6. Seguridad de las calderas y sistema de agua caliente.....	132
9.3.5.7. Control de calderas y sistema de agua caliente.....	149
9.3.5.8. Resumen de características de las calderas.....	155
9.3.6. Reguladores.....	156
9.3.6.1. Introducción teórica.....	156
9.3.6.2. Tipos de reguladores.....	158

9.3.6.3.Principio de funcionamiento de los reguladores.....	159
9.3.6.4.Requerimientos y descripción de los elementos básicos de una línea de regulación automática.....	162
9.3.6.5.Funcionamiento y descripción del regulador activo de la corriente principal del gas de la E.R.M.....	165
9.3.6.6.Funcionamiento y descripción del regulador monitor de la corriente principal del gas de la E.R.M.....	171
9.3.6.7.Regulación de presión de la corriente principal del gas de la E.R.M.....	179
9.3.6.8.Pautas de actuación de los reguladores de la corriente principal del gas de la E.R.M.....	185

9.3.6.9.Sistema de fuel-gas. Regulación de presión de la alimentación a calderas.....	189
9.3.7. Válvulas de escape.....	191
9.3.8. Medición de caudal e instrumentación.....	192
9.3.8.1.Medidor.....	193
9.3.8.2.Corrector.....	198
9.3.8.3.Instrumentación de presión.....	224
9.3.8.4.Instrumentación de temperatura.....	229
9.3.8.5.Instrumentación de caudal.....	233
9.3.8.6.Cuadro de control y lógica asociada 238.....	237
9.3.9. Acometida eléctrica a E.R.M.....	253
9.3.10.Instalación eléctrica.....	255
9.3.11.Material eléctrico para circuitos de señalización, mando y alumbrado general.....	256

9.3.12. Protección contra incendios y señalización de seguridad.....	261
9.3.13. Material para el sistema de detección de incendios.....	265
9.3.14. Detección de gas.....	265
9.3.15. Bancadas y soportes.....	266
9.3.16. Pintura y aislamiento térmico.....	267
9.3.17. Otras condiciones de seguridad.....	271
9.3.18. Odorización.....	272
9.4. Características de la conducción.....	274
9.4.1. Tubería.....	274
9.5. Protección catódica.....	275
9.6. Sistema de telecomunicación y control.....	275
9.6.1. Funciones.....	275
9.6.2. Instalaciones a controlar.....	276
9.6.2.1. Información.....	277
9.6.2.2. Estación remota.....	277

9.6.2.3.Sistema de telefonía.....	278
9.6.2.4.Soporte de transmisión.....	278
9.7. Instalaciones auxiliares.....	281
9.7.1. Válvulas.....	281
9.7.1.1.Generalidades.....	281
9.7.2. Particularidades del proyecto.....	281
10. RELACIÓN DE ANEXOS.....	282
11. RESUMEN.....	282
12. DOCUMENTOS DEL PROYECTO	284
13. BIBLIOGRAFÍA.....	286

1. ANTECEDENTES

a) El gas natural.

El gas natural es una de las fuentes de energía más limpias y respetuosas con el medio ambiente ya que es la que tiene menos contenido de dióxido de carbono y la que menos emisiones produce a la atmósfera. Es además, una energía económica y eficaz. Una alternativa energética segura y versátil capaz de satisfacer la demanda energética en los sectores domésticos, comercial e industrial.

Desde el punto de vista de su composición, se trata de un hidrocarburo formado principalmente por metano, aunque también suele contener una proporción variable de nitrógeno, etano, CO₂, H₂O, butano, propano, mercaptanos y trazas de hidrocarburos más pesados.

Esta proporción varía en función de los yacimientos en los que se encuentre y también depende de si en éstos, el gas natural se encuentra solo o acompañado. La fórmula del metano es CH₄ y puede constituir hasta el 97% del gas natural.

Hace millones de años, capas de materia orgánica se fueron depositando entre los sedimentos del fondo de estuarios y

pantanos, en un ambiente muy pobre en oxígeno. Al mezclarse estos sedimentos con partículas arenosas y arcillosas y restos de organismos vegetales, aumenta la presión y la temperatura y se forma el gas natural.

El gas natural que se formó, cuyas proporciones dependen de la temperatura y presión a que estuvieran sometidas, pugnaba entonces por ascender entre las capas de terreno permeable hasta que quedaba acumulado en lo que hoy llamamos yacimientos o reservas y que se van descubriendo hoy en día. Los yacimientos de gas natural son así una acumulación de hidrocarburos, que pueden encontrarse saturando los poros o las fisuras de las rocas en las que se encuentra.

El proceso de extracción del gas natural es muy parecido al del petróleo y su transporte se realiza mediante gasoductos hasta los centros de consumo.

b) Yacimientos y reservas mundiales.

La localización de las reservas mundiales del gas natural se inicia con una serie de exploraciones que consisten en efectuar perforaciones en aquellas zonas donde se presupone su existencia. Posteriormente, cuando el yacimiento de gas natural es encontrado, se analiza para determinar la calidad y la cantidad de gas natural que alberga y su duración. Una vez concluidos estos estudios, el gas natural de ese yacimiento pasa a denominarse reserva probada.

Constantemente se realizan perforaciones para localizar yacimientos, aunque luego no sean analizados debido al alto coste que ello conlleva. De esta manera, no todos los yacimientos llegan a ser reservas probadas.

- Reservas probadas en el mundo.

Las reservas probadas de gas natural en el mundo a principios de 2006 eran de más de 182 billones de m³. Las principales reservas están localizadas en Oriente Medio (41%) y en los países de la antigua URSS (31,7%), mientras que Europa Occidental sólo posee el 3,6% de las reservas mundiales.

Con los datos disponibles hoy en día las reservas evaluadas de gas natural son suficientes para abastecer al mundo, con un consumo como el de 2005, durante más de 65 años.

	2004	2005	2006
América del Norte	7	7	7
América Central y Sur	7,4	7,3	7,3
Europa-OCDE	6,3	6,2	6,5
Europa Oriental	57,8	57,8	57,8
África	13,9	14,1	14,4
Oriente Medio	71,5	73,3	74,6
Asia-Oceanía	13,7	14,3	14,5
TOTAL MUNDIAL	177,6	180	182,1

Tabla 1. Reservas probadas de gas natural en el mundo (Billones de m³)

Fuente: <http://www.enagas.es>

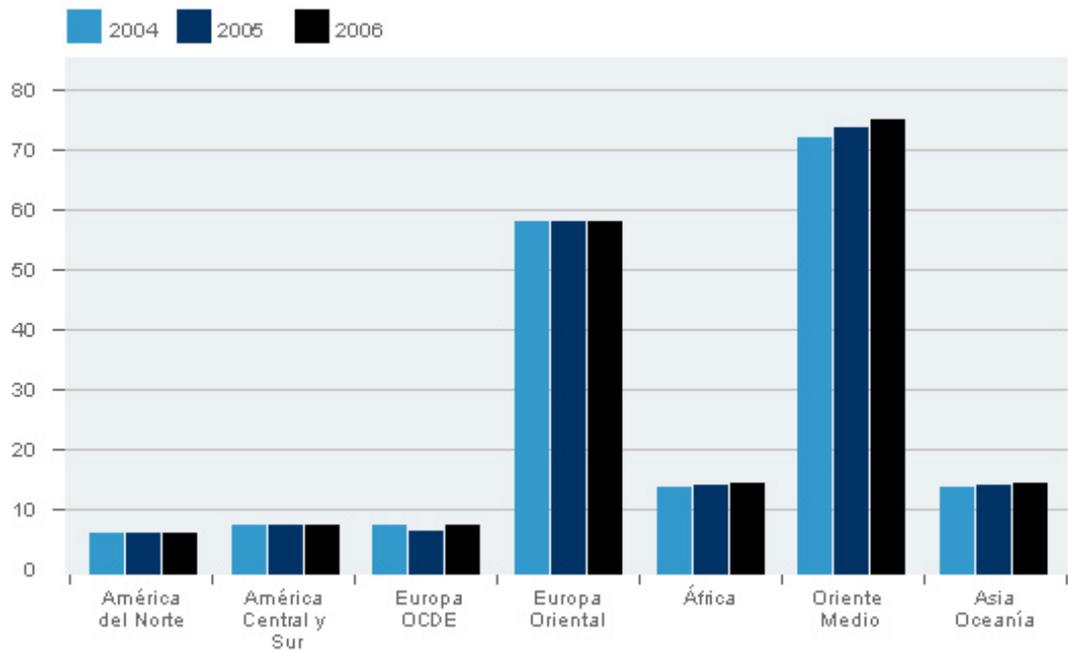


Figura 1 . Evolución de las reservas mundiales probadas de gas natural por zonas (Billones de m³)

Fuente: <http://www.enagas.es>

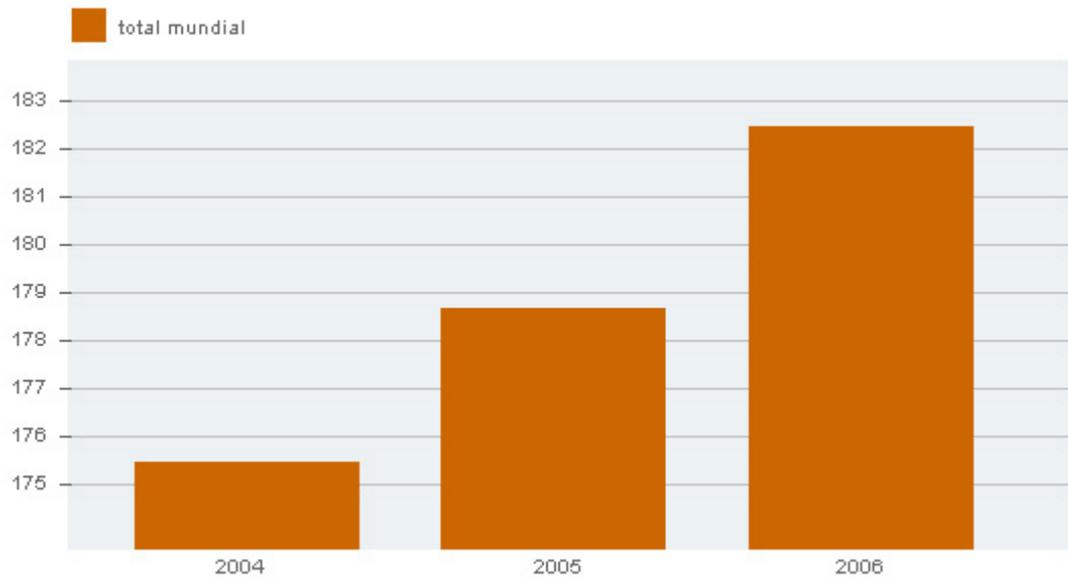


Figura 2. Evolución de las reservas mundiales probadas de gas natural totales (Billones de m³)

Fuente: <http://www.enagas.es>

c) Cadena del gas natural.

El gas natural recorre desde el yacimiento de donde se extrae un largo camino hasta los consumidores finales.

Su transporte puede realizarse de dos formas diferentes, bien en fase gaseosa a través de los gasoductos, o bien, licuado en buques metaneros.

En fase gaseosa, la cadena de gas se simplifica y la licuefacción, el transporte marítimo y la regasificación se suprimen.

Durante la licuefacción el gas se reduce unas 600 veces en volumen para poder ser transportado en los buques metaneros hasta las plantas de regasificación, donde le devolverán a su estado natural.

Los metaneros que transportan el gas natural licuado (GNL) hasta las plantas de regasificación pueden albergar hasta 140.000 m³ de GNL, aunque actualmente se están proyectando en los astilleros buques de hasta 250.000 m³. En el caso de la planta de regasificación de El Musel, en Gijón, está previsto que puedan atracar estos futuros barcos.

Una vez que el GNL se regasifica en las plantas, es decir, se devuelve a su estado gaseoso a través de un proceso exclusivamente físico, se inyecta en la red de gasoductos.

Parte fundamental en la cadena del gas son también los almacenamientos subterráneos.

Aunque todo el gas natural que se transporta a los hogares no tiene la necesidad de pasar por ellos, es una fase previa a su consumo.

En España existen dos almacenamientos subterráneos, Serrablo y Gaviota. El primero es propiedad de Enagás y el segundo es un almacenamiento off shore gestionado por la Compañía.

De los gasoductos a alta presión, el gas natural llega o bien a las industrias, o bien al usuario final a través de los gasoductos de baja presión de las distribuidoras.

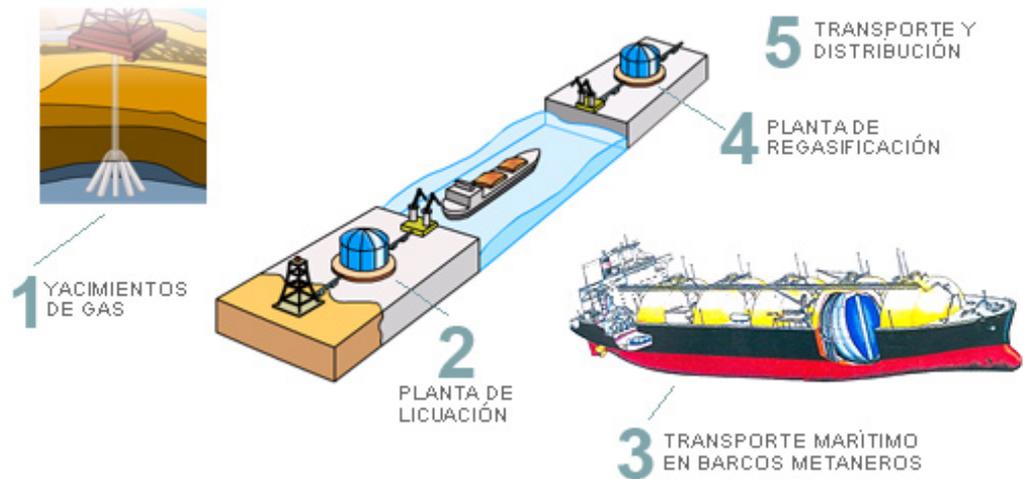


Figura 3. Cadena del gas natural

Fuente: <http://www.enagas.es>

d) Agentes del sistema gasista.

Los agentes del sistema de gas natural en España son productores, transportistas, distribuidores, comercializadores, consumidores y el Gestor Técnico del Sistema Gasista.

Productores: realizan la exploración, investigación y explotación de los yacimientos de hidrocarburos.

Transportistas: son los titulares de instalaciones de almacenamiento, regasificación o gasoductos de transporte de presión superior a 16 bares.

Distribuidores: son los titulares de instalaciones de distribución de gas natural (con presión menor o igual de 16 bares que alimentan a uno o varios consumidores).

Comercializadores: son los que adquieren gas natural (a los productores o a otros comercializadores) y lo vende a sus clientes cualificados o a otros comercializadores en condiciones libremente pactadas. Los comercializadores utilizan las instalaciones de transportistas y distribuidores para el transporte y suministro de gas a sus clientes, a cambio de un peaje.

Consumidores de gas: desde el 1 de enero de 2003, todos los consumidores de gas pueden elegir entre adquirir el gas a su distribuidor, a la tarifa establecida reglamentariamente, o adquirir el gas a cualquier comercializador, en condiciones libremente pactadas.

Gestor Técnico del Sistema Gasista: es el transportista titular de la mayoría de las instalaciones de la red básica de gas natural y tiene la responsabilidad de la gestión técnica de la red básica y de las redes de transporte secundario. Su objetivo es garantizar la continuidad y seguridad del suministro, así como la correcta coordinación entre los puntos de acceso. El Real Decreto-Ley 6/2000 de 23 de Junio designa a Enagás como GTS.

e) Tipos de suministro.

Los consumidores de gas natural pueden elegir entre tres modalidades de suministro:

1) Suministro a tarifa.

El suministro a tarifa a través del distribuidor corresponde al modelo tradicional de relación entre cliente y empresa gasista. El cliente compra el gas al distribuidor al precio o tarifa regulada.

2) Suministro a través de comercializadora

Para el suministro a través de comercializadora el cliente cualificado suscribe un contrato de suministro con una empresa comercializadora, a un precio libre y en competencia. La empresa comercializadora, a su vez, suscribe los contratos de compra de gas en los mercados internacionales y el contrato de acceso con el transportista y distribuidor.

3) Compra directa de gas

En la compra directa de gas por el cliente cualificado, el cliente compra el gas directamente en el mercado internacional y suscribe un contrato de acceso a las instalaciones de transporte y distribución de gas.

f) Liberalización del mercado.

Desde el 1 de enero de 2003 todos los consumidores tienen el derecho a escoger su suministrador de gas natural, aunque si lo desean pueden seguir a tarifa. Desde entonces, el número de

clientes en el mercado liberalizado ha ido aumentando y la demanda de gas natural destinada a este mercado al finalizar el tercer trimestre de 2006 era el 86,8% del total.

En función del agente que suministre el gas, se distinguen dos tipos de consumidores, por una parte están los consumidores suministrados en el mercado liberalizado, que son los que adquieren el gas a los comercializadores en condiciones libremente pactadas o directamente a los productores. En este último caso, para trasladar el gas hasta el punto de consumo, los clientes solicitan el acceso a las instalaciones de transporte y distribución afectadas, pagando los peajes de acceso correspondientes. En España el peaje para transporte y distribución es de tipo postal.

El segundo tipo de consumidores son aquellos suministrados en el mercado regulado que adquieren el gas a través de una empresa de distribución a precio de tarifa.

Los peajes y tarifas son fijados por el Gobierno.

g) Infraestructuras.

1) Plantas de regasificación.

El gas se transporta en buques metaneros a 160 °C bajo cero en estado líquido y se descarga en las plantas de regasificación.

En estas instalaciones, mediante un proceso físico, para el cual normalmente se utilizan vaporizadores con agua de mar, se aumenta la temperatura del gas natural licuado (GNL) y, de este modo, se transforma a estado gaseoso. El gas natural se inyecta en los gasoductos para ser transportado por toda la Península.

Enagás cuenta en la actualidad con tres plantas de regasificación en Barcelona, Cartagena y Huelva. En los próximos años está previsto que aumente el número de descargas de buques metaneros de gran tamaño procedentes fundamentalmente de Trinidad-Tobago, Nigeria y Golfo Pérsico para cubrir el aumento de la demanda.

Por esta razón, Enagás está ampliando las plantas de regasificación con el objetivo de reforzar la estructura de aprovisionamiento de la Península y poder seguir incrementando la diversificación de las procedencias.

2) Gasoductos.

Los gasoductos de alta presión son canalizaciones para el transporte de gas integradas por tubos de acero de alto límite elástico, con todas sus uniones soldadas.

Como protección pasiva contra la corrosión, los gasoductos están revestidos exteriormente con una lámina de polietileno que evita el contacto directo del acero con el terreno.

A finales de 2006, la red de Enagás estaba integrada por 7.533 km. de tuberías diseñadas para operar a presiones máximas de 72 y 80 bar. De dicha cantidad, 6.706 km corresponden a gasoductos y 827 km a ramales en alta presión.

3) Estaciones de Compresión.

En estas instalaciones, mediante compresores, se eleva la presión del gas hasta 72/80 bar para maximizar la capacidad de transporte de los gasoductos.

Enagás cuenta actualmente con once estaciones de compresión con una potencia total instalada de 313.159 HP (Horse Power).

4) Almacenamientos Subterráneos.

Para ajustar la oferta a la demanda y hacer frente a las puntas de consumo, motivadas por variaciones estacionales, interrupciones en el suministro, etc., es necesario almacenar grandes cantidades de gas.

El gas, en estos casos, se almacena en el subsuelo aprovechando antiguos yacimientos o se inyecta en

acuíferos profundos o en cavidades generadas en formaciones salinas.

Enagás gestiona dos almacenamientos subterráneos: el de Serrablo y el de Gaviota, ambos antiguos yacimientos de gas natural ya agotados.

El yacimiento de Serrablo está situado entre las localidades de Jaca y Sabiñánigo (Huesca). Gaviota es un almacenamiento "off-shore", propiedad de Repsol YPF, que está situado cerca de Bermeo (Vizcaya).

5) Yacimientos Nacionales.

La producción de gas nacional representa el 3% de los aprovisionamientos y se concentra en tres pequeños yacimientos situados en el suroeste de la Península.

Los más antiguos, del año 1990, son los de Marismas y Palancares que se ubican en el Valle del Guadalquivir y son propiedad de LOCS, SA.

El tercero es el denominado Poseidón que es un yacimiento offshore de Repsol YPF situado en el Golfo de Cádiz. Este yacimiento inició su producción en 1997.

Enagás es la propietaria de las conexiones de estos yacimientos a la red básica de gasoductos.

6) Conexiones internacionales.

En el año 1993 entró en operación el Gasoducto Larrau-Calahorra que representó la primera conexión con la red europea de gasoductos.

Una parte importante de este gasoducto discurre por la Cordillera Pirenaica navarra con cotas superiores a los 2.000 m. de altura.

En Zahara de los Atunes, Cádiz, se sitúa la terminal receptora del gas transportado por el Gasoducto Magreb-Europa, que entró en operación en noviembre de 1996. En este punto finalizan los dos tramos submarinos que cruzan el Estrecho de Gibraltar y se inicia el Gasoducto Al Andalus, por el que se transporta una parte muy importante de los aprovisionamientos de gas natural de España y Portugal.

Esta terminal consta de tres líneas de medida y equipos para determinar la calidad del gas natural importado.

En Badajoz se encuentra, desde 1996, uno de los puntos de conexión entre las redes española y portuguesa de transporte de gas natural. El otro punto de conexión se sitúa en Tuy (Pontevedra) y comenzó a operar en 1998.

7) Estaciones de Regulación y Medida.

Las estaciones de regulación se encuentran ubicadas en los puntos de entrega (salidas) y en ellas se reduce la presión del gas hasta 16 bar, como iniciación del proceso de adaptación a la presión final a la que se utiliza por empresas y particulares, que puede bajar hasta 20 milibar.

En estas instalaciones también se efectúa la medición del gas entregado.

Enagás tiene actualmente 342 estaciones de regulación y medida.

Con motivo del desarrollo de nuevos gasoductos, actualmente están en fase de construcción más estaciones de regulación y medida.

8) Centros de Transporte.

Las actividades de mantenimiento, operación y control de la red de gasoductos se coordinan desde 45 centros distribuidos a lo largo de toda la geografía peninsular española.

Estos centros de transporte se encuentran agrupados funcionalmente en tres unidades de transporte: Norte, Sur y Este.

9) Centro principal de control.

Desde el Centro Principal de Control (CPC), situado en Madrid, se realiza la supervisión y control de la red de gasoductos de forma ininterrumpida.

Este Centro recibe toda la información de forma concentrada con los distintos parámetros que intervienen en el transporte del gas y permite dar las instrucciones convenientes para su corrección cuando los valores de dichos parámetros se desvían de los planificados anteriormente o se detecta automáticamente alguna incidencia en el funcionamiento de la red.

La recepción de todos los datos se realiza a través de un sistema de telecontrol, jerarquizado en tres niveles, lo que proporciona una gran seguridad de continuidad de servicio.

En el nivel inferior se encuentran 416 estaciones de telecontrol que captan las señales de campo y una vez ordenadas las transmiten a los Centros de Concentración de Datos (CCD).

Estos Centros, que pertenecen al nivel intermedio, son además Centros de Control Regional y su funcionamiento no exige necesariamente presencia física de técnicos. Enagás cuenta con 11 de estos centros en España.

En el nivel superior se encuentra el CPC que, dotado de los más avanzados sistemas informáticos, cuenta adicionalmente con modernas herramientas de simulación, planificación y ayuda a la explotación de la red de gasoductos, lo que permite optimizar la operación del Sistema Gasista.

Además, Enagás mantiene un segundo Centro de Reserva para garantizar y asegurar la efectividad del control y en previsión de cualquier incidencia o anomalía grave en los Sistemas Informáticos del Centro Principal.

Como soporte de lo anterior se dispone de una red de fibra óptica de 7118 km., así como de equipos de transmisión digital que facilitan las comunicaciones en anillo y las rutas alternativas, con el fin de que cualquier información o dato pueda ser transmitido a cualquier punto de la red.

h) Conclusión.

El gestor técnico del Sistema como responsable de la Gestoría Técnica de la Red Básica y de Transporte Secundaria de Gas Natural, tiene que garantizar la continuidad y seguridad del suministro de gas natural.

Con este fin se ha decidido la realización de un proyecto para la instalación de una E.R.M. (Estación de Regulación y Medida) G-160 en el Termino Municipal de Los Barrios (Cádiz) con el objeto de suministrar gas natural en APA a una empresa distribuidora,

para la gasificación a través de una red de distribución local y futuros ramales, no objeto de este Proyecto, dentro del entorno geográfico.

2. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN.

El objeto del presente Proyecto es el diseño e instalación de una E.R.M. G-160 para un caudal de 3000 m³(n)/h, con una presión de entrada de 80 bar máx. (APB) y salida 16 bar máx. (APA), formada por dos líneas constituidas por conjuntos de filtrado, precalentamiento, regulación (reducción de presión 80/16 bar) y medida, además de un sistema de odorización del gas conectado a la línea de salida. Se compone:

- De suministro de materiales y construcción de los edificios de calderas y de la E.R.M.
- De suministro de materiales y montaje mecánico para la E.R.M. G-160 (80/16 bar).
- De suministro de materiales, y montaje de instalaciones eléctricas de fuerza y alumbrado para la E.R.M. G-160.

El diseño e instalación de la ERM G-160 tiene como finalidad la iniciación del proceso de adaptación del gas natural a la presión final utilizada por empresas y particulares en el Termino Municipal de Los Barrios (Cádiz), que puede bajar hasta 20 milibar (consumo doméstico), y la medición del caudal consumido por estos mismos con el fin de cobrar el transporte de gas natural utilizado.

En la E.R.M. G-160 la presión del gas natural se reduce a 16 bar y es conducido al punto de entrega (salida), para consumo industrial a 16 bar o para consumo doméstico a través de un distribuidor que cuenta con una E.R.M. propia para reducir la presión de 16 bar a 2 bar para su distribución domestica, contando los distintos hogares que reciben el gas con reguladores que disminuyen esta presión a 20 milibar.

Sin la existencia de dicha instalación, de la cual es objeto este Proyecto, no sería posible la reducción de la presión del gas para ser utilizado por empresas y particulares, y no se podría medir el caudal de gas consumido por estos.

3. VIABILIDAD DEL PROYECTO

3.1. Viabilidad técnica.

En el apartado 2 del presente Proyecto se exponen las causas por las cuales es necesario el diseño de una Estación de Regulación y Medida G-160 en el Término Municipal de Los Barrios, siendo la opción mas adecuada por las siguientes razones:

- 1) La necesidad de ENAGAS, siendo el Gestor Técnico del Sistema Gasista, de medir el gas transportado, para el cobro de una tarifa por garantizar la continuidad y la seguridad del suministro de gas, así como la coordinación entre los puntos de acceso, a las diferentes compañías distribuidoras que lo reciben.

- 2) La necesidad de reducir la presión del gas de 80 a 16 bar con el fin de poder adaptarlo para que pueda llegar de forma efectiva a las diferentes presiones de consumo.
- 3) Es la solución adoptada por ENAGAS, que cuenta con otras instalaciones, además de la diseñada en el presente Proyecto, de las mismas características o similares en otros puntos de la geografía española, utilizadas con el mismo fin y funcionando en perfectas condiciones.
- 4) La experiencia de ENAGAS en la gestión técnica del suministro de gas natural respalda con fuerza la tecnología utilizada en la presente instalación.
- 5) Otro factor que da credibilidad al proyecto es el hecho de que todos los equipos usados están garantizados, homologados y disponibles comercialmente.

3.2. Viabilidad legal.

La Estación de Regulación y Medida G-160 diseñada cumple con el Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos aprobado por Orden del Ministerio de Industria de 18 de Noviembre de 1974, modificado por las Ordenes del Ministerio de Industria y Energía de 26 de Octubre de 1983 y 6 de Julio de 1984, así como las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIG 5.1 y 5.2 “Canalizaciones de Transporte y Distribución de Gas en Alta Presión “A” y “B” e ITC-MIG 6.1 “Acometidas de Gas en Alta Presión”,

aprobadas en la Orden de 26 de Octubre de 1983 y modificadas por la Orden del 6 de Julio de 1984 y del 29 de Mayo de 1998.

La instalación cumple, además, con todas las disposiciones exigidas legalmente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo y Gestión de Residuos.

3.3 Viabilidad económica.

El coste total de la instalación asciende a 113192,8 € (CIENTO TRECE MIL CIENTO NOVENTA Y DOS EUROS CON OCHENTA CENTIMOS).

El costo de esta instalación no se puede repercutir en un balance económico con respecto a la empresa ENAGAS, puesto que dicho costo repercute en la distribuidora correspondiente objeto del servicio. Que en un momento dado pide un punto de entrega a ENAGAS del gasoducto de transporte con la correspondiente reducción de presión a 16 bares.

La E.R.M G-160 no supone ningún gasto para la Propiedad responsable de la ejecución del Proyecto, que será ENAGAS, siendo este costo asumido por la distribuidora en el T.M. de los Barrios.

Habría que evaluar el beneficio obtenido por la Distribuidora, que si comercializa el gas a los diferentes consumidores para afrontar el gasto de la E.R.M. G-160.

Con respecto a ENAGAS, solo asumiría los costes relativos al mantenimiento, seguridad y gestión de la instalación, al igual que en

todas las demás de las que dispone. El beneficio lo obtendría por el cobro de una tarifa a sus clientes, las distribuidoras, por el cumplimiento de estas funciones.

En conclusión, los gastos de los costes evaluados en el presupuesto del presente Proyecto son asumidos por la Distribuidora, suponiendo unas pérdidas de 0 € para la Propiedad, con el fin de obtener parte del beneficio global explicado en el párrafo anterior.

4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Gasoducto Tarifa-Córdoba como parte del Gasoducto Magreb - Europa, después de cruzar el Estrecho de Gibraltar entre las ciudades de Tanger y Tarifa, llega a las playas de Zahara de los Atunes y aboca en dos líneas de 22” en la Estación Terminal K01, primera posición del Gasoducto AL-Andaluz entre Tarifa y Córdoba. Partiendo de la K01 transcurre por los T.M. de Tarifa, Benalup, Medina Sidonia, Paterna de Rivera, Arcos de la Fra., Jerez de la Fra., Espera y Villamartín. Cruzando aquí el límite provincial con Sevilla donde continua, finalizando en Córdoba.

De la posición K02, parte el gasoducto que alimenta la Red del Campo de Gibraltar y transcurre en dirección SO por los T.M. de Tarifa, Los Barrios, San Roque, la Línea y Algeciras, en un 85% por el Parque Natural de los Alcornocales.

De la posición K11 parte el ramal que alimenta la Red de Jerez, y el Ramal en APA que alimenta la Red de Arcos de la Fra.

La instalación objeto de este proyecto forma parte de la Red del Campo de Gibraltar, que parte de la K02 en dirección NE para una vez cruzar la N-340, transcurrir en dirección E, SE, por el Parque Natural de los Alcornocales y terminar en la ESC K02.3 (TM de San Roque).

En esta Red se intercalan varias posiciones, siendo la K-02.02.A en la cual se encuentra instalada e intercalada la E.R.M. G-160 con planta de odorización para alimentar la Red de Los Barrios.

La posición K-02.02.A se sitúa al norte de la localidad de Los Barrios, en la provincia de Cádiz, en el paraje conocido como Cerro de Marcelo.

La localización exacta de la posición K-02.02.A, donde se encuentra la E.R.M. G-160, se puede observar en el plano de Ubicación Geográfica del presente Proyecto (ver Documento II).

5. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO, OROGRÁFICO Y GEOTÉCNICO DE LA ZONA

5.1. Climatología

El clima en la Provincia de Cádiz en la Parte Este y en especial NE, es de invierno algo riguroso y veranos de relativa frescura, por la influencia de las montañas. La parte occidental y sobre todo el sector SO, por el influjo de los vientos Atlánticos goza de inviernos templados y lluvias regulares. La costa gaditana tiene el mayor promedio solar de toda Europa con 8 horas diarias de sol al año.

5.2. Orografía

Las montañas de esta provincia forman parte del Sistema Penibético que desprendiéndose al O de Sierra Nevada, atraviesa la provincia de Málaga y se ramifica dirigiéndose al Sur, la Sierra Bermeja y Serranía de Ronda prolongándose por Sierra Almenara hasta Sierra Carbonera frente al Peñón de Gibraltar, otra rama se forma con la Sierra de Libar, unida a la de Ubrique, al cerro de San Cristobal (1716 m.) y Sierra del Pinar, conjunto del que se deriva hacia el Sur el alineamiento formado por Sierra Gallina, Cabras, loma de Sao, Sierra Gitana, loma del Padrón, Sierra de Sanona, Monte silla del Papa y Sierra de la Luna que van a morir al Estrecho de Gibraltar. Por último el ramal más septentrional está formado de E a O por la Sierra de Algodonales y Gibalbín. En resumen la parte Oriental resulta quebrada y montañosa y la Occidental llana.

5.3. Aspectos geológicos y excavabilidad de los materiales

Geológicamente, la posición K-02.02.A se sitúa en la parte suroccidental de las Cordilleras Béticas, las cuales se diferencian en varias unidades tectónicas, que en la zona de estudio son:

- Zona Bética
- Zona Subbética
- Otros elementos alóctonos (“Unidades Alóctonas del Campo de Gibraltar”)
- Terrenos Postorogénicos.

Se sitúan indistintamente sobre cualquiera de los anteriores, rellenando las depresiones intramontañosas.

En el área de la posición tan solo afloran materiales pertenecientes a las Unidades Alóctonas del Campo de Gibraltar, y materiales Pliocuaternarios.

Los primeros se pueden subdividir en varias unidades, entre las que destacan, por su extensión y por aflorar en las cercanías de la posición, las Areniscas del Aljibe, la Unidad de Paterna y un flysch margoareniscoso, perteneciente a la Unidad de Algeciras.

Este último, aflorante en el entorno y norte de Los Barrios es el término superior de una potente serie (más de 1000 metros), y son margas con alternancias rítmicas de areniscas micáceas, en las que se reconocen numerosas estructuras sedimentarias típicas de esta facies.

La Unidad de Paterna, de edad Cretácico superior a Oligoceno está formada esencialmente por arcillas y margas, con algunas pasadas delgadas de areniscas, calizas y brechas. Las arcillas presentan colores abigarrados, rojizos, azules y grises.

La mayor extensión la ocupa la Unidad del Aljibe, que diferencia dos series:

- La Inferior, arcillas abigarradas, con fragmentos hojosos de areniscas, calizas arenosas y microbrechas calcáreas.

- Los granos son de cuarzo y bien redondeados, de pequeño tamaño y con algunos cantos arcillosos. El cemento es limoso, y no muy consistente. Algunas asadas delgadas de arcillas grises y azuladas completan la serie.

En cuanto a los terrenos Postorogénicos en la zona aparecen materiales plicuaternarios. Los sedimentos de Edad Pliocena están constituidos por facies litorales detríticas (conglomerados, areniscas, arenas y limos). Afloran en el valle del Guadarranque y al norte de Los Barrios.

Los sedimentos cuaternarios están representados por facies marinas y continentales, aunque los más abundantes son éstos últimos, depósitos aluviales que tapizan el fondo y partes bajas de los valles de cierta entidad.

La posición K-02.02-A se sitúa sobre materiales de Edad Oligoceno – Mioceno, Flysch margo arenisco, margas con alternancia rítmica de areniscas micáceas, y presenta **excavabilidad FÁCIL**.

6. RELACIÓN DE BIENES Y DERECHOS AFECTADOS

6.1. Afecciones por Redes

La Red del Campo de Gibraltar, de la que forma parte la E.R.M. G-160 (dentro de la posición K.02.02-A), pertenece al conjunto de Redes de ENAGAS, teniendo que cumplir las siguientes reglas con respecto a los bienes y derechos afectados:

- Afecciones a Fincas Particulares

La afección a fincas particulares derivada de la construcción de este Proyecto, se concreta de la siguiente forma:

UNO.- Expropiación forzosa de los terrenos sobre los que se han de construir las instalaciones fijas en superficie.

DOS.- Para las canalizaciones:

A) Imposición de servidumbre permanente a lo largo del trazado de la conducción, con una anchura de dos metros, uno a cada lado del eje, por donde discurrirá enterrada la tubería y cables de telecomunicación y telemando que se requieran. Esta servidumbre que se establece estará sujeta a las siguientes limitaciones al dominio:

1.- Prohibición de efectuar trabajos de arada o similares a una profundidad superior a cincuenta centímetros, así como de plantar árboles o arbustos a una distancia inferior a dos metros a contar del eje de la tubería.

2.- Prohibición de realizar cualquier tipo de obras, construcción, edificación o efectuar acto alguno que pudiera dañar o perturbar el buen funcionamiento de las instalaciones, a una distancia inferior a cinco metros del eje del

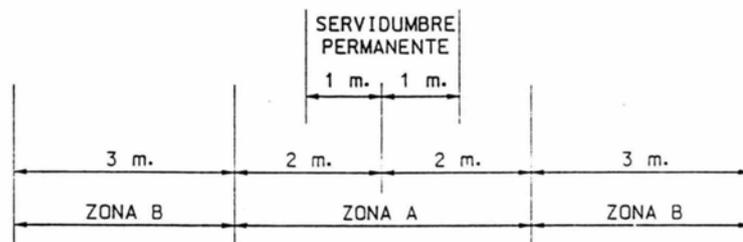
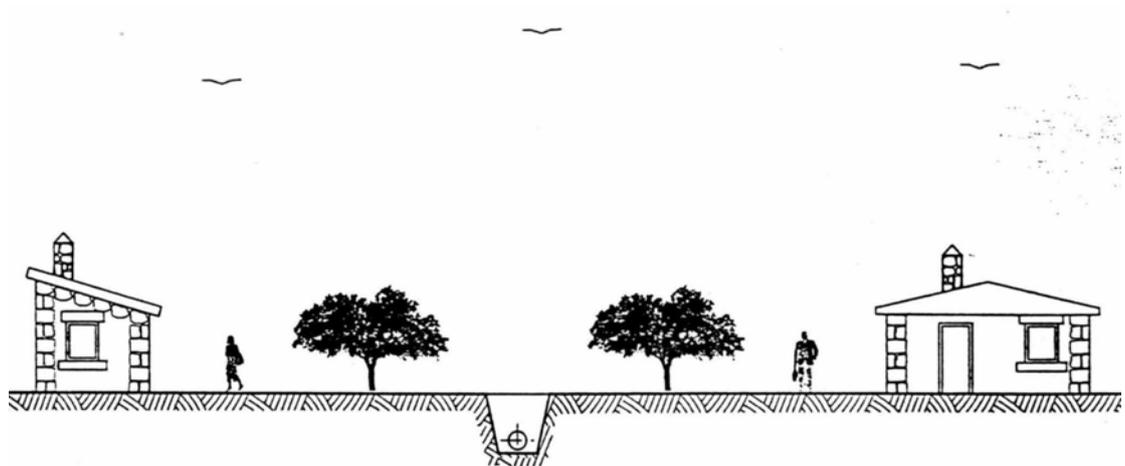
trazado, a uno y otro lado del mismo. Esta distancia podrá reducirse siempre que se solicite expresamente y se cumplan las condiciones que en cada caso fije el Órgano competente de la Administración.

3.- Libre acceso de personal y equipos necesarios para poder mantener, reparar o renovar las instalaciones con pago, en su caso, de los daños que se ocasionen.

4.- Posibilidad de instalar los hitos de señalización o delimitación y los tubos de ventilación, así como de realizar las obras superficiales o subterráneas que sean necesarias para la ejecución o funcionamiento de las instalaciones.

B) Ocupación temporal de los terrenos necesarios para la ejecución de las obras, de la franja que se refleja para cada finca en los planos parcelarios de expropiación. En esta Zona se hará desaparecer, temporalmente, todo obstáculo y realizarán las obras necesarias para el tendido e instalación de la canalización y elementos anexos, ejecutando los trabajos u operaciones precisas a dichos fines.

En el siguiente dibujo se resume la afección de este tipo de instalaciones:



SERVIDUMBRES

- SERVIDUMBRE PERMANENTE DE PASO DE LA INSTALACION, QUE COMPRENDE LA OCUPACION DEL SUBSUELO POR LAS CANALIZACIONES.
- DERECHO DE PASO DE PERSONAL Y OCUPACION TEMPORAL DEL TERRENO PARA ATENDER LA VIGILANCIA, CONSERVACION Y REPARACION DE LAS INSTALACIONES.

LIMITACIONES DE DOMINIO

ZONA A:

- PROHIBICION DE ARAR O CAVAR A PROFUNDIDAD MAYOR DE 50 cm.
- PROHIBICION DE PLANTAR ARBOLES Y ARBUSTOS DE TALLO ALTO.
- PROHIBICION DE REALIZAR OBRAS O EDIFICACIONES SIN PERMISO DE LA ADMINISTRACION.

ZONA B:

- PROHIBICION DE REALIZAR OBRAS O EDIFICACIONES SIN PERMISO DE LA ADMINISTRACION.

Figura 4. Zonas de servidumbre de paso en Ramales y Redes de Distribución

Fuente : Especificaciones Generales de ENAGAS

7. BASES DE DISEÑO

7.1. Características del Gas

En el anexo I de esta Memoria figuran las características del gas a consumir por los usuarios, objeto del presente Proyecto.

7.2. Datos Técnicos

Para el cálculo de la E.R.M. G-160 se han tomado los siguientes datos base:

7.2.1. Presiones

- Presión de diseño: 80 bar (ANSI 600#) en el lado de entrada de la E.R.M. G-160.
- Presión de diseño: 16 bar (ANSI 150#) en el lado de salida de la E.R.M. G-160.

7.2.2. Temperaturas

- Temperatura del gas para diseño: +15 °C.
- Temperatura de salida de la E.R.M.: +5 °C ±2 °C.

7.2.3. Caudal

La instalación proyectada para la E.R.M. G-160 ha sido para el caudal de 4250 m³(n)/h (por línea), que servirá para los consumos iniciales de 3000 m³(n)/h y posteriores ampliaciones dentro del Termino Municipal de Los Barrios en la Provincia de Cádiz.

8. NORMAS DE PROYECTO

Las normas nacionales e internacionales que se han aplicado y tenido en cuenta para la elaboración de este proyecto son:

- Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos aprobado por Orden del Ministerio de Industria de 18 de Noviembre de 1974, modificado por las Ordenes del Ministerio de Industria y Energía de 26 de Octubre de 1983 y 6 de Julio de 1984, así como las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIG 5.1 y 5.2 “Canalizaciones de Transporte y Distribución de Gas en Alta Presión “A” y “B” e ITC-MIG 6.1 “Acometidas de Gas en Alta Presión”, aprobadas en la Orden de 26 de Octubre de 1983 y modificadas por la Orden del 6 de Julio de 1984 y del 29 de Mayo de 1998.
- Normas UNE
- Normas ANSI
- Normas API

- Normas ASTM

Dichas normas se han aplicado en los siguientes casos:

- Proyecto de la línea: respeta, en todo momento, lo indicado en las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC MIG 5.1, 5.2 e ITC-MIG 6.1, complementadas fundamentalmente con la norma ANSI B-31.8.
- Proyecto de la E.R.M.: Respetar en todo momento lo indicado en la ITC-MIG-7.1. Estaciones de Regulación y /o Medida para presiones de entrada superiores a 12 bar.
- La tubería se especifica de acuerdo con los requerimientos exigidos en las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIG 5.1 y 5.2, empleando como norma básica la API 5L. En general el material utilizado es el grado B de dicha norma.
- Las válvulas de seccionamiento de la línea cumplen los requisitos exigidos en las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIG 5.1, 5.2 e ITC-MIG 6.1.
- La clasificación de las zonas atravesadas por la conducción (categorías de emplazamiento) se ha realizado según los criterios de la norma UNE 60.302.
- El cálculo del espesor de la tubería se ha realizado según los criterios de las normas UNE 60.305 y 60.309, y las

- Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIG 5.1. y 5.2.
- Homologación de los procedimientos de soldadura, calificación de soldadores e inspección radiográfica de acuerdo con el apartado 5 “Construcción” de las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIG 5.1. y 5.2.
 - Los cambios de dirección de la canalización se proyectan de acuerdo con el apartado 5.8 de las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIG 5.1. y 5.2, y siguiendo las recomendaciones de la norma ANSI B-31.8.
 - Las medidas adoptadas sobre protección externa contra la corrosión cumplen las disposiciones del apartado 3.4 de las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIG 5.1. y 5.2.
 - La profundidad de enterramiento y protecciones en condiciones normales, y en los cruces con obras viarias y otras conducciones, cumplen los requisitos del apartado 3.3 de las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIG 5.1. y 5.2, complementadas con la norma API RP-1102.
 - Pruebas de resistencia mecánica y estanqueidad de la conducción, de acuerdo con el apartado 6 de las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIG 5.1 y

5.2. Las presiones de prueba prescritas se respetarán escrupulosamente.

- Las tuberías de los by-passes, en su caso, de las válvulas de seccionamiento, se especifican según la norma API 5L y se han dimensionado de acuerdo con UNE 60.309.
- En el proyecto de instrumentación, en su caso, se utiliza:
 - 1) API RP-550 sobre montaje general de instrumentación.
 - 2) NEC-NEMA sobre cableado eléctrico de conexiones y protecciones de instrumentos electrónicos.
 - 3) ISA sobre simbología utilizada.
- El control sobre la arena y tierras de aportación se realizará según el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes del MOPU.
- Los accesorios cumplen el apartado 4.2 de las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIG 5.1 y 5.2, y se especifican de acuerdo con las normas aplicables indicadas en la relación siguiente:

<u>ACCESORIOS</u>	<u>NORMA</u>	<u>NORMA</u>	
	<u>DIMENSIONAL</u>	<u>MATERIALES</u>	
- Weldolets	s/ Catálogos	GN-16	GN-72/80
- Acoplam. para bridas	ANSI B-16.5	ASTM A-105	A-694
	ANSI B-16.20	ASTM A-105	
- Bridas p/soldar a tope	ANSI B-16.5	ASTM A-105	MSS-SP44
- Bridas p/soldar a solape	ANSI B-16.5	ASTM A-105	A-105
- Bridas ciegas	ANSI B-16.5	ASTM A-105	A-105
- Juntas para bridas	API St.601		
	ANSI B-16.5 }	AMIANTO	AISI 304
	ANSI B-16.21		
- Pernos	ANSI B-16.5	ASTM A-193 B7	ASTM-A-193B7
- Tuercas	ANSI B-18.2.2	ASTM A-194 2H	ASTM-A-1942H
- Codos a 90° y 45°	ANSI B-16.9	ASTM A-234	MSS-SP75
- Reducciones concéntr.	ANSI B-16.9	ASTM A-234	MSS-SP75
- Reducciones excéntric.	ANSI B-16.9	ASTM A-234	MSS-SP75
- Fondos	ANSI B-16.9	ASTM A-234	A-694
- Accesorios para soldar a solape:	ANSI B-16.11 y catálogos de los constructores	ASTM A-105	A-105
. Codos			
. Tes			
. Cruces			
. Manguitos			
. Tapones			
. Reducciones			
. Sockolets			
- Accesorios roscados	ANSI B-16.11 y catálogos de los constructores	ASTM A-105	A-105
. Codos			
. Tes			
. Cruces			
. Manguitos			
. Tapones			
. Reducciones			
. Thredolets			
- Nipples reductores	s/Catálogos	API 5L	API 5L
- Nipples	ANSI B-36.10	API 5L	API 5L
- Tes	ANSI B-16.9	ASTM A-234	MSS-SP75

Tabla 2. Normas aplicables a los accesorios de la E.R.M

Fuente: Especificaciones generales de ENAGAS

8.1. Relación de Normas utilizadas

A continuación se relacionan los códigos y normas adoptados en el proyecto y que complementan al Reglamento:

1. Aplicación general

- Norma UNE 60.302, para la clasificación de las zonas atravesadas por la conducción (categorías de emplazamiento).
- Norma UNE 60.305, para las zonas de seguridad y coeficiente de calculo, según la categoría de emplazamiento.
- Código ANSI / ASME B-31.8. Gas Supply Systems.
- Los Decretos sobre Seguridad y Salud Laboral, RD 1627/1997 de 24 de Octubre.

2. Obra mecánica

- Norma UNE 60.309, para el cálculo del espesor de la conducción.
- Especificación API 5L, para el material de la conducción.
- Estándar API 1104, para la soldadura.

- Código ANSI / ASME, Sección II para el material de la soldadura.
- Código ANSI / ASME, Sección V para los ensayos no destructivos.
- Código ANSI / ASME, Sección IX para las homologaciones de los procedimientos de soldadura y de los soldadores / operadores.
- Estándar API-6D, para las válvulas de bola y de macho de $\varnothing \geq 2''$
- Estándar BS-5351, para las válvulas de bola y de aguja de $\varnothing < 2''$
- Estándares BS-1873 y 5352, para las válvulas de asiento.
- Estándar API 526, para las válvulas de seguridad.
- Estándares ANSI / ASME B-16.9 y MSS-SP-75, para accesorios de tubería: codos, té, reducciones, etc., de acero al carbono y de alto límite elástico, respectivamente.
- Estándares ANSI / ASME B-16.9 y MSS-SP-44, para bridas de acero al carbono y de alto límite elástico, respectivamente.

- Estándar API-R.P. 5L2, para el revestimiento interno a base de resina epoxy.

3. Obra civil

- EHE “Instrucción de Hormigón Estructural”.
- Normas Básicas de la Edificación NBE.
- Normas Tecnológicas de la Edificación NTE.

4. Obra eléctrica

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión de 02/08/02 (RD 842/2002) e ITC BT.01 a BT.51.
- UNE-EN 60079-10 de 1997. Material eléctrico para Atmósferas de Gas Explosivas. Parte–10.

Clasificación de Emplazamientos Peligrosos.

8.2. Especificaciones de materiales

TUBERÍA

Será fabricada e inspeccionada bajo la norma API 5L en grado B.

Todas las tuberías de 2” y mayores serán soldadas a tope BW con bisel, según API 5L, siendo de aplicación el Apéndice I del Código ANSI B-31.8 para la conexión de tubos de diferentes espesores.

En el apartado 9.4 “Características de la Conducción”, se indican los espesores para las distintas categorías (1ª a 4ª) de emplazamiento, que deberán reflejarse en los planos de diseño para su correcta medición.

BRIDAS.

Serán fabricadas e inspeccionadas bajo las Normas ANSI B-16.5 y ASTM A-105.82.

ACCESORIOS

Soldados a tope (BW) para \varnothing 2“ y mayores, y enchufe y soldadura SW para \varnothing 1-1/2” y menores.

Serán fabricados e inspeccionados bajo las Normas ANSI B-16.9 para un $LE \leq 240$ Mpa, material ASTM

A-234 WPB, y según MSS-SP75 para un $LE > 240$ Mpa, material WPHY-42 hasta WPHY-70.

Forjados para $DN < 2$ “ para soldar a enchufe (SW) o para roscar $THD < 2$ “. Serán fabricados e inspeccionados bajo las normas ANSI B-16.11 en clase 600# y Sch-80 para los SW, y Sch-160 para los THD.

ACCESORIOS FORJADOS PARA DERIVACIONES (BW, SW, THD)

Serán diseñados según ANSI B-31.8.

El material para accesorios BW será ASTM A-105 o ASTM A-694 F42, 46, 60 o 70.

Para accesorios SW y THD el material será siempre ASTM A-105.

JUNTAS ESPIROMETÁLICAS

Serán fabricadas según ANSI B-16.21 en fibra reforzada de 2 mm de espesor y dimensiones S/ ANSI B-16.21.

JUNTAS AISLANTES

Las juntas de aislamiento serán del tipo monoblock.

PERNOS Y TUERCAS

Serán fabricados e inspeccionados bajo las normas ASTM A-193 y A-194.

VÁLVULAS DE BOLA

Serán en general para servicio aéreo y de paso reducido, de la serie ANSI 600# o ANSI 150#, según corresponda, con extremos para embridar RF, y además:

- Las que vayan unidas directamente a la línea principal serán específicamente de paso reducido, con sus extremos para soldar a tope y de la serie ANSI 600#.

- Las que se utilicen para aislamiento de la línea de inyección de odorizante serán específicamente de paso total, de la serie ANSI 150# y con sus extremos para embridar RF.

VÁLVULAS DE ASIENTO

Las válvulas de asiento utilizadas en los by-passes de emergencia para la regulación manual de las E.R.M., cuando existan, serán de la clase ANSI 600# y con sus extremos para embridar RF. Estas válvulas son siempre aéreas.

VÁLVULAS DE SEGURIDAD

Las válvulas de seguridad, instaladas para proteger las salidas a las redes de distribución durante las operaciones de regulación manual de los by-passes de emergencia de las E.R.M., serán del tipo de muelle comprimido con sus extremos para embridar RF. Serán de la clase ANSI 150# a la salida, mientras que a la entrada dependerá del diámetro.

VÁLVULAS DE AGUJA

Las válvulas de aguja, utilizadas para aislar las líneas de instrumentos o de gas para actuadores neumohidráulicos, serán de la clase ANSI 600# y con sus extremos para soldar a enchufe.

VÁLVULAS DE COMPUERTA

Según las especificaciones se utilizan para el circuito de agua.

Son de cuerpo de acero al carbono, bridas PN-16, las mayores de 1", y las menores o iguales roscadas y con cuerpo de bronce.

VÁLVULA DE REGULACIÓN (Seguro de corte VIS)

Serán para GN-80 rating 600# con extremos RF, para transporte del gas entre -20 °C y +60°C, con rearme manual. El cuerpo será en ASTM A-105 Gr 1, globo en UNI 663 y los asientos en Buna-N.

VÁLVULA DE REGULACIÓN (VCP)

Serán para GN-80 rating 600# con extremos RF.

El cuerpo será en ASTM-A-A105 Gr.1, la clapeta en INOX y la membrana de nitrilo o similar.

JUNTAS AISLANTES

Al igual que las válvulas, la combinación entre las características mecánicas del material de las juntas y su espesor serán equivalentes a las de la línea de tubería en donde van insertadas. Cuando se requiere, las juntas irán provistas de manguitos de transición que servirán para acomodar las diferencias entre las propiedades mecánicas de las válvulas y del tubo.

9. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

9.1. Descripción general de la E.R.M. APB/APA G-160 de 4250 m³(n)/h

Tanto la E.R.M. como las canalizaciones de entrada y salida, se diseñan para un caudal nominal de 4250 m³(n)/h suministrada por cada una de las dos (2) líneas de regulación iguales y equipadas, siendo la 2^a de reserva y existiendo la posibilidad de instalar una tercera, que se queda en este proyecto en bridas.

La Estación de Regulación y Medida G-160 equipada con contador de turbina en las dos líneas esta diseñada para un caudal nominal de 4250 m³(n)/h por línea, para una salida regulada a 16 bar máx.

La E.R.M. estará formada por un recinto en el cual se instalarán los conjuntos de filtrado, calentamiento, regulación, medida, by-pass de medida, además de las válvulas de aislamiento en la entrada y salida de cada línea.

Igualmente se instalará en este recinto el conjunto de regulación y medida para el fuel-gas de las calderas.

El recinto de la E.R.M. APB/APA será un edificio aéreo, con cubierta de chapa, muros de ladrillo visto y bloque sobre cimentación de hormigón armado. Al mismo se accede desde el exterior a través de puertas normalizadas de doble hoja metálicas y de una hoja para peatones.

Sobre los muros y petos del edificio se colocan las rejillas de ventilación.

El nivel acústico máximo será de 80 dBA para las condiciones más desfavorables, a máximo caudal. En el caso de ser precisos se instalarán los elementos complementarios que aseguren el nivel acústico indicado.

Todos los trabajos concernientes a la instalación y a sus canalizaciones asociadas se realizarán según los requerimientos que establece el Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos en sus instrucciones indicadas anteriormente.

9.2. Obra civil, edificio para E.R.M. APB/APA

El recinto de la E.R.M. se sitúa en una zona vallada en el TM de Los Barrios (Cádiz). Dentro del recinto de la E.R.M. compartimentado se encuentra además la sala de calderas y la sala de control.

a) Normativa Aplicable

En la realización del Proyecto, se han considerado las siguientes normas e instrucciones de obligado cumplimiento:

- Acciones en la edificación

1) NBE.AE.88. Acciones en Edificación (1988)

2) NCSE-94. Norma Sismorresistente.

Para Los Barrios: Intensidad de grado < IV (Baja)

Aceleración sísmica básica < 0,04 g

K = (1,3)

- Estructuras de acero

1) NBE.EA/95. Estructuras de Acero en la Edificación.

- Estructuras de hormigón

1) Instrucción de Hormigón Estructural EHE.

- Estructuras de ladrillo

1) Muros Resistentes de Fábrica de Ladrillo (FL-90).

- Electricidad

1) “Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión” del 02-08-02 (RD 842/2002).

- Protección contra incendios

1) NBC-CPI-91 “Condiciones de Protección contra Incendio en los Edificios” Decreto 10-4-1981, B.O.E. 18/19-7.1981

- Redes y acometidas de combustibles gaseosos.

1) Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos, Orden de 26-10-83.

b) Descripción de la edificación

La edificación objeto de este proyecto tendrá unas dimensiones en planta de 13,65 x 8,71 metros (ext) y una altura libre de 3,15 metros. Consta fundamentalmente de tres compartimentos separados entre sí que se denominan:

b.1) Zona de gas

Con unas dimensiones interiores de 8,80 x 8,11 metros donde van alojadas las instalaciones de regulación y medida de gas, y que dispondrá en sus paredes de rejillas para la ventilación.

b.2) Zona eléctrica y de instrumentación

Con unas dimensiones de 3,75 x 3,40 metros (int) donde van ubicados los cuadros eléctricos y de control e instrumentos de la instalación.

b.3) Zona de calderas

Con unas dimensiones de 4 x 3,50 metros (int) donde van alojadas las calderas y las bombas de agua caliente, así como el cuadro de control y protección de esta instalación.

c) Características de la construcción

La construcción se realizará a base de los siguientes elementos, cuyos detalles constructivos se indican en los planos.

c.1) Excavaciones y rellenos

Se vaciará cada zapata hasta la cota indicada de $-0,95$, realizando un relleno con material adecuado y una compactación de la superficie de apoyo de la misma.

Se excavarán los pozos para que el apoyo de la cimentación de zapatas sea de $-0,95$ m.

c.2) Cimentaciones

A realizar con hormigón en masa de una resistencia característica en probeta cilíndrica a los 28 días $\sigma = 25$ N/mm² y armaduras de acero para armar $\sigma > 500$ N/mm².

c.3) Estructura

Los muros y cerramientos estarán formados por doble pared.

La pared exterior será de ladrillo hidrófugo macizo de un pie de espesor, con acabado visto en ocre y la pared interior de bloques macizos de mortero de cemento acabado visto.

El espesor mínimo del conjunto será de 30 cms.

Al objeto de dar mayor rigidez al edificio, y por seguridad, se dispondrán pilastras de 36 x 36 cm de ladrillo, rellenas de hormigón HM-25, cuya disposición se encuentra en los planos.

El hormigón de la estructura es HA-25.

La jácena (viga transversal) estara formada por un perfil de acero IPN-280 con la situación que se indica en los planos.

c.4) Cubierta

La cubierta será del tipo aligerado y estará formada por doble plancha de acero grecada galvanizada con aislamiento intermedio de fibra de vidrio de 60 mm de espesor.

La soportación de la cubierta se realizará mediante correas de perfiles Z de acero laminado de 200 mm de alto y 2 mm de espesor, apoyadas en la jácena y muros perimetrales.

La unión y fijación de la cubierta a las correas y a las jácenas se realizará mediante los elementos apropiados cuyos detalles están indicados en los planos.

c.5) Pavimentos

Los pavimentos interiores de la E.R.M. y del edificio de calderas son de hormigón en masa, de un espesor de 15 cms, y resistencia característica $\sigma = 25 \text{ N/mm}^2$ fratasado y con tratamiento superficial antipolvo.

En el piso de la zona de control e instrumentación el hormigón está cubierto con losetas de gres de 30 x 30 cms.

El pavimento de la acera perimetral exterior de 1,5 m. será de taco de hormigón de 15 x 15 cms. Todas las cimentaciones se realizarán sobre la base de hormigón sobre

la que se ha extendido una pequeña capa de arena de nivelación para asiento.

c.6) Carpintería de taller

Las diferentes puertas a instalar se realizarán en taller, debiendo ser resistentes al fuego, de tipo RF-30 como mínimo. Los marcos serán metálicos, recibidos en obra con el hormigón de los muros, y dispondrán de una junta o burlete de goma entre la puerta y el marco para evitar chispas en las maniobras de cierre y / o apertura. Tendrán cerradura de resbalón con manillón por el interior y llave por el exterior, que será común para todas las puertas. Todas las puertas abrirán hacia el exterior, 180° y estarán dotadas de freno que permita mantenerlas abiertas.

c.7) Instalación Eléctrica.

La instalación eléctrica se realizará de acuerdo con la norma UNE-EN 60079-10 de 1997. Material Eléctrico para Atmósferas de Gas Explosivas. Parte – 10. Clasificación de Emplazamientos Peligrosos, que califica la zona de gas como Clase 1 y no califica las zonas de calderas y de control eléctrico e instrumentación; cumpliéndose las partes aplicables del vigente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión de fecha 02-08-2002 y las Instrucciones Complementarias BT .01 a BT.51.

c.8) Obras Auxiliares.

Se realizarán, por necesidades específicas de la instalación, una serie de obras auxiliares dentro de las casetas, tales como:

- Pasamuros para cables eléctricos, con prensa y sellado final.
- Venteos, con pasamuros y sellado.
- Drenajes, con pasamuro y sellado final.

Cuyos detalles constructivos se pueden ver en los planos del Proyecto.

c.9) Ventilación

Dadas las características específicas de los elementos a alojar en esta edificación y para evitar la acumulación de gases, los cerramientos anterior y posterior tendrán aberturas de ventilación provistas de rejillas formadas por un cerco metálico y lamas. La superficie total de las rejillas de ventilación de la zona de gas será del 3% de la superficie total de la zona como mínimo, repartidas por igual entre las dos fachadas opuestas, debiendo estar las de la fachada del lado de calderas en la parte inferior de la misma y las opuestas en la parte superior de la misma, para provocar una corriente de aire y evitar acumulaciones de gas en el caso de producirse alguna fuga. En la zona eléctrica y de control la

superficie de ventilación será del 0,5% de la superficie en planta del recinto.

En la zona de calderas y de acuerdo con la norma correspondiente se evacuarán los humos de la combustión por chimeneas, disponiéndose en la pared de las rejillas de ventilación.

En todos los huecos de ventilación se colocarán bastidores con tela metálica para evitar entrada de pájaros e insectos.

Las rejillas inferiores se situarán en las puertas y la instalación superior será por el hueco existente entre los muros y la cubierta.

c.10) Cerramiento de tela metálica

La delimitación de la posición K-02.02.A, donde se encuentra instalada la E.R.M. G-160, se hará mediante cerramiento de tela metálica.

c.11) Acceso para vehículos y peatones

Se deberá disponer de una puerta de acceso para vehículos y otra para peatones, que serán intercaladas en el cerramiento de tela metálica de la posición K-02.02.A.

Los detalles de dichos accesos se pueden observar en los Planos del Proyecto.

9.3. Obra mecánica E.R.M. APB/APA

En el recinto se ubicará el sistema de regulación y medida para la E.R.M. de 4250 m³ (n)/h, compuesto por dos líneas de regulación y medida, y la previsión en bridas para una tercera sin equipar. Cada línea de regulación estará constituida básicamente por los elementos que a continuación se relacionan, ordenados según el sentido de circulación del gas:

- Colector de entrada a E.R.M.
- Válvula de entrada de la línea.
- Filtro.
- Intercambiador.
- Válvula de corte automático por sobrepresión de salida.
- Regulador monitor.
- Regulador activo.
- Línea de medida con turbina G-160.
- Derivación para by-pass de contraste.
- Válvula de salida de línea.
- Colector de salida de medida.

La válvula de corte automático por sobrepresión de salida podrá ser incorporada al cuerpo del regulador, siempre y cuando tenga elementos de control y cierre totalmente independientes.

La E.R.M. definida, para la presión de entrada de 80 bar (APB) y salida de 16 bar máx. (APA), es de 4250 m³(n)/h por línea (una línea en operación, una en reserva y otra en bridas sin equipar). La entrada se realizará en Ø 3" con 3 derivaciones en Ø 2" para las líneas de regulación, de las que se equipan dos, quedando la tercera con las válvulas de entrada y salida y brida ciega.

Cada línea consta de válvula de bola de Ø 2" 600# PAL de aislamiento, filtro de Ø 2" con dos válvulas de drenaje de Ø 3/4" y manómetro diferencial, intercambiador de calor de conexiones de Ø 2" RF 600# y potencia calorífica de 65.000 Kcal/h, colector para acoplar regulador con seguro de corte VIS de Ø 1" 600#, carrete de ajuste con salida para manómetro y regulador de Ø 1" 600#, con salida de la regulación en un colector de Ø 3" de longitud adecuada para laminar el flujo, tomando gas para la regulación a través de un colector de Ø 1½" y tubing de Ø 1/2" para suministro a filtros, actuadores, reguladores, etc.

En este colector de salida de Ø 3" se colocará una válvula de alivio y es el origen de cada línea de medida con una longitud adecuada para no crear turbulencias, intercalando en cada una de ellas el contador de turbina G -160 RF con corrector incorporado.

Al final de la línea se realiza el by-pass en Ø 3" con válvula de bola PT 150# y figura en 8 con la otra línea de medida.

El final de cada línea de medida es una válvula de Ø 3" PR 150# PAL RF, uniendo las líneas con un colector común de Ø 4" que termina en brida WN 150# RF 4" dentro de la E.R.M., previa colocación de la junta aislante monobloc.

Los escapes de regulación, fuga o vaciado de la E.R.M. que se produzcan se conducen hasta el exterior del edificio de la E.R.M.

Las características dimensionales y de diseño de los diferentes elementos anteriormente relacionados serán las indicadas en el Anexo II de la Memoria.

9.3.1 Válvulas de entrada y salida de línea

Estas válvulas tendrán por objeto permitir aislar las líneas independientemente con el fin de facilitar los trabajos de mantenimiento.

Estas válvulas serán del tipo y diámetro indicados en el Anexo II de la Memoria, para la entrada de Ø 2" RF PR Rating 600# PAL y salida de Ø 3" RF PR Rating 150# PAL, según ANSI.

9.3.2 Filtro principal

9.3.2.1. Clarificación de gases

La necesidad de eliminar el polvo y la niebla en suspensión en los gases aparece no solo en el tratamiento del gas procedente de ciertos procesos antes de descargarlo en la atmósfera, sino también en aquellas operaciones en las que sólidos o líquidos son transportados o arrastrados por una corriente de gas o de vapor. Así, en un evaporador a menudo es

necesario separar pequeñas gotas arrastradas por el vapor, y en una planta en la que tenga lugar la fluidización de un sólido es necesario separar las partículas finas, en primer lugar para evitar la pérdida de material y en segundo lugar para impedir la contaminación del producto gaseoso.

Mientras que las partículas relativamente grandes con velocidades de sedimentación mayores de 0,3 m/s se separan fácilmente por sí solas de una corriente de gas, las partículas finas tienden a seguir el mismo camino que el gas, resultando por tanto la separación difícil. En la práctica, las partículas de polvo pueden tener un diámetro medio de una centésima de milímetro, y una velocidad de sedimentación de aproximadamente 0,003 m/s, por lo que un sencillo recipiente de sedimentación debido al tiempo extraordinariamente largo requerido para la separación, y debido también al gran tamaño de la instalación necesario para tratar una cantidad dada de gas.

Los principales problemas involucrados en la separación de partículas de una corriente de gas han sido definidos por Ashman, y más recientemente por Stairmand, quienes observan que los motivos principales que impulsan a la separación de partículas de una corriente efluente de gas son:

- a) Higiene de los operarios de la planta y de la población de los alrededores. Se ha establecido que el peligro principal es debido a la inhalación de partículas de polvo, estando comprendida la gama más peligrosa de tamaños entre 0,5 y 3 micras.

b) Para eliminar el riesgo de explosiones. Un cierto número de materiales carbonosos y metales finamente pulverizados dan lugar a mezclas explosivas con el aire, pudiendo propagarse la llama a grandes distancias.

c) Para evitar la pérdida de materiales valiosos.

d) Porque el gas puede necesitarse para su utilización en un proceso posterior, como por ejemplo los gases de altos hornos usados para calefacción.

9.3.2.2. Selección del equipo clarificador

Los equipos de separación pueden estar basados en uno o más de los siguientes principios, y en algunas plantas resulta difícil establecer la importancia relativa de cada uno:

a) Sedimentación por gravedad.

b) Separación centrífuga.

c) Procesos de inercia o cantidad de movimiento.

d) Filtración.

e) Precipitación electrostática.

f) Lavado con un líquido.

g) Aglomeración de las partículas de sólido y coalescencia de las pequeñas gotas de líquido.

Para la E.R.M. G-160, se utilizará la filtración para la separación de las partículas de polvo y de pequeños condensados que se puedan formar en el gas natural, con el objeto de no dañar la turbina utilizada para la medición de caudal en cada línea.

9.3.2.3. Filtros de eje vertical de cartucho

Hay dos grandes tipos:

a) Metafiltro

El Metafiltro, que emplea un lecho filtrante depositado sobre la base de anillos colocados sobre un vástago acanalado, es ampliamente utilizado para la clarificación de líquidos, conteniendo pequeñas cantidades de sólidos finos en suspensión. Los anillos son cuidadosamente estampados en chapa metálica de espesor muy uniforme, construyéndose un gran número de metales resistentes a la corrosión, aunque normalmente se emplea el acero inoxidable. Los anillos normales tienen 22 mm de diámetro externo, 16 mm de diámetro interno y 0,8 mm de espesor, y están dentados por uno de los lados, según se muestra en la **figura 5**, de manera que los bordes de los discos están separados por una distancia de entre 0,025 y 0,25 mm, según las exigencias. El relleno se forma colocando los anillos, todos con la misma cara hacia arriba, sobre el vástago de drenaje y apretando el conjunto mediante una tuerca situada en un extremo y el reborde del otro extremo (**figura 6**). Los conjuntos de anillos se instalan en el

cuerpo del filtro que funciona por medio de presión positiva o reducida.

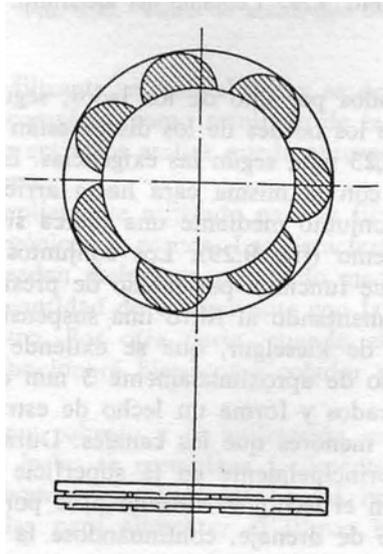


Figura 5. Anillos de un Metafiltro

*Fuente: Ingeniería Química, Operaciones Básicas; de J.M. Coulson y
J.F. Richardson*

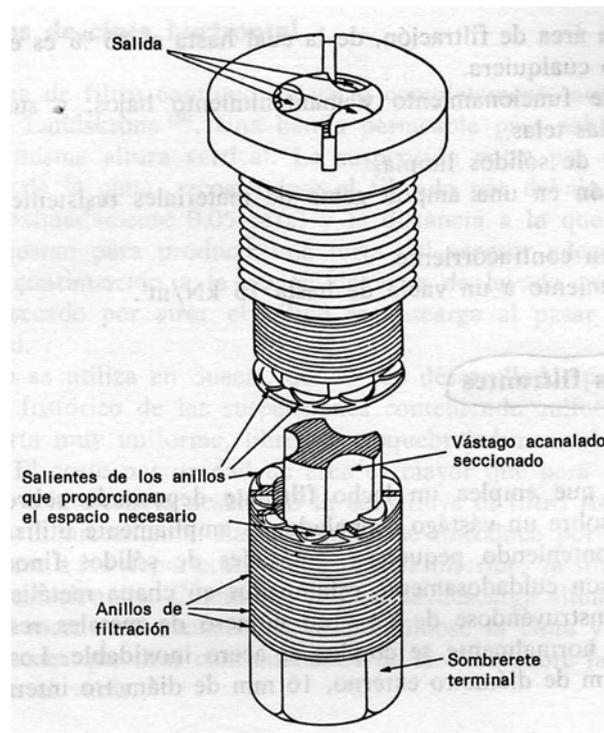


Figura 6. Conjunto del Metafiltro

Fuente: Ingeniería Química, Operaciones Básicas; de J.M. Coulson y J.F. Richardson

El lecho se forma alimentando al filtro una suspensión diluida de material, normalmente una forma de kieselgur, que se extiende sobre los paquetes de anillos formando un lecho de aproximadamente 3 mm de espesor. El kieselgur existe en una serie de grados y forma un lecho de estructura porosa capaz de retener partículas mucho menores que los canales. Durante la filtración los sólidos quedan retenidos principalmente en la superficie y generalmente no penetran más de 0,5 mm en el lecho.

El filtrado pasa por entre los discos y sale por el vástago acanalado de drenaje, continuándose la operación hasta que la resistencia es demasiado elevada. El filtro se lava entonces en contracorriente; esto hace que la torta filtrante se resquebraje y se desprenda. En algunos casos el lavado puede ser incompleto, como resultado de la canalización. Si por cualquier motivo el espacio entre los anillos queda obturado, los anillos pueden retirarse y lavarse fácilmente.

El Metafiltro es ampliamente utilizado para la filtración de agua doméstica, cerveza, disolventes orgánicos y aceites.

Las características de filtración de los materiales arcillosos pueden mejorarse a menudo mediante la introducción continua de una pequeña cantidad de coadyuvante con la suspensión, a medida que ésta penetra en el filtro. Por otra parte, cuando el sólido en suspensión es grueso, el Metafiltro funcionará bien como colador sin la utilización de lecho filtrante.

El Metafiltro es muy robusto y de utilización muy económica, ya que no hay tela filtrante y el lecho se reemplaza fácilmente. Los gastos de mano de obra son bajos.

Para los aceites lubricantes se dispone de un tipo de filtro completamente diferente (**figura 7**). En él se utilizan hojas o “bolsas”, en las que dos papeles filtrantes, de 100 mm de diámetro y unidos por el borde, encierran a un soporte de drenaje que consiste en dos delgados discos metálicos perforados, cuyas superficies interiores se mantienen separadas mediante los

salientes resultantes de la perforación. En el centro de las hojas, que están instaladas sobre una tubería de drenaje, existe un agujero de 16 mm de diámetro. La filtración tiene lugar sobre toda la superficie de los papeles, estando éstos tan bien soportados que aplicarse presiones muy elevadas, de hasta 1400 kN/m^2 , sin provocar la rotura del papel. La filtración es muy fina, pudiéndose separar partículas muy finas de carbón en suspensión en aceite de motores, y obteniéndose en un pequeño volumen áreas de superficie de filtración muy grandes, de hasta $0,2 \text{ m}^2$ en un cilindro de 100 mm de diámetro y 25 mm de profundidad.

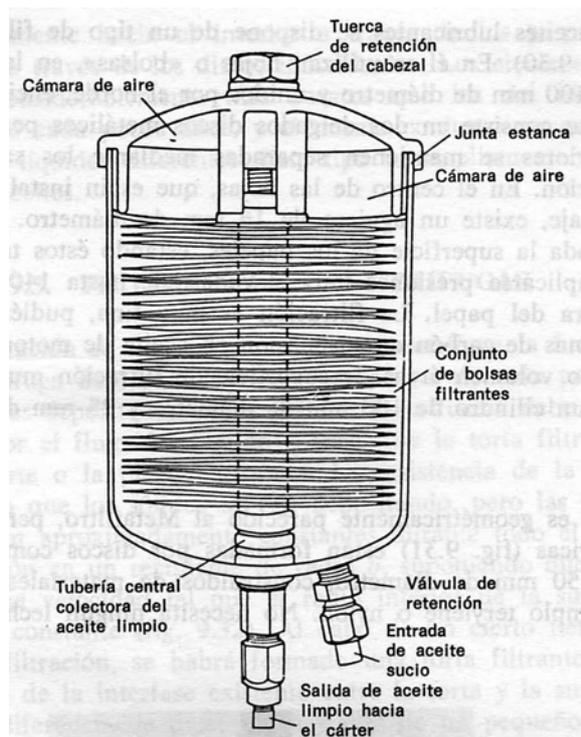


Figura 7. Filtro de aceite tipo Metafiltro

Fuente: *Ingeniería Química, Operaciones Básicas*; de J.M. Coulson y J.F. Richardson

b) Filtro laminar

Este filtro es geoméricamente parecido al Metafiltro, pero las unidades filtrantes cilíndricas (**figura 8**) están formadas por discos comprimidos de aproximadamente 50 mm de diámetro, contruidos de materiales sintéticos tejidos, como por ejemplo terylene o nylon. No necesita ningún lecho filtrante y el líquido fluye radialmente hacia el interior a través de los pequeños espacios existentes entre y a través de los discos individuales. Los elementos filtrantes o “paquetes” son considerablemente más baratos que los del Metafiltro, pero deben reemplazarse cada pocos años, y el mismo conjunto no puede utilizarse para filtrar varios líquidos diferentes. Este tipo es ampliamente utilizado para filtrar petróleo y aceites.

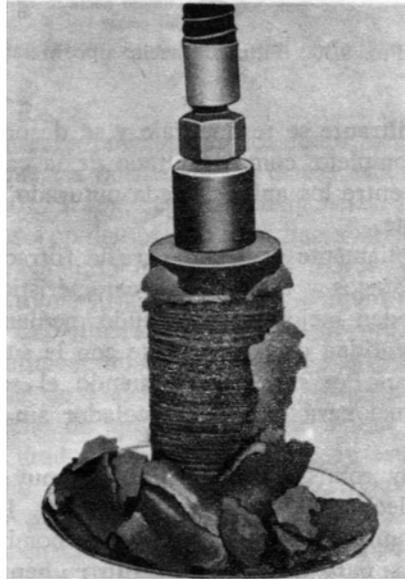


Figura 8. Conjunto filtrante laminar

*Fuente: Ingeniería Química, Operaciones Básicas; de J.M. Coulson y
J.F. Richardson*

9.3.2.4. Descripción del filtro

- Generalidades

La función del filtro es impedir que cualquier partícula o suciedad pueda llegar al equipo de medida alterando su funcionamiento.

Serán filtros de eje vertical de cartucho, en cada línea equipada con conexiones de entrada y salida de 600# RF. Constarán de tapa de apertura rápida para inspección y cambio de cartuchos, dispositivo de seguridad, y manómetro diferencial.

Las dimensiones del filtro serán las indicadas en el siguiente esquema:

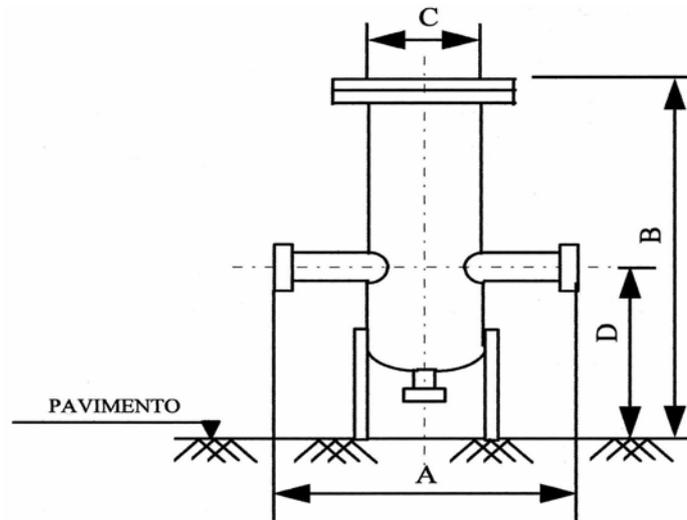


Figura 9. Esquema de dimensiones del filtro principal de la E.R.M.

Fuente: Especificación de ENAGAS E-1 Rev-11 Estaciones Normalizadas de Regulación y Medida de Alta Presión

Los valores de las dimensiones indicadas en el anterior esquema se reflejan en la siguiente tabla:

FILTROS VERTICALES					
Tamaño conexiones (pulgadas)	Qmax (m ³ /h) (Denominación G)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
2	100 (G-65)	450	950	141	800
2	160 (G-100)	450	950	141	800
2	250 (G-160)	450	950	141	800
3	400 (G-250)	500	1.200	168	800
4	650 (G-400)	600	1.350	219	800
4	1.000 (G-650)	650	1.500	250	800
6	1.600 (G-1000)	700	1.700	323	1.000
6	2.500 (G-1600)	950	1.900	406	1.000
8	4.000 (G-2500)	1.120	2.212	508	1.200
10	6.500 (G-4000)	1.250	2.500	600	1.400

Tabla 3. Dimensiones del filtro vertical de cartuchos para E.R.M.

Fuente: Especificación de ENAGAS E-1 Rev-11 Estaciones Normalizadas de Regulación y Medida de Alta Presión

Según la tabla, para la E.R.M. G-160 las dimensiones serán:

A = 450 mm

B = 950 mm

C = 141 mm

D = 800 mm

Las conexiones del filtro serán de Ø 2”.

El filtro llevará dos orejetas para facilitar su izado y movimiento.

En caso de especificarse, dispondrá de una estructura para su apoyo en el suelo y escalera y protecciones para acceder a la zona superior.

El elemento filtrante será fabricado en material adecuado para trabajar con gas natural de cualquier composición posible.

El grado de filtrado evaluado en porcentaje de material retenido y en función de la granulometría será:

- Por polvo: 98% de las partículas de tamaño superior a 5μ .
- Por agua: 100% de las partículas de tamaño superior a 20μ .

Llevará incorporado manómetro diferencial para la indicación del grado de suciedad del elemento filtrante y válvulas de purga de $\varnothing 3/4''$ situadas en la parte baja sobre un colector de $\varnothing 2''$ de salida con brida ciega.

La sección anular entre cuerpo del filtro y los cartuchos filtrantes será equivalente como mínimo a la sección de la tubería a que se conecta el filtro.

El filtro llevará marcada la dirección del flujo.

- Cuerpo

Los filtros estarán formados por un cuerpo en cuyo interior se disponen dos cartuchos superpuestos que constituyen el elemento filtrante.

El cuerpo del filtro será cilíndrico y vertical con una tapa superior que facilite la sustitución de los cartuchos filtrantes. Su altura será tal que permita una fácil extracción de cada cartucho con el espacio disponible entre el tope del cuerpo y el techo del edificio de la E.R.M.

La parte inferior del filtro constituirá un depósito de polvo de una capacidad mínima de $1 \text{ cm}^3/\text{m}^3(\text{n})/\text{h}$ de capacidad de la línea de la E.R.M.

- Tapa

La tapa del filtro corresponderá al tipo de apertura rápida.

Su cierre con el cuerpo se llevará a cabo mediante juntas tóricas.

Las tapas se unirán al cuerpo mediante rosca o un mecanismo de correderas, la unión por rosca se permite hasta un tamaño de filtro correspondiente a una E.R.M. G-650, para tamaños superiores, la tapa deberá fijarse por correderas.

Todos los filtros dispondrán de un sistema de seguridad que impida el desmontaje de la tapa sin la previa despresurización del filtro.

- Cartuchos

Cada filtro dispondrá de dos cartuchos dispuestos en posición vertical, de forma que sean extraíbles de uno en uno a través de la tapa del filtro.

El material filtrante estará constituido por polipropileno o un material similar, en todo caso, será resistente al aceite, lubricantes, agua, odorizantes (THT y TBM), metanol, hidrocarburos líquidos y gas que contenga azufre.

El material filtrante se reforzará mediante elementos metálicos de forma que se garantice una resistencia mecánica que evite el colapso del filtro

en condiciones de funcionamiento extremas (máximo caudal a 40 bar de presión y 10 °C).

Los cartuchos tendrán una capacidad de captación mínima de 0,5 g por cada m³(n)/h filtrado.

El elemento filtrante se diseñará para soportar una presión diferencial de 3 bar, sin rotura ni hundimiento.

El sistema de fijación y soportación del cartucho será lo suficientemente rígido, como para que, aún colapsado el cartucho, se pueda retirar fácilmente.

- Diseño

El diseño del filtro y construcción de las partes a presión estarán de acuerdo con el código ASME VIII, con el Reglamento de Recipientes a Presión del Ministerio de Industria y Energía, y la Norma UNE 60.620.88.

Condiciones de diseño:

- Capacidad: 4250 m³(n)/h
- Conexión: Ø 2" RF 600#
- Presión de diseño: 84 bar
- Temperatura de diseño: 10°C
- Velocidad máx. del gas: 20 m/sg

Para su dimensionado hidráulico, se considerará que trabajando a una presión de 40 bar, una temperatura del gas de 10 °C y con el máximo caudal de la E.R.M. correspondiente, el filtro produzca una pérdida de carga máxima de 100 mbar.

9.3.2.5. Resumen de características del filtro

En este último apartado se resumirán las características más importantes que deberá tener el filtro de cada línea de la E.R.M. G-160.

Tipo de filtro	Eje vertical con cartuchos
Conexiones	2" 600# RF
ΔP_{\max}	100 mbar
Velocidad máxima del gas	20 m/s
Capacidad	4250 m³(n)/h
Material del elemento filtrante	Polipropileno o similar

Tabla 4. Resumen de características del filtro de la E.R.M. G-160

9.3.3. Calentamiento del gas y regulación de temperatura

Su misión es calentar el gas una vez filtrado, para proporcionarle una temperatura que, después de la expansión producida por la reducción de presión en el regulador, sea $8 \pm 0,5$ °C. Para ello, la instalación se compone de intercambiadores de calor (uno por cada línea), 2 calderas de la potencia térmica necesaria, sistema de agua caliente y cuadro de control.

Aparte del calentamiento de la corriente principal de gas, se efectuará un calentamiento del gas que circula por los pilotos de todas las válvulas reguladoras y VIS, de forma que se evite la congelación de los mismos.

El sistema de regulación de temperatura será tal que la temperatura del gas caliente no supere los $33 \pm 0,5$ °C y el agua caliente no supere en ningún punto los 90 °C.

En previsión de que el conjunto de tuberías del sistema de agua caliente tenga que ampliarse en el futuro para servir a tres líneas de gas, con una incidencia mínima en la continuidad de servicio de la E.R.M., se dispondrán:

- a) Los colectores de ida y retorno a cambiadores de agua con sendas conexiones con brida ciega que permitan en el futuro conectar la ida y retorno del cambiador, sin más que presentar la tubería prefabricada.
- b) Los colectores de aspiración y descarga de bombas con sendas conexiones con brida ciega que permitan duplicar el equipo de bombeo que inicialmente se instale.
- c) Los colectores de entrada y salida de calderas terminarán en brida ciega con la misma finalidad de ampliación futura indicada en a) y b).
- d) El colector de fuel-gas en la sala de calderas terminarán en brida ciega con la misma finalidad ya indicada, incorporando en la misma una válvula de bola, P.T. 800#, NPT, con tapón para purga.

- e) El cuadro de control dispondrá de espacio y estará diseñado de forma que permita la ampliación futura prevista.

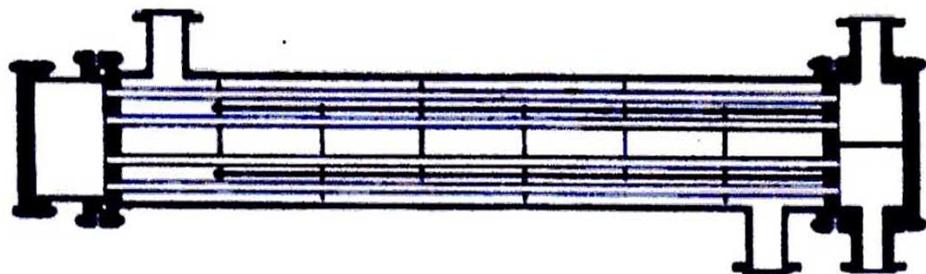
9.3.4 Intercambiador de calor.

9.3.4.1. Introducción teórica

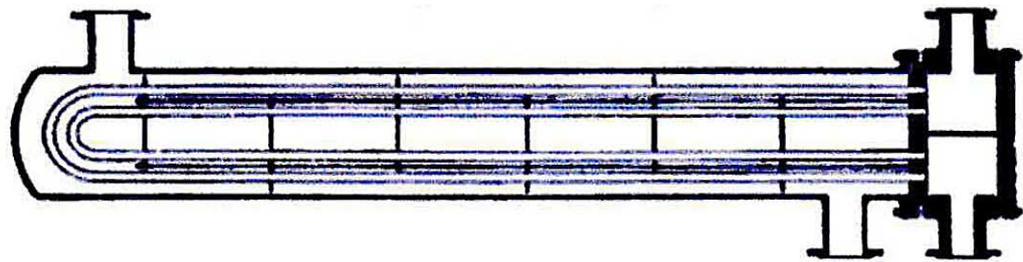
Este intercambiador actuará como un calentador, con lo cual permitirá la transferencia de calor entre la corriente de agua que viaja por la carcasa y la corriente de gas natural que circula por el interior de los tubos.

Antes de que se describa el equipo en cuestión con los cálculos que se han realizado en el Anexo II de la Memoria, es necesario que se conozcan todas las partes de un intercambiador.

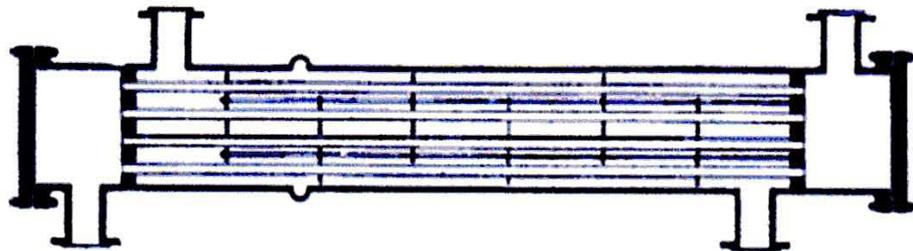
El intercambiador de carcasa y tubos está constituido por un haz de tubos, situado entre dos placas tubulares y soportadas por un número determinado de deflectores. En las figuras que siguen a continuación se pueden observar distintos tipos de intercambiadores de carcasa y tubos según sea el tipo de cabezal o el tipo de tubos.



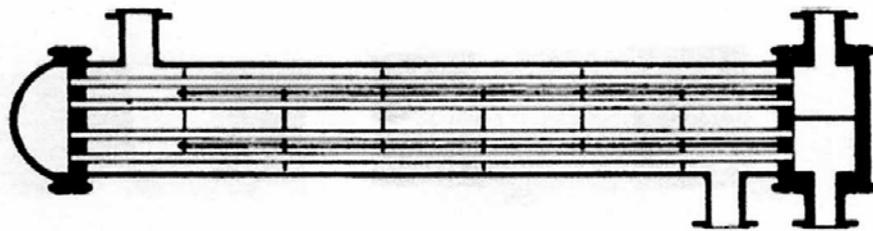
Intercambiador 1-2 de cabeza flotante empacada



Intercambiador 1-2 con tubos en U



Intercambiador con cabezal de tubos fijo con carretes integrales



Intercambiador 1-2 de cabezal fijo

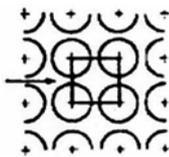
Figura 10. Ejemplos de distintos intercambiadores de carcasa y tubo

Fuente: "Transferencia de Calor", de J.P. Holman; Editorial McGraw-Hill

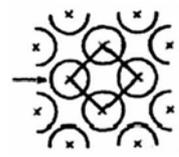
En cada extremo del haz de tubos se fijan las cajas de distribución que aseguran la circulación del fluido por el interior del haz en uno o varios pasos. El haz de tubos se aloja en una carcasa, provista de una tobera de entrada y otra de salida para el segundo fluido, que circula por la propia carcasa siguiendo la trayectoria impuesta por las placas deflectoras.

A continuación se describen las partes fundamentales de un intercambiador de calor:

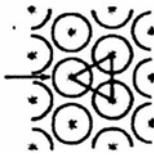
a) Haz tubular: es un cierto número de tubos unidos a una placa tubular perpendicular a ellos y colocados de una forma regular. Los tubos para intercambiadores de calor también se conocen como tubos para condensador y no deberán confundirse con tubos de acero u otro tipo de tubería obtenida por extrusión a tamaños normales de tubería de hierro. El diámetro exterior de los tubos es el diámetro exterior real en pulgadas dentro de tolerancias muy estrictas. Se pueden obtener en diferentes groesos de pared, definidos por el calibrador Birmingham para alambre, que en la practica se refiere como el calibrador **BWG** del tubo. En el punto **6.2.** del Anexo de Cálculos, se enlistan los tamaños de tubo que generalmente están disponibles, de los cuales los de $\frac{3}{4}$ " y 1" son los más comunes en el diseño. Estas tablas están preparadas para los dos tipos de configuraciones más usadas en la industria que son la cuadrada y la triangular. Ver **figura 11.**



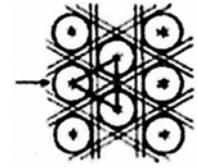
(a) Arreglo en cuadrado



(b) Arreglo en cuadrado rotado



(c) Arreglo triangular



(d) Arreglo triangular con espacios para limpieza

Figura 11. Tipos de arreglos más comunes

Fuente: "Transferencia de Calor", de J.P. Holman; Editorial McGraw-Hill

Dentro de cada tipo de configuración existen unos espaciados entre los tubos estándar, ya que los orificios de los tubos no pueden taladrarse muy cerca uno de otro, ya que una franja demasiado estrecha de metal entre los tubos adyacentes debilita estructuralmente el cabezal de los tubos o espejo. La distancia más corta entre dos orificios adyacentes es el claro o ligadura, y éstos a la fecha, son estándar. El espaciado de los tubos **Pt** es la distancia menor de centro a centro en tubos adyacentes.

b) Coraza o carcasa: es la envolvente que rodea al haz tubular. En ella están soldados los silletes que soportan el intercambiador y que le apoyan sobre la cimentación. Las corazas de hasta 12 in de diámetro IPS se fabrican de tubo de acero. Desde 12 hasta 24 in el diámetro exterior real y el diámetro nominal son los mismos. El grueso estándar para corazas con diámetros interiores de 12 a 24 e inclusive, es de 3/8", lo que es satisfactorio para presiones de operación por el lado de la coraza hasta de 300 lb/in². Se pueden

obtener mayores gruesos para presiones superiores. Las corazas mayores de 24 in de diámetro se fabrican rolando placas de acero.

c) Distribuidor: Es la zona por la que entra el fluido que va a pasar por el interior de los tubos. En el caso del intercambiador proyectado el distribuidor tendrá una placa de división para facilitar los dos pasos por los tubos. El distribuidor proyectado es un tipo **B** que es más fácil de desmontar para la sustitución de los tubos que el **C** y soporta mejor la presión que el tipo **A**. Ver punto **6.1.** del Anexo de Cálculos.

d) Fondo de carcasa: Es la tapa de la carcasa que se encuentra en el lado opuesto al del distribuidor. Este fondo debe ser flotante para permitir la expansión térmica de los tubos debida a los cambios de temperatura que experimenta. En el caso de este Proyecto este fondo se sustituye por un haz de tubos en U, como se muestra en la **figura 10**.

e) Placas deflectoras: estas son una opción y no forman una parte imprescindible de un intercambiador de calor aunque si favorecerán la transferencia de calor en gran medida. Está claro que se logran coeficientes de transferencia de calor más altos cuando el líquido se mantiene en estado de turbulencia y esto es lo que hacen las placas deflectoras. Estos deflectores hacen que el líquido fluya a través de la coraza a ángulos rectos con el eje de los tubos. Los deflectores se mantienen firmemente mediante espaciadores, que consisten de un pasador atornillado en el cabezal

de los tubos o espejo y un cierto número de trozos de tubo que forman hombreras entre deflectores adyacentes.

Existen varios tipos de deflectores que se emplean en los intercambiadores de calor, pero los más comunes son los deflectores segmentados al 25%. Son hojas de metal perforadas cuyas alturas son generalmente un 75 % del diámetro interior de la coraza.

9.3.4.2. Elección del tipo de intercambiador

Los intercambiadores de calor se clasifican normalmente de acuerdo con la configuración del flujo y el tipo de construcción. Entre los principales tipos de intercambiadores de calor que existen actualmente en el mercado están:

- **Tubos concéntricos:** El fluido frío y caliente se pueden mover en la misma dirección o en direcciones opuestas.
- **Flujo cruzado:** puede ser con o sin aletas y en este caso uno de los flujos se mueve perpendicularmente al otro.
- **Carcasa y tubo:** Es un haz tubular rodeado por una envoltura exterior cilíndrica. Puede tener distinto número de pasos por los tubos o por la coraza. Es el que presenta mayor relación superficie volumen.
- **De placas:** estos son unos intercambiadores muy compactos y pueden ser de tubos circulares o planos; con aletas de

placa o circular y se utilizan cuando uno de los fluidos es un gas. Tienen mayor relación superficie-volumen que el anterior.

Teniendo en cuenta estas posibilidades, se decide proyectar un **intercambiador de carcasa y tubo**. Los intercambiadores de placas tienen mayor relación superficie-volumen, pero son más complicados de construir, mantener y, en definitiva, son más caros. Además, el diseño elegido es aceptable para un calentador, donde se produce una transferencia de calor entre la corriente de agua y la corriente de gas natural, sin producirse cambios de fase.

Ahora bien, para la elección de los detalles del intercambiador se deben tener en cuenta varias consideraciones:

- El espacio del que se dispone, así se podrán colocar los tubos vertical u horizontalmente. En el caso del calentamiento del gas es mejor verticalmente.
- El tipo de fluido con el que se trabaja. Aquellos que dejen más depósitos y sean más corrosivos deberán circular por el interior de los tubos. Aquellos que sean más viscosos irán por el exterior.
- El diámetro de tubo dependerá principalmente de los depósitos del fluido. De manera que a mayor suciedad, mayor diámetro. Los mas utilizados en la industria son los de 1" y 3/4".

- Las posiciones de las placas deflectoras pueden ser perforadas, de discos y pestañas o segmentadas, siendo estas últimas las mas extendidas.
- La disposición de los tubos puede ser de sección cuadrada y triangular. Los primeros son más fáciles de limpiar pero tienen un menor coeficiente de transferencia de calor.
- Las longitudes de los tubos más utilizadas en la industria son las que van de 12 a 20 ft, siendo más económico a medida que el tubo es más largo.
- El paso de los tubos (Pt) o distancia entre los ejes de los mismos tendrá un valor igual a $Pt \geq 1,25 \cdot d_o$. Donde d_o es el diámetro exterior del tubo. Ver **tabla 5**.

Disposición de tubos	d_o	Pt
Triangular	3/4"	1"
	1"	1 1/4"
Cuadrada	3/4"	1"
	1"	1 1/4"

Tabla5. Diámetros y pasos de tubos según sea disposición en intercambiadores de carcasa y tubo

FUENTE: "Transferencia de Calor", de J.P. Holman; Editorial McGraw-Hill

Además de las consideraciones anteriores, se deberán tener en cuenta las siguientes pautas establecidas en la **Especificación Técnica de**

ENAGAS E.1 Rev-11 Estaciones de Regulación y Medida de Alta Presión:

- Según el tipo de E.R.M. se transmitirá al gas una potencia calorífica nominal, que aparece reflejada en la siguiente tabla:

Qmax (m ³ /h) (Denominación G)	CAUDAL MÁXIMO (m ³ (n)/h) (1)	LÍNEAS Entrada/ Salida (pulgadas)	CONEXIÓN REGULADORES (pulgadas)	CONEXIÓN TURBINA (pulgadas)	POTENCIA NOMINAL (kW) (3)	COLECTOR ENTRADA 600# (pulgadas)	COLECTOR SALIDA (2) (pulgadas)
100 (G-65)	1.891	2x2	1	2	18	3	4
160 (G-100)	3.026	2x3	1	3	29	3	4
250 (G-160)	4.728	2x3	1	3	45	4	6
400 (G-250)	7.565	3x4	2	4	73	4	6
650 (G-400)	12.293	3x6	2	6	118	6	8
1.000 (G-650)	18.912	4x6	3	6	182	6	10
1.600 (G-1000)	30.260	6x8	3	8	291	8	12
2.500 (G-1600)	47.281	6x10	4	10	454	8	14
4.000 (G-2500)	75.650	8x12	6	12	727	10	16
6.500 (G-4000)	122.931	10x16	8	16	1.181	12	20

(1) Basado en una presión de salida de 16 bar.
(2) Tuberías de entrada ANSI 600, hasta regulador. Tuberías aguas abajo regulador incluyendo colector de salida ANSI 150/300.

Tabla 6. Datos de diseño de Estaciones de Regulación y Medida para posiciones de gasoductos a 80/16 bar

Fuente: Especificación Técnica de ENAGAS E.1 Rev-11 Estaciones de Regulación y Medida de Alta Presión

Se puede observar que la potencia nominal que se debe transmitir al gas, para una E.R.M G-160, es de 45 kW. La superficie de intercambio de cada cambiador deberá asegurar la transmisión de ésta potencia al gas natural.

Nota: Tener en cuenta que el caudal máximo y las dimensiones indicadas son orientativas, es decir, representan los valores alrededor de los cuales debe estar diseñada la E.R.M. Para una G-160 el caudal tiene que estar en torno a los 4728 m³(n)/h, siendo el del Proyecto 4250 m³(n)/h, coincidiendo el diámetro de la conexión de los reguladores (1") y de la turbina (3"). El colector de entrada tiene un diámetro de 3" y el de salida 4", siendo los indicados en las tablas de 4" y 6".

- El intercambiador de cada línea se construirá de la manera indicada en el siguiente dibujo:

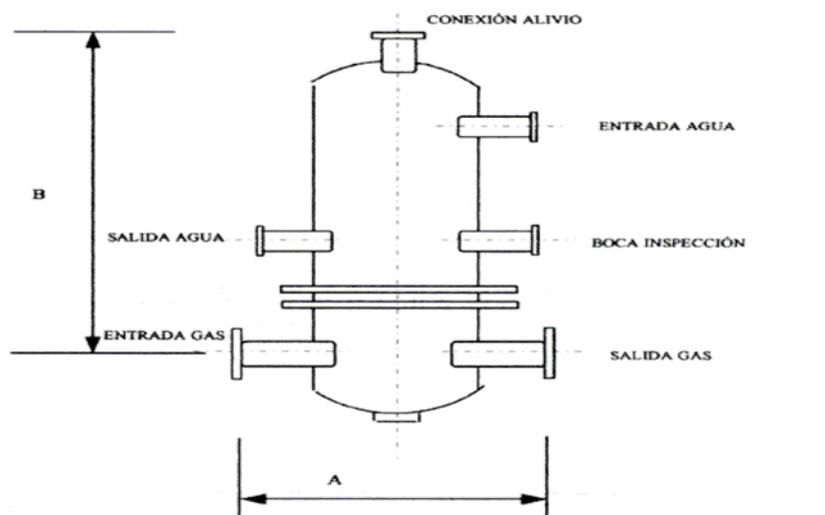


Figura 12. Esquema general de las dimensiones del intercambiador

Fuente: Especificación Técnica de ENAGAS E.1 Rev-11 Estaciones de Regulación y Medida de Alta Presión

- Los valores de estas dimensiones aparecen reflejadas en la siguiente tabla:

Qmax (m ³ /h) (Denominación G)	Conexiones para gas Bocas para inspección ANSI 600# (pulgadas)	Potencia calorífica (kW) Pe = 72 bar			Potencia calorífica (kW) Pe = 80 bar			A (mm)	Superficie de intercambio mínima (m ²)
		P Salida (bar)			P Salida (bar)				
		10	16	25	10	16	25		
100 (G-65)	2	11	14	14	14	18	21	410	0,40
160 (G-100)		17	22	23	22	29	34	430	2,10
250 (G-160)		27	35	36	34	45	53	430	2,70
400 (G-250)	3	43	56	57	54	73	84	480	5,50
650 (G-400)	4	71	90	93	88	118	137	600	7,80
1.000 (G-650)		108	139	143	136	182	211	700	8,40
1.600 (G-1000)	6	174	222	230	217	291	338	720	16,00
2.500 (G-1600)		271	347	359	339	454	528	850	23,00
4.000 (G-2500)	8	434	556	574	542	727	844	1.000	39,50
6.500 (G-4000)	10	705	903	933	881	1.181	1.372	1.200	49,00
B preferiblemente < 2000 mm									
Datos válidos para presiones de salida de 10, 16 y 25 bar									

Tabla 7. Dimensiones del intercambiador para cada E.R.M.

Fuente: Especificación Técnica de ENAGAS E.1 Rev-11 Estaciones de Regulación y Medida de Alta Presión

Se puede extraer que, para una E.R.M. G-160, las conexiones para gas y bocas para inspección serán ANSI 600# con un diámetro de 2", la potencia calorífica nominal será de 45 kW para una Pe = 80 bar y para una Ps = 16 bar, y la superficie de intercambio mínima deberá estar en torno a los 2,7 m².

B deberá ser < 2000 mm y A = 430 mm.

Nota: Todos estos datos son orientativos.

- La pérdida de carga del lado de los tubos no deberá ser superior a 4 bar para el caudal máximo de gas.
- La temperatura de entrada del gas al intercambiador será de 10 °C y se deberá conseguir una temperatura de 36 °C a la salida.
- La temperatura de entrada del agua será de 88 °C y saldrá a 70 °C.
- Su diseño, fabricación y la certificación de su conformidad estarán de acuerdo con la directiva PE y con el Reglamento de Aparatos a Presión. Alternativamente cumple con el estándar TEMA C, tipo BEU y el código ASME VIII Div. 1.
- Para el diseño mecánico se tendrá en cuenta:

a) Condiciones de diseño:

- Lado Carcasa:

Presión de diseño = 6 bar

Temperatura de diseño = 100 °C

Fluido = agua caliente

- Lado Tubos:

Presión de diseño = 84 bar

Temperatura de diseño = 90 °C

Fluido = gas natural

- Conexión Gas: Ø 2" RF 600#

b) Será posible la inspección del lado de la carcasa mediante conexión embridada de 2" para líneas de capacidad inferior a 1000 m³/h (**G-650** e inferiores).

c) En la parte superior del lado de la carcasa habrá una conexión para venteo de posibles fugas de gas y prevista para conectar una válvula de seguridad, tarada aproximadamente a 1 bar por debajo de la presión de diseño de las calderas, con una capacidad mínima del 1 % del caudal nominal de la línea de gas en que se instala el cambiador, así como un purgador automático de gas de flotador. El tamaño de la conexión será el mismo que el de la conexión de entrada de la válvula de seguridad.

d) Existirá una conexión con tapón roscado como mínimo de ½" NPT (o métrica equivalente) que permita drenar el lado de carcasa.

Una vez vistas las condiciones a seguir según la Especificación E-1 Rev.11 y las de carácter general indicadas al principio, se indicarán los resultados obtenidos en el anexo de Cálculos:

Tipo de intercambiador	BEU
Calor intercambiado	67083,4 Kcal/h
Coefficiente global de transferencia de calor	476,7 Kcal/h·m²·°C
LADO DE TUBOS	
Numero de pasos	2
Longitud de los tubos (ft)	12
Número de tubos	8
Espaciamiento entre tubos (in)	1”
Configuración de los tubos	Triangular
Diámetro externo (in)	3/4”
Espesor de los tubos (BWG)	14
Superficie exterior del tubo (ft²/ft)	0,1963
Pérdida de carga (kg/cm²)	1,31
LADO DE CORAZA	
Numero de pasos	1
Diámetro de la coraza (in)	8”
Distancia entre deflectores (in)	14”
Número de deflectores	11
Tipo de deflector	Segmentado al 25 %
Pérdida de carga (kg/cm²)	1,13x10⁻³

Tabla 8. Resumen de características del intercambiador diseñado en el Anexo de Cálculos

Como se indicó en el mencionado anexo, estos resultados obtenidos representan requerimientos mínimos de diseño que debe tener en cuenta el fabricante a la hora de diseñar el intercambiador de cada línea de la E.R.M G-160.

Además, el fabricante deberá considerar las condiciones de carácter general y las de la Especificación E-1 Rev.11 antes indicadas.

Una vez que se han establecido todos los requisitos para proyectar el intercambiador se pasa a la elección de los parámetros principales, que serán las características del intercambiador suministrado por el fabricante:

- 1) El intercambiador será proyectado verticalmente.
- 2) Los fluidos irán de la siguiente forma: El gas natural fluirá por el interior de los tubos y el agua por el lado de la carcasa.
- 3) Como n_c (número de pasos por la carcasa) se escoge 1; y para n_t (numero de pasos por los tubos) se escoge 2, que son los mas comunes en la industria.
- 4) Se decide un diámetro exterior de tubos de $\frac{3}{4}$ ", que es el más económico y favorecerá la turbulencia en el interior del tubo y con ello la transferencia de calor (ver punto **6.2.** del Anexo de Cálculos).

- 5) La disposición de los tubos será triangular. Esto es así porque la disposición triangular favorece hasta en un 15 % la transferencia de calor con respecto a la disposición cuadrada. La desventaja es que en la disposición triangular la limpieza exterior de los tubos es más compleja; sin embargo, en este caso esto no es un inconveniente, ya que los depósitos son mínimos y la limpieza no será algo prioritario.
- 6) La longitud de los tubos será de 12 ft que es la longitud mas corta dentro de las recomendadas. Esta longitud la elegida porque si fuera más largo dificultaría el transporte.
- 7) El paso de los tubos para $d_o = \frac{3}{4}$ " será de 1", favoreciendo de esta forma la transferencia de calor aún más.
- 8) El espesor de los tubos será 14 BWG (ver punto **6.2.** del Anexo de Cálculos) que es un valor intermedio para este tipo de aplicaciones y el más utilizado en acero y aluminio.
- 9) Con respecto al D_c (ver punto **2.9.1.4** del anexo de Cálculos) se escogerá el diámetro inmediatamente superior al número de tubos que se obtengan en el cálculo.
- 10) Las placas deflectoras transversales serán segmentadas al 25 %, es decir, tendrán un segmento libre igual al 25 % del diámetro interior (D_c) de la carcasa. Estas placas tienen como finalidad alargar el camino del fluido que circula por la carcasa y mejorar así la transmisión de calor por el exterior de los tubos.

Así pues, para el intercambiador de este proyecto, según la **Tubular Exchanger Manufactures Association** (a partir de ahora **TEMA**), se han elegido las siguiente designaciones:

- Para el cabezal estacionario un tipo B (casquete).
- Para la carcasa una tipo E (carcasa de un paso).
- Para el cabezal posterior un tipo U (haz de tubos en U).

En definitiva, un intercambiador tipo BEU (ver punto **6.1.** del Anexo de Cálculos).

Los tubos en U tienen un diseño más económico e implica menores costes de mantenimiento, sobre todo en servicios a alta presión al permitir la libre expansión de los tubos en el interior de la carcasa y evitar además el disponer de un cabezal flotante. Como contrapartida, el diámetro exterior de dobléz de los tubos en U es de tres a cuatro veces el diámetro exterior del tubo, por tanto han de suprimirse los tubos situados en el interior del haz cuyo diámetro de dobléz fuese inferior, por esto, el D_c debe ser el inmediatamente superior al que aparece en la tabla de cuenta de tubos.

Será un intercambiador de eje vertical con bridas RF 600# según ASME VIII Div. 1, Reglamento de Recipientes a Presión e ITC MIG 7.1, que permita transmitir al gas una potencia calorífica de 67083,4 Kcal/hora a una presión de servicio del mismo de 80 bar.

El intercambiador es del tipo carcasa y tubos. La carcasa tendrá un diámetro $\approx 203,2$ mm y una longitud de 1575 mm desde bridas hacia arriba y 800 mm hasta el apoyo en la solera, construida con tubo sin soldadura de material de acero al carbono calidad ASTM A-106 GrB. El haz tubular estará formado por 16 tubos en U con un diámetro de 19,05 mm ($\frac{3}{4}$ "') para el calentamiento del gas natural que circula por cada línea.

El intercambiador contará además con dos tubos más de 12 mm para el calentamiento del gas natural utilizado en el funcionamiento de los pilotos de los reguladores, con el fin de evitar la formación de condensados, debido al enfriamiento del gas, que puedan obstruir los tubos de conexión a los pilotos de los reguladores, por donde circula el gas, siendo estos de diámetro muy pequeño, y provocar fallos en el funcionamiento de los reguladores.

Cada intercambiador está protegido por los siguientes elementos de seguridad:

- Lado del agua:

Válvula de seguridad con las siguientes características:

Entrada DN-25, PN-40

Salida DN-40, PN-16

Tarado a presión de disparo de 6 bar

Cuerpo WCB

- Purgador del aire:

Ø 3/8", de flotador

- Lado del gas:

Válvula de seguridad con las siguientes características:

Entrada Ø 3/4" 600#

Salida Ø 1" 150#

P.disparo 80 bar

Las soldaduras se realizan siguiendo un procedimiento homologado, y serán efectuadas por soldador homologado, radiografiándose al 100%.

Por ultimo, en la siguiente tabla-resumen se reflejan las características del intercambiador definitivo adquirido del fabricante y a utilizar en cada línea de la E.R.M G-160, objeto de este Proyecto.

Tipo de intercambiador	BEU
Potencia nominal	65000 Kcal/h (67083,4 kcal/h de P_{max})
Coefficiente global de transferencia de calor	357,5 Kcal/h·m²·°C
LADO DE TUBOS	
Numero de pasos	2
Longitud de los tubos (ft)	12
Número de tubos	16
Espaciamiento entre tubos (in)	1"
Configuración de los tubos	Triangular
Diámetro externo (in)	¾"
Espesor de los tubos (BWG)	14
Superficie exterior del tubo (ft²/ft)	0,1963
Pérdida de carga (kg/cm²)	0,23
LADO DE CORAZA	
Numero de pasos	1
Diámetro de la coraza (in)	8"
Distancia entre deflectores (in)	14"
Número de deflectores	3
Tipo de deflector	Segmentado al 25 %
Pérdida de carga (kg/cm²)	4,14x10⁻⁴

Tabla 9. Resumen de características del intercambiador proporcionado por el fabricante

El valor de 65000 kcal/h es una potencia nominal que no tiene porque coincidir con la potencia máxima calculada para el intercambiador. Esto significa que el valor de 65000 kcal/h no representa la potencia máxima calorífica del intercambiador, sino la de cada caldera, a partir de las cuales se ha hecho la selección del intercambiador de cada línea.

Por lo tanto, un intercambiador de 65000 kcal/h de potencia nominal, permite calentar el caudal máximo de gas natural por cada línea, teniendo superficie de transmisión de calor suficiente para cubrir las 67083,4 kcal/h necesarias, pero para ello no bastaría con una sola caldera, ya que la potencia máxima de cada una es de 65000 kcal/h.

Esto no representa un problema, ya que el sistema de control de las calderas (explicado en el punto **9.3.5.7.** de la Memoria) permite aportar el caudal de calor máximo necesario de cada línea. Este se debe a que el funcionamiento de dicho sistema esta basado en utilizar siempre las dos calderas, en secuencias de encendido-apagado, para mantener la temperatura del gas en el colector de salida de la E.R.M. en el set-point previamente fijado, suministrando sobradamente el calor necesario para una línea a caudal máximo. Cuanto mayor sea la demanda de calor de la instalación, mayor será la frecuencia de las secuencias de encendido-apagado de las dos calderas, para intercambiar el calor que se necesite en una hora con el fin de mantener la temperatura de salida del gas.

9.3.4.3. Comprobación de los cálculos del intercambiador de calor

INTERCAMBIADOR DE CALOR 1:2		
PARÁMETRO	FABRICANTE	CALCULADO
U (kcal/h·m ² ·°C)	357,5	476,7
ΔP_t (kg/cm ²)	0,23	1,31
ΔP_c (kg/cm ²)	4,14x10 ⁻⁴	1,13x10 ⁻³
S (m ²)	3,44	2,58

Tabla 10. Comparación entre parámetros calculados y de fábrica

En esta tabla se puede observar una comparación entre los parámetros estimados en el Anexo de Cálculos y las características, calculadas en el apartado 5.7. del mismo Anexo, del intercambiador de fábrica a instalar en cada línea de la E.R.M. G-160

El coeficiente U calculado es superior al del fabricante, lo que permite la operación del intercambiador durante un periodo de servicio razonable, debido al exceso de superficie de intercambio del fabricante (3,44 m²) con respecto a la calculada (2,58 m²).

Por lo tanto, el coeficiente U del intercambiador del fabricante cumple los requisitos mínimos de diseño.

Otro requisito importante en la apreciación al servicio del cambiador es que ni en el caso del fluido que circula por la coraza ni en el caso del que circula por los tubos exceda el valor de la caída de presión calculada para ambos casos. Esto es así por muchas cuestiones, entre ellas la de

asegurar el correcto funcionamiento del intercambiador en su servicio y la evitar pérdidas energéticas en el proceso derivadas de una elevada caída de presión.

Como se comprueba, en ninguno de los dos casos del fabricante se sobrepasan los valores límites impuestos para la caída de presión, que son los valores de caída de presión calculados.

Otro de los requisitos para la apreciación del intercambiador, es que su factor de obstrucción, también llamado resistencia al ensuciamiento, no supere un valor determinado. Este factor está relacionado con el periodo de mantenimiento del intercambiador y su valor dado por el fabricante es de 0,0008. Con nuestros datos, obtenemos una resistencia al ensuciamiento igual a:

$$R_{f \text{ calculado}} = U_{\text{calculado}} - U_{\text{fabricante}} / U_{\text{calculado}} \cdot U_{\text{fabricante}} = 0,0007$$

con lo que se comprueba que

$$R_{d \text{ calculado}} < R_{d \text{ fabricante}} \quad \text{SE CUMPLE}$$

Por lo tanto, se cumple el requisito de mantenimiento del cambiador.

Entonces, una vez superados los requisitos de mantenimiento y de caída de presión para el intercambiador a instalar en la E.R.M. G-160, estamos en disposición de afirmar que éste es satisfactorio para el servicio, y los parámetros de diseño, por tanto, son correctos.

9.3.5. Instalación de calderas

9.3.5.1. Introducción teórica

Se trata de una instalación de producción de agua caliente para suministrar a intercambiadores.

Se utilizarán calderas modulares a gas construidas en una pieza o molde simple de pieza única con elementos de hierro fundido por los cuales circula el agua, produciéndose el debido intercambio.

Antes de pasar a la descripción de las calderas y del sistema de agua caliente, con los cálculos que se han realizado en el Anexo de Cálculos, se hará una breve introducción sobre los tipos de calderas de hierro fundido.

La caldera de fundición es básicamente una caldera del tipo de tubos de agua, ya que el agua está dentro de las secciones de fundición (no tubos) y los productos de combustión están en el exterior. Pero a causa de las limitaciones del hierro fundido, el Código de calderas trata las calderas de fundición como un tipo especial, sin considerar el sistema de transferencia de calor empleado. Muchas calderas de fundición están estampadas por el fabricante como calderas de fundición de tubos de agua, lo que no debería malinterpretarse como clasificación del Código.

Fundición es un término aplicado a muchas aleaciones hierro-carbón que pueden ser fundidas en un molde de una manera particular. Pero para

las calderas de fundición se utiliza generalmente la fundición gris (acero fundido gris). Cuando la fundición se enfría lentamente en los moldes, parte del carbono se separa y cristaliza como grafito. Esto hace a la fundición gris menos frágil y más fácil de trabajar con máquinas herramientas. También cuando está aleada con níquel, cromo, molibdeno, vanadio o cobre se pueden conseguir propiedades y resistencias considerables. La práctica general es clasificar la fundición por clases:

Clase n.º	Tensión máxima lbs/in ²	Tensión máxima, kg/cm ²
20	20.000	1.400
25	25.000	1.750
30	30.000	2.100
35	35.000	2.450
40	40.000	2.800

Tabla 11. Clases de fundición

Fuente: Manual de Calderas. Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas; de Anthony L. Kohan.

Las calderas de fundición se construyen en diversas formas y tamaños, pero pueden agruparse en las tres clases siguientes:

- a) Las calderas circulares de fundición (ver Figura 13a) constan de una sección de hogar con base, una sección de coronación, una o dos secciones intermedias y una parte superior o sección del domo. Las secciones constituyen un conjunto atornillado o cogido por tirantes y/o con casquillos o conectores de unión de las partes o secciones de agua. De ese modo el agua circula libremente a

través de los conectores de sección en sección. El combustible se quema en el hogar central, con los gases subiendo y fluyendo a través de los diversos pasos de las secciones llenas de agua y finalmente salen por la chimenea.

b) Las calderas verticales de bloques o secciones constan de secciones ensambladas frontal con trasera y en posición vertical, atornilladas o unidas por medio de conectores roscados.

c) Las calderas por secciones horizontales consisten en secciones ensambladas como tostadas de pan (pancakes). Aquí cada sección queda perpendicular en relación a la base. Este tipo de acoplamiento o ensamblaje vertical puede complementarse con dos o tres conjuntos de calderas similares interconectadas para ganar capacidad adicional. En esta disposición un cabezal común de impulsión y retorno se utiliza sin válvulas de seccionamiento entre secciones. Estas unidades se usan normalmente con gas y con un quemador para cada caldera o sección vertical múltiple.

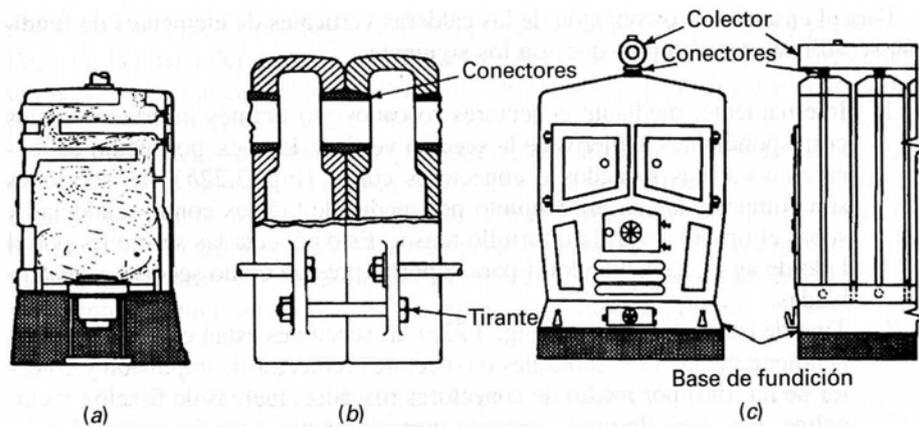


Figura 13. Tipos de calderas de fundición: (a) Unidad cilíndrica para suministro de Agua Caliente Sanitaria (ACS); (b) caldera por elementos (secciones) formada por elementos de fundición unidos por conectores y atirantados; (c) caldera con colector tipo de elementos unidos por conectores roscados

Fuente: Manual de Calderas.Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas; De Anthony L. Kohan.

Para el ensamblaje o conexión de las calderas verticales de elementos de fundición se utilizan dos sistemas que son los siguientes:

- a) Internamente, mediante conectores roscados y/o tirantes insertados en los correspondientes agujeros de la sección vertical. Estos es, por medio de tensores, varillas roscadas o conectores cortos (**Figura 13b**), las secciones son comprimidas en un conjunto por medio de tuercas contra arandelas y sobre el tirante, varilla o tornillo tensor. Esto conecta las secciones por el lado de agua, capacitándolas para soportar presión como secciones ensambladas.

b) Tipo de cabezales externo (**Figura 13c**), con las secciones conectadas independientemente a los cabezales o colectores (colector de impulsión y colector de retorno) por medio de conectores roscados, tuercas de fijación y empalme. Este tipo de unión permite reemplazar una sección intermedia, ya que solo tienen que retirarse tuercas, juntas y enlaces roscados de cada cabezal para desprender una sección de otra. En comparación con la construcción mediante tensores roscados, todas las secciones enlazadas y enfrentadas con la sección intermedia a reemplazar tienen que ser retiradas para llegar a la sección afectada.

Las calderas de la E.R.M. G-160 serán de secciones horizontales ya que, según las características expuestas en el presente apartado, son las mas adecuadas para funcionar con gas y pueden formar conjuntos de dos o más calderas, lo cual se adapta al tipo de caldera requerida para el calentamiento del gas natural.

9.3.5.2. Clasificación de las calderas según la normativa aplicable

Las siguientes definiciones de caldera generalmente se encuentran en forma de leyes estatales y códigos de caldera referentes a requisitos de instalación o inspección, así como leyes de ingeniería para operar este tipo de equipos.

Únicamente se expondrán aquellas que son aplicables a las calderas del presente Proyecto.

Una *caldera* es un recipiente a presión cerrado en el que se calienta un fluido para uso externo del mismo por aplicación directa del calor resultante de la combustión de un combustible (sólido, líquido o gaseoso) o por utilización de la energía nuclear o eléctrica.

Una *caldera de baja presión* se define como una caldera de vapor que trabaja por debajo de 15 psig (1,05 kg/cm²) de presión o una de agua caliente que funciona por debajo de 160 psi (11,2 kg/cm²) o 250 °F (121 °C).

Una *caldera de calefacción* por agua caliente es una caldera que no genera vapor, pero en la cual el agua caliente circula con propósitos de calefacción y después retorna a la caldera y que trabaja a presiones que no exceden de 160 psig (11,2 kg/cm²) o de una temperatura de agua no mayor de 250 °F (121 °C) en o cerca de la salida de la caldera. Estos tipos de calderas se consideran *calderas de calefacción de baja presión*, construidas bajo las especificaciones de la Sección IV del Código ASME de calderas.

En España, según la normativa legal técnica del Ministerio de Industria y Energía, las calderas se clasifican en las categorías siguientes, desde el punto de vista de la seguridad y a efectos de las condiciones exigibles a su emplazamiento en función del producto $V \times P$ (V es el volumen de agua, en m³, a nivel medio o el volumen total de agua en la caldera sin nivel definido, y P es la presión total de servicio, kg/cm²):

Categoría A: $V \times P > 600$

Categoría B: $10 < V \times P \leq 60$

Categoría C: $V \times P \leq 10$

Las calderas de la E.R.M G-160 son *calderas de calefacción de baja presión*, según sus características, pertenecientes a la Categoría C, ya que según la normativa legal técnica del Ministerio de Industria y Energía, este tipo de calderas son pertenecientes a dicha categoría.

9.3.5.3. Análisis del proceso de combustión de las calderas

1) Fundamento teórico

El proceso básico de combustión es una forma especial de oxidación en que el oxígeno del aire se combina con elementos combustibles, que generalmente son carbono, hidrógeno y en menor medida azufre. Se necesita una mezcla adecuada de combustible y aire, así como una temperatura de ignición para que el proceso de combustión continúe.

Las reacciones químicas deben satisfacer tres condiciones para que tenga lugar el proceso de combustión:

- a) Es necesaria una adecuada proporción entre combustible y oxígeno (o aire) con los elementos combustibles, como se demuestra por las ecuaciones químicas.

- b) La mezcla de combustible y oxígeno (o aire) debe llevarse a cabo, de modo que una mezcla uniforme esté presente en la zona de combustión y así cada partícula de combustible tenga aire alrededor para ayudar en la combustión.

c) La temperatura de ignición se establecerá y será controlada de forma que el combustible continúe su ignición sin calor externo cuando la combustión arranque.

Los elementos fundamentales que producen calor en los combustibles (excepto para reacciones atómicas y electricidad) son el carbono, el hidrógeno y sus compuestos. El azufre, cuando se oxida rápidamente, es también fuente de alguna energía térmica, pero su presencia en los combustibles presenta efectos nocivos. La combustión de carbón, aceites combustibles derivados del petróleo o gas natural es una reacción que implica al combustible y al oxígeno del aire.

El aire tiene un 23 por 100 de oxígeno en peso y un 21 por 100 en volumen. El resto del aire es en su mayor parte nitrógeno, que no toma parte real en la combustión pero afecta al volumen de aire necesario y a la formación de NO_x .

La combustión incompleta da como resultado humos y un menor rendimiento de la operación. Para obtener una combustión completa, el volumen del hogar deberá ser adecuado para permitir la combustión completa de las partículas de combustible antes de que pasen a las superficies calefactoras y sean enfriados por debajo de su temperatura de ignición.

Para poder mezclarse íntimamente el oxígeno con los gases y partículas del combustible que se está quemando, la acción de la llama debe producir una turbulencia.

La flexibilidad del control de llama puede verse afectada por el control del suministro de aire primario. Aire primario es el que conduce el combustible a los quemadores o se mezcla con éste en los quemadores o a través del lecho de combustible. Véase la **figura 14** . El aire secundario se suministra para quemar el combustible de forma que el oxígeno pueda unirse en combustión en los puntos más ventajosos.

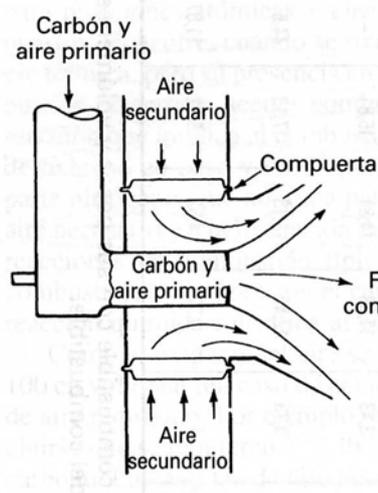


Figura 14. El aire primario en el quemador turbulento ayuda a la combustión del combustible y el aire secundario completa la combustión en el hogar. (El aire secundario es dos tercios del total.)

Fuente: Fuente: Manual de Calderas.Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas; de Anthony L. Kohan.

Si no se suministra suficiente aire u oxígeno la mezcla es rica en combustible; Así que la llama se reduce, con una llama resultante que tiende a ser larga y con humo. La combustión tampoco es completa, y los gases (producto de la combustión) tendrán combustible no quemado, como partículas de carbono no quemado o monóxido de carbono en vez de dióxido de carbono. Se desarrollará menos calor por el proceso de combustión.

Si se suministra demasiado oxígeno o aire, la mezcla y la combustión son pobres, dando lugar a una llama más corta y más limpia o clara. El exceso de aire se lleva algo del calor desprendido en el hogar y lo traslada al exterior por la chimenea.

La combustión debería siempre efectuarse con exceso de aire para asegurar que todo el combustible se quema correctamente y así obtener el mejor rendimiento del desprendimiento de calor. Esto también reduce la formación de humo y depósitos de hollín, lo que hoy, con las estrictas leyes antipolución, es importante.

Las relaciones aire/combustible deben mantenerse a un nivel tan bajo como sea posible con el fin de ahorrar combustible. Sin embargo, a no ser que se utilice un exceso de aire en la cámara de combustión, puede tener lugar una combustión incompleta, que también malgastará combustible, pudiendo haber riesgo de explosión por ignición retardada en el hogar del combustible no quemado.

Para asegurar una combustión completa, debe suministrarse exceso de aire en cantidades que varían entre el 20 y el 30 por 100, dependiendo del combustible utilizado, la carga de caldera y su configuración. El exceso de aire está también influido por las necesidades de controlar las emisiones de NO_x y SO_2 .

El rendimiento de la caldera también puede estar afectado por una transferencia de calor pobre debida a depósitos de hollín o a depósitos de cal en el lado de agua de la caldera.

La formación de NO_x en el hogar es la combinación del nitrógeno del combustible con el oxígeno, denominado “combustible NO_x ”, mientras que el de producción en la zona de alta temperatura donde se combina el nitrógeno con el oxígeno del aire se denomina “ NO_x térmico”. Cuando se quema gas natural y aceites de destilación del petróleo ligeros, la mayor parte del NO_x es del tipo térmico, mientras que los aceites pesados (fuel-oil) y la combustión del carbón producen NO_x combustible.

Los límites de emisión de NO_x se especifican normalmente en términos de libras (kg) de NO_x por millones de BTU (kcal) desprendidas o de lb (kg)/hora.

2) Descripción del gas combustible

Se utilizará gas natural como gas combustible en cada una de las calderas de la instalación objeto del presente Proyecto.

El gas natural es el principal combustible utilizado en calefacción y generación de vapor, ya que los gases manufacturados son de coste muy elevado. Los gases subproducto normalmente tienen bajo poder calorífico y se producen en menores cantidades, de forma que normalmente se utilizan en los puntos de producción y no se distribuyen.

El gas natural es incoloro e inodoro. La composición varía según la fuente y origen, pero el metano (CH_4) es siempre el principal componente. La mayoría del gas natural contiene algo de etano (C_2H_6) y una pequeña cantidad de nitrógeno. El gas de algunas zonas, a menudo llamado *gas de pozo*, contiene sulfuro de hidrógeno y vapores orgánicos de azufre. El poder calorífico medio ronda los 1000 BTU/ft³ (9333 kcal/m³), o lo que es lo mismo, 20000 BTU/lb (11200 kcal/kg), pero pueden ser mucho mayor (12900-13000 kcal/kg). El gas natural se vende por pies cúbicos (m³), pero también puede venderse por termias (100000 BTU o 1000 kcal).

El gas natural utilizado en las calderas, es del tipo utilizado en la línea principal, cuyas características se describen en el **Anexo I: Características del Gas**.

3) Análisis del proceso de combustión de las calderas de la E.R.M.

De acuerdo con las ideas anteriormente expuestas, la combustión producida en cada una de las calderas de la E.R.M. G-160 tendrá las siguientes características:

- a) El gas natural utilizado no contiene azufre, lo que da lugar únicamente a la presencia de NO_x en los gases de salida de la caldera.
- b) Al quemar gas natural, la mayor parte del NO_x será de tipo térmico.
- c) Se utilizarán quemadores atmosféricos por etapas en cada una de las calderas, lo que da lugar al aporte de aire primario y secundario anteriormente mencionado, mejorando la turbulencia de la llama para favorecer la combustión completa.
- d) Al estar los quemadores abiertos a la atmosfera, existe el riesgo de que se suministre demasiado oxígeno o aire, llevándose el exceso de éste algo del calor desprendido en el hogar y trasladandolo al exterior por la chimenea.
- e) La utilización de gas natural permite la ausencia de cenizas, que puedan contaminar o dificultar la transmisión de calor.

f) El agua utilizada será sometida al tratamiento adecuado para evitar la formación de depósitos de cal que puedan dificultar el intercambio calorífico.

9.3.5.4.Descripción de las calderas

1) Potencia térmica

La potencia térmica a instalar será la necesaria para cubrir la demanda de calor de aportación por línea en operación, de acuerdo con la **tabla 6** de la Memoria del Proyecto.

Siempre que sea posible, la potencia unitaria de cada caldera no superará las 200000 kcal/h (232 kW).

El dimensionamiento se hará de forma que con una temperatura máxima del agua de 90 °C y teniendo en cuenta el rendimiento de la caldera y las pérdidas a través de las tuberías, aislamiento de la instalación y del intercambiador de calor, se consiga transmitir al gas la potencia térmica que se requiere, para el caudal máximo de la E.R.M.

Teniendo en cuenta todos estos requerimientos, la potencia térmica máxima aportada por cada caldera de la E.R.M. será de 65000 kcal/h, con una temperatura de salida del agua < 90 °C y depósito de acumulación incorporado.

Para aportar el 100 % del calor necesario para las dos líneas actualmente instaladas, se utilizarán dos calderas idénticas, de 65000 kcal/h cada una.

Esto es necesario porque con una sola caldera solo se cubren las necesidades de intercambio de calor del caudal máximo de gas natural para una sola línea.

2) Tiro de las calderas

El tiro provee la presión diferencial en el hogar para asegurar el flujo de gases. Sin tiro, producirá una estratificación en el proceso de combustión, y la llama o proceso de combustión muere por falta de aire. El tiro empuja o impulsa el aire y los gases resultantes de la combustión a través de la caldera y por el interior de la chimenea. También vence la resistencia al flujo presentada por las obstrucciones de tubos, paredes del hogar, compuertas y revestimiento de chimenea (y también escorias).

Las calderas de la E.R.M. serán de tiro natural, produciéndose por una chimenea por la cual la caldera evacua los gases. El aire frío admitido por el hogar (por medio de las compuertas de entrada) empuja para desplazar los gases calientes más ligeros del hogar (por diferencia de densidad). Así, los gases calientes suben (como los globos, por efecto chimenea).

3) Quemadores de las calderas

La combustión del gas no precisa preparación del combustible, como lo necesitan los sólidos y líquidos. Pero su proporción en el aire, mezclado y en combustión puede tratarse de varios modos. También necesitan conocerse las características del combustible para la selección de los equipos y de su operación con éxito.

Los quemadores utilizados, en las calderas del presente Proyecto, son de tipo atmosférico

Su funcionamiento se basa en aprovechar el momento cinético de la corriente gaseosa de entrada a baja presión para aspirar parte del aire necesario para la combustión. Un cierre o mecanismo similar regula la cantidad de aire inducido de esta manera. El gas y el aire pasan juntos a través de un tubo que conduce a la abertura del quemador, mezclándose en el proceso. La mezcla arde en las puertas o aberturas del cabezal del quemador (con una llama azul, no luminosa). El aire secundario se dirige a la llama desde la atmósfera circundante.

La operación es normalmente satisfactoria con un 30 al 70 por 100 de premezcla; en algunos diseños especiales se usa un 100 por 100 de aire primario. El aire secundario puede ser dirigido alrededor del quemador, dependiendo de la cantidad de área o sección de la abertura y del tiro.

Éstos se utilizan para quemar gas y difieren principalmente en el modo en que se mezclan el aire y el combustible.

Hay dos grandes clases:

a) Quemadores de alta presión: Utilizan el gas a cerca de 2 a 25 psi (de 0,15 a 1,75 kg/cm²) y el aire a la presión atmosférica o cerca de ella. Entre éstos se destacan:

- Quemadores atmosféricos de una sola abertura o puerta (**Figura 15a**). Una válvula de aguja controla el flujo de gas a través de la tobera corta; el aire es arrastrado alrededor de la puerta hacia el final. Con el tipo de quemador de puerta y forma definida, la naturaleza de la combustión depende en gran medida de la cantidad de aire primario o de premezcla. Con premezcla baja, la llama es larga y de pálido color azul.
- Quemadores de gas de tobera refractarios (**Figura 15b**). El arrastrar todo el aire de combustión depende del tiro natural o del ventilador; de aquí que las condiciones del tiro sean importantes. Un diseño utiliza múltiples chorros de gas, que descargan en la corriente de aire para producir una agitación violenta en un tubo corto de mezcla o túnel en refractario. En

el quemador de la figura los álabes de turbulencia imparten un movimiento de torbellino o *swirl* al aire entrante en el túnel.

b) Quemadores de baja presión (**Figura 15c**) en los que el gas está a presión atmosférica y el aire está de 1 a 2 psi (0,07-0,14 bar). Ésta unidad, a través del regulador inspirador, prepara una mezcla para varios quemadores. Pueden suministrar a un cabezal quemador a mayor presión, para sobrepasar las condiciones variables de tiro en el hogar, y mantener una buena capacidad de sobrecarga con mezcla uniforme aire combustible en todas las cargas.

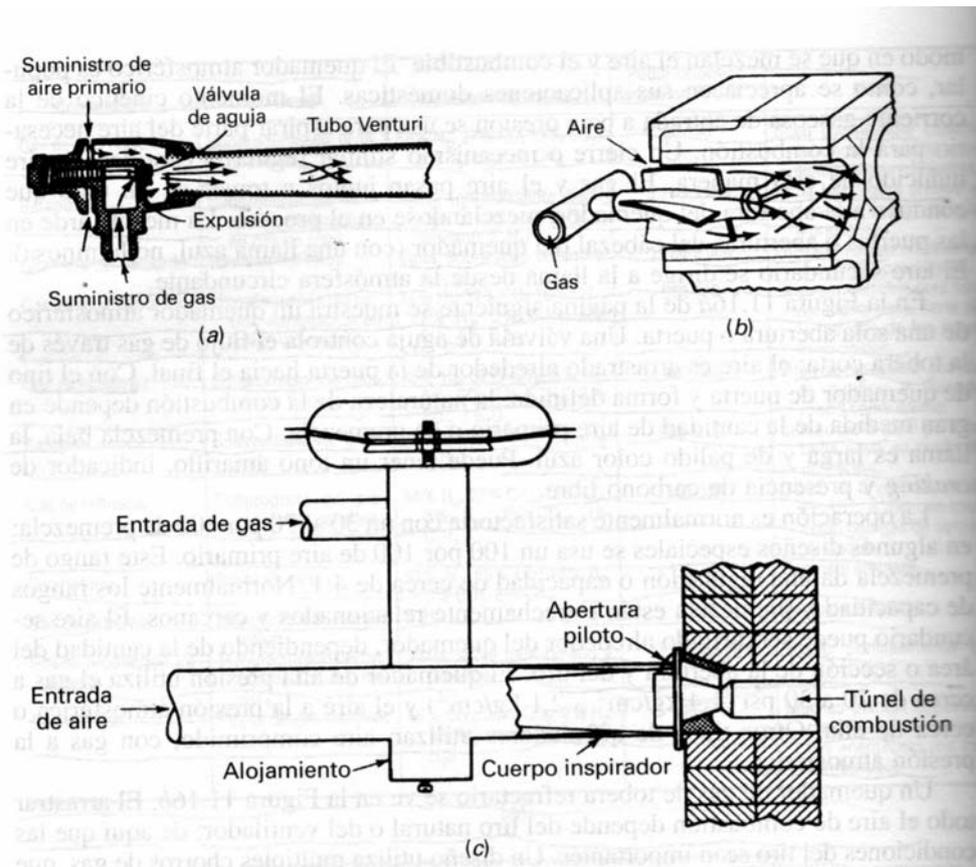


Figura 15. Tipos de quemar de gas. (a) Quemador de gas atmosférico. (b) Quemador de túnel de gas. (c) Quemador aspirador de mezcla de aire y gas para la combustión.

Fuente: *Manual de Calderas. Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas;* de Anthony L. Kohan.

Se adoptará la solución de utilizar quemadores atmosféricos de alta presión, con válvula electromagnética (de encendido y regulador de presión del gas), encendido piezoeléctrico y con una sola abertura o puerta.

Este quemador será de dos etapas (aire primario-secundario), lo que garantiza la combustión completa, cuidando los siguientes factores:

- **La superficie del hogar de la caldera abierto a la atmosfera, ya que estamos utilizando quemadores atmosféricos, debiera diseñarse con un tamaño adecuado para aportar la suficiente cantidad de aire secundario justa para conseguir una combustión completa, evitando el aporte de demasiado aire que pueda eliminar parte del calor aportado en la caldera a traves de la chimenea de evacuación de gases.**

- **También se deberá ajustar la válvula de aguja para que aporte la cantidad justa de aire primario, con la misma finalidad.**

- **Todos estos ajustes y diseños se harán para conseguir un intervalo de relación aire/combustible óptimo, ya que esta podría variar ligeramente debido a las condiciones ambientales (se deberán tener en cuenta antes de realizar los ajustes y diseños mencionados).**

3) Control de las emisiones de NO_x y evacuación de humos

a) Control de las emisiones de NO_x.

El control de las emisiones de NO_x se viene aplicando no sólo a calderas, sino también, por requerimiento legislativo, a calentadores y hornos de la industria petroquímica y a las emisiones de las turbinas de gas. Las espesas formaciones de humos en las zonas industriales son una consecuencia de las emisiones de NO_x, que combinado con gases reactivos de tipo orgánico, forman ozono (O₃).

Mientras que el ozono se necesita en la atmósfera superior para bloquear la radiación solar peligrosa, se considera cancerígeno cuando se mezcla con el aire ambiente, y representa así un peligro para la salud si se concentra por encima de ciertos límites o umbrales peligrosos. La reducción de NO_x en el proceso de combustión puede tomar muchas formas, dependiendo de la caldera o proceso de combustión implicado.

Las calderas de la E.R.M utilizarán el método de la combustión por etapas para bajar las temperaturas punta, ya que la formación y concentración de óxidos de nitrógeno están influenciadas principalmente por la composición del combustible (NO_x combustible), diseño del quemador, y caja de llamas o temperatura de la llama y tiempo de residencia de combustión. Los

quemadores por etapas constan de dos sistemas o pueden encontrarse en dos clases:

- Quemador de aire por etapas que divide el aire de combustión en primario y secundario. La combustión primaria, rica en combustible, limita la temperatura punta de la llama, limitando así la formación de NO_x . El aire secundario se introduce para completar la combustión de la parte del combustible que todavía queda en la mezcla rica.

- Los quemadores del combustible por etapas inyectan una parte del combustible gaseoso en el aire de combustión, y esto da como resultado una combustión muy pobre, lo que reduce la temperatura también la temperatura punta de la llama, dando como resultado una formación térmica menor de NO_x . El resto del combustible es inyectado en una combustión secundaria a través de inyectores o boquillas secundarias. Los productos de la combustión de la zona primaria reducen la temperatura punta y la concentración de oxígeno de la zona secundaria, inhibiendo así la formación de NO_x .

Los quemadores de las calderas del presente Proyecto serán de la clase a).

Las calderas deberán ser de alto rendimiento y de baja emisión garantizando, como mínimo, unas emisiones de NO_x equivalentes a las producidas por quemadores clasificados como clase 2 según norma UNE-EN-676.

b) Evacuación de gases

La evacuación de gases de combustión de calderas se efectuará mediante conductos de tiro natural, la altura y sección de paso de los conductos han de ser tal que, teniendo en cuenta todos los cambios de dirección y tramos no verticales necesarios, se garantice una adecuada evacuación de los gases.

Para ello se utilizaran chimeneas en chapa de acero 1 mm de espesor.

En general, se considera que se cumple con el requisito anterior para potencias caloríficas menores de 1,6 millones de kcal/h (1859 kW) cuando el área de la sección recta equivale a la circular correspondiente a los diámetros indicados a continuación:

POTENCIA		DIÁMETRO EQUIVALENTE
kcal/h	kW	mm
25.000	29	100
40.000	46	120
65.000	75	150
100.000	116	175
165.000	192	250
250.000	290	300
400.000	465	375
625.000	725	450
1.000.000	1.162	575
1.600.000	1.859	700

La sección recta se puede dividir en varias chimeneas, pero nunca más de una (1) por módulo.

Tabla 12. Diámetros equivalentes de la sección circular para chimeneas de sección cuadrada.

Fuente: Especificación E-1 Rev-11. Estaciones Normalizadas de Regulación y Medida de Alta Presión

Las calderas de la E.R.M. G-160 serán de 65000 kcal/h de potencia máxima, siendo el diametro equivalente de la sección circular 150 mm.

Se deberá cumplir que el área de la sección circular, calculada con este diámetro, sea igual al área de la sección recta.

La longitud total del sistema de conductos entre la salida del hogar y la descarga a la atmósfera no será mayor de 1,5 veces la distancia en vertical entre ambos puntos.

Las chimeneas deberán estar provistas de los orificios precisos para poder realizar la toma de muestras de gases, de acuerdo con la Orden del 18 de Octubre de 1976 sobre prevención y corrección de la contaminación industrial atmosférica. La situación, disposición, dimensión de conexiones y accesos de/a dicha toma de muestras se efectuarán de acuerdo con el Anexo III de la citada orden. En ningún caso la toma de muestras se situará a menos de dos diámetros del último cambio de sección o dirección de la chimenea, ni a menos de medio diámetro de la salida de la misma. A estos efectos se considerará el diámetro interior de la chimenea.

Se evitará la formación de condensados en los conductos por medio de calorifugado o revestimientos adecuados.

Para prever la eventual formación de condensados, por ejemplo durante transitorios de arranque/parada, los conductos han de drenar hacia el hogar sin fugas al exterior durante el recorrido, para esto:

- Los conductos han de solaparse durante una longitud suficiente, estando unos dentro de otros desde el hogar hacia la salida.
- Los tramos no verticales tendrán una pendiente mínima de un 5/1000.

- En tramos no verticales las costuras longitudinales, si existen, estarán en la parte superior.

- A la salida de la chimenea se instalará un dispositivo antipájaros.

9.3.5.5.Descripción del sistema de agua caliente

Las bombas de circulación, depósito de expansión, valvulería y tubería, forman el sistema de agua caliente asociado a las calderas e intercambiadores de calor.

En cualquier caso la potencia de las bombas estará calculada para mantener una presión en el circuito de agua caliente de 2,5 bar, suponiendo una pérdida de carga total en el circuito de agua caliente (incluido intercambiador, tubería y accesorios) de 1 bar a caudal máximo de la E.R.M.

El sistema de agua será del tipo “circuito cerrado” (depósito de expansión con diafragma elástico de separación de la atmósfera). La presión de diseño del depósito de expansión será igual o mayor que la presión de diseño de las calderas.

Se instalarán dos bombas centrífugas de circulación a 4 Kg/cm² (PN 6) para impulsar el agua caliente a los intercambiadores. Deberán disponer de tres curvas de trabajo y selector manual de velocidad y potencia, una

reserva de la otra, entrando en funcionamiento automáticamente al pararse la principal.

Cada bomba irá provista de cierre mecánico, cojinetes mecánicos refrigerados por agua, asegurando una larga duración. Están montadas en colectores de impulsión y retorno, incorporando, válvula de compuerta de acero moldeado para PN 16 y filtro en “Y” para el agua del circuito, con malla de acero inoxidable 1 x 0,5 mm para PN 16.

Para el dimensionamiento de las bombas ha de tenerse presente que, al no ser instalados elementos automáticos de corte en el lado del agua, las tuberías asociadas al sistema de agua caliente de la línea de reserva tienen circulación permanente de agua por el intercambiador.

Se utilizarán aceleradores del tipo “dúplex” es decir, dos bombas en un solo cuerpo. En este caso llevarán un dispositivo de paso único, que será una válvula de retención de tipo clapeta (o incorporada al cuerpo de la bomba), en la impulsión que evite el by-pass y el funcionamiento de las dos bombas será independiente, pudiendo operar una como reserva de la otra.

Como criterio de diseño, en el sistema de tubería de agua no se superará, con tuberías limpias, la velocidad de 1 m/s. Al tratarse de un sistema cerrado, se incluirá un aporte de agua para compensar las posibles pérdidas de agua en el circuito.

La distribución de agua se efectúa mediante tubería de acero sin soldadura con conexiones mediante bridas DIN 2633 PN-10, efectuando retorno invertido en los dos intercambiadores para la mejor regulación del caudal suministrado

El purgado de la instalación se efectúa mediante una válvula manual, en punto alto de la instalación, calculado al efecto.

Todas las tuberías de agua de calderas estarán aisladas con 5 cm de coquilla de vidrio, con acabado de aluminio.

9.3.5.6. Seguridad de las calderas y sistema de agua caliente

1) Condiciones generales de seguridad de calderas

a) Controles de seguridad

Los controles de seguridad generalmente son aquellos que limitan la entrada de energía y así cierran o cortan los equipos cuando surgen condiciones de inseguridad.

Éstos son:

- Controles de limitación de presión o temperatura.

- Controles de corte de combustible por nivel de agua bajo.
- Sistemas de salvaguardia por fallo de llama.
- Controles de encendido automático.
- Controles de válvula de corte de combustible gaseoso o líquido.
- Controles interconectados de presión de aire y de combustible.
- Controles reguladores del agua de alimentación

Las válvulas de seguridad (o de sobrepresión) son el dispositivo de seguridad más importante. Mientras no se considere otro control en el sentido normal, son la última medida de seguridad contra una explosión importante.

Los controles de seguridad previenen contra los riesgos siguientes:

- Sobrepresión, fundamentalmente contra explosiones del lado de agua.

- Explosiones del lado de fuego (explosiones del hogar) debidas a mezclas incontroladas de combustible en la zona del hogar (o conductos de gases).

Estos tipos de accidentes se consideran mayores y pueden llevar a pérdidas de vidas y serios daños a la propiedad. Otras fuentes potenciales de accidentes son las grietas y ampollas locales en el metal, por sobrecalentamiento debido a depósitos, deformaciones, tales como el abombamiento de tubos o su curvado, adelgazamiento o pérdidas de espesores en partes a presión vitales que pueden conducir a rotura local o agrietamiento; fallos, contracción y expansión, produciendo rotura de partes metálicas.

Los dos primeros fallos expuestos se controlan mediante los controles automáticos anteriormente descritos.

Los demás fallos se controlan mediante la prevención a través de la inspección legal y de la realización de prácticas mas adecuadas de trabajo y mantenimiento, lo que es de esperar del propietario-usuario de la caldera.

Están incluidos un tratamiento correcto del agua de alimentación y pruebas de los controles a intervalos periódicos, incluyendo los de las válvulas de seguridad.

b) Sistema de seguridad de llama del quemador

Un sistema de seguridad de llama consiste en un dispositivo de sistema de detección de llama, interconexiones y relés que detectan la presencia sensible de una llama adecuada y correcta en un hogar e inducen y provocan el corte de combustión al quemador si se desarrollan condiciones de riesgo (llama o combustión inadecuada).

Los modernos controles de los sistemas de combustión están interconectados con los sistemas de seguridad de llama y también con los dispositivos de limitación de presión, dispositivos de nivel de agua bajo y otros controles de seguridad que cortarán la entrada de combustible a la caldera cuando se presenten unas condiciones peligrosas.

De este modo, es obvio que un sistema de seguridad moderno de llama cumple con dos funciones: detecta la presencia de una llama buena o una combustión adecuada y programa la operación de un sistema de quemadores de forma que los motores, ventiladores, antorcha y válvulas de combustible se encenderán sólo cuando sea necesario y, además, en la secuencia apropiada.

Una explosión del hogar es la ignición y casi instantánea combustión de gas explosivo, gas, vapor altamente inflamable o

incluso polvo acumulado en la caldera. A menudo es de una fuerza expansiva mayor que la que la caldera puede soportar.

En las explosiones menores, llamadas “bufidos”, soplos, retrocesos de llama o resoplos, las llamas pueden soplar repentinamente hasta una distancia de muchos metros de distancia de las puertas y mirillas de observación. Tales explosiones menores indican condiciones peligrosas, incluso si no se han producido daños reales.

Las explosiones mayores pueden destrozar los baffles de gases, abollar las paredes de la membrana, perder refractarios de los ajustes de topes en ladrillería a través de la cubierta, soplar y desencajar las paredes laterales de la parte inferior de la caldera, romper las tuberías de conexión e incluso demoler los alojamientos de la caldera. Las causas principales de explosiones del hogar:

- Fallo de llama que da lugar a la entrada de líquidos o gas inerte en el sistema de combustible de la caldera.
- Purga insuficiente antes del primer encendido del quemador.
- Error humano.

- Fallo de los controles automáticos de la válvula reguladora de combustible.
- Fugas o pérdidas de la válvula de corte de combustible.
- Relación de aire / combustible desequilibrada.
- Fallo de los sistemas de suministro de combustible.
- Pérdida de tiro del hogar.
- Fallo de la antorcha de encendido.

Han ocurrido varios incidentes implosiones en el hogar, con resultado de daños considerables a la instalación de la caldera. Estas implosiones del hogar han tenido lugar en calderas de tiro equilibrado y combustible fósil, donde se desarrolló suficiente fuerza para sobrepasar la tensión estructural del hogar de la caldera. No se han descrito incidentes en las unidades de gas natural, porque pocas calderas de gas son de tiro equilibrado.

Dispositivos de control de llama. Muchos dispositivos de control de llama están basados en los siguientes principios físicos de una llama:

- La llama produce una zona ionizada, lo que significa que puede conducir una corriente eléctrica a su través. Los electrodos detectores de conductividad de la llama utilizan el principio de la conductividad de la llama para el control de la detección de llama.

- La llama puede rectificar una corriente alterna. Esto se hace por medio de un electrodo a través de una llama mayor que otra, haciendo así que los electrones fluyan a través de la llama más fácilmente en una dirección que en la opuesta.

- La radiación de la luz es un fenómeno conocido de cualquier fuego o llama. Una llama emite energía en forma de ondas que producen calor y luz. Los tres tipos de radiación de una llama son:
 - a) Luz visible que puede ser observada por el ojo humano. Las longitudes de onda de la radiación visible se extiende solo desde 0,4 a 0,8 micras (μm). Cuando el cadmio se expone a la luz visible, emite electrones con

 - b) La radiación de infrarroja cubre la mayoría de las bandas usuales de longitudes de onda y también cubre la mayoría de la intensidad de

radiación. Los detectores infrarrojos son adecuados para llamas de gases y combustibles líquidos. Como el refractario caliente también irradia infrarrojos, los visores deben evitar los refractarios calientes.

c) La radiación ultravioleta es el últimos detector de llama basado en el fenómeno de sensibilización a la intensidad de radiación ultravioleta de una llama. Es insensible a la radiación visual e infrarroja y no está afectada por los refractarios calientes, ya que estos normalmente no dan radiación ultravioleta apreciable.

La intensidad de la señal detectada o corriente que pasa a través del tubo o célula sensible depende del tipo de combustible, tamaño y temperatura de la llama y distancia entre el detector de llama y la llama.

Tipos de detectores. El tipo de detector de llama depende del combustible usado depende del combustible usado, tipo de quemador y tamaño y disposición de la caldera. Los detectores de llama varían desde los utilizados en las calderas domésticas pequeñas a los de las grandes calderas. Los tipos de detectores y la tarea que cada uno cumple son:

- Dispositivos de chimenea, sensor térmico.
- Electrodo detector de llama rectificador, sensible térmicamente.
- Focélula rectificadora, sensible a la luz visible.
- Focélula de sulfuro de plomo, sensible al infrarrojo.
- Focélula de sulfuro de cadmio, sensible a la luz visible.
- Tubo detector de llama ultravioleta, sensible a la luz ultravioleta.

A pesar de que cada uno de los dispositivos sensibles a la llama pueden ofrecer una protección sustancial si están adecuadamente instalados, todos están sujetos a ciertas limitaciones que deben ser tenidas en cuenta. Por ejemplo, la célula de sulfuro de plomo y la célula fotoeléctrica están sujetas a las siguientes limitaciones (hay alguna variación entre cada tipo):

- a) Discriminación entre quemadores: Con más de cuatro quemadores en un hogar, se hace difícil localizar la célula sensible donde no pueda estar afectada por la llama de un

quemador adyacente cuando la llama del quemador sobre la que está montada se ha extinguido.

b) Temperatura ambiente del sensor de célula: La temperatura ambiente elevada de las células sensibles (que se obtienen fácilmente en las ubicaciones donde deben instalarse) pueden dar como resultado señales erráticas, señales falsas y una vida corta. Se ha utilizado aire y agua de refrigeración para disminuir, prevenir o minimizar estas limitaciones.

El electrodo detector de llama esta sujeto a:

- Corta vida de servicio por alta temperatura de llama.
- Ensuciamiento de aisladores, causando cortocircuitos y fallos.
- Dificultad de suministrar suficiente área de electrodo a tierra.
- Limitado generalmente a llamas piloto y pequeños quemadores .

La siguiente tabla hace algunas comparaciones de los diferentes sistemas de salvaguardia de llama.

COMPARACIÓN DE SEGURIDADES DE LLAMA					
Principio de detención	Rectificación		Infrarrojo	Luz visible	Ultravioleta
Tipo de detector	Electrodo rectificador	Fototubo rectificador	Fotocélula de sulfuro de plomo	Fotocélula de sulfuro de cadmio	Tubo detector de rayos UV
Ventajas					
Mismo detector para llama de gas o aceite					
Puede detectar llama en tres dimensiones					
El ángulo de visión puede orientarse para detectar llama en dos dimensiones					
No afectado por refractario caliente					
Autocomprueba sus propios componentes antes de cada arranque					
Puede utilizar cableado de plástico no apantallado					
No hay problema de instalación por el tamaño					
Desventajas					
Dificultad para visualizar el mejor punto de ignición					
La exposición al refractario caliente puede reducir la sensibilidad a la oscilación de la llama y requerir enfoque por orificio					
Electrodo sujeto a rápido deterioro y combado por la alta temperatura					
No sensible a duras premezclas de flujo de gas					
Límite de temperatura excesivamente bajo para algunas aplicaciones					
El resplandor de los gases calientes enfrente del refractario caliente puede producir simulación de llama					
El refractario trasero caliente puede producir simulación de llama					
La autoignición eléctrica puede producir simulación de llama					

Tabla 13. Comparación entre detectores de llama

Fuente: Manual de Calderas.Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas; de Anthony L. Kohan.

3) Dispositivos de seguridad de las calderas y sistema de agua caliente de la E.R.M.

Las calderas de la E.R.M. G-160 son calderas de calefacción de baja presión, teniendo que cumplir los requerimientos de seguridad para este tipo de calderas, descritos por el código ASME.

Ademas se tendran en cuenta las condiciones generales, aplicables a las calderas de calefacción de agua caliente, de seguridad en calderas descritas anteriormente.

Los dispositivos de seguridad a utilizar en las calderas y sistema de agua de caliente de la E.R.M. G-160 serán:

- Un manómetro o medidor de altura de columna de agua se necesita en la caldera de agua caliente, con una escala y dial graduada a no menos que 1,5 veces (y no más de tres veces) la presión a la que está tarada la válvula de seguridad.
- Un termómetro o dial (circular, lineal o de capilla) se necesita en la caldera de agua caliente que esté conectado y localizado de modo que pueda leerse cuando la presión o altura de agua de la caldera sea efectiva. La graduación del termómetro debe ser en grados centígrados y éste debe situarse de modo que la temperatura del agua de la caldera se pueda mirar en o cerca de la salida de agua caliente.

Se necesitan dos controles en las calderas automáticas de agua caliente:

a) Un control operativo del límite de trabajo que corte el suministro de combustible cuando la temperatura del agua alcance el límite operativo deseado. Para ello, cada caldera, incorpora cuadro de control con termostato regulador de temperatura, ajustable entre 30-90 °C.

Se aconseja una regulación no inferior a una temperatura del agua de 50 °C, a fin de evitar daños debidos a la condensación que se pudiera producir. Para ello, el termostato regulador activará una alarma por baja temperatura, cuando la temperatura del agua se encuentre por debajo de la anteriormente mencionada.

b) Un control de límite superior que corte el suministro de combustible. Este control de límite superior está ajustado a una temperatura por encima de la de trabajo deseada, pero debe ajustarse de modo que la temperatura del agua no exceda de 121 °C en la salida de la caldera.

Su función es evitar que el agua de la instalación supere el valor de la ebullición.

En cada una de las dos calderas de la presente instalación, se utilizará un termopar conectado en serie, a través de un termostato de seguridad, a un limitador automático de la temperatura de seguridad prefijado a 110 °C y ajustable hasta 100 °C.

El desbloqueo automático del limitador de temperatura puede llegar solo con el enfriamiento de la caldera (la temperatura debe bajar al menos 10 °C), la localización y consiguiente eliminación del inconveniente que ha provocado el bloqueo. El termostato de seguridad esta en el interior del panel portainstrumentos.

- Todo el circuito eléctrico de control en las calderas automáticas de agua caliente alimentadas con combustible, así como en las de calefacción a vapor, debe estar puesto a tierra positivamente y debe operarse a 150 voltios o menos. El sistema de cableado debe incluir asimismo un neutro así como equipo de puesta a tierra (cableado y “picas” de toma de tierra).

- Una caldera de calefacción de agua caliente debe estar equipada con válvula de seguridad de muelle aprobada por el código ASME y a o por debajo de la presión máxima admisible de la caldera. El tamaño mínimo de válvula

es de $\frac{3}{4}$ " (19 mm) y el máximo permitido es de 4,5" (114,3 mm). La capacidad debe ser mayor que la de salida de caldera (marcada) pero en ningún caso deberá subir la presión más de un 10 por 100 por encima de la máxima presión admisible, si el equipo trabaja a su capacidad máxima.

Para ello, en el circuito de agua caliente, se utilizarán válvulas de alivio para la protección frente a sobrepresiones. La PSV-2A/B que se instalará en los intercambiadores de calor, se dimensiona para gas y se tara a una presión menor que PSV-4, ya que su misión es la de aliviar eventuales fugas de gas al lado de la carcasa. La PSV-4 se dimensiona para agua, protege la instalación ante sobrepresiones debidas a temperaturas del agua fuera del rango de control y se tara a la presión de diseño de las calderas.

Ésta última, por lo tanto, sería la válvula de seguridad requerida por el código ASME.

- Las calderas automáticas de combustible líquido o gaseoso y de vapor o agua caliente de calefacción deben estar equipadas con controles de seguridad de llama que corten el combustible cuando haya una combustión inadecuada en el quemador.

Las calderas disponen de un dispositivo de control de la evacuación de los productos de la combustión. Si la instalación de la evacuación de humos presentara anomalías con la entrada en el ambiente de gas quemado, el aparato se apaga. Para el control de la temperatura de humos en el cortatiro se encuentra el bulbo sensor de temperatura. El eventual escape de gas combustible en el ambiente provoca un aumento de temperatura en el bulbo, que a los 2 minutos apaga la caldera interrumpiendo la llegada de gas al quemador.

- Los quemadores cuentan con un termoelemento de seguridad, que consiste en una célula fotoeléctrica o dispositivo iónico o similar que corta el suministro de combustible a la caldera si el aparato no detecta la llama o esta se apaga.
- La expansión del circuito de agua caliente se compensa mediante un vaso de expansión tipo membrana con un tarado de circuito en frío de 1 bar, incorporando una válvula de seguridad tarada a 3 bar.

La función del vaso de expansión es permitir la dilatación del agua cuando se calienta, sin permitirse un aumento correspondiente de presión. Un problema corriente de los sistemas de calefacción-agua caliente es que el vaso de expansión pierda su colchón de aire, de forma que el sistema

de agua no puede expandirse sin elevar la presión del sistema. Si este problema se desprecia, la presión puede subir hasta el punto de la válvula de seguridad puede abrirse y tirar agua. Así, es necesario un chequeo periódico de la presión y un posible drenaje del vaso de expansión puede ser necesario para restablecer el colchón de aire.

- Existe un purgador de boya para eliminar el aire que pueda acumularse en la parte alta del intercambiador.
- Se preverán conexiones con válvula en los puntos más altos y bajos de la instalación, para facilitar el venteo y el vaciado respectivamente. Estas venteos contarán con un dispositivo antideflagrante basado en malla metálica de 1 mm de luz sujeto al tubo mediante una abrazadera metálica, ambas piezas de material inoxidable.
- El número de válvulas de aislamiento en el lado del agua será tal que cada caldera, cambiador y bomba centrífuga sean aislables del conjunto.
- En la impulsión de las bombas del circuito de agua caliente existe una válvula de retención de tipo de clapeta (o incorporada al cuerpo de la bomba) evitando el bypass.

9.3.5.7. Control de calderas y sistema de agua caliente

El control de calderas y bombas se realiza mediante un PLC cuya misión es la que se describe a continuación:

- Mantener la temperatura del gas a la salida de la E.R.M. (TIC-7) a $8\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$.
- Mantener la temperatura del agua del circuito de calentamiento (TE-12) por encima de $10\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.
- Protección y mando de bombas y calderas.

1) Control de la temperatura del gas y del circuito de calentamiento

El control de temperatura del gas se efectúa por medio de un PLC situado en el cuadro de control de calderas, mediante un algoritmo de control que en función de la señal de temperatura del gas de salida del sensor instalado aguas abajo de la turbina, encenderá o apagará secuencialmente las calderas para mantener la temperatura del gas en un valor fijado previamente como punto de consigna.

Con objeto de que la temperatura que determine el proceso de calentamiento sea la temperatura del gas, el valor de consigna que debe residir en el controlador es el de la TIC-7 (temperatura del gas en el colector de salida de la E.R.M.). De esta manera el funcionamiento de

las calderas lo condiciona la temperatura del gas y no la del circuito de calentamiento, excepto cuando la temperatura del agua esté por debajo de 10 °C.

El funcionamiento del sistema de control de calderas se explica a través de la siguiente gráfica:

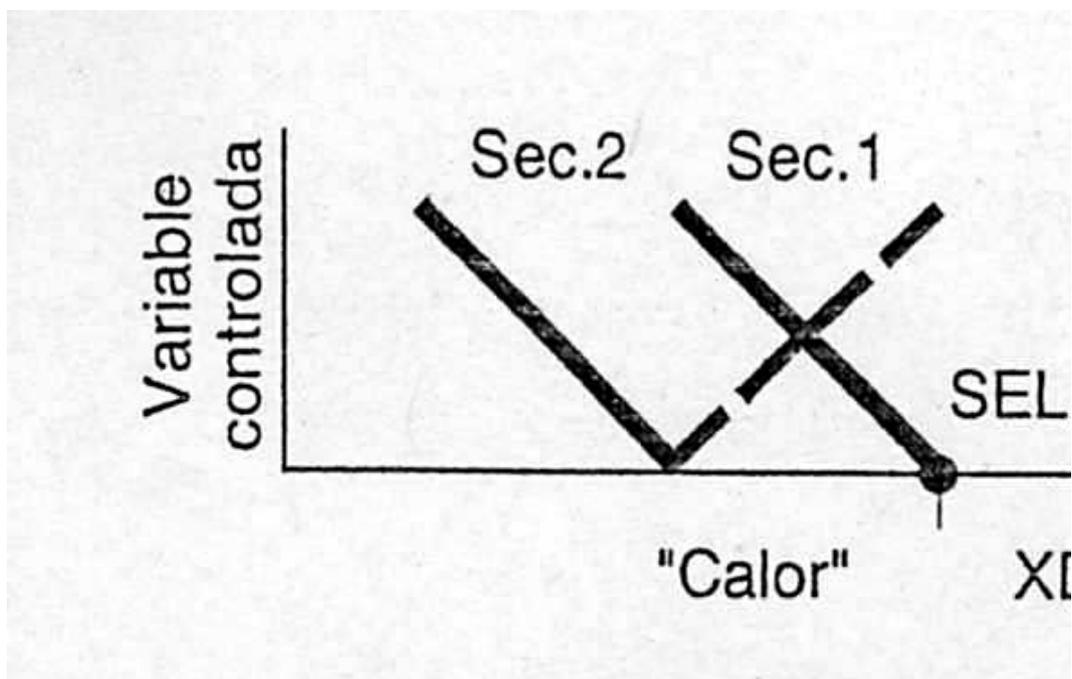


Figura 16. Funcionamiento del sistema de control de las calderas

Fuente: Manual del sistema de control

En ésta gráfica se puede observar la representación de la variable controlada, que en éste caso es la temperatura del gas en el colector de salida de la E.R.M., frente al calor aportado.

La señal de salida de “calor” [SEL] es de acción inversa a la variación de la temperatura del gas.

Cada ciclo de control se compone de dos secuencias:

Secuencia 2: La temperatura del gas en el colector de salida disminuye por debajo del set-point establecida, comenzando a aumentar el aporte de calor, al encenderse la primera caldera.

Transcurrido un tiempo establecido en el PLC, se enciende la segunda caldera.

Secuencia 1: La temperatura del gas aumenta por encima del set-point, apagándose la segunda caldera.

Transcurrido un tiempo se apaga la primera caldera.

A través de estos ciclos de control se mantiene la temperatura en el set-point establecido en el PLC, aportando el calor necesario en cada momento.

Cuanto mayor sea la demanda calorífica de la instalación, más rápidos serán estos ciclos de control, aportando más calor en un intervalo de tiempo determinado.

Esto justifica el diseño de los intercambiadores de calor de cada línea, ya que siempre se asegurará el calor necesario para el caudal máximo de gas de cada una, trabajando las calderas a la velocidad de aporte calorífico requerida, a través de secuencias de encendido-apagado más rápidas.

La precisión del control de temperatura será tal que en las condiciones de presión y temperatura del gas dentro del margen de diseño de la línea y para caudales entre el 10% y el 100% del máximo, la temperatura del gas aguas abajo de la turbina (8 °C) se desvíe como máximo ± 1 °C del punto de consigna, con una temperatura media del agua de aproximadamente 80 °C.

2) Protección y mando de bombas y calderas

La programación del PLC debe permitir un tiempo de recirculación de bombas, a paro de calderas, de al menos 60 minutos.

Para un correcto seguimiento del funcionamiento de las calderas, se instalarán los contadores de horas correspondientes. También se instalan dos equipos de protección de motor (guarda motor) para las bombas de circulación de agua caliente. Las bombas nunca podrán funcionar simultáneamente, por lo tanto una quedará en reserva permanentemente, conectándose automáticamente en caso de fallo en la bomba que en ese momento funcione. La bomba seleccionada quedará indicada por un piloto encendido, situado en la puerta del cuadro.

El cuadro de control dispondrá de un espacio y de las reservas necesarias y estará diseñado de forma que permita la ampliación futura prevista.

En el cuadro, y con el fin de detectar cualquier fallo en la instalación se instalan una serie de alarmas que funcionan de la siguiente manera:

a) Alarma por alta temperatura en calderas (TAHH-13).

Con el sistema funcionando en posición “automático”, suponiendo que en cualquier caldera y por la causa que fuese, la temperatura sobrepasase los 90 °C se produce el disparo del termostato de seguridad y la desconexión de la caldera, quedando únicamente en funcionamiento el piloto. Esta desconexión se indica por una luz roja situada en la puerta del armario y la caldera no volverá a funcionar hasta que una vez reparada la avería y pulsado el botón de rearme de alarmas, la luz no desaparezca.

b) Alarma por fallo de bombas (XS-3).

Al producirse el fallo en la bomba que esté funcionando, inmediatamente se enciende el piloto correspondientes. La bomba se desconecta y automáticamente se pone en funcionamiento la que en ese momento actúe de reserva. Una vez reparado el fallo debe procederse al rearme como en el caso anterior para que quede en disposición de funcionamiento.

c) Alarma por baja temperatura (TSL-11).

Se produce cuando la temperatura del agua en el circuito de impulsión es menor de 60 °C, o la que se determine mediante la regulación del termostato.

Todos los elementos de protección, señalización y mando asociados al sistema de agua caliente se alojarán en el interior de un armario metálico mural practicable por su parte anterior, con puerta de cristal de seguridad y ubicado en la Zona de Calderas, con protección IP-30 (no se mecanizará en ningún caso el cuadro, para garantizar la protección) conteniendo:

- 1) Alarmas e indicadores luminosos del sistema de agua caliente.
- 2) Programador de entrada / salida secuencial de las calderas modulares.
- 3) Protecciones de los motores de accionamiento de las bombas de circulación de agua caliente (magnetotérmicos, fusibles).
- 4) Pulsadores y/o conmutadores manuales.

Los relés se conectarán con el principio “desenergizado para disparar”. Cada bomba de circulación irá protegida por un relé magnetotérmico. Este relé será de rearme automático o bien permanecerá armado en caso

de fallo de energía. Dispondrá de contactos auxiliares para señalización en panel, que globalizados se entregan a telecomunicaciones. El fallo de fase impedirá la entrada de las bombas para evitar la actuación del térmico.

9.3.5.8. Resumen de características de las calderas

En la siguiente tabla se resumirán las características de las calderas, tanto las obtenidas del Anexo de Cálculos como las comentadas en la presente Memoria, siendo los requerimientos que deberá cumplir el fabricante de las calderas a instalar en la E.R.M. G-160.

Tipo de caldera	Caldera de fundición de sección horizontal
Clasificación según Normativa	Caldera de calefacción de baja presión; Categoría C
Potencia máxima	65000 kcal/h
Rendimiento (en base a la potencia total aportada por ambas calderas)	51,46 %
Tiro de las calderas	Natural
Tipo de quemador	Atmosférico de dos etapas
Tipo de combustible	Gas Natural

Tabla 14. Resumen de características de la caldera

9.3.6. Reguladores.

9.3.6.1. Introducción teórica

El regulador más sencillo, está constituido por un orificio (válvula) maniobrable a mano, para obtener la presión deseada.

Dependiendo del régimen de derrame del gas a través de un orificio de sección S , existe una relación entre la presión de entrada P y la presión de salida P' y el caudal.

Cualquiera que sea una de las presiones (entrada o salida) y el caudal del gas, dependiendo de la sección S se puede fijar la presión de salida, teniendo como límite las características del equipo.

El regulador está compuesto por una serie de elementos, entre los que se encuentran, el obturador, la membrana, muelle, vástago, etc.

Cualquier variación de presión a la entrada como a la salida, desplazará el obturador regulando la presión deseada.

Las funciones principales de un regulador son las siguientes:

- **Reducir la presión al punto de consigna deseado.**
- **Mantener lo más constante posible y sin oscilaciones la presión de salida, aunque existan variaciones de caudal y sea inestable la presión de entrada.**

El equipo de regulación debe ser fiable, preciso, sensible, estable, estanco al cierre, asegurar el límite de presión de taraje, y mantener el

caudal con un mínimo de presión de entrada (según características del fabricante).

Fiable.- Un regulador se considera fiable cuando en determinadas condiciones de presión de entrada y un caudal variable, mantienen una presión constante dentro del margen de tolerancia del equipo.

Preciso.- El regulador se considera preciso cuando la presión de salida, la mantiene igual la presión de consigna. Esta precisión viene dada por el fabricante.

Sensible.- Se considera sensible un regulador cuando como consecuencia del rozamiento mecánico, y aunque cambie el régimen de funcionamiento del regulador, el tiempo de respuesta del equipo es igual o próximo a la consigna deseada.

Estanco al cierre.- Debe garantizar, que al cierre del regulador sea estanco para evitar perturbaciones en la red.

Límite de presión de taraje.- Dependiendo de la forma en que se realiza la interrupción de caudal, es posible que se de una presión de salida superior a la de consigna. Esta sobrepresión debe ser lo mas próxima posible a la presión de taraje.

Seguridad en el suministro.- Independientemente de las fluctuaciones de presión de entrada, y de las posibles variaciones de caudal de suministro, en situaciones críticas de temperatura y caudal debe mantener el suministro con la mínima presión diferencia.

9.3.6.2. Tipos de reguladores

Según el diseño de un regulador pueden ser, de acción directa o de acción indirecta o pilotados.

a) Acción directa.- En los reguladores de acción directa, cualquier variación de la presión respecto de la presión de consigna, modifica directa y mecánicamente las variaciones de la sección de paso, variando el caudal de suministro. En caso de rotura de membrana, o de falta de presión, el único elemento que ejerce una fuerza es el resorte, así como el peso del conjunto, abriendo el obturador al máximo (fail to open).

b) Acción indirecta o pilotados.- En los reguladores pilotados se hace necesario un amplificador de señal (piloto) permitiendo variar la presión de consigna, estos equipos normalmente cierran en caso de rotura de membrana (fail to close).

Pilotos.- Estos equipos son elementos de doble función, comparando la presión de salida con la presión de consigna, en función de la desviación, actúan sobre el servomotor por medio de una presión de motorización, desplazando el obturador de forma que mantenga la presión de consigna.

La presión motorizada es la resultante de la presión motriz regulada a una presión capaz de realizar el movimiento de los elementos obturadores para regular la presión de salida según la consigna predeterminada.

La presión motriz es tomada de un pequeño regulador llamado predentor o prepiloto que tiene una presión prefijada, esta presión alimenta al piloto en su parte activa.

El prepiloto tiene la función de estabilizar la presión motriz independientemente de las posibles variaciones de la presión de entrada, mejorando la calidad de la regulación. Esta presión siempre deberá ser superior a la de consigna.

Los tipos de pilotos mas extendidos son los de **fuga continua**, en estos pilotos parte del flujo del gas se deriva hacia la presión de salida. Este flujo se controla por medio de un orificio fijo y calibrado o bien por medio de un tornillo regulable, en este caso se puede ajustar la acción proporcional.

9.3.6.3.Principio de funcionamiento de los reguladores

1) Regulación manual

Una posible solución simple a la regulación, sería intercalar una válvula manual y un manómetro que nos sirva de punto de referencia, y una persona abra o cierre la válvula en función de las variaciones de presión de salida. Ver **figura 17**

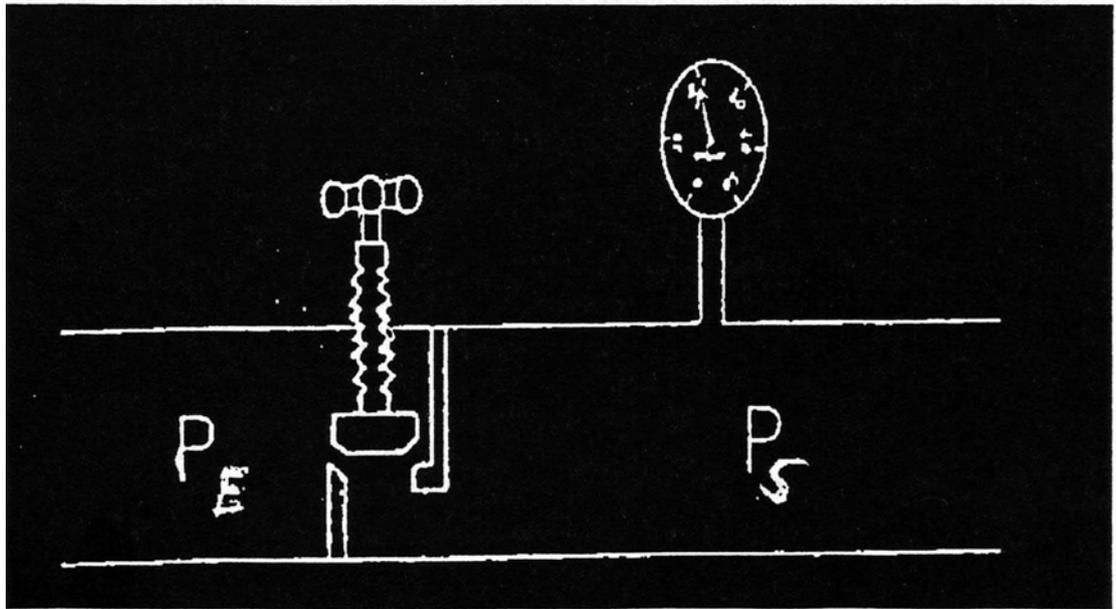


Figura 17. Regulación de presión manual

Fuente: Manual Técnico del Regulador de Presión

2) Regulación automática

La solución más simple a una regulación automática es la intercalar un elemento que dependiendo de la variación de la presión de salida sea capaz de modificar de forma casi instantánea la apertura del obturador hasta conseguir la presión deseada. Ver **figura 18**.

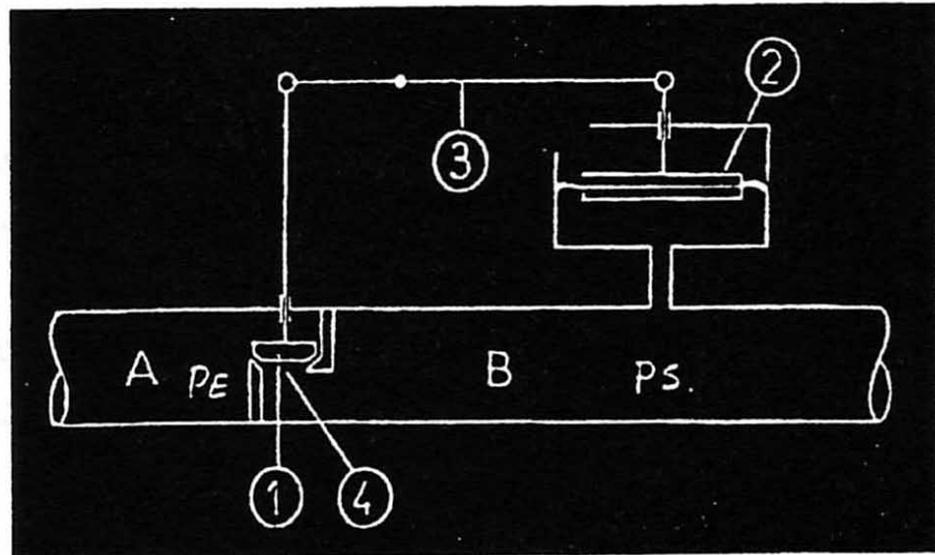


Figura 18. Regulación automática

Fuente: Manual Técnico del Regulador de Presión

En efecto, según la **figura 18** la presión detectada en el punto 2 actúa sobre la palanca 3 desplazando el obturador 1 aumentando o disminuyendo el caudal de suministro.

Este sistema es un balance de fuerzas en el que la presión ejercida en el punto 2 es la variable que modifica el posicionamiento del obturador.

La toma de presión se puede realizar directamente de la salida a la membrana con el fin de conseguir una presión mas precisa, y evitar posibles perturbaciones. Ver **figura 19**.

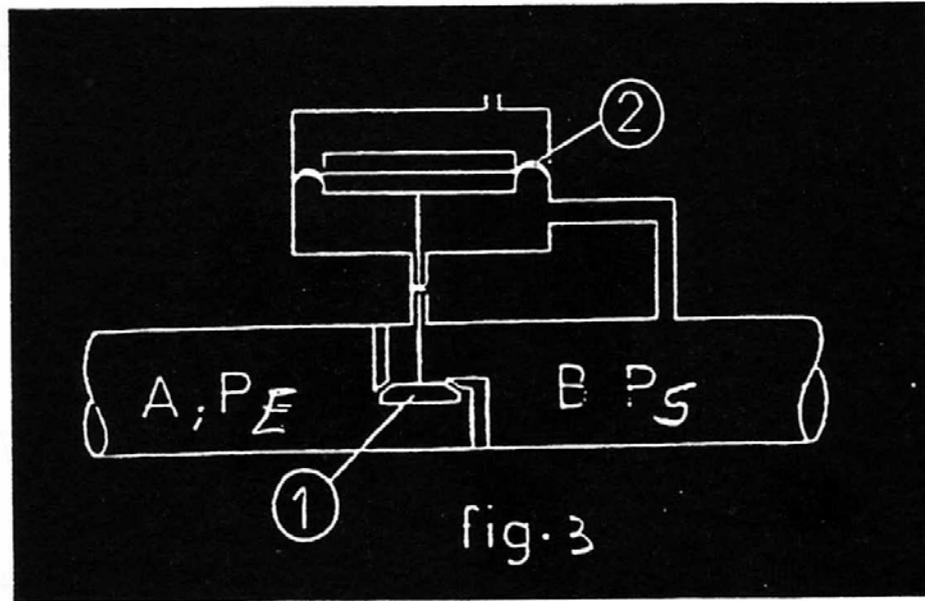


Figura 19. Toma de presión del Regulador Automático

Fuente: Manual Técnico del Regulador de Presión

La presión ejercida en la parte inferior de la membrana, provoca una deformación sobre dicho elemento desplazando la clapeta (1) cerrando el paso de gas.

9.3.6.4. Requerimientos y descripción de los elementos básicos de una línea de regulación automática

1) Regulador monitor

La finalidad del regulador monitor es la de asegurar automáticamente una presión de salida constante, ligeramente superior a la normal, en caso de fallo del regulador principal o activo.

El regulador monitor debe ser instalado inmediatamente antes del regulador principal no debiendo colocarse entre ambos ninguna válvula.

El impulso de regulación se tomará a la salida del regulador principal con toma de presión independiente y antes de la primera válvula de interceptación.

La presión de tarado del monitor será mas alta que la del regulador principal de forma que se mantenga el obturador en posición constante de apertura.

2) Regulación a dos saltos de presión

Cuando la reducción de presión se efectúe en dos saltos sucesivos, se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- Ambos reguladores serán en general de PN igual a la exigida para cada presión máxima de suministro.
- Entre ambos reguladores deben respetarse las distancias que recomienda el fabricante.
- La colocación de los reguladores en serie no exime de la colocación de las seguridades que correspondan.

3) Válvula interceptadora de seguridad V.I.S.

La finalidad de esta válvula es la de cortar la circulación de gas natural cuando la presión de salida del regulador principal alcanza unos valores preestablecidos tanto por máxima como por mínima.

En general la V.I.S. deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Estar colocada antes del equipo de regulación.
- Estar equipada con dispositivos de desarme por exceso y/o defecto de presión detectada a la salida del regulador.
- El rearme de la válvula se efectuará únicamente de forma manual.
- La válvula en posición de cerrada deberá ser perfectamente estanca.
- La posición de funcionamiento del desarme, deberá ser del $\pm 5 \%$ del valor establecido.

4) Válvula de escape y alivio (V.E.S.)

A la salida del regulador principal, se instalará una válvula de escape (o alivio) de tamaño pequeño cuya misión será la de evitar sobrepresiones que puedan producirse por eventuales faltas de estanqueidad de los siguientes elementos:

- a) Regulador a consumo nulo
- b) Válvula interceptadora de seguridad (V.I.S.) en posición cerrada.
- c) Fugas en el bipaso de rearmes y comprobaciones, caso de estar instalado.

La base para el cálculo de la V.E.S. de alivio es la de lograr una evacuación del orden del 5 % del caudal nominal.

El diámetro del obús de la V.E.S. no será inferior a 15 mm.

- La zona de regulación: entre el 90 % a 110 % de la presión de tarado de la válvula.
- Precisión de funcionamiento (apertura): ± 5 % de la presión a que se encuentra tarada.
- Tipo: de resorte o pilotada.

9.3.6.5. Funcionamiento y descripción del regulador activo de la corriente principal del gas de la E.R.M.

1) Descripción

Son reguladores pilotados para media y alta presión que permiten conseguir una presión de salida constante aunque varíe la presión de entrada o la demanda de caudal.

Son del tipo “fail to open”, es decir, el regulador abre en caso de:

- Rotura de la membrana principal
- Rotura de la membrana del piloto
- Rotura del obturador del piloto
- Falta de alimentación al piloto

El regulador estará compuesto por los siguientes grupos operativos:

a) Cuerpo.

Lleva incorporada la sede válvula donde se realiza la apertura y el cierre del regulador.

b) Grupo membrana.

Con su movimiento determina el grado de apertura.

c) Piloto.

Gobierna la membrana. Se compone de:

- La válvula de laminación, que envía sobre la membrana del regulador una presión de control.
- El piloto, que regula la descarga de la misma aguas abajo.

Los grupos operativos se pueden observar en la siguiente figura:

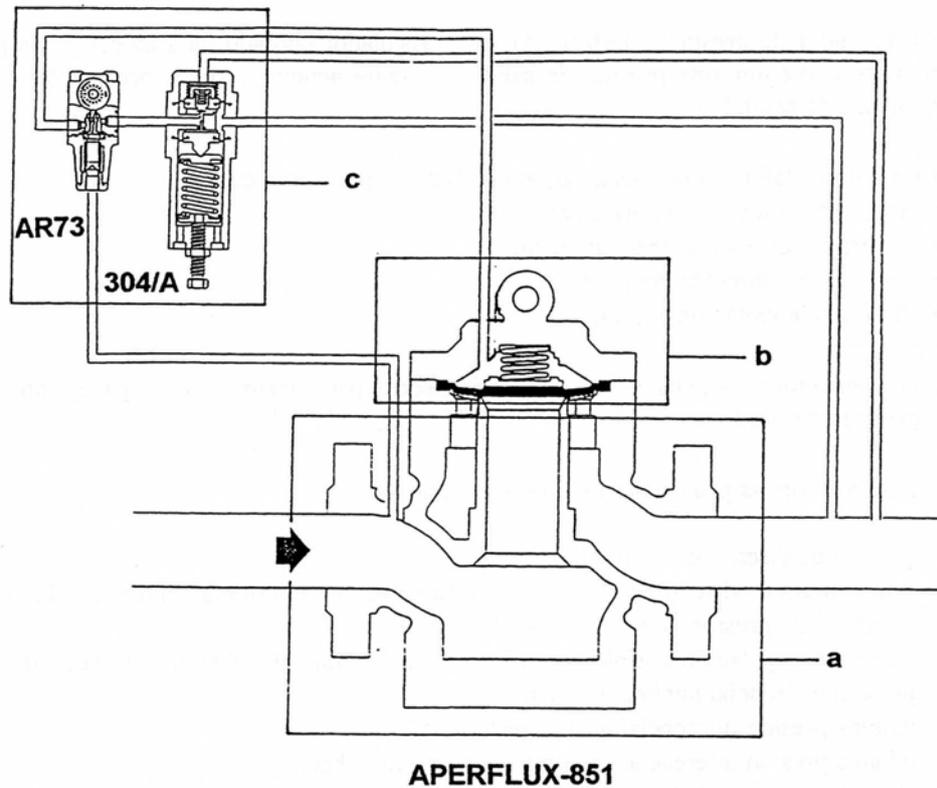


Figura 20. Grupos operativos del regulador activo de la corriente principal de gas

Fuente: Manual técnico del regulador activo

2) Funcionamiento (figura 21).

La membrana principal (1), en ausencia de presión, se mantiene en posición de cierre por la fuerza del muelle (2) y se apoya sobre la sede válvula (3) y la rejilla de protección (4) que a su vez se apoya sobre la parrilla (5). Presurizando la membrana solamente por la cara de aguas arriba, el regulador empieza a abrir a la presión de alrededor de 0,2 bar.

La estanqueidad se realiza por el contacto entre la sede válvula (3) y la membrana principal (1).

En condiciones normales de trabajo, sobre la membrana (1) actúan las fuerzas siguientes:

- Hacia abajo: La fuerza del muelle (2), la de la presión de control P_c en la cámara de control A y el peso del conjunto móvil;
- Hacia arriba: La fuerza de la presión de entrada P_e y de salida P_a y las componentes dinámicas restantes.

La presión de control P_c se obtiene tomando gas directamente de la presión de entrada P_e aguas arriba de la membrana (1); el gas pasa a través del filtro (6) incorporado a la válvula reguladora de flujo AR73. La presión de control P_c es controlada por el piloto que regula su valor. La regulación se consigue mediante la confrontación entre la fuerza del muelle de tarado (8) del piloto y la que la presión de salida ejerce sobre la membrana (9).

Si, por ejemplo, durante el funcionamiento se produce una disminución de la presión de salida P_a por debajo del valor de tarado (por aumento de la demanda de caudal o disminución de la presión de entrada se establece un desequilibrio del conjunto móvil (11) del piloto que provoca un aumento de apertura del obturador (7) y al mismo tiempo una disminución de la presión de control P_c . A su vez, la membrana (1) del regulador se desplaza hacia arriba aumentando la apertura del mismo

hasta que la presión de salida alcanza nuevamente el valor de tarado escogido.

Viceversa, cuando la presión de salida aumenta por encima del valor de tarado (por disminución de la demanda de caudal o por aumento de la presión de entrada) el obturador (7) del piloto tiende a cerrar y a su vez la presión P_c se acerca al valor de la presión de entrada P_e . En estas condiciones la membrana del regulador (1) tiende a cerrar.

En condiciones normales de trabajo el obturador (7) se posiciona de manera que el valor de la presión P_c sobre la membrana (1) sea el adecuado para mantener la presión de salida en el valor seleccionado.

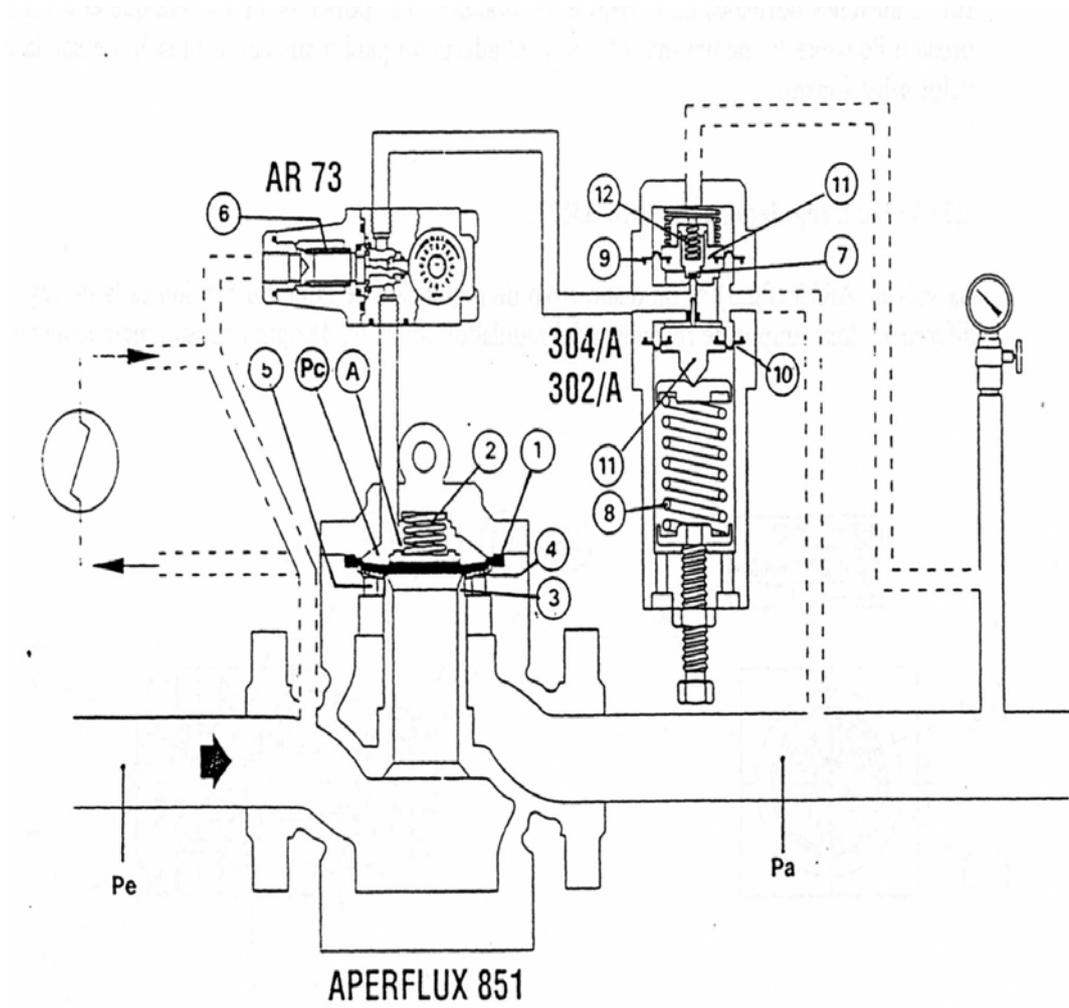


Figura 21. Funcionamiento del regulador activo de la corriente principal de gas

Fuente: Manual técnico del regulador activo

9.3.6.6. Funcionamiento y descripción del regulador monitor de la corriente principal del gas de la E.R.M.

1) Descripción

Son reguladores pilotados para media y alta presión que permiten conseguir una presión de salida constante aunque varíe la presión de entrada o la demanda de caudal.

Son del tipo “fail to close”, es decir, el regulador cierra en caso de:

- Rotura de la membrana principal
- Rotura de la membrana del piloto
- Obstrucción del filtro del prepiloto
- Obstrucción de la sede válvula del piloto

El regulador estará compuesto por los siguientes grupos operativos:

a) Cuerpo.

Lleva incorporada la pastilla de cierre, que es de acero fundido ASTM A352 LCB.

b) Servomotor.

Comprende todos los elementos necesarios para conseguir la apertura adecuada del regulador en cada momento.

c) Grupo piloto.

Gobierna el servomotor. Se compone de:

- Prepiloto o prerregulador.
- Piloto.

El prepiloto regula la presión de alimentación del piloto, y este envía la presión de motorización al servomotor.

Los grupos operativos se pueden observar en la siguiente figura:

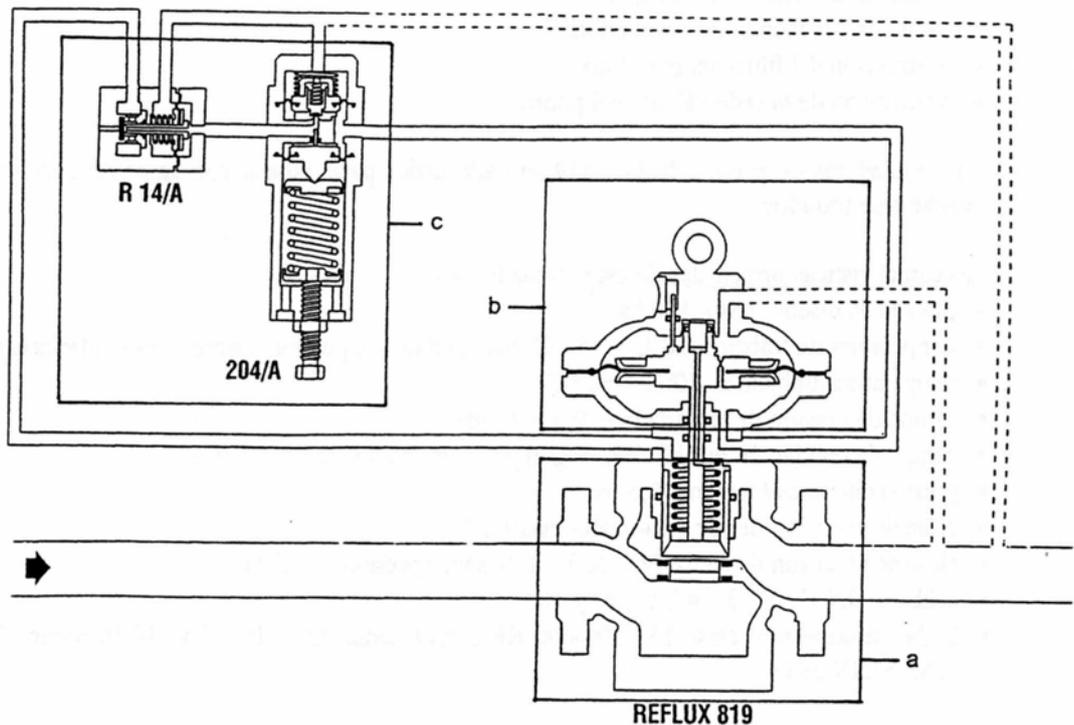


Figura 22. Grupos operativos del regulador monitor de la corriente principal de gas

Fuente: Manual técnico del regulador monitor

2) Funcionamiento (figura 23)

En ausencia de presión, el obturador (1) está en posición de cierre por la fuerza del muelle (2). La presión de entrada P_e , aunque varíe, no modifica esta posición porque el obturador permanece en equilibrio entre dos presiones iguales que actúan sobre superficies también iguales a través de los orificios (A). El eje (3) también se encuentra en equilibrio porque la presión de entrada P_e llega a la cámara (C) a través del orificio (B).

El obturador es solidario a la membrana (4), sobre la cual actúan las fuerzas siguientes:

- Hacia abajo: La fuerza del muelle (2), la presión regulada P_a de la cámara (D) y el peso del conjunto móvil;
- Hacia arriba: La presión de motorización P_m de la cámara (E) alimentada por el piloto.

La presión de motorización P_m se consigue tomando gas de la zona de entrada del regulador. El gas pasa a través del filtro (5) del prepiloto R-14/A y sufre en el mismo una caída de presión hasta un valor de P_{ep} (presión de alimentación del piloto) que depende de la presión regulada P_a . El prepiloto R-14/A está compuesto esencialmente por un obturador y una pastilla (6), por un muelle (7) y por una membrana (8).

La presión P_{ep} pasa, a través del orificio (F), al piloto 204/A que la regula mediante el obturador (9) hasta el valor P_m (presión de motorización) de inmisión en la cámara (E) del cabezal del regulador.

La regulación de P_m se consigue por la confrontación entre la fuerza ejercida por el muelle de tarado (10) del piloto y la acción de la presión regulada P_a sobre la membrana (11). Si, por ejemplo, durante el funcionamiento disminuye la presión de salida P_a (a causa de un aumento de demanda de caudal o de una disminución de la presión de entrada) se produce un desequilibrio del conjunto móvil (12) del piloto que se desplaza provocando un aumento de la apertura del orificio de alimentación (F). Consiguientemente aumenta también el valor de la presión de motorización P_m que, actuando en la cámara (E) debajo de la membrana (4), provoca un desplazamiento hacia arriba del obturador (1) y un aumento de la apertura del regulador hasta recuperar el valor preseleccionado de la presión regulada.

Viceversa, cuando la presión regulada aumenta, la fuerza que ésta ejerce sobre la membrana (11) del piloto desplaza el conjunto móvil (12) hacia la posición de cierre. La presión de motorización P_m entonces disminuye a causa del trasvase entre las cámaras (E) y (D) del regulador a través del orificio (G), la fuerza ejercida por el muelle (2) provoca un desplazamiento del obturador (1) hacia la posición de cierre y la presión regulada recupera el valor preseleccionado.

En condiciones normales de trabajo el obturador (9) del piloto se posiciona de tal manera que el valor de la presión de motorización P_m sea el adecuado para mantener el valor de la presión de salida P_a alrededor del valor preseleccionado.

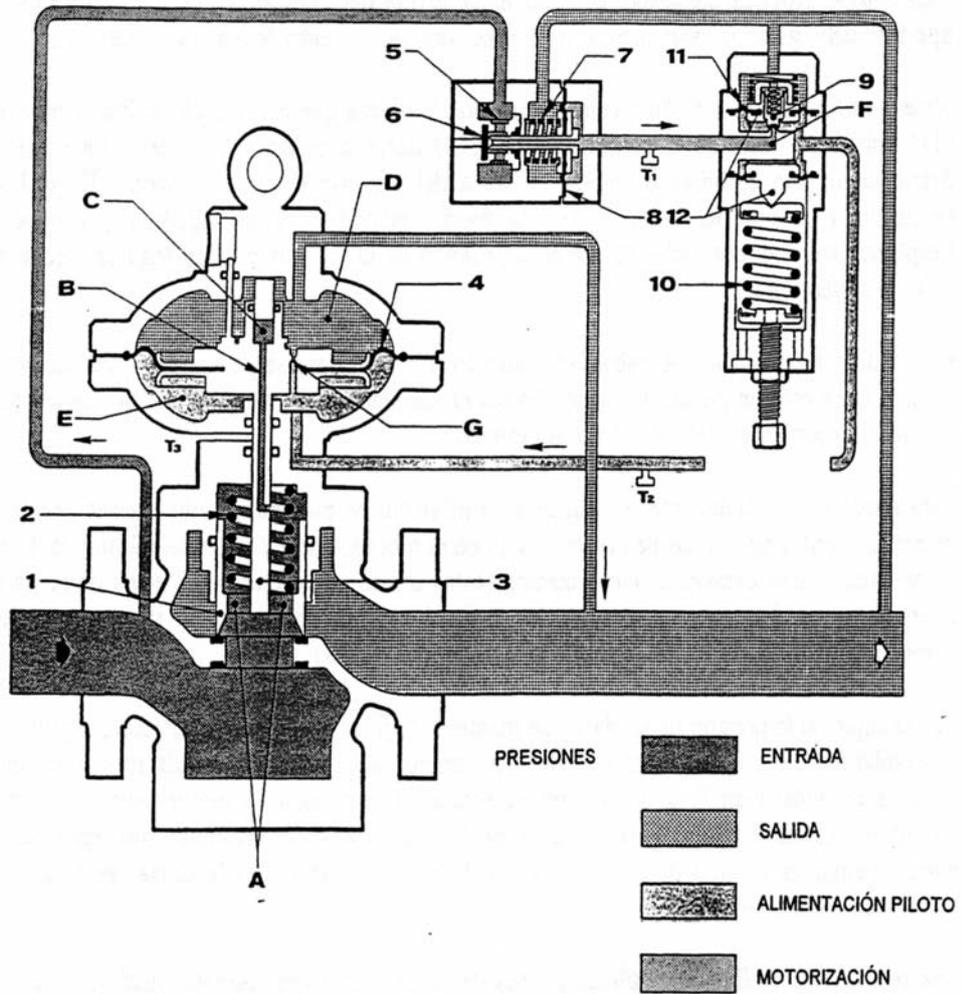


Figura 23. Funcionamiento del regulador monitor de la corriente principal de gas

Fuente: Manual técnico del regulador monitor

2) Funcionamiento de la válvula de bloqueo incorporada SB-82 (V.I.S.).

Es un dispositivo que corta inmediatamente el flujo de gas si, por cualquier anomalía, la presión de salida Pa del regulador alcanza el valor preestablecido para su intervención, o es accionado manualmente.

Esta válvula, también conocida como V.I.S., existe incorporada al regulador que actúa como monitor en la corriente principal del gas de la E.R.M., aunque también puede ir incorporada al regulador activo o a ambos.

Las principales características de la SB-82 son:

- Precisión AG: $\pm 0,5$ sobre el valor de la presión de tarado;
- Intervención por aumento o disminución de presión;
- Mando manual por pulsador;
- Posibilidad de incorporar control neumático o electromagnético a distancia;
- Rearme manual con by-pass interno accionado por palanca;
- Dimensiones reducidas;
- Facilidad de mantenimiento;
- Posibilidad de aplicar dispositivos de señalización de intervención (microinterruptores de contacto o inductivos)

Está compuesta por un mecanismo de bloqueo, situado en el interior del cuerpo del regulador, y un dispositivo presostático externo que lo hace intervenir.

El mecanismo de bloqueo comprende un obturador móvil A (ver **figura 24**), sujeto a la fuerza del muelle de cierre G, una sede válvula u obús y una palanca C por medio de la cual se acciona el mecanismo de rearme.

El dispositivo presostático gobierna la intervención del mecanismo de bloqueo. Comprende una cabecera de mando B, en la cual la presión a controlar P_a actúa sobre la membrana o pistón según versiones (**figura 24**) solidarios al eje D y es contrastada por la fuerza antagónica de los muelles de mínima y máxima presión E y F tarados a unos valores prefijados.

En este caso solo se produce la intervención de la válvula por aumento de presión, cuando la presión P_a supera el valor de tarado de la válvula de bloqueo, la fuerza que ejerce sobre la membrana de la cabecera de mando B vence la resistencia del muelle F. Esto provoca que el eje D se desplace y libere el sistema de levas L.

La intervención del dispositivo de bloqueo puede ser provocado también manualmente actuando sobre el pulsador M.

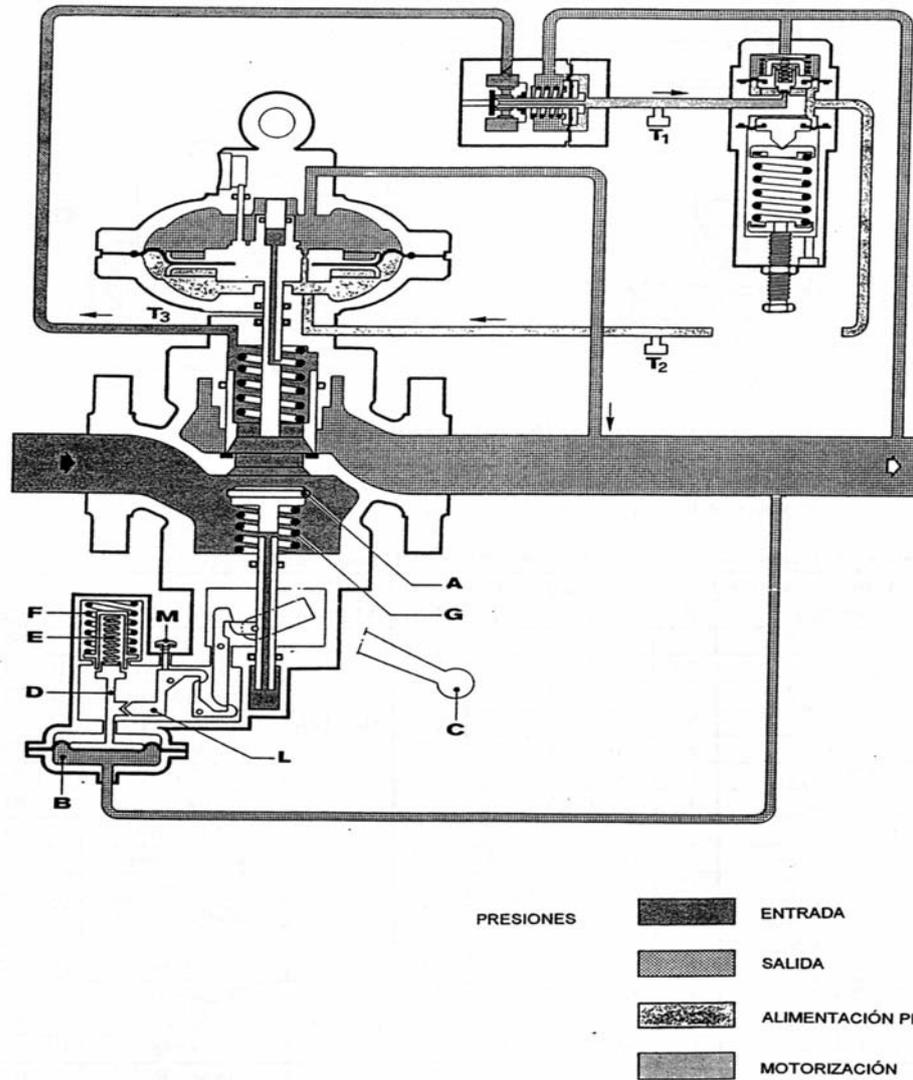


Figura 24. Funcionamiento de la válvula de bloque V.I.S. incorporada al cuerpo del regulador monitor

Fuente: Manual técnico del regulador monitor

Los reguladores monitores con la válvula VIS incorporada y principales, descritos hasta ahora, se dispondrán en cada línea de regulación de la manera indicada en el siguiente dibujo:

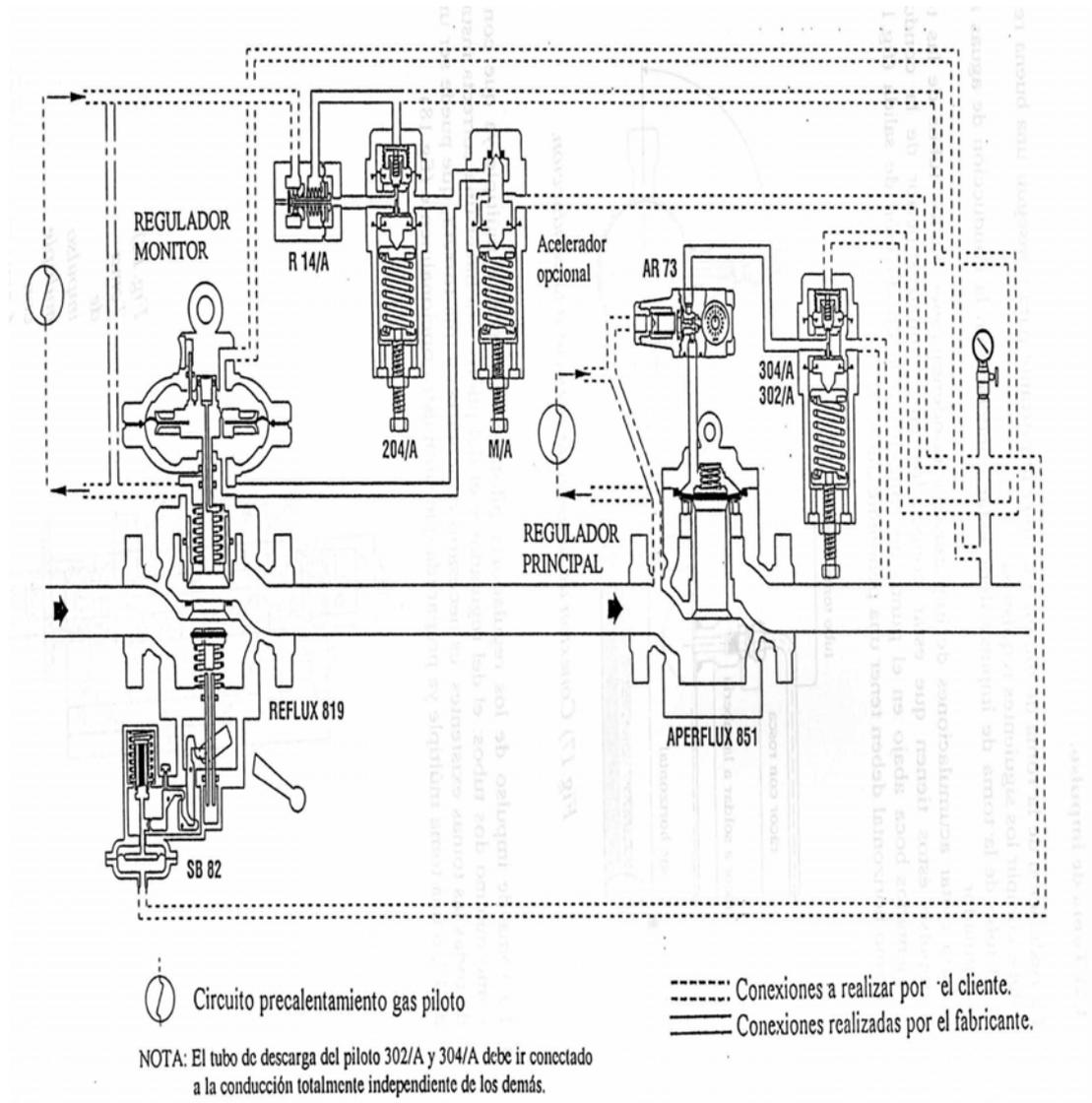


Figura 26. Disposición de los reguladores en cada línea de la corriente principal de gas

Fuente: Manual técnico del regulador monitor

9.3.6.7.Regulación de presión de la corriente principal del gas de la E.R.M.

El sistema de regulación de la línea lo componen dos reguladores instalados en serie denominado Sistema Monitor-Activo.

En el sentido del flujo el primero de ellos denominado Monitor estará normalmente abierto ajustado a un valor superior al del segundo, denominado Activo, que es el que realiza el control de la presión de salida de la instalación.

Los reguladores estarán diseñados para funcionar sin que para su funcionamiento normal precisen expulsar gas a la atmósfera, el caudal de gas que se toma para realizar el control se inyectará nuevamente en la tubería principal aguas abajo del conjunto de regulación.

Las características principales de los reguladores son las siguientes:

- Conexiones bridadas según ANSI 600# (\varnothing 1" RF).
- Control pilotado, con filtro en la alimentación.
- Cierre blando.
- Por fallo de presión de mando o rotura de membrana o falta de señal de mando, el regulador utilizado como monitor cierra.
- La curva característica de respuesta del regulador es lineal.
- La precisión es de $\pm 2,5\%$ del valor de ajuste para cualquier caudal y presión dentro de su rango de funcionamiento.
- La sobrepresión a caudal cero será inferior al $+10\%$ de la presión del regulador tarado mas alto.
- Los reguladores tendrán obturadores de eje compensado.

El conjunto principal de regulación de presión de cada línea (diferente del fuel-gas para calderas) está formado por los siguientes elementos:

1.- Dos sistemas distintos para evitar sobrepresión en la línea, a saber, la válvula de interceptación de seguridad VIS-1 y el regulador de vigilancia VCP-2 (monitor).

a) VIS-1

Cierra actuando como protección contra alta presión.

Podrá ir incorporada en el regulador monitor VCP-2 y en cualquier caso cumplirá con la norma UNE EN 14382.

Su tarado se corresponderá con una presión superior al valor de tarado del VCP-2, disminuida en el valor de la tolerancia positiva nominal de su clase de precisión.

Los dispositivos de seguridad de corte, VIS, deberán dotarse de un contacto que indique su posición abierto / cerrado.

b) VCP-2

Entrará en funcionamiento si falla el regulador principal, el cual quedará en posición abierta.

Por razones de seguridad, el VCP-2 estará diseñado para que sea del tipo “cierre por seguridad” de acuerdo a la definición de la norma UNE EN 334. El rango de temperatura de servicio será de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El tarado del regulador monitor será la presión de tarado del regulador principal aumentada con el valor de las tolerancias de las clases de precisión propia más la del regulador principal.

2.- Válvula pilotada de regulación de presión (activa o principal) VCP-1 con posibilidad de tarado entre 16 y 14 bar. Sus características de regulación serán las siguientes:

- a) Excepto que se indique otra cosa, el regulador principal pilotado estará diseñado, por razones de continuidad de servicio, para que sea del tipo “apertura por seguridad” de acuerdo a la definición de la norma UNE-EN 334, es decir, en caso de fallar se abre completamente. El rango de temperatura de servicio será de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b) Mantener una presión de salida estable de caudales comprendidos entre el 5% y el 100% de la capacidad de la línea con presiones de entrada comprendidas entre 33 bar y 80 bar, con temperatura ambiente entre $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- c) La presión de cierre no se desviará de la de tarado en más de un 1% .
- d) El punto de toma de referencia de presión regulada estará aguas abajo del contador de turbina.
- e) El sistema de regulación no presentará inestabilidad.

3.- Con el propósito de poder tarar el equipo de regulación de una línea (p.e. después de operaciones de mantenimiento) existe una línea de evacuación a la atmósfera con su salida protegida con una con una malla antideflagrante, con dos válvulas en serie, una de paso reducido y otra que permita estrangular. Para líneas hasta G-1000, la tubería será de 2”.

4.- Con objeto de evacuar posibles fugas a través de la válvula cerrada de bloqueo de la línea en reserva o de una válvula VIS que haya disparado, se instalará en cada línea una válvula de alivio con descarga a la atmósfera protegiéndose este extremo con una malla antichispa. La capacidad de diseño para la válvula de alivio es de $20 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$ como mínimo. Esta capacidad se consigue instalando instalando el orificio restrictor adecuado, en caso de que la válvula de alivio supere el su capacidad de diseño a su presión de tarado.

Esta válvula de alivio, se diseñará, fabricará y certificará en conformidad con la Directiva PE.

Dispondrá de un indicador mecánico de apertura y/o un contacto de apertura que se señalará en el panel de alarmas del cuadro de control de la E.R.M.

5.- Las líneas de impulsos necesarias a cada válvula son independientes desde su conexión sobre la tubería principal.

6.- Líneas de gas para pilotaje

El punto de toma de gas a los pilotos de las válvulas y prepilotos, (referencia de la presión regulada), se tomará aguas abajo del regulador principal. Se respetará la distancia mínima recomendada por el fabricante de los reguladores.

En caso de que sea necesario para conseguir la precisión de regulación especificada, el gas de alta presión que alimenta a los pilotos será derivado de la línea principal a través de una válvula auto-reguladora (prepiloto) con objeto de evitar que las fluctuaciones de la presión de entrada a la E.R.M. afecten a la precisión de regulación de la presión de salida. Estos eventuales prepilotos regulan automáticamente la presión de regulación a pilotos, de acuerdo con la presión de salida.

7.- Para las válvulas activa y de vigilancia se ha utilizado como capacidad máxima el 70% de su capacidad máxima de catálogo, la presión de entrada mínima de dimensionado (aguas arriba a la válvula de bloqueo VIS) es de 33 bar efectivos a efectos de cálculo del caudal mínimo. El valor máximo de esta presión es de 80 bar efectivos del cálculo del caudal máximo. La presión regulada es normalmente de 16 bar efectivos.

8.- En cuanto al nivel sonoro, se considera como valor máximo admisible el de 80 dB a 1 m del regulador, en el caso más desfavorable de la combinación presión de entrada-caudal, sin silenciador.

9.3.6.8. Pautas de actuación de los reguladores de la corriente principal del gas de la E.R.M.

En el presente apartado se analizará la forma de actuar de los reguladores al producirse variaciones de la presión de salida.

El aumento o disminución del caudal demandado dará lugar a la correspondiente disminución o aumento de la presión de salida.

Para explicar la pauta de comportamiento de los reguladores, en cada una de las dos líneas de la corriente principal de gas de la E.R.M. G-160, se utilizarán los siguientes valores de tarado de la presión de salida:

	Línea 1 (Principal)	Línea 2 (Reserva)
Monitor	16,6 bar	16,2 bar
Activo	16 bar	15,5 bar
V.I.S.	17,2 bar	18,5 bar

Tabla 13. Valores de tarado de los reguladores

Nota: Los datos de tarado de los reguladores son orientativos, teniendo unicamente la finalidad explicar las pautas de actuación de los reguladores de la corriente principal.

En condiciones normales de operación de la E.R.M. G-160, la línea principal tiene el regulador activo funcionando, manteniendo la presión de 16 bar a partir de una presión de entrada de 80 bar, y el regulador monitor estará totalmente abierto, sin realizar regulación ninguna.

En la línea de reserva el regulador monitor y activo estarán cerrados.

Pueden darse varios casos:

1) Disminución de la demanda de gas que da lugar a un aumento de la presión.

Las pautas de actuación se darán en el siguiente orden:

- a) En esta situación el regulador activo de la línea principal regulará manteniendo los 16 bar, mientras puede abrir la sección de paso de gas lo suficiente para mantenerla.
- b) Si totalmente abierto no es capaz de mantener la presión de salida establecida, entrará en funcionamiento el regulador monitor que la mantendrá en 16,6 bar.
- c) Por último, si el monitor no es capaz de mantener los 16,6 bar la presión seguirá aumentando hasta llegar a los 17,2 bar, a la cual actuarán la válvula de bloque V.I.S. cortando la línea.

2) Aumento de la demanda de gas que dará lugar a una disminución de la presión.

- a) En este caso el regulador activo de la línea principal regulará manteniendo los 16 bar, mientras pueda cerrar lo suficiente la sección de paso de gas para mantenerla.

b) Si aun así fuera incapaz, y siguiera disminuyendo la presión, comenzará a regular junto a éste el regulador activo de la línea de reserva, manteniendo entre ambos 15,5 bar. El regulador monitor de la línea de reserva se abrirá totalmente en esta situación.

3) Fallo mecánico del regulador activo.

Si se produce fallo mecánico tanto en el regulador activo de la línea de reserva como en el de la principal, mientras alguno de estos esta regulando, se quedarán totalmente abiertos, cediendo la tarea de regulación al regulador monitor correspondiente.

4) Fallo mecánico del regulador monitor.

Si se produce algún fallo en el regulador monitor, tanto en la línea de reserva como en la principal, cuando están completamente abiertos o regulando, se cerrarán completamente cortando el paso de gas.

5) Cierre de las líneas de la corriente principal de gas.

El cierre de las líneas de la corriente principal de gas en la E.R.M., según lo comentado anteriormente, se debe a dos causas principales:

a) Disminución de demanda de gas excesiva, no pudiendo los reguladores abrir la sección de paso lo suficiente como

para mantener la presión de salida establecida, saltan la V.I.S. de la línea correspondiente y cortando el paso de gas.

b) Fallo mecánico del regulador monitor, que da lugar a su cierre cortando la línea.

Para comprobar si el corte de las líneas ha sido por una causa u otra, éstas estarán ajustadas de la siguiente manera:

- Las líneas de regulación se ajustan de modo que al producirse el cierre de una de ellas la segunda asume el control. Los ajustes de las líneas se realizarán de forma que la presión de salida no exceda en ninguna circunstancia del valor máximo tolerado.

Esto se hace para comprobar si algunas de las dos líneas se ha cerrado por fallo mecánico de los reguladores, en cuyo caso la otra línea no cerraría cumpliendo la función normal de regulación, o si por el contrario ha sido la incapacidad de abrir la sección de paso del gas lo suficiente para regular el aumento de la presión que ha dado lugar al cierre de dicha línea. Esto haría que terminará cerrándose la otra línea al alcanzar la presión de tarado de su válvula V.I.S.

- Si se produjera un aumento de presión con las dos líneas funcionando se cerraría antes la principal, siendo la última en cerrarse la línea de reserva, ya que la válvula V.I.S. de ésta última está tarada a una presión mayor que la V.I.S. de la principal.

9.3.6.9. Sistema de fuel-gas. Regulación de presión de la alimentación a calderas.

La regulación de presión de fuel-gas a calderas tiene la misión de reducir la presión desde la salida de la E.R.M. hasta la necesaria en quemadores (80 mbar) además de la de medir el gas consumido en calderas.

La reducción de presión se hará en dos saltos. El conjunto constituye una instalación de categoría I según UNE 60-620-88, parte 3. Contará con sendas VIS que actúen por máxima y por mínima presión, con toma de presión aguas abajo del regulador de cada etapa de regulación.

El sistema de regulación de presión de fuel-gas para calderas se conecta en la zona de baja presión de la línea, inmediatamente aguas abajo del regulador activo.

La capacidad del sistema de regulación de presión de fuel-gas es del 250% del caudal necesario para satisfacer la demanda térmica requerida por una línea.

El conjunto de regulación de fuel-gas consta de dos líneas de capacidad total cada una, siendo una reserva de la otra, alimentando las calderas en baja presión.

El sistema de tuberías de fuel-gas cumple las siguientes condiciones:

- Todos los componentes (tubos, accesorios, bridas, válvulas, etc.) admitirán una presión máxima de operación igual a la presión máxima de diseño de salida de la E.R.M.

- En el dimensionado de tuberías y accesorios se ha considerado que la carga de diseño, las velocidades y pérdidas de carga sean tales que permitan un correcto control de presión y funcionamiento de las calderas.
- El material de las tuberías y accesorios es acero al carbono.
- Las conexiones entre tubería y accesorios serán soldadas a tope según los tamaños. Los aparatos serán embridados con bridas ANSI en los Rating correspondientes según se indica en los planos anexos.

Cada línea de regulación se compondrá de los siguientes elementos:

- a) Una válvula de interceptación de seguridad (V.I.S.) con cierre por exceso de presión actuando a 1,1 veces la presión de servicio de 16 bar, con rearme manual.
- b) Reguladores de presión de 1ª etapa (VCP) de 16 bar a 2,5 bar de acción directa.
- c) Válvula de alivio.
- d) Regulador de presión de 2ª etapa (VCP) de 2 bar a 80 mbar de presión de utilización en calderas.
- e) Válvula de interceptación de seguridad (V.I.S.) con cierre por exceso de presión y por falta de presión. Esta válvula va incorporada al VCP de la 2ª etapa.

Después del colector de unión de las dos líneas de fuel-gas y en la línea de salida a calderas, se instalará un contador volumétrico G-16 con una capacidad máxima de 25 Nm³/h.

El diseño e instalación de las conducciones garantizará su correcto funcionamiento con total seguridad. Se preverán con el suficiente volumen para evitar vibraciones del sistema y disparos intempestivos.

En este caso las dos líneas de regulación de fuel-gas están funcionando simultáneamente, alimentando a la caldera de fuel-gas.

En caso de saltar algunas de las válvulas V.I.S. por alta o por baja presión, la línea de reserva seguiría alimentando a la caldera, si el corte se ha producido en la otra por fallo mecánico de alguno de los reguladores.

En el caso de que fuera por causa ajena a fallo mecánico, saltarían todas las válvulas V.I.S. por baja o por alta presión, cortando el suministro de fuel-gas a las calderas.

9.3.7. Válvulas de escape.

Las válvulas de escape, diseñadas en 150# mínimo, serán capaces de evacuar el 1% del caudal nominal.

El tarado de la VES se efectuará a una presión inferior a la de disparo de la VIS por máxima presión.

El escape de las válvulas de seguridad se conducirán hacia la parte superior de la E.R.M., evacuándolo con tubería al exterior.

9.3.8. Medición de caudal e instrumentación

La medición de caudal instantáneo se efectuará por medio de un medidor tipo turbina, instalado en cada línea y equipado con todos los elementos que se describen en el siguiente apartado.

Entre las líneas, se instalará un by-pass aéreo permanente del mismo diámetro que aquellas, que facilita la conexión temporal en serie de los contadores de las líneas, permitiendo así la contrastación de la medida de ambos contadores. Aguas debajo de la válvula de aislamiento que corresponda se instalará un disco en “8” (Orificio restrictor, cuyo funcionamiento se detalla en el siguiente apartado).

Las válvulas manuales implicadas en la puesta en serie de contadores para su contrastación, contará con contactos de final de carrera de forma que por combinación de los mismos con un sistema de relés o puertas, se evite que en el CPC se pueda interpretar que esté fluyendo el gas hacia el consumo por los dos contadores en paralelo, cuando de hecho están en serie.

En la configuración básica, cada línea de medida dispondrá de los elementos:

- Medidor de caudal (turbina)
- Transmisor analógico de presión (PT)
- Termorresistencia (RTD) y transmisor analógico de temperatura (TT)
- Corrector de volumen con algoritmos de cálculo vigentes

9.3.8.1 Medidor

Será de turbina con bridas RF 150# para el rango de caudal indicado en los planos (G-160), según serie G de la Directriz 381171 de la U.E., con una capacidad nominal de 250 m³/h.

El material del cuerpo será de acero al carbono y la brida ANSI 150# RF.

El contador de turbina y sus accesorios se instalan en un tramo de tubería recta de forma que aguas arriba del contador exista al menos una longitud de 5 D. En el centro de este carrete existe una conexión en ½” con válvula y tapón que puede ser ocasionalmente utilizada para toma de muestras.

Llevará a una distancia de dos diámetros de la banda de salida:

- La indicación y registro de la presión aguas abajo de la turbina (indicador y registrador de presión).
- La indicación de la temperatura aguas abajo de la turbina y el registro de la temperatura (indicador y registrador de temperatura).

Su función es indicar y registrar la presión y la temperatura del gas en caso de fallo del corrector. Los indicadores y registradores vienen detallados en los apartados **9.3.8.3.**, **9.3.8.4.** y **9.3.8.5.** de la Memoria.

El suministro de los contadores incluirá lo siguiente:

1) Cuenta revoluciones (totalizador de caudal, local y de ocho dígitos)

Contador de ocho dígitos que indica el número de vueltas realizadas por la turbina desde el inicio de la medida (1 vuelta = 1m^3 de gas natural). Cumple la función de indicar el volumen bruto de gas en el caso de que se produzca un fallo en el corrector.

2) Emisores de impulsos. Estos contactos están alimentados por el corrector a través de un Zener.

Los emisores de impulsos son los siguientes:

a) Tipo contacto seco Reed (Standard): Recibe los pulsos en alta frecuencia y los emite al corrector, que los traduce en volumen bruto, siendo transformado posteriormente en caudal instantáneo corregido, volumen corregido y energía.

b) Detector de proximidad NAMUR: Disco dentado de referencia que se basa en detectar la presencia de los álabes de la turbina por proximidad. Si se produce la ruptura de algún alabe el detector envía una señal de alta frecuencia al corrector, accionándose una alarma.

3) Conexión de alta frecuencia en tubería

Conexión entre la turbina y el contacto anti-fraude. Envía los pulsos en alta frecuencia de la turbina.

4) Conexión de baja frecuencia en tubería

Conexión entre la turbina y el contacto seco Reed. Envía los pulsos en baja frecuencia de la turbina.

5) Conexión de alta frecuencia en disco dentado de referencia

Conexión entre el disco dentado de referencia y el corrector. Envía una señal de alta frecuencia en caso de producirse la ruptura de un álabe de la turbina.

6) Conexión mecánica y transmisor de presión. Serán antideflagrantes, y el transmisor dispone de alimentación independiente de 24 Voltios.

Conexión directa a la turbina, a través de la cual pasa el gas, que llega directamente a un transmisor de presión que transforma la presión ejercida por el gas en una señal eléctrica enviada al corrector.

7) Bomba de engrase, si el tipo de rodamiento lo precisa

Bomba utilizada para engrasar la turbina con el fin de mejorar el rodamiento de la misma. La lubricación se debe hacer con aceite de viscosidad 2-4 ° E a 25 °C.

A la puesta en servicio:

DN 50/80	2,0 cm ³	10 golpes de bomba
DN 100	3,0 cm ³	15 golpes de bomba
DN 150/200	4,0 cm ³	20 golpes de bomba
> DN 200	5,0 cm ³	25 golpes de bomba

*Tabla 14. Lubrificación aplicada a la puesta en servicio de la turbina***Lubrificación de mantenimiento:**

DN 50/80	0,5 cm ³	2-3 golpes de aceite
DN 100	0,8 cm ³	4 golpes de aceite
DN 150/200	4,0 cm ³	5 golpes de aceite
> DN 200	5,0 cm ³	6 golpes de aceite

Tabla 15. Lubricación de mantenimiento de la turbina

8) Sonda y transmisor de temperatura. Serán antideflagrantes, y el transmisor dispone de alimentación de 24 Voltios.

La sonda está conectada a un transmisor de temperatura que transforma el calentamiento de una resistencia en una señal eléctrica enviada al corrector.

Sonda y transmisor están situados en el tramo de tubería recta a la salida de la turbina.

9) Certificado de calibración y homologación

Certificado proporcionado por ENAC que muestra el nivel de incertidumbre que puede tener el caudal medido por la turbina. Certifica que el error del caudal medido es inferior al $\pm 1\%$.

Cada seis meses se realiza una prueba de contrastación que consiste en poner en serie las dos turbinas de ambas líneas para comprobar que el error del caudal medido es inferior al $\pm 1\%$. Lo que se hace es tomar como patrón la última turbina recibida, es decir, se mide el error de la más vieja con respecto a la más nueva (patrón). Si el error al realizar dicho procedimiento supera el $\pm 1\%$ habría que cambiar la turbina más vieja, de la cual evaluamos el error con respecto a la más nueva.

Para esta prueba de contrastación se utiliza el by-pass antes mencionado.

10) El contador ha de tener una capacidad de sobrecarga temporal del 20% de su capacidad nominal:

$250 \text{ m}^3/\text{h} + 0,2 \times 300 \text{ m}^3/\text{h} = 300 \text{ m}^3/\text{h}$ (Caudal máximo en el contador)

11) **RO.** Antes de la válvula de salida de línea de medida, se coloca un orificio restrictor de limitación de caudal con una pérdida de carga de 5000 mm c.a. a caudal máximo ($300 \text{ m}^3/\text{h}$). Su función es evitar que no se sobrepase dicho caudal. Este solo es necesario cuando se tienen las dos líneas de la E.R.M.

funcionando, dándose el peligro de que se supere el caudal máximo de la turbina.

12) Un carrete (“maniquí”) embridado, de las mismas dimensiones que los medidores, para instalarlo en el lugar de aquel que se desmonte temporalmente para mantenimiento / calibración.

13) Encapsulado anti-humedad del emisor de impulsos al corrector de volumen.

14) Enderezador de flujo incorporado a la turbina, que se utilizará para que el flujo de gas natural sea laminar a través de ésta, con el fin de obtener una medida efectiva del caudal.

- Aclaraciones:

- 1 Diámetro (unidad de medida de longitud de tubería recta) = 3 “ (Diámetro del tramo de tubería donde se encuentra el contador). Ej: 5 D = 15 “.

- Carrete = Tramo de tubería recta con los dos extremos embridados.

9.3.8.2. Corrector

El corrector ha sido diseñado para el cálculo total de energía, volumen corregido y caudal instantáneo corregido de gas. El cálculo se realiza empleando señales de entrada de pulsos procedentes de contadores de turbina, contadores ultrasónicos o valores de presión diferencial procedentes de placas orificio conjuntamente con las señales de las sondas de temperatura y los transmisores de presión de la línea. Este

puede emplear valores fijos o señales activas vivas de la densidad relativa, composición del gas natural y poder calorífico, pudiendo estas últimas ser recibidas directamente de un cromatógrafo (señales 4-20 mA o vía serie por protocolo).

El corrector ofrece la posibilidad de configurar alarmas por alto y bajo en todas las señales de entrada activas. También puede configurarse de forma que utilice un valor por defecto en el calculo del caudal corregido cuando se encuentre en condiciones de alarma. La indicación de alarma se produce en tiempo real. Asimismo se dispone de contactos de salida para indicación remota.

El computador se puede comunicar digitalmente con los emisores de impulsos (señales de entrada de pulsos procedentes de los contadores de turbina), transmisores de presión absoluta y transmisores de temperatura a través de protocolo HART, eliminando la necesidad de calibración del corrector y ajuste de potenciómetros. Estas prestaciones reducen además el error en la medición del caudal corregido debido a la deriva térmica y solo el coeficiente de temperatura del transmisor contribuye al error.

Como alternativa, el computador puede también trabajar con transmisores convencionales de 4-20 mA y sondas de temperatura de resistencia de 100 Ohm. Para estas señales de entrada se utiliza un conversor A-D. Las entradas analógicas se calibran utilizando software.

El corrector dispone de dos salidas serie RS232 / RS485 que proporcionan un protocolo de comunicaciones Modbus RTU o ASCII

para operaciones con otros dispositivos y un protocolo serie ASCII compatible con la mayoría de las impresoras.

Todas las señales de entrada y salida son comprobadas con el fin de asegurar que se encuentran dentro de los límites máximos y mínimos de operación y la pantalla de alarmas registra cuando las alarmas se producen y desaparecen. Durante los periodos de alarma el caudal instantáneo corregido puede configurarse para que se acumule en un totalizador independiente, al igual que la energía y el volumen corregido (caudal, energía y volumen bajo error).

En el proyecto presente contamos con un corrector para el caso específico de un contador de turbina que trabaja con transmisores convencionales de 4-20 mA y sondas de temperatura de resistencia de 100 Ohm, sin conexión a un cromatógrafo, utilizando valores fijos de composición del gas, densidad relativa y poder calorífico.

Los valores fijos de composición del gas, densidad relativa y poder calorífico son utilizados por el corrector para calcular el factor de compresibilidad (factor Z), desarrollando mediante un programa informático las formulas denominadas por el método SGERG-88 (descrito con detalle en el Anexo “Cálculos”), ofreciendo también la posibilidad de utilizar el método AGA8-92DC (mencionado con menos detalle en el Anexo “Cálculos”).

En la medición de caudal realizada con contadores de turbina, el volumen bruto en m^3 dado en las conexiones de operación se traduce a condiciones normales $m^3(n)$ (0 °C y 760 mm Hg) por medio de un

microprocesador, el cual efectúa el cálculo correspondiente en función del volumen bruto medido, la presión absoluta, la temperatura y el factor de compresibilidad. El volumen en condiciones normales es el volumen corregido, del cual se obtiene el caudal instantáneo corregido en $m^3(n)/h$ y la energía en Kw/h.

Señales de Entrada.

1) Contactos de entrada.

Cada tarjeta de entrada colocada en el corrector dispone de tres contactos de entrada disponibles. Con ello se pretende conocer el estado de un contacto o una entrada de voltaje al computador. Así ON es contacto cerrado y Off es contacto abierto. Estas señales son únicamente indicativas y no generan funciones en el corrector. Las características eléctricas de estos contactos son idénticas a las de las señales de entrada de los contadores de turbina. Una entrada anti rebotes está habilitada para estas entradas.

2) Entrada de alta frecuencia (hf). Contacto libre de tensión. Rango de frecuencia > 5 kHz. Amplitud de señal 20 ms. Protegida con barrera Zener. Analógica.

Pulsos en alta frecuencia procedentes del emisor tipo contacto seco Reed que son traducidos por el corrector en volumen bruto, siendo posteriormente transformados en caudal instantáneo corregido, volumen corregido y energía.

3) Entrada de alta frecuencia de referencia. Rango de frecuencia > 5 kHz. Amplitud de señal 20 ms. Protegida con barrera Zener. Analógica.

Se utiliza para la detección de rotura de álabes de la turbina. En el caso de producirse la rotura de un álabe de la turbina se accionará una alarma y se registrará el caudal instantáneo corregido, energía y volumen corregido como caudal bajo error, energía bajo error y volumen bajo error durante el periodo que dure la misma.

4) Linealización de la turbina

El computador permite la linealización de la señal de alta frecuencia del contador de turbina. Las opciones disponibles son:

Off Sin corrección.

10 pnt Corrección por linealidad utilizando 10 puntos de interpolación.

Se introducen en la memoria del computador los diez puntos de caudal y sus correspondientes errores. La corrección por linealización se aplica en los caudales corregidos por interpolación entre los puntos introducidos. Se aplica al caudal corregido, caudal sin corregir, volumen corregido y sin corregir.

En **%Qmax n** se introduce el valor en % de Qmax de la turbina y en **%Er.rd n** el % de error de lectura.

%Er.rd n = el % de error de lectura del caudal de la turbina al caudal **%Qmax n**

n es un valor entero entre 0 y 9

El valor mas bajo del caudal debe introducirse en la posición n=0. El resto de los puntos se introducirán en orden ascendente de caudal hasta el Qmax.

5) Detección de rotura de álabes

La detección de rotura de paletas se produce por comparación de los pulsos de salida de alta frecuencia con los del disco de referencia o monitor. En el computador se introduce un parámetro denominado Blade Ratio que se define como:

$$\mathbf{BR = \text{Número de álabes de la turbina} / \text{Número de álabes del disco de referencia}}$$

La alarma aparece cuando:

a) Blade ratio (BR) es $\leq a 3$

$(LF \times BR) - (HF) \geq \pm 4$ probado tras 100 pulsos del monitor

b) Blade ratio (BR) es $> a 3$

$(LF \times BR) - (HF) \geq \pm(HF \times 0,04)$

El fallo de rotura de álabes aparece cuando han pasado al menos 100 pulsos del emisor de referencia desde la comprobación

anterior o cuando han pasado mas de $100 \times BR$ pulsos del emisor principal.

Donde:

LF = nº de pulsos del sensor del disco de referencia en un tiempo dado.

HF = nº de pulsos del sensor de alta frecuencia en el mismo tiempo.

Si el caudal sin corregir es menor que el valor de la alarma de bajo caudal entonces la alarma por rotura de álabes se inhibe

La alarma de fallo por rotura de álabes puede desactivarse introduciendo un valor de $BR = 0$ (cuando por ejemplo la turbina solo tiene un sensor).

6) Presión. 4 a 20 mA. Analógica.

Señal analógica de 4-20 mA procedente del transmisor de presión utilizada para el cálculo del factor de compresibilidad y del caudal instantáneo corregido.

Las unidades de presión que puede emplear el computador pueden ser indistintamente bar, Kpa o Kg/cm^2 en valores absolutos o relativos.

En el caso de transmisores de presión analógicos, se considera que la señal de 4-20 mA ha sido calibrada en las unidades correspondientes.

Si se ha seleccionado la presión en unidades absolutas, todos los valores deben introducirse y se mostrarán en unidades absolutas.

Si se ha seleccionado la presión en unidades relativas, todos los valores deben introducirse y se mostrarán en unidades relativas, con las siguientes excepciones:

Pb Presión base.

Patmos Presión atmosférica.

Pused Presión actual empleada en los cálculos.

Todas ellas deben introducirse y mostrarse en valores absolutos.

7) El factor **Z** lo obtiene el computador desarrollando, mediante un programa informático, el método de cálculo SGERG-88.

8) Temperatura. P.T. 100.3 hilos. Analógica 4-20 mA.

El corrector se configura para aceptar leer la señal de una sonda de resistencia de platino (PRT) con una resistencia nominal de 100 Ω a 0°C y un rango de trabajo de -20 a 100 °C. La linealización de la PRT es realizada por el computador de forma automática. La PRT se alimenta con una corriente de 3,5 mA con una fuente de corriente constante y se conecta al corrector mediante 3 hilos para

compensar cambios de resistencia de la línea debido a los cambios de temperatura. Esta señal es utilizada para el cálculo del caudal instantáneo corregido y del factor de compresibilidad.

9) Señales de entrada por transmisores múltiples

El corrector puede configurarse para utilizar en una única entrada múltiples señales de presión y temperatura. Cada uno de estos parámetros de entrada puede ser configurado para utilizar uno, dos o tres señales de entrada de los transmisores.

En la instalación objeto de este proyecto, la existencia de dos líneas de regulación y medida da lugar a la existencia de dos transmisores de presión y dos transmisores de temperatura, siendo configurado el corrector para dos señales de entrada de los transmisores (Una sola señal de entrada por cada pareja de parámetros de presión y temperatura por línea).

El computador comprueba si cada señal del transmisor se encuentra dentro del rango de trabajo (dentro de los límites Max. y Min.).

Todos los valores que superan las comprobaciones anteriores pasan a formar parte de una lista de valores seleccionados que permiten al computador realizar los cálculos. Es una lista de todos los valores que pueden seleccionarse. El orden por el cual deben usarse si están disponibles es el siguiente:

Sensor 1 (Valores disponibles de los sensores de presión y temperatura de la línea 1).

Sensor 2 (Valores disponibles de los sensores de presión y temperatura de la línea 2).

Media de los sensores disponibles (Media de los valores disponibles de los sensores de presión y temperatura de las líneas 1 y 2).

Valores introducidos por teclado (Valores de presión y temperatura introducidos en el corrector por medio de un teclado).

Todos los valores disponibles de los sensores, la media calculada y el valor introducido por teclado aparecerán juntos indicando su estado:

ON OK Transmisor activo y el valor puede usarse.

OFF Transmisor desactivado.

ALM Transmisor o valor de la señal en alarma.

DEV Valor fuera del límite de desviación.

N/A Valor no está disponible.

El computador continuamente comprueba todo lo anterior y muestra los parámetros utilizados en cada momento y su origen. El parámetro utilizado en cada momento se comprueba con los

valores alto y bajo de alarma preestablecidos y, en su caso, da aviso de alarma.

10) Señales de entrada del gas

La composición del gas puede introducirse al computador de tres formas distintas:

- Introduciendo los valores del gas.
- Vía serie a través de protocolo MODBUS.
- Directamente de un cromatógrafo de gases.

Asociado a cada componente y el poder calorífico hay cinco parámetros. Estos son máximo, mínimo, alto y bajo para las alarmas que pueden ponerse como valores preseleccionados o introducidos por el teclado.

En la instalación objeto de este proyecto el corrector no estará conectado a un cromatógrafo, trabajando solo con valores introducidos directamente mediante el panel del corrector u obtenidos de un ordenador externo (introducidos con el teclado del mismo por medio de un programa informático que se utiliza para configurar el corrector) conectado en serie a través del protocolo Modbus.

Si el computador trabaja con los valores del gas obtenidos vía serie a través del protocolo Modbus, se mostrarán en las

posiciones de valores recibidos. Cada valor recibido dispone de un estado asociado que podrá ser:

OK El valor recibido es valido y puede usarse.

ALM El valor recibido esta fuera de los límites max / min.

N/A El valor no está disponible.

Si son validos, se convertirán en valores usados. Cada valor usado dispone de un estado asociado que podrá ser:

OK El valor recibido vía serie y es válido.

Keypad El valor usado es el introducido a través del panel del corrector.

LGV El valor usado es el último recibido vía serie anterior al problema (Last Good Value).

Si el valor del gas se encuentra en condiciones de alarma cuantificable, por ejemplo fuera de los límites Max./Min, el valor utilizado se convertirá en un valor de **Keypad** o de **LGV** según la configuración del usuario.

11) Unidades de poder calorífico

El computador puede trabajar con diferentes unidades de poder calorífico. Estas unidades corresponderán tanto para el poder calorífico superior como para el inferior. Los cambios de unidades se aplicarán tanto al totalizador de energía (línea 1 + línea 2) como

al caudal de energía de cada línea. Una vez seleccionada una unidad se considerará que los valores recibidos corresponderán a la unidad seleccionada.

MJ/m³

kWh/m³

Kcal/m³

thrm/m³ (1 termia = 1000 Kcal)

Señales de Salida.

1) Señales de salida analógicas

Se dispone de cuatro señales analógicas en cada tarjeta de salidas. Todas son señales de corriente y pueden configurarse como 0-20 mA, 4-20 mA o 4-24 mA. La máxima impedancia que soporta una salida para dar 24 mA es de 500 Ω.

Asociadas a cada salida están los factores de escala máximos y mínimos:

O/Px Selecciona la función de salida (presión, temperatura, caudal,...).

O/Px mn Selecciona el rango inferior 0 o 4 mA.

O/Px mx Selecciona el rango superior 20 o 24 mA.

x Es el número correspondiente a la salida (numeradas de 1 a 4).

Los anteriores factores de escala se introducen en las mismas unidades que los parámetros de salida. Por ejemplo si la salida que se ha seleccionado es la presión, el **O/Px mn** y **O/Px mx** se introducen en unidades de presión.

Los valores introducidos para **O/Px mn** y **O/Px mx** deben encontrarse dentro del rango de operación. Por ejemplo para la presión **pmin** y **pmax**, el introducido para **O/Px mn** debe ser superior o igual a **pmin** e inferior al valor de **pmax**. Igualmente para **O/Px mx** debe ser superior a **pmin** e inferior o igual al valor de **pmax**.

2) Señales de salida digitales (Contactos)

En cada tarjeta de salidas se dispone de doce contactos conmutados programables. Estos contactos pueden configurarse como alarmas o salidas de pulsos proporcionales al caudal totalizado para telemetria.

3) Presión. 4 a 20 mA. Analógica.

Señal analógica de 4 a 20 mA enviada al CPC (Centro Principal de Control) para la telemetria de la presión, permitiendo poder recibir las ordenes adecuadas desde el mismo en caso de producirse una desviación de los valores max. y min. de presión preestablecidos.

4) Alarmas, avisos y fallos. Contacto interior libre de tensión.
Capacidad 8 A a 220 V.

Hay 5 clases de alarmas:

- a) Alarmas no ajustables.
- b) Alarmas ajustables.
- c) Alarmas de temperatura.
- d) Alarmas de fallo.
- e) Avisos.

Cada tipo de alarma enciende el correspondiente LED en el panel frontal, se indica en pantalla en la página de alarmas y puede activar una señal de salida (enviada al CPC). Los avisos, alarmas por temperatura y alarmas ajustables encienden el LED de ajustables. Las alarmas no ajustables encienden el LED de no ajustables y solo se restablecerán cuando la alarma haya desaparecido y haya sido reseteada de la página de alarmas.

a) Alarmas no ajustables

El LED de alarmas no ajustables permanece encendido después de que la condición de alarma haya desaparecido. Para apagarlo deberá borrarse la condición de alarma de la página correspondiente de alarmas. Todas las alarmas no ajustables pueden activar una señal de salida de alarma (enviada al CPC).

Las alarmas no ajustables serán las siguientes:

- **Pressure.N max:** El sensor de presión 1 se encuentra por encima del valor máximo.
- **Pressure.N min:** El sensor de presión 1 se encuentra por debajo del valor mínimo.
- **Pr1.N val:** No hay lectura del sensor de presión 1.
- **Pr1.N hart:** Fallo de comunicaciones entre el computador y el sensor de presión 1.
- **Pr1.N hsts:** El sensor de presión 1 se encuentra en condición de alarma.
- **Pr1.N unit:** Discrepancia de unidades entre el computador y el sensor de presión.
- **Pr1.N dev:** El sensor de presión 1 se encuentra fuera del límite de desviación.
- **Temp.N max:** El sensor de temperatura 1 se encuentra por encima del valor máximo.
- **Temp.N min:** El sensor de temperatura 1 se encuentra por debajo del valor mínimo.

- **Te1.N val:** No hay lectura del sensor de temperatura 1.
- **Te1.N hart:** Fallo de comunicaciones entre el computador y el sensor de temperatura.
- **Te1.N hsts:** El sensor de temperatura 1 se encuentra en condición de alarma.
- **Te1.N unit:** Discrepancia de unidades entre el computador y el sensor de temperatura.
- **Te1.N dev:** El sensor de temperatura 1 se encuentra fuera del límite de desviación.

Nota: En todos los casos anteriores el carácter numérico puede ser 1, 2 o 3 dependiendo del transmisor seleccionado (línea 1, 2 o 3).

- **Hi q:** El caudal sin corregir ha estado mas de 1 minuto por encima del valor alto.
- **ZnN high o ZnN low:** Factor de compresibilidad fuera de los límites alto y bajo establecidos.
- El corrector se encuentra en modo calibración o utiliza la calibración por defecto.

- El cálculo del factor de compresibilidad no puede completarse y z debe ajustarse a 1,0.
- La comunicación con el cromatógrafo no ha sido posible.
- El cromatógrafo se encuentra en alarma.
- El componente del gas **xxxxx** se encuentra por encima del valor máximo admisible.
- El componente del gas **xxxxx** se encuentra por debajo del valor mínimo admisible.

Nota: **xxxxx** representa cualquiera de los componentes del gas.

- **Turbn hf:** Alarma por rotura de paletas.

b) Alarmas ajustables

La indicación de una alarma ajustable se muestra mediante el LED de alarmas ajustables en el panel frontal. La identificación de la alarma y la hora de producción se muestra en la pantalla de la página de alarmas.

Las alarmas ajustables serán las siguientes:

- **Lo q:** El caudal sin corregir se encuentra por debajo del valor bajo.

- **PrN high:** La presión utilizada se encuentra por encima del valor alto.
- **PrN low:** La presión utilizada se encuentra por debajo del valor bajo.
- **TeN high:** La temperatura utilizada se encuentra por encima del valor alto.
- **TeN low:** La temperatura utilizada se encuentra por debajo del valor bajo.
- El cromatógrafo no esta analizando.
- El componente del gas **xxxxx** se encuentra por encima del valor alto.
- El componente del gas **xxxxx** se encuentra por debajo del valor bajo.

Nota: En la instalación objeto de este proyecto las alarmas vinculadas al cromatógrafo no son utilizadas.

c) Alarmas de temperatura

Las alarmas ajustables por temperatura **tempN alrm** se producirán en cualquiera de las siguientes condiciones:

- La temperatura está por debajo de **t-alarm** (temperatura de alarma).

- La temperatura ha estado por debajo de t_{alarm} durante 3600 segundos.

Nota: en todos los casos el carácter N se refiere al número de canal 1, 2 o 3 (línea 1, 2 o 3).

d) Fallos

El computador realiza auto chequeos continuamente mientras esta trabajando. En condiciones de operación el auto test comprueba toda la memoria buscando datos corrompidos. Un circuito de watchdog permite la detección de fallos de componentes críticos así como del procesador.

Todos los fallos producen la parada de cálculo del equipo hasta su reparación. Cuando se produce un fallo el LED de fallo se enciende y muestra el tipo de fallo en la página de alarmas.

Los tipos de fallos son los siguientes:

- **Fault ipX:** Fallo o no se encuentra la tarjeta de entradas en la posición X.
- **Fault opX:** Fallo o no se encuentra la tarjeta de salidas en la posición X.
- **Fault comX:** Fallo o pérdida de comunicaciones en la posición X.

- **Fault brdX:** Tarjeta errónea en la posición X.
- **Fault dat:** Sin datos o datos incompletos para el funcionamiento.
- **Fault rtc:** Fallo del reloj de tiempo real.

e) Avisos

Un aviso indicará la posición de una tarjeta no crítica que falla, tarjeta errónea o no presente. Cuando se produce un aviso el computador sigue calculando.

Los tipos de avisos que se indican son los siguientes:

- **Warn ipX:** No se encuentra la tarjeta de entradas en la posición X.
- **Warn opX:** No se encuentra la tarjeta de salidas en la posición X.
- **Warn comX:** Pérdida de comunicaciones en la posición X.
- **Warn brdX:** Tarjeta errónea en la posición X.
- **OpM brdX:** Salida de pulsos M en la tarjeta de salidas X por encima del rango.
- **Mainten.:** El computador se encuentra en modo mantenimiento.

Nota: en todos los casos el carácter X se refiere al slot de posición de la tarjeta 1,2,3,4 o 5 y el carácter M se refiere a las salidas digitales.

f) Alarmas por alto y bajo caudal

Una alarma por alto caudal se produce si el caudal sin corregir excede el valor introducido en la memoria para **Hi q (alto caudal)** durante mas de 1 minuto.

Una alarma por bajo caudal se produce si el caudal sin corregir cae por debajo del valor introducido en la memoria para **Lo q (bajo caudal)**.

Ambos **Hi q** y **Lo q** se introducen como un % del caudal máximo de la línea (Qmax).

Cuando se produce una alarma de alto / bajo caudal se ilumina el LED amarillo del panel frontal y se muestra en la página de alarmas. Las alarmas de **Hi q** se definen como alarmas no ajustables mientras que las de **Lo q** como ajustables.

5) Salidas de pulsos para caudal total. Max. frecuencia 10 Hz. Amplitud de señal 20 ms. Protegidas con barrera Zener. Analógicas.

Si cualquiera de las doce salidas de pulsos que hay disponibles para cada tarjeta se configuran como salidas de pulsos para teledada, las salidas disponibles serían las siguientes:

- a) Volumen total sin corregir procedente de la entrada de referencia **Vb – rf.**
- b) Volumen total sin corregir procedente de la entrada de alta frecuencia **Vb – hf.**
- c) Volumen total sin corregir procedente de la entrada de alta frecuencia corregido por linealización del contador **Vb – c.**
- d) Volumen total corregido procedente de la entrada de alta frecuencia **Vn.**
- e) Caudal total de energía calculado a partir del poder calorífico superior e inferior **E.**
- f) Caudal másico total **M.**

Nota: El volumen o caudal total es el de las dos líneas (línea 1 + línea 2).

Conexionado Red.

- Alimentación. 24 V. DC $\pm 10\%$ con batería incorporada.

- Seguridad. Conexionado 24 V. DC protegido contra inversión de polaridad.
- El caudal calculado se muestra en la pantalla LCD con una cifra de 12 dígitos (8 dígitos y 4 decimales) con el factor de escala, unidades y símbolos.

$$\text{P.ej.: } V_{n1} = 12345678.1234 \times 100 \text{ m}^3$$

En general las señales o lecturas asociadas al caudal que produce el sistema son:

a) Totalizados (línea 1 + línea 2) de volumen disponibles en el computador:

Vb: Volumen sin corregir del contador.

Vb-c: Volumen sin corregir aplicando la corrección de curva de error del contador.

Vn: Volumen corregido.

M: Totalizado Másico.

E: Energía.

Los cuales además están subdivididos en los siguientes grupos:

Totalizadores principales.

Totalizadores de alarmas o bajo error (empiezan a contar cuando se acciona una alarma como la de rotura de álabe, presión inferior al valor mínimo,...).

b) Condiciones de cada línea

Caudales (corregido y sin corregir).

Picos de caudal y fecha y hora en que se han producido.

Presión y temperatura.

Factor de compresibilidad a condiciones de operación y de referencia.

Información del contador de turbina.

Caudal de energía.

c) Alarmas, avisos y fallos.

Precisión.

- Mayor de 0,1%.

Condiciones de Funcionamiento.

- Temperatura de operación $-10 +50^{\circ}$ C
- Humedad 95% HR

Montaje.

- Caja antideflagrante.
- Conexión cables interior E.R.M., Ex-d.

Las prestaciones mínimas del equipo de corrección serán:

- Programable en hora y día.
- Admitirá entradas analógicas de presión, temperatura y pulsos de turbina.
- Admitirá la introducción manual del valor Z y del PCS. Será capaz de visualizar los valores de los parámetros de cálculo que tiene cargados en cada momento.
- Admitirá como algoritmos de cálculo de Z, AGA-NX-19 modificado, AGA-8 y SGER-88.
- Admitirá entradas de contenido en inerte, densidad relativa y poder calorífico para poder efectuar la corrección de caudal a condiciones normales y la conversión a energía (al menos en Kwh/m^3 (n)) partiendo de señales vivas por conexión a un cromatógrafo, si este se incluye en la instalación.
- La entrada de señales del cromatógrafo al corrector se hará vía serie RS-232 o RS-485 y bajo protocolo MOD-BUS.

- Podrá dar salidas de volumen total sin corregir, corregido, así como de caudal total de energía y caudal másico total.
- Podrá dar alarmas, avisos y fallos.
- Admitirá incluir puntos de la curva de calibración de la turbina para hacer la corrección en función de la curva real (linealización de la turbina).

9.3.8.3. Instrumentación de presión.

Refiriéndonos al diagrama de tuberías e instrumentación, los instrumentos de presión son:

SIGLA	SERVICIO	TELE CONTROL	RANGO (BAR)
PI-1	Indicador local de presión colector de entrada	-	0-100
PI-2A/B (1)	Indicador local de presión aguas abajo del filtro	-	0-100
PDI-3A/B	Indicador local de presión diferencial entrada-salida del filtro	-	0-1
PI-4A/B	Indicador local de presión aguas abajo del intercambiador	-	0-100

*Tabla 16. Instrumentación de presión 1**

* Continúa en la siguiente página

SIGLA	SERVICIO	TELE CONTROL	RANGO (BAR)
PI-3A/B	Indicador local aguas arriba del regulador activo	-	0-100
PI-7A/B	Indicador local de presión aguas abajo de regulación	-	0-25
PI-8A/B	Indicador local de presión aguas abajo de la turbina	-	0-25
PR-8A/B	Registrador de presión de salida de línea	-	0-25
PT-9A/B PI-9A/B	Transmisor de presión en la turbina con indicación en panel y envío de teleseñal	4-20 mA	0-25

*Tabla 16. Instrumentación de presión 2**

Continúa en la siguiente página

SIGLA	SERVICIO	TELE CONTROL	RANGO (BAR)
PI-11A/B	Indicador local, primer salto de presión del fuel-gas	-	0-16
PI-12A/B	Indicador local, presión de salida del fuel gas a las calderas	-	0-100 mbar
PI-13A	Indicador local de presión del circuito de agua antes de la aspiración de bombas	-	0-6
PI-14A	Indicador local de presión del circuito de agua después de la impulsión de bombas	-	0-6
PI-16	Indicador de presión final de fuel gas		0-100 mbar

Tabla 16. Instrumentación de presión

NOTAS:

1) La línea A es la principal y la línea B es la de reserva de la E.R.M.; Ejemplo: PIA/B = 2 indicadores de presión, uno en la línea A (principal) y otro en la línea de reserva (B).

Los instrumentos de presión según el tipo tendrán las siguientes características fundamentales:

- Indicadores locales: Elemento tipo Bourdon, clase 1, Ø de esfera de 100 mm, material AISI 316 (elemento, movimiento y racord), precisión 0,5% del rango, aguja micrométrica, esfera blanca, caja negra, montura roscada, y conexión inferior de 1/2" NPT. En las conexiones a los manómetros locales se instalará una restricción de un diámetro máximo de un 1mm con el fin de limitar el escape de gas en caso de rotura del tubo Bourdon.

Se montarán sobre válvula de aguja de 1/2" S.W. y nipple Sch 80 sobre Sockolet o medio manguito de 1/2" 3000#.

- Transmisores: Tipo Strain–Gauge, precisión $\pm 0,25\%$ del rango, protección mínima del 120% del rango total, con abrazadera para montaje sobre tubo de 1-1/2" a 2". El material de las partes en contacto con el gas es el mismo que el del elemento (acero inox.), salida de 4–20 mA.C.C. y alimentación de 24 Vcc. Ejecución de seguridad intrínseca.
- Registradores: De dos plumas (presión y temperatura), con carta continua, avance de 20 mm/hr, con cuerda para 12 días; caja resistente a la intemperie, precisión 0,5% del rango; conexión de temperatura por bulbo de mercurio y su vaina de acero inox. AISI 316; capilar de 3 m de longitud

con cubierta vinílica y armadura AISI 305 con compensación de la temperatura ambiente.

9.3.8.4. Instrumentación de temperatura.

Refiriéndonos al diagrama de tuberías e instrumentación, los instrumentos de temperatura son:

<u>SIGLAS</u>	<u>SERVICIO</u>	<u>TELE</u> <u>CONTROL</u>	<u>RANGO (°C)</u>
TE-1 TT-1 TI-1	Termorresistencia, transmisor e indicador en panel, con salida de teleseñal, de la temperatura en el colector de salida	4-20 mA	-20, +40

*Tabla 17. Instrumentación de temperatura 1**

** Continúa en la página siguiente*

<u>SIGLAS</u>	<u>SERVICIO</u>	<u>TELE</u> <u>CONTROL</u>	<u>RANGO (°C)</u>
TI-2A/B (1)	Indicador local de temperatura de agua que sale del intercambiador de calor	-	0, +100
TI-3A/B	Indicación local de temperatura de agua que entra al intercambiador de calor	-	0, +100
TI-4A/B	Indicación local de temperatura del gas que sale del precalentamiento	-	-20, +40

*Tabla 17. Instrumentación de temperatura 2**

** Continúa en la página siguiente*

<u>SIGLAS</u>	<u>SERVICIO</u>	<u>TELE</u> <u>CONTROL</u>	<u>RANGO (°C)</u>
TR-6A/B	Termoelemento y registrador local de temperatura de salida de la línea (de dos plumas, junto al PR-8A/B)	-	-15, +15
TE-7 TT-7 TI-7	Termoelemento, transmisor e indicador en panel, con salida de teleseñal de la temperatura en el colector de salida	4-20 mA	-20, +40
TE-8A/B	Termoelemento transmisor al computador de la temperatura aguas abajo de la turbina		-20, +40

Tabla 17. Instrumentación de temperatura 3

NOTAS:

1) La línea A es la principal y la línea B es la de reserva de la E.R.M.; Ejemplo: PIA/B = 2 indicadores de presión, uno en la línea A (principal) y otro en la línea de reserva (B).

Las características de los componentes serán:

- Indicadores locales zona gas: Tipo bimetálico, diámetro dial 125 mm, caja, elemento y racord de acero inoxidable, vaina AISI 316, brida A-150, precisión 1% del rango total, esfera blanca, caja negra, incluyendo la vaina AISI, conexión 3/4" NPT en A.P.A. y 1 1/2"-600# RF en A.P.B.
- Termorresistencia: 3 hilos, según DIN 43760 de Pt con una resistencia de 100 Ohm a 0 °C y con armadura protectora AISI 316, conexión a proceso 3/4" NPT en A.P.A. y 1 1/2"-600# RF en A.P.B.
- Transmisor (convertidor) de temperatura: De tipo potenciométrico de balance nulo para convertir la señal de entrada procedente de factores de resistencia de Pt de 100 Ohm a 0 °C en una salida de 4-20 mA.C.C. y precisión de ±0,25% del rango total, alimentación eléctrica de 24 V.C.C. Caja estanca al polvo, tiempo de respuesta menor de 200 milisegundos y linealidad mínima de ±0,1% del rango intrínsecamente seguro.

- Registrador de temperatura; ver 9.3.8.3. de la Memoria (del tipo del registrador de presión).

9.3.10.3 Instrumentación de caudal

<u>SIGLAS</u>	<u>SERVICIO</u>	<u>TELE</u> <u>CONTROL</u>	<u>RANGO</u>
FT-2A/B FQI-3A/B FQI-2A/B	Sonda de alabes de turbina (FT) que envia pulsos de alta frecuencia al computador de caudal, con indicación en panel, a partir de éstos, del volumen en m ³ (3A/B) y del volumen corregido en m ³ (n) (FQI-2 ^a /B)	CLT (Únicamente el volumen corregido)	-

Tabla 18. Instrumentación de caudal 1 (continua en la siguiente página)

<u>SIGLAS</u>	<u>SERVICIO</u>	<u>TELE</u> <u>CONTROL</u>	<u>RANGO</u>
FT-3A/B FQI-4A/B	Sonda de rueda dentada de la turbina que envía pulsos de alta frecuencia al computador de caudal, con indicación en panel, a partir de éstos, de volumen bajo error en m ³ (n)	-	-

*Tabla 18. Instrumentación de caudal 2**

** Continúa en la página siguiente*

<u>SIGLAS</u>	<u>SERVICIO</u>	<u>TELE</u> <u>CONTROL</u>	<u>RANGO</u>
FR-2A/B	Registrador electrónico de caudal corregido en m ³ (n)/h, con salida salida de teleseñal	4-20 mA	-
FQI-2	Totalizador de volumen en m ³ de fuel-gas (situado sobre la turbina de medida de fuel-gas)	-	-

Tabla 18. Instrumentación de caudal 3

NOTAS:

1) La línea A es la principal y la línea B es la de reserva de la E.R.M.; Ejemplo: PIA/B = 2 indicadores de presión, uno en la línea A (principal) y otro en la línea de reserva (B).

2) CLT = Contacto Libre de Tensión

Las características de los componentes utilizados para la medición del caudal de gas serán:

1.- Registrador electrónico (**FR-2A/B**): Caja metálica para montaje en panel, registro en línea continua, gráfico de 4" de tres plumas ancho, precisión de ± 0.5 del rango, rango de 4-20 mA.C.C., alimentación de 220 V.C.A., resistencia en bornes menor de 300 Ohm, temperatura ambiente de 0-50 °C y duración de 7 días mínimo del registro.

Indicará y registrará una señal analógica de 4-20 mA procedente del Flow Computer proporcional al caudal instantáneo corregido en condiciones de referencia

Esta misma señal analógica será entregada, a través de un convertidor con aislamiento galvánico entrada-salida, al exterior para su transmisión remota al CPC (Centro Principal de Control del Gasoducto).

2.- Indicador en panel: Incluido en el computador de caudal (corrector).

Ver apartado **9.3.8.2.** de la Memoria del Proyecto, donde se detallan los caudales, energías y volúmenes indicados por el mismo.

9.3.8.6. Cuadro de control y lógica asociada

El cuadro de instrumentación y lógica asociada esta formado por un armario modular standard de 800 x 700 x 2000 mm de ancho, fondo y alto respectivamente, dividido verticalmente en 9 módulos con la siguiente distribución:

- a) Panel señalizador de alarmas.
- b) Indicador-registrador de caudal.
- c) Visualizadores.
- d) Corrector de caudal.
- e) Unidad de control de odorización.
- f) Espacio para ampliación.
- g) Modulos de control del equipo de seguridad. Detección de gas y de incendios.
- h) Rack de aisladores galvánicos de seguridad intrínseca.
- i) Bornas de entrada/salida
- j) Modulo de control de las alimentaciones eléctricas.
- k) Interconexión con telecontrol

La disposición de éstos módulos se puede observar en el siguiente esquema:

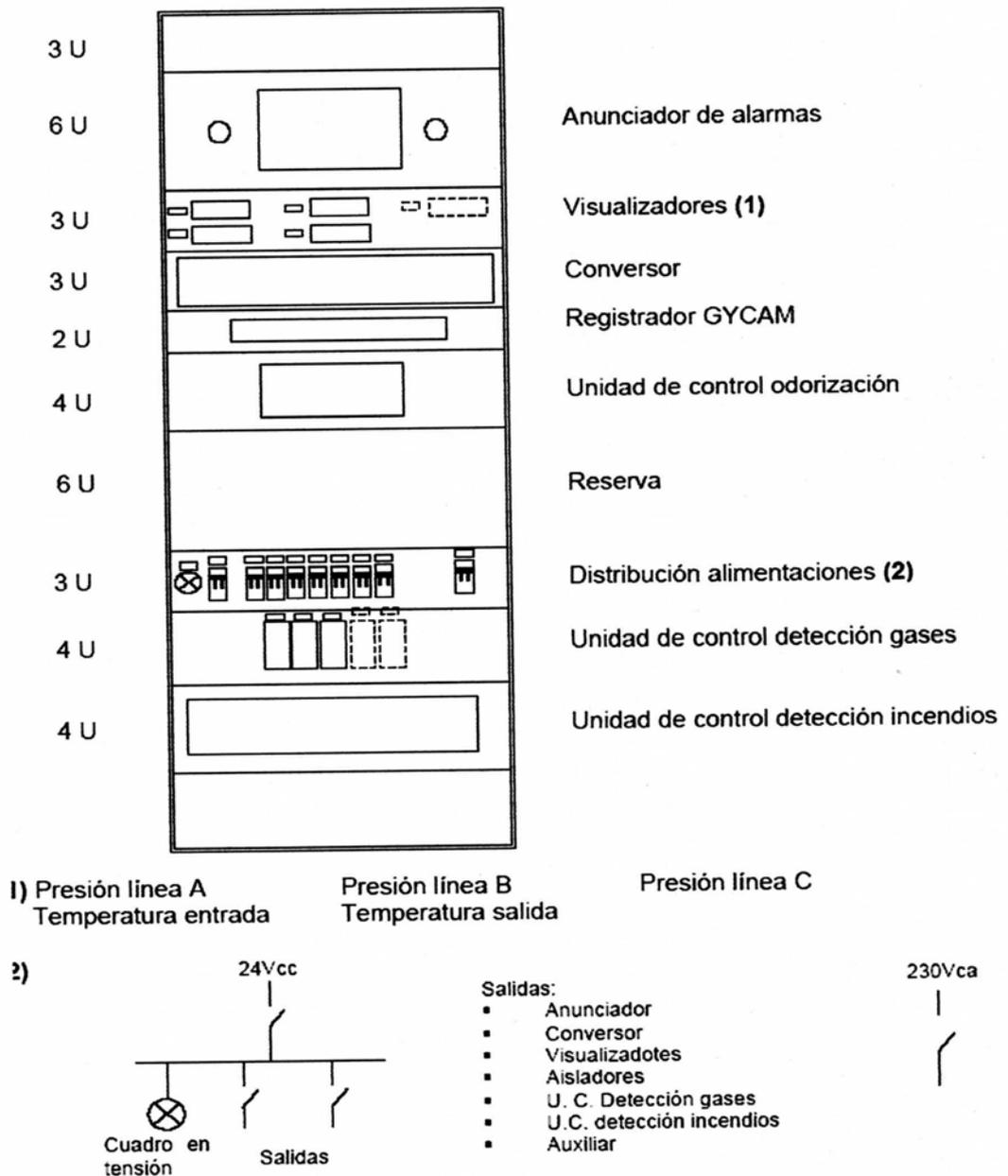


Figura 29. Armario de control: Distribución

Fuente: Especificaciones generales de ENAGAS

En el interior se encuentran los relés asociados a la lógica de alarmas, relés de seguridad intrínseca, amplificadores de pulsos de turbinas, ondulator de 24 V.C.C. / 220 V.C.A. y bornas de conexión.

a) Panel de señalización de alarmas

Formado por un señalizador modular de 24 divisiones con lámparas de incandescencia de 50 mA 24 V.C.C.

Su misión es indicar con señales luminosas las alarmas y sucesos que se produzcan en la E.R.M. y mantenerlas memorizadas hasta su anulación manual.

El anunciador estará formado por un señalizador modular con lampara de incandescencia de 50 mA y 24 Vcc. para 24 puntos de alarma para la E.R.M.

Alternativamente, el anunciador podrá ser de LED integrado con pulsadores de reconocimiento de alarmas y de prueba. En este caso, este dispositivo incluirá relés integrados para repetición de alarmas. Además dispondra de un registro de primer defecto.

Indicará las siguientes alarmas o sucesos:

ZONA DE GAS

<u>SIGLAS</u>	<u>SERVICIO</u>	<u>INSTRUMENTO</u>	<u>TELECONTROL</u>
		<u>PRIMARIO</u>	
ZA-1A/B (1)	Alarma de actuación de la VIS	-	CLT (2)
PAL-10A/B	Alarma de actuación regulador monitor	-	CLT
XS-2/B	Error/Fallo computador/turbina	-	CLT
ZS-2A	Actuación válvula de aislamiento de salida de la línea principal de gas	Contacto final de carrera	CLT
ZS-3A	Actuación válvula de contraste	Contacto final de carrera	CLT
XS-4	Fallo del sistema de odorización	-	CLT
XS-4A	Fallo de bomba A de odorización	-	CLT
ZS-5A/B	Actuación de válvula de alivio VES	Contacto final de carrera	-

Tabla 19. Alarmas y sucesos de la zona de gas

NOTAS:

1) La línea A es la principal y la línea B es la de reserva de la E.R.M.; Ejemplo: PIA/B = 2 indicadores de presión, uno en la línea A (principal) y otro en la línea de reserva (B).

2) CLT = Contacto Libre de Tensión

ZONA DE FUEL GAS Y DE CALDERAS

<u>SIGLAS</u>	<u>SERVICIO</u>	<u>INSTRUMENTO</u> <u>PRIMARIO</u>	<u>TELECONTROL</u>
TAL-11	Baja temperatura del agua de retorno	-	CLT (1)
XS-3	Actuación de bomba	Contactores de bombas	-
TAHH-13	Alta de temperatura de calderas	-	CLT
AT-1	Detección de gases (2)	-	CLT
BT-1	Detección de incendios (3)	-	CLT

Tabla 20. Alarmas y sucesos de la zona de fuel gas y de calderas

NOTAS:

1) CLT = Contacto Libre de Tensión

2) Detección de gas. Prealarma 20 % LIE. Alarma 50 % LIE. El sistema supervisor de detección de gas integra la prealarma y alarma en una única señal a telecontrol.

3) Detección de humos

b) Indicadores - registradores de caudal.

Explicados en el apartado **9.3.8.5.** de la Memoria del Proyecto.

c) Visualizadores:**Indicadores de presión y temperatura.**

Los indicadores de panel serán digitales con display de dígitos rojos de alto brillo, programables con ajuste de cero y ganancia, con corrección automática de cero, alimentación de 24 Vcc y error máximo de 0,1 %.

En este panel o bastidor estarán instalados cinco indicadores que realizarán las siguientes funciones:

1.- 2 indicadores de temperatura que indicarán la temperatura de entrada y salida del gas en los colectores de entrada y salida de la estación.

Estos indicadores estarán conectados cada uno de ellos a un convertidor de temperatura con aislamiento óptico entrada-salida que convertirá las variaciones de resistencia en función de la temperatura (son PT-100 DIN situados en la tubería) en variaciones proporcionales de corriente de 4-20 mA.

Dichos convertidores estarían instalados en área segura y las sondas PT-100 serán antideflagrantes con línea antideflagrante.

La señal analógica de cada transmisor de temperatura (TT-1/TT-7) que recibirá cada uno de estos indicadores se entregará al exterior para su transmisión remota al CPC.

2.- 2 indicadores de presión que indicarán la presión existente en la turbina. La instalación eléctrica de los transmisores de presión será en ejecución antideflagrante, instalado uno en cada línea.

La señal de salida de 4-20 mA de cada transmisor de presión en la turbina (PT-9A/B) y de cada transmisor de temperatura en la línea (TT-8A/B), formará un bucle con el corrector, indicador de presión y convertidor de corriente, con aislamiento galvánico entrada-salida.

Este convertidor de corriente entregará su salida de 4-20 mA al exterior para su transmisión remota al CPC.

3.- Se instalará un indicador del nivel de los depósitos. La señal que recibirá el indicador se deberá también retransmitir a telecontrol para su transmisión remota al CPC.

Cada indicador irá etiquetado con una placa rotulada con la identificación del servicio.

d) Corrector

Será utilizado para dos líneas (multicanal).

Ha sido explicado con detalle en el apartado **9.3.8.2.** de la Memoria del Proyecto.

e) Unidad de control de odorización.

Deberá ser instalada en la zona de control, y siempre que su diseño lo permita, será montada en el armario de control, para lo que se preverán los anclajes necesarios.

f) Espacio para ampliación.

Este espacio esta destinado a ampliaciones futuras.

g) Módulos de control del equipo de seguridad. Detección de gas y de incendios.

Las unidades de control de detección de gases serán modulares para montaje en rack de 19", de manera que el fallo o desconexión de una no influya en el correcto funcionamiento de las demás. Estarán alimentadas a 24 Vcc.

Cada unidad de control irá etiquetada con una placa rotulada con la identificación del servicio.

La central de detección de incendios será apta para montaje en rack de 19" alimentada a 24 Vcc o alternativamente a 230 Vca con fuente de alimentación de respaldo para 48 horas.

h) Rack de aisladores galvánicos de seguridad intrínseca.

En el armario de control irán alojados los separadores galvánicos, certificados y marcados, de seguridad intrínseca que sean necesarios instalar en los circuitos de seguridad intrínseca que les correspondan dentro de la zona de gas.

Los separadores galvánicos deben adecuarse a las prescripciones de cada circuito para que no se sobrepasen los valores límites característicos de capacidad, inductancia y relación inductancia-resistencia. Además, la tensión en vacío, intensidad de cortocircuito y potencia máximas del separador deberán siempre ser inferiores a las correspondientes magnitudes del aparato eléctrico o transmisor situado en zona clasificada.

Todos los separadores galvánicos dispondrán de:

- 1) LED, s indicadores (alimentación, fallo, estado de entradas o salidas, etc.).
- 2) Las salidas digitales hacia zona segura serán siempre por relé (contactos secos).

3) Cualquier configuración se realizará mediante microswitches deslizantes o puentes. En particular, los aisladores de entradas digitales deben permitir siempre configurar la acción de salida.

4) Curvas de salida con tensiones de servicio lo más próximas posibles a la nominales de servicio de los equipos asociados, a fin de permitir eventuales pérdidas en el circuito de interconexión.

i) Borneros de entrada/salida

Todos los cables y multicables se incorporarán al sistema a través de regleteros de bornas simples. La disposición y etiquetado del cable o multicable coincidirá con su regletero y borna correspondiente.

En el armario de control se instalarán los regleteros de entradas / salidas de señales.

En estos regleteros los bornes de conexión de los circuitos de seguridad intrínseca (Eexi) deben estar separados de los bornes de circuitos de no Eexi por una distancia de 50 mm. Además entre dos circuitos Eexi la distancia en el aire de las partes conductoras desnudas de los conductores externos conectados en los bornes de conexión, debe ser al menos de 6 mm y la distancia de estos bornes a cualquier parte metálica de puesta a tierra, será al menos de 4 mm.

Los bornes de conexión de los circuitos de seguridad intrínseca deberán ser anticizallantes y marcarse como tales empleando el color azul claro (RAL 5015).

Las bornas de salida deberán ser seccionables con fusible y con indicación de fusible fundido.

En las bornas se identificará claramente la polaridad de las señales de 24 Vcc.

Las bornas serán para montar sobre guía, inaflojables, en material no higroscópico. Todas serán adecuadas para alojar, como mínimo, conductores de 2,5 mm² para señales y 4 mm² para alimentaciones.

j) Modulo de control de las alimentaciones eléctricas

La distribución de la alimentación eléctrica a 24 Vcc a cada uno de los elementos se realizará a través de un interruptor magnetotérmico bipolar (mínimo 3 A) con circuitos independientes para el corrector, anunciador de alarmas, módulos de control de seguridad (detección de gases e incendio), separadores galvánicos, visualizadores y auxiliares del armario.

Los interruptores se montarán sobre una estructura metálica fijada al bastidor, accesibles desde el frente. Cada interruptor irá etiquetado con una placa rotulada con la identificación del servicio.

k) Interconexión con telecontrol

Todas las señales, tanto analógicas como digitales que se intercambien entre el armario de control y el armario de comunicaciones lo harán a través de separadores galvánicos instalados en el armario de control o a través de contactos libres de tensión respectivamente. Para estos últimos la situación normal se indicará con contacto abierto, y la de alarma o impulso con contacto cerrado.

Los regleteros y bornas para salida de todas las señales a telecontrol están indicados en la siguientes tablas:

SEÑAL	BORNA
PT-9A Presión línea A	+1,-2
PT-9B Presión línea B	+3,-4
PT-9C Presión línea C	+5,-6
FR-2A Caudal línea A	+7,-8
FR-2B Caudal línea B	+9,-10
FR-2C Caudal línea C	+11,-12
TT-1 Temperatura de entrada	+13,-14
TT-7 Temperatura de salida	+15,-16
JF-2A Caudal Energético línea A	+17,-18
JF-2B Caudal Energético línea B	+19,-20
JF-2C Caudal Energético línea C	+21,-22
CG-1 Poder Calorífico Superior	+23,-24
CG-2 Densidad Relativa	+25,-26
CG-3 Porcentaje Molar de N2	+27,-28
CG-4 Porcentaje Molar de CO2	+29,-30

Tabla 21. Regletero X0: Señales analógicas

Fuente: Especificaciones generales de ENAGAS

SEÑAL	BORNA
AT-1 Presencia de gas	Com. 1, 2
BT-1 Presencia de humos	Com. 3, 4
TAL-11 Bomba de agua (norm/baja)	Com. 5, 6
TAH-1/2/3 Calderas (norm/bloqueo)	Com. 7, 8
XS-2A Medida línea A	Com. 9, 10
XS-2B Medida línea B	Com. 11, 12
XS-2C Medida línea C	Com. 12, 14
ZS-1A Válvula VIS-A	Com. 15, 16
ZS-1B Válvula VIS-B	Com. 17, 18
ZS-1C Válvula VIS-C	Com. 19, 20
PSL-10A Monitor línea A	Com. 21, 22
PSL-10B Monitor línea B	Com. 23, 24
PSL-10C Monitor línea C	Com. 25, 26
ZS-2A Válv. de Aislamiento Lin. A (abierta)	Com. 27, Abierto 28, Cerrado 29
ZS-2C Válv. de Aislamiento Lin. C (abierta)	Com. 30, Abierto. 31, Cerrado 32
ZS-3A Válvula de Contrastación A/B(cerrada)	Com. 33, Abierto. 34, Cerrado 35
ZS-3C Válvula de Contrastación C/B(cerrada)	Com. 36, Abierto. 37, Cerrado 38
XS-4 Fallo sistema Odorización	Com. 39, 40
XS-4A Fallo bomba A Odorización	Com. 41, 42
XCG-1 Fallo Cromatógrafo	Com. 43, 44

Tabla 22. Regletero X1: Señales digitales y alarmas

Fuente: Especificaciones generales de ENAGAS

SEÑAL	BORNA
FQI-2A Volumen línea A	Com. 1, 2
FQI-2B Volumen línea B	Com. 3, 4
FQI-2C Volumen línea C	Com. 5, 6
JQI-2A Energía línea A	Com. 7, 8
JQI-2B Energía línea B	Com. 9, 10
JQI-2C Energía línea C	Com. 11, 12

Tabla 23. Regletero X2: Señales de contadores

Fuente: Especificaciones generales de ENAGAS

Se cablearán a bornas los 3 hilos de los contactos (común, abierto y cerrado) de cada relé.

Lógica de relés y unidades electrónicas

1. Alarma baja temperatura del agua de retorno (TAL-11) – Termostato de baja temperatura del agua de retorno (TSL-11).

Esta lógica esta gobernada por el contacto de un termostato y entrega un bucle libre de tensión aislado galvánicamente al sistema de telecontrol para la transmisión de la alarma al CPC, iluminando simultáneamente una lámpara de alarma en el señalizador principal. Esta lámpara permanece iluminada aunque desaparezca el motivo que lo origina hasta su anulación manual.

2. Alarma alta temperatura de calderas (TAHH-13) – Termostato de alta temperatura de calderas (TSH-13).

Realizará la misma función lógica que la indicada anteriormente.

3. Alarma de actuación del regulador monitor (PAL-10A/B) – Presostato de baja presión de salida del regulador monitor (PSL-10A/B).

Realizará la misma función lógica que la indicada anteriormente, con iguales elementos de seguridad de entrada.

4. Alarma de actuación de la VIS (ZA-1A/B) – Contacto final de carrera de actuación de la VIS (ZS – 1A/B)

Realizará la misma función lógica que la indicada anteriormente, con iguales elementos de seguridad de entrada.

6. Contactos de los finales de carrera de la válvula de contrastación (ZS-3A), válvula de alivio VES (ZS-5A/B) y válvula de aislamiento (ZS-2A).

Los finales de carrera de la válvula de aislamiento de la línea principal, válvula de contrastación, y de las válvulas de alivio VES, alimentarán sendos relés alimentados que generarán los contactos libres de tensión que definirán el estado de las válvulas (normal / alarma) para telecontrol.

Resumen final de la instrumentación de la E.R.M.

- Toda la instrumentación de la E.R.M. quedará resumida en el siguiente diagrama de bloques:

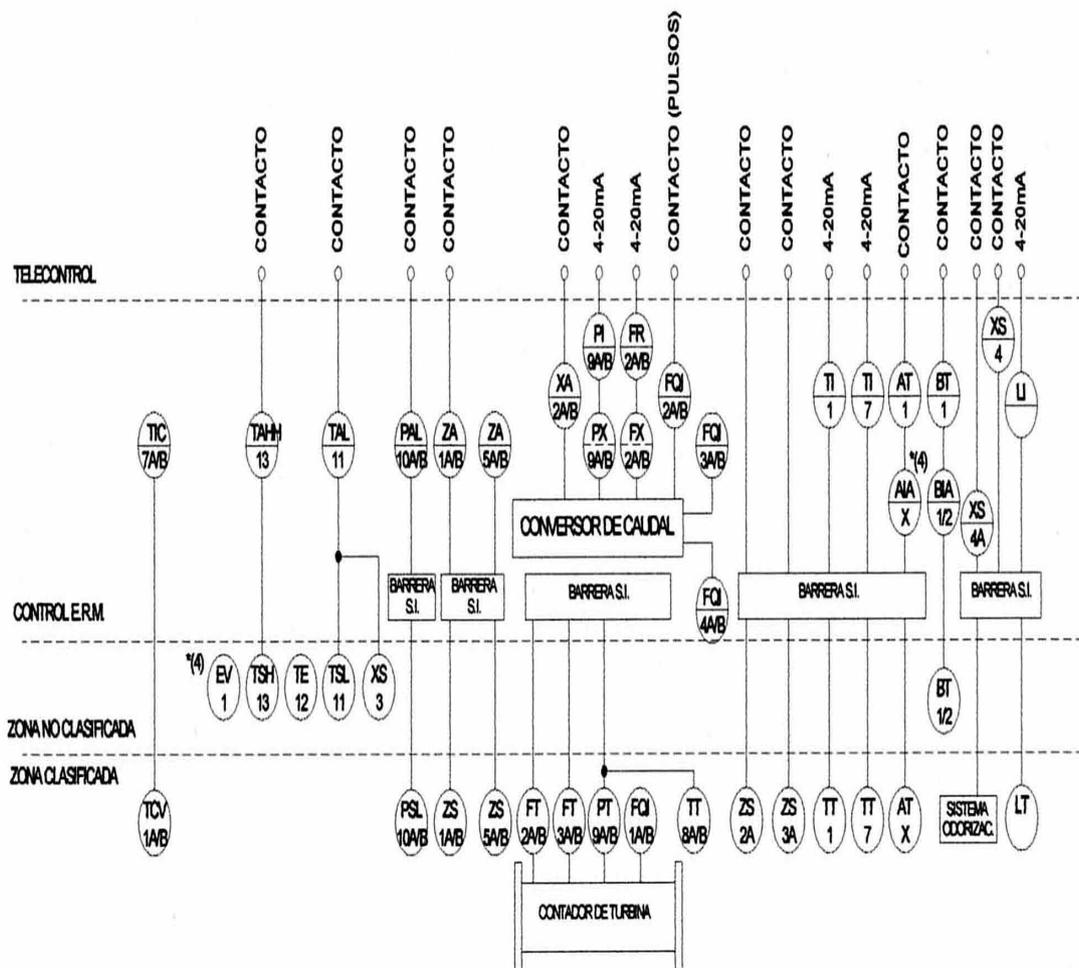


Figura 27. Esquema de bloques de instrumentación (E.R.M.)

Fuente: Especificaciones generales de ENAGAS

SIGLAS UTILIZADAS EN EL DIAGRAMA:

AT/AI/AAH: Detección de gas.

TE/TT/TI-1: Temperatura en colector de entrada.

BT/BI/BAH: Detección de incendios.

TE/TT/TI-7: Temperatura en colector de salida.

EV-1: Electroválvula de corte de fuel gas.

TSL/TAL-11: Temperatura agua de retorno.

FT: Señal caudal turbina.	TSH/TAHH-13: Termostato de calderas.
FQI-1: Totalizador en m ³ , sobre turbina.	XS-4: Alarma fallo odorización.
FQI-2: Volumen corregido Nm ³ .	XS-4A: Fallo bomba A.
FQI-3: Totalizador en m ³ , sobre panel.	XS-2: Alarma computador.
FQI-4: Volumen de error (Nm ³).	XS-3: Contadores de bombas.
FX/FR-2: Caudal corregido en Nm ³ .	ZS/ZA-1: Actuación válvula VIS.
PSL/PAL-10: Presostato de salida de monitor.	ZS-2A: Actuación válvula de aislamiento de línea.
PT/PX/PI-9: Presión de referencia en turbina.	ZS-3A: Actuación válvula de contraste.
TE-8: Temperatura salida turbina.	ZS-5A/B: Apertura PSV-1A/B
TE-12: Temperatura agua caliente	

NOTAS:

1.- Las señales analógicas deben estar separadas galvánicamente, tanto de la señal de entrada como de su fuente de alimentación, para cada una de ellas e independientemente de otros usos. Las señales digitales son contactos libres de tensión-

2.- LT/LI: Indicador de nivel de THT, solo si existe odorización con deposito enterrado.

3.- Corte fuel gas a calderas si LIE > 50 %

9.3.9. Acometida eléctrica a E.R.M.

Se tomará de un Cuadro de Alimentación Principal y Distribución Ininterrumpida (CAPI) situado en la caseta de control (ya existente), para la distribución de la energía eléctrica a los equipos de la E.R.M.

Este CAPI llevara instalados los interruptores magnetotérmicos de protección independiente para cada uno de los circuitos de salida para alimentación a receptores.

Así mismo se alojará un grupo de baterías en tampón que en caso de corte de la alimentación eléctrica principal mantendrá el suministro a los circuitos de 24 Vcc (instrumentación y paneles de control).

Todos los interruptores serán de corte omnipolar y cada uno con las características siguientes:

- Para alumbrado: 10A.
- Para Rectificador: 25A.
- Otros servicios. (Ver EE-207)
- Se equiparán salidas del CAPI para el suministro a la sala de calderas y la zona de regulación y medida de la E.R.M.

La instalación irá provista de una toma de tierra formada por una pica de acero cobreado de 2 metros de longitud y 14 mm de diámetro. Dicha pica se clavará verticalmente en las proximidades del armario de protección y medida.

Asimismo, se instalará una red de tierra que conecte las distintas partes metálicas, a tierra y mediante ánodos de Zinc. La sección de los conductores de protección estará de acuerdo con la Instrucción MI-BT-017, Apartado 2.2.

En todo caso, y de acuerdo con la Instrucción MI-BT-039, se tomarán las medidas necesarias para que el valor de la resistencia de contacto con tierra no de lugar a que cualquier masa pueda tener tensiones de contacto

con tierra superiores a 24 V en zonas conductoras, y a 50 V en los demás casos.

Las instalaciones enterradas quedarán protegidas mediante un doble anillo de puesta a tierra de Cu aislado y sección de 50 mm², con derivaciones de conexión Cadwell de 35 mm², entre las instalaciones existentes y las que se proyectan.

Serán instalados puentes de comprobación y las dos redes de tierra serán independientes, una para las instalaciones mecánicas, y otra para la instalación eléctrica y los cuadros de Baja Tensión.

Con todos estos elementos se entiende que la instalación quedará debidamente protegida, tanto contra sobrecargas y cortocircuitos como contra fugas de corriente y contactos indirectos.

9.3.10. Instalación eléctrica.

La Estación de Regulación y Medida APB / APA necesita para su funcionamiento de energía eléctrica, que será entregada desde el cuadro general (CAPI) a 380 V hasta el armario de protección y reparto, que se colocará dentro del cuarto eléctrico de la ERM G-160.

Dentro de un compartimento de la caseta de la E.R.M. está el habitáculo de cuadros eléctricos y de instrumentación donde se colocarán estos cuadros para los servicios de la E.R.M., disponiendo de una salida para el rectificador de los correctores, otra para las bombas de las calderas y otra para el cuadro de instrumentación, así como tres salidas para alumbrado y reservas para futuros usos.

Se tendrá en cuenta que tanto el material utilizado para el alumbrado y la instrumentación, así como el tipo de instalación, será el adecuado para zonas clasificadas como Zona 1 Div. 1 y estará de acuerdo con Cenelec en la zona de gas.

Los cables de los correctores e instrumentación situados en la caseta de la E.R.M. (zona de gas), así como otros accesorios eléctricos, serán para Zona 1 División 1 antideflagrante.

Las áreas de calderas y equipos eléctricos no son áreas clasificadas según MIBT-026.

El área de calderas será iluminado con una pantalla de 2 x 40 W, incluyéndose dentro de las instalaciones de calderas las bombas, niveles, alarmas, etc. desde el armario de control a instalar en este área.

En el área de equipo eléctrico e instrumentación está colocado el cuadro de protección y reparto y el equipo de instrumentación, y está iluminado con una regleta de 2 x 40 W.

9.3.11. Material eléctrico para circuitos de señalización, mando y alumbrado general.

Las instalaciones eléctricas cumplirán el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión del 02-08-02.

Las instalaciones de la ERM G-160 constan de tres locales independientes: zona de calderas, zona de instrumentación eléctrica (existente) y zona de gas, siendo las dos primeras normales a efectos de

instalación eléctrica. La zona de gas se considera Local con Riesgo de Explosión, Clase I, División 1 según el R.E.B.T. y la Norma UNE-EN 60079-10 de 1997 Material eléctrico para Atmósferas de Gas Explosivas. Parte – 10. Clasificación de Emplazamientos Peligrosos.

Todos los componentes de los circuitos eléctricos y los circuitos en conjunto (cableados, cajas de empalme, contactos, regletas, armarios, etc.) situados en la zona de influencia de las líneas (distancia de 3,5 m a cualquier brida si no hay elementos físicos de separación) cumplirán con lo prescrito en la instrucción M.I.B.T. 026 y con la norma UNE 20319. La elección entre instalación “Intrínsecamente Segura” o la utilización de “Envolvente Antideflagrante” se realizará en función de la utilización.

La puesta a tierra de la instalación que lo requiera, estará de acuerdo con la Instrucción M.I.B.T. 039.

Los terminales serán adecuados para conectar conductores de al menos 1,5 mm² de sección.

Las conexiones entre la regleta y los interruptores, presostatos, etc. se harán con cables de dos conductores.

Los conductores serán de cobre recubierto de material aislante, PVC o similar, con aislamiento mínimo de 1 KV.

La resistencia de aislamiento de la instalación será como mínimo de 380.000 ohmios.

Cada bomba de circulación irá protegida por un relé magnetotérmico. Este será de rearme automático o bien permanecerá armado en caso de fallo de energía. Dispondrá de contactos auxiliares para señalización en panel que globalizados se entregan a telecontrol.

El fallo de fase impedirá la puesta en funcionamiento de las bombas para evitar la actuación del térmico.

Cada válvula de interceptación de seguridad estará dotada de un contacto con salida para un conector. Este contacto y el enchufe estarán alojados en una caja estanca al agua (solución intrínsecamente segura).

Después de la válvula monitor se instalará un presostato (PS-10A/B en el diagrama de tubería e instrumentación) a fin de dar una señal de funcionamiento del regulador.

En el circuito de agua caliente se preverá un pozo termométrico con un termostato. El pozo se situará sobre la línea de retorno del agua, de forma que sirva para dar una alarma por muy baja temperatura en esta línea.

Si un armario o circuito se desconecta por medio de un interruptor principal, todos los conductores del mismo han de quedar sin tensión y permanecer sin ella.

Del cuadro de distribución general de alumbrado situado en la zona de instrumentación partirán dos líneas, una para la alimentación de las luminarias de la zona gas y otra para alimentación de las luminarias de la zona de calderas y zona de instrumentación.

La zona de gas se efectuará con material antideflagrante y la alimentación de las luminarias se realizará con conductor de Cu armado VMV de 3 x 1,5 mm² de sección bajo tubo rígido tipo Fergondur. La instalación eléctrica de la zona de instrumentación y calderas se efectuará con cable de Cu V-750 F de 2,5 mm² de sección bajo tubo rígido tipo Fergondur.

Se ha previsto la colocación de un conmutador para el accionamiento de las luminarias y que por ir situado en el exterior al lado de las puertas de acceso a la zona, serán del tipo estanco y protegidos contra el polvo y la lluvia. La instalación eléctrica de la zona de instrumentación y calderas se efectuara con cable de Cu V-750 de 1,5 mm² de sección y las luminarias serán regletas fluorescentes de 2 x 40 W. En cada cámara irá un interruptor junto a la puerta para el accionamiento de dichas luminarias.

Desde el cuadro de suministro (CAPI) a situar en la caseta de control partirá una línea de Cu V-750 F de 3,5 x 10 mm² destinada para alimentación del cuadro de calderas y bombas situado en la zona de calderas. Desde este partirán líneas de cable de Cu V-750 F de 4 x 25 mm² para alumbrado y tres para fuerza.

- 1.- Dos líneas para alimentación de las bombas, una de las cuales es de reserva.
- 2.- Una línea que será de las mismas características que la anterior destinada a la alimentación de los módulos de calderas.

Dadas las características especiales de algunos circuitos se dispondrá de un suministro de emergencia de 24 V.C.C., situado en el mismo lugar que el anterior, de el partirán dos líneas de Cu V-750 F de 2 x 86 mm² de sección, una que alimentará al cuadro de control situado también en la misma zona y otra que ira a parar al cuadro de calderas destinado a alimentar los circuitos de alarmas que intervienen en el control general.

Las instalaciones eléctricas cumplirán las prescripciones insertas en:

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión del 02-08-02.
- Norma UNE-EN 60079-10 de 1997. Material Eléctrico para Atmósferas de Gas Explosivas. Parte 10. Clasificación de Emplazamientos Peligrosos.

La previsión de cargas es la siguiente:

- | | |
|--|---------|
| - Armario de control y medida | 1.600 W |
| - Cuadro de control, calderas y bombas | 9.000 W |
| - Alumbrado | 2.200 W |

Estos detalles están indicados en los planos de la instalación eléctrica del proyecto.

9.3.12. Protección contra incendios y señalización de seguridad

1) Protección contra incendios

Los materiales que forman parte de la Estación de Regulación y Medida APB / APA son incombustibles y las paredes son de doble fábrica de ladrillo y bloque de hormigón de 30 cm de espesor, y el techo del recinto de doble chapa aislada, siendo también de chapa las puertas de acceso lo que proporciona al mismo unas características de resistencia al fuego de 30 min de duración como mínimo (RF-30), pese a lo cual, como protección contra incendios se instalarán dos extintores de polvo seco de 12 Kg de capacidad de las siguientes características:

- Agente extintor de 12 Kg de polvo BC (P-12).
- Agente propulsor de CO₂.
- Sin presión permanente y con botellín exterior.
- Color del recipiente en rojo.
- Eficacia del extintor mínima 89B.

Para la sala de calderas se instalará un extintor BC-50 y para la sala de control un extintor BC 12.

Los extintores se colocarán soportados en pared a una altura máxima de 170 cm y mínima de 50 cm.

Estarán situados en el interior del edificio, próximos a las salidas, y su distribución será tal que el recorrido máximo horizontal, desde cualquier punto hasta el extintor, no supere 15 m.

2) Señalización de seguridad

En el vallado perimetral se colocará un panel Tipo 1 en la puerta principal de entrada con las siguientes indicaciones:

- Logotipo de ENAGAS
- Identificación de la posición, que incluirá:
 - a) Gasoducto (Ejemplo: Madrid-Córdoba).
 - b) Posición (Ejemplo: K.02.02.A).
 - c) Teléfono de emergencia.
- Señal de acceso solo a personal autorizado.
- Señal de prohibido encender fuego.
- Señal de prohibido fumar.
- Señal de posible presencia de Atmósferas Explosivas.

En la puerta de emergencia se colocará otro panel Tipo 2 con las mismas señales, excepto la de “Identificación de Posición”.

En las puertas de la Zona de Gas de aquellas E.R.M. con valores de ruido iguales o superiores a 80 dB (A) se colocará un panel Tipo 3A.

En la puerta de la Zona de Control se colocará un panel Tipo 3C.

Los siguientes dibujos muestran los paneles con sus dimensiones y las indicaciones que debe llevar.

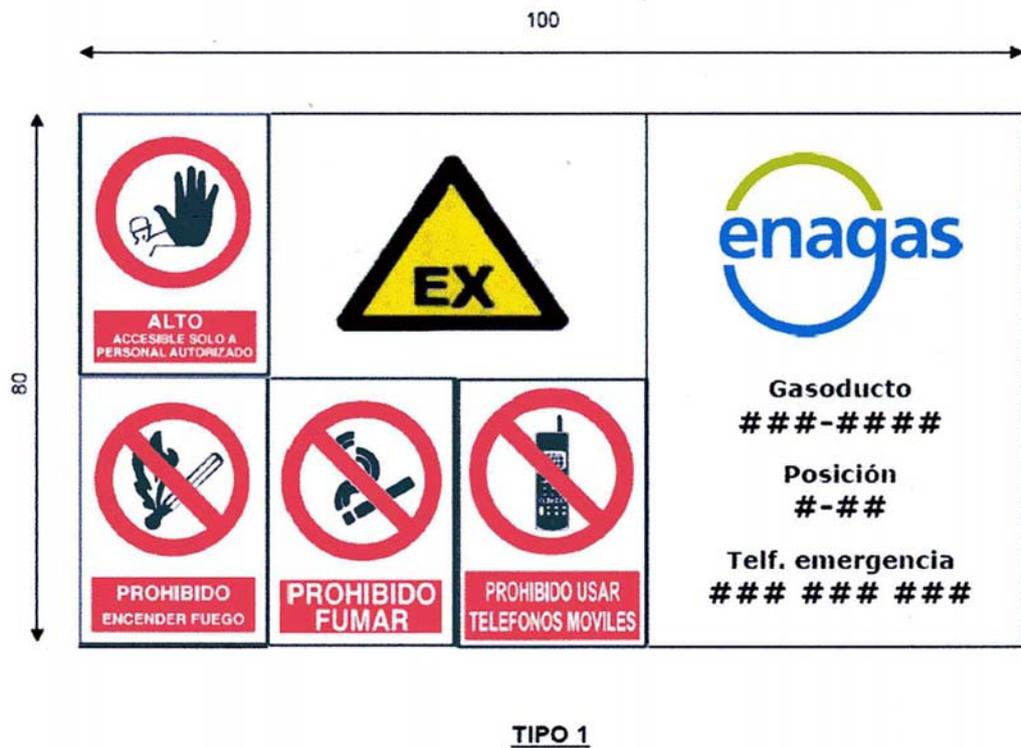


Figura 28. Panel Tipo 1

Fuente: Especificaciones generales de ENAGAS



TIPO 2

Figura 29. Panel Tipo 2

Fuente: Especificaciones generales de ENAGAS

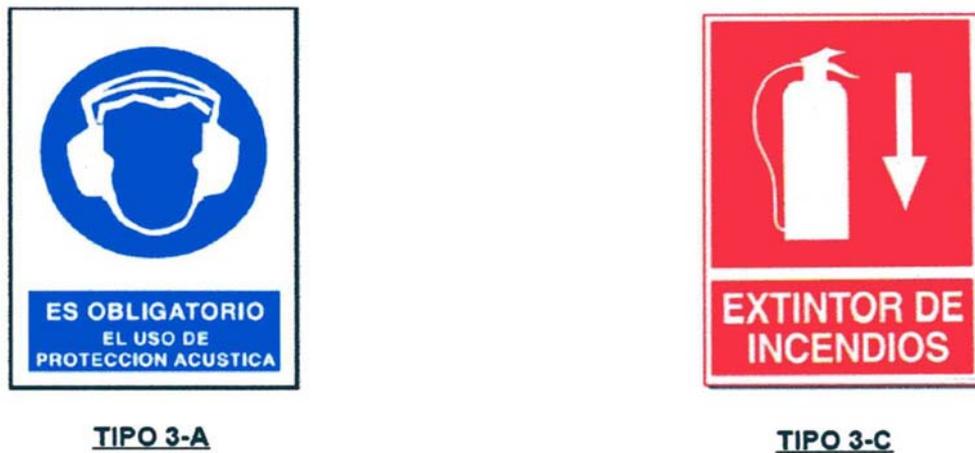


Figura 30. Paneles Tipo 3-A y 3-C

Fuente: Especificaciones generales de ENAGAS

9.3.13. Material para el sistema de detección de incendios.

Formado por los siguientes elementos:

- 1) Detector termovelocimétrico para 70 °C en sala de calderas.
- 2) Detector óptico en Zona de Control.
- 3) Central de control rack de 19” de dos unidades de control.

9.3.14. Detección de gas.

La detección de gas en la zona de la E.R.M. y de acuerdo con EI-201 se realizará con 3 detectores de gas.

Con 3 puntos de detección, formado por los siguientes elementos:

- 1) Unidades de control.
- 2) Cabezales sensores catalíticos (dos en la zona de gas y otro en la sala de calderas).
- 3) Cajas antideflagrantes.
- 4) Chasis rack modular de 3 U. con tapa.

La presencia de gas en zona de calderas a un nivel del 50 % del Límite Inferior de Explosividad (LIE) provocará el cierre de una electroválvula de fuel gas a ubicar en la entrada a la sala de calderas (EV-1). En el caso de presencia de gas en la sala de calderas se provocará, además, el corte de energía eléctrica (fuerza y alumbrado).

La electroválvula de corte de fuel gas será del tipo fallo “permanece”.

9.3.15. Bancadas y soportes.

Comprende todos los elementos estructurales, en perfiles laminados de acero al carbono, necesarios para el adecuado soporte de todos los elementos de la instalación.

Las bancadas y soportes se construirán a base de perfiles laminados normalizados de acero al carbono según A-42 (MV-104).

La fijación al suelo de la Estación será simplemente apoyada, estando la bancada provista de tornillos soporte en número suficiente para su perfecta nivelación.

El diseño de la bancada y el soportado de tuberías tendrá en cuenta el peso de los componentes llenos de agua, tal como se requiere para una eventual prueba hidrostática, así como todos los esfuerzos debidos a diferencias de temperatura, vibraciones, flujo del gas, descarga de válvulas de alivio, disparo de válvulas de seguridad (VIS), esfuerzos transmitidos por tuberías de las calderas y por los colectores de entrada y salida, purga de filtros y en general todos los esfuerzos que puedan producirse como consecuencia del transporte, pruebas, operación (régimen permanente y transitorios de arranque y parada) y mantenimiento. Las líneas de impulsos no tendrán vanos superiores al metro entre apoyos.

Especialmente, la línea del by-pass aéreo para contrastación de turbinas se instalará a una elevación adecuada de modo que permita el paso de personal y equipamiento, y no provoque interferencias con otros equipos.

9.3.16. Pintura y aislamiento térmico.

a) Pintura.

Con objeto de prevenir o reducir los efectos directos o indirectos que las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOC) pudieran producir sobre el medio ambiente y la salud humana, deberán utilizarse pinturas de bajo contenido en dichos compuestos. Asimismo debe ser apta para superficies a una temperatura de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La pintura de todos los componentes (tubería, estructuras, aparatos y equipos) se hará de acuerdo con las siguientes directrices:

1) Limpieza: Será mecánica con cepillos, abrasivos, etc. hasta eliminar la cascarilla procedente del proceso de fabricación y las eventuales zonas oxidadas, etc. Además se procederá a una limpieza con disolventes adecuados al objeto de eliminar grasa, sal, álcali u otros productos que al atacar a la imprimación o al acabado puedan provocar una falta de adherencia de la pintura o de protección de la superficie metálica. El grado de acabado será el St. 2 de la norma SIS 055900.

2) Imprimación: Será a base de una pintura monocomponente con una concentración de zinc de extracto seco superior al 96%. Se usará zinc electrolítico en polvo con un grado de pureza superior al 99,99%, aplicado justo a continuación de la limpieza con un espesor mínimo de 40 micras por capa. Se darán dos capas con un intervalo de dos horas.

3) Acabado: Esmalte alquílico del color que se indique, para tuberías grises S 2502-Y, de acuerdo con UNE 48103-94, con un espesor mínimo de película seca de 50 micras $\pm 10\%$.

El control de espesor se efectuará dividiendo la instalación en:

- Zona de alta presión
- Zona de baja presión (incluso calderas y tubería asociada)

Se harán dos mediciones aleatorias de espesor en la zona de alta y dos en la de baja. Si cualquiera de las medidas diese un espesor fuera de la tolerancia sería obligatorio proceder a pintar de nuevo toda la zona correspondiente.

En cuanto a la aplicación, en líneas generales se hará de acuerdo con la Especificación SSPC-PA-1 y SSPC-PA-2. Se cuidarán especialmente los siguientes puntos:

- Se evitará que superficies limpias para imprimación o durante el secado entre manos de imprimación o acabado se contaminen con algún compuesto (sal, álcali, grasa, ácido, etc.) que puedan dañar el acero o evitar la adherencia de las capas sucesivas.
- Las condiciones ambientales estará dentro de un rango admisible que se considera para temperaturas, más de 5 °C y menos de 40 °C y en cuanto a humedad, no se admite pintar cuando haya condensaciones sobre la superficie a recubrir por un exceso de humedad relativa.
- En cuanto al medio de aplicación se admite la aplicación por pulverización a pistola “sin aire”, aunque en los sitios difíciles (esquinas, soldaduras) se efectuará con brocha para asegurar un recubrimiento adecuado.

b) Aislamiento térmico.

Las tuberías de agua caliente que conectan las calderas con los intercambiadores de calor, así como los intercambiadores, se aislarán térmicamente de la siguiente forma:

- 1) Limpieza: Según punto **9.3.16.** de la Memoria del Proyecto.
- 2) Aplicación de imprimación anticorrosiva, con un espesor mínimo de película de 40 micras, a base de cromato de zinc según especificación INTA 164101.
- 3) Colocación de material aislante, fibra de vidrio o lana mineral en coquillas para tuberías o en manta para los intercambiadores, con un coeficiente de conductividad térmica media igual o inferior a $0,035 \text{ Kcal/mm}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$. Los espesores serán de 25 mm para tuberías de hasta 2" de diámetro y 40 mm para diámetros mayores e intercambiadores.
- 4) Montaje del recubrimiento con chapa de aluminio de calidad 2 hs, solapada y sujeta con tornillos autorroscantes inoxidables. Los espesores de la chapa serán de 0,6 mm para tuberías de hasta 2", 0,7 mm para 3" y 4", y 0,8 mm para 5" y 6".

Para las líneas de gas A y B, desde el regulador principal (VCP-1) hasta la junta aislante, con objeto de evitar la formación de hielo por condensación ambiental (efecto de pared húmeda), se revestirán con un aislamiento tipo "protección de personal" según EV-015.

El aislamiento de la turbina será independiente del resto, de fácil desmontaje y montaje para permitir la accesibilidad al equipo para operaciones de engrase, lectura y verificación metrológica. Se le dotará de un elemento transparente / escamoteable que permita la lectura directa del contador mecánico de la turbina, quedando asegurado en todo momento que no se rompa la barrera de vapor del aislamiento.

9.3.17.Otras condiciones de seguridad.

Los recintos de zona de gas, calderas y zona de control son estancos entre si, de forma que siendo atravesados los muros de separación por las tuberías y cables necesarios, los pasos serán convenientemente sellados.

El área de ventilación natural en cada fachada de la zona de gas será del 1,5% en superficie.

El área de ventilación del área eléctrica – control será del 0,5% de la superficie en planta.

El proyecto del área de calderas cumplirá con la norma UNE 60.601-78.

Se dispondrá de los pasamuros necesarios y suficientes, según planos, para que las fugas se evacuen directamente al exterior del edificio de gas y calderas.

La separación ente la zona de gas y la de calderas – control se hará con doble cerramiento, siendo el espesor de 300 mm y teniendo especial cuidado con el sellado de pasos entre la zona de gas (clasificada) y zona

de calderas y cuadros eléctricos sin clasificar, asegurando la estanqueidad.

Se dispondrá de una barrera de venteos bajo pavimento ente la zona de gas y la de calderas – control, al efecto de poder ventear hacia el exterior cualquier eventual fuga de gas a través de posibles grietas del hormigón.

Se colocarán 4 puertas, una de 0,9 m de ancho por 2 m de altura, dos de 1,260 m de ancho y 2 m de altura en la zona de gas, una puerta de 1,260 m de ancho por 2 m de altura en la sala de calderas, y otra de 0,9 x 2 m en el cuarto eléctrico y de instrumentación.

Todas las puertas abrirán hacia fuera desde dentro y sin llave.

Los materiales y marcos serán de tal material que no puedan producirse chispas al abrirse o cerrarse y serán de material incombustible o con una resistencia al fuego tal que mantenga su funcionalidad al menos durante 30 minutos en caso de incendio.

9.3.18.Odorización

Equipo de inyección de THT (C4 H8S1 Tetrahidro Tiofeno), con capacidad variable entre 5 mg/m³(n) y 30 mg/m³(n) a caudal máximo, y entre 12 mg/m³ y 30 mg/m³(n) al 2% del caudal máximo.

El sistema de odorización dispondrá de dos bombas dosificadoras de desplazamiento positivo (una en reserva) capaz de variar el número de impulsiones por unidad de tiempo en función del caudal de gas, con una

precisión de ajuste del 2%. Esta bomba aspira de un tanque atmosférico de capacidad 150 litros.

La señal analógica de caudal 4-20 mA se toma del computador de caudal o de la señal digital del contador de turbina.

El tanque odorizante (1 x 250 litros), filtro, etc., será de acero al carbono, diseñado y construido según ASME-VIII y el Reglamento de Recipientes a Presión, con un sobreespesor de corrosión de 1,6 mm mínimo para una presión de operación de 16 bar.

Estará aislado térmicamente para instalación en superficie y protegido en una caseta de chapa.

El tanque estará dotado de indicador de nivel con precisión 1% en todo el rango de L máx a L mín.

Las válvulas de corte, de seguridad, etc., estarán diseñadas para la presión de servicio 16 bar.

Las alimentaciones de potencia serán a 220/380 V y la instrumentación a 24 V.C.C.

Todo el equipo eléctrico y materiales del equipo de odorización están en Área Zona 1 Div.1, por lo que deben ser suministrados y montados antideflagrantes para estas condiciones de seguridad.

Las tuberías para el tratamiento de THT serán en A-106 GrB, los laminados en A-515 Gr 60 y las bridas o accesorios forjados en ASTM A-105, siendo las juntas en teflón.

9.4. Características de la conducción

9.4.1. Tubería

Las instalaciones se construirán con tubería de acero con o sin soldadura, según especificación API 5L.

Dicha tubería de acero cumplirá los requisitos exigidos en la Instrucción Técnica

Complementaria ITC-MIG 5.1 y 5.2 del Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos (Ministerio de Industria y Energía) según Orden de 26 de Octubre de 1983, 6 de Julio de 1984 y modificaciones según Orden del 29 de Mayo de 1998.

El acero será de Grado B según API 5L.

En la fabricación de la tubería, se exigirán los controles estipulados en la Instrucción Técnica Complementaria citada y que enumeran a continuación:

- a) Ensayos no destructivos del material.
- b) Prueba hidráulica.

La composición química del acero asegurará una buena soldabilidad en obra.

Las características mecánicas del material a emplear son las siguientes:

a) Límite elástico (E).....241 N/mm² (Mpa) (GrB);

b) Carga de rotura (R).....413 N/mm² (Mpa) (GrB);

De acuerdo con lo establecido en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-MIG 5.1 y 5.2, la relación E/R será igual o inferior a 0,85.

9.5 PROTECCIÓN CATÓDICA

En el proyecto, la protección se obtendrá por unión mecánica entre las actuales instalaciones y las nuevas instalaciones, aprovechando el sistema de protección que posee el gasoducto.

9.6 Sistema de telecomunicación y control

9.6.1. Funciones

La explotación y el gobierno del gasoducto, hace necesario recoger, de manera continuada, una gran cantidad de datos sobre las condiciones de trabajo, en ciertos puntos localizados a lo largo del mismo y poder cursar, en determinados momentos, órdenes a los equipos allí existentes, para ser ejecutados de manera inmediata.

Las funciones específicas que realizará el sistema de telecomunicaciones y telecontrol son:

- La supervisión del gasoducto.
- El establecimiento de las comunicaciones telefónicas para la operación y el mantenimiento del mismo.

Para esta E.R.M. en particular, y como ampliación de la Red Básica existente, de la cual formará parte, estará constituido por:

- Un sistema de telecontrol, para efectuar la supervisión del gasoducto, con una Estación Remota a instalar, que enviará la información para su procesamiento a una Estación Central.

El operador, desde el Centro de Control, podrá enviar órdenes a la Estación remota, para su cumplimiento, a través del ordenador, quedando, en todo momento, debidamente señalizada su ejecución.

- Un sistema de telefonía de mantenimiento, para efectuar el mantenimiento preventivo y la reparación de las posibles averías, a lo largo de la línea.
- Un sistema de transmisión, que servirá de soporte de todo el tráfico de señales telefónicas y telegráficas, generado en el gasoducto, por los sistemas de telefonía y telecontrol mencionados.

9.6.2. Instalaciones a controlar.

Se controlarán las señales de P, T y Q de la Estación de Regulación y Medida, además de otras mediciones de control y medida de salida de la ERM G-160 de acuerdo a las condiciones del proyecto específico.

9.6.2.1. Información.

Cuando se instala la ERM G-160, se tratará la información de las líneas de medida, la cual consta de: Medición de presión, medición de caudal por línea, temperatura del gas en la medida, volumen corregido por cada línea y alarmas por los diferentes fallos que se pueden dar en la E.R.M.

9.6.2.2. Estación Remota.

Para el sistema de telecontrol definido, está instalada una Estación Remota en la caseta de control de la E.R.M. G-160, que controlará las informaciones de la instalación indicada anteriormente.

Esta Estación Remota se encargará de controlar la instalación, de atender a su explotación, preparar la información obtenida para su transmisión al Centro de Control y realizar la transmisión.

Podrá recibir, igualmente, órdenes enviadas por el operador desde el Centro de Control, en el cual se procesará la información recibida desde las Estaciones Remotas.

El sistema de telecontrol estará constituido por tres subsistemas:

- Subsistema de adquisición de datos y control.
- Subsistema de elaboración de datos.
- Subsistema de coloquio con el operador.

9.6.2.3.Sistema de telefonía.

Las comunicaciones telefónicas son de dos niveles diferentes:

- De operación.
- De mantenimiento.

de tal forma que para cumplir con ambos, se instalará un sistema de telefonía automática para operación y un sistema de telefonía de mantenimiento para el nivel de mantenimiento.

9.6.2.4.Soporte de transmisión.

Tanto el sistema de telecontrol como el de telefonía previstos, estarán integrados en su operación con un sistema de transmisión, cuyas facilidades servirán de soporte al tráfico telefónico y telegráfico por ellos generado.

La transmisión se realizará mediante un sistema MIC de 30 canales, y como soporte de transmisión se utilizará un cable mixto de fibra óptica y cobre con objeto de garantizar una gran calidad de transmisión.

Por otra parte, la obra civil necesaria para la instalación del cable será mínima, debido a que se aprovechará para su tendido la zanja previamente abierta para el tendido de la tubería, y en el interior de la instalación se abrirá una zanja para la segregación del cable de telemando para introducirlo en la caseta de control.

La transmisión, desde un punto de vista funcional, puede subdividirse en:

- Transmisión de datos: que permitirá efectuar el intercambio de información entre la Estación Maestra y las Estaciones Remotas y cuyo soporte estará constituido por fibra óptica.
- Transmisión telefónica: que permitirá establecer los circuitos necesarios para el funcionamiento de la Telefonía Automática de Operación por fibra óptica y la de Mantenimiento a través de un par trenzado de cobre de 0,9 mm de diámetro.

La transmisión de datos se refiere al tráfico de señales entre las Estaciones Remotas de este gasoducto y el Centro de Control, siendo fundamental, en este caso, la seguridad de su transmisión, especialmente en condiciones de producirse una rotura de la tubería. Para poder servir a esta seguridad, se considera el gasoducto dividido en tramos.

Como soporte del sistema de transmisión se utilizará un cable de telecomunicación se utilizará un cable de telecomunicación compuesto por treinta y dos fibras ópticas, relleno de material hidrófugo PKP. Se utilizarán fibras ópticas, monomodo, índice en escalón, 10/125 μm , con atenuación menor de 0,30 dB/Km y equipos multiplexores de transmisión digital que permitirán transmitir todas las señales requeridas, con el rango dinámico de estos equipos multiplexores y la baja atenuación de la fibra óptica, obteniéndose saltos de 63 Km, sin elementos de repetición intermedios.

En cada posición de la conducción, el cable se hará accesible mediante el repartidor óptico en el que aparecen todas las fibras ópticas conectadas.

Este repartidor forma parte de un armario que integra todas las funcionalidades requeridas para la transmisión digital.

La transmisión telefónica tiene como fin satisfacer las necesidades de comunicación que plantean las labores de operación y mantenimiento. El tráfico telefónico se gestionará mediante una Centralita Automática que se situará en el Centro de Mantenimiento. Dicha centralita tendrá capacidad para atender a doce enlaces interiores con líneas a dos hilos y tres enlaces exteriores con líneas a seis hilos (par de transmisión, par de recepción, hilo E e hilo M).

El tendido del cable se realizará al mismo tiempo que el de la tubería, aprovechando la obra civil necesaria para el tendido de ésta, si es posible. El cable irá alojado en un tubo de polietileno de alta densidad, consiguiéndose el paso de aquél a través de éste mediante un fluidificado por corriente de aire que inyecta un compresor.

Los empalmes se realizarán de la siguiente forma:

- Las fibras ópticas se empalmarán por fusión eléctrica controlada (arco eléctrico).
- Los pares de cobre se unirán mediante torsión soldada.
- La cubierta exterior del cable se repondrá con manguito de PEHD y soldadura de polietileno.

La situación de todos los empalmes mencionados se señalarán mediante el uso de:

- Hitos de señalización.
- Marcas de señalización.

Los hitos de señalización indicarán la dirección y la distancia a la que se encuentra el empalme.

9.7. Instalaciones auxiliares

Se definen como instalaciones auxiliares, el conjunto de sistemas situados a lo largo de la conducción para la adecuada operatividad y control del gas natural a transportar.

9.7.1. Válvulas.

9.7.1.1.Generalidades.

Las válvulas de $\varnothing > 2''$ cumplirán la especificación EM-801. En cuanto a dimensiones, cumplirán la norma API 6D.

Las válvulas de $\varnothing < 2''$ cumplirán la norma BS-5351.

9.7.2. Particularidades del proyecto.

a) La conexión de la descarga del nuevo isométrico a la ventilación de apertura rápida se realizará interponiendo T 4'' con carrete en los extremos, previo venteo de la conducción y comprobación de la ausencia de atmósfera explosiva.

b) Todos los isométricos de entrada a la ERM G-160 serán probados para la presión de servicio de 80 bar, según MIG-5.1 antes de su interposición en línea, a 120 Kgr/cm² según MIG-5.1 y 7.1.

c) Todos los isométricos de salida de la ERM G-160 serán probados para la presión de servicio de 16 bar a 24 Kgr/cm² según MIG-5.2 y 7.1.

10. RELACIÓN DE ANEXOS

Se recogen en este capítulo, un resumen de los anexos de esta Memoria:

ANEXO I: CARACTERÍSTICAS DEL GAS

Este Anexo recoge las características del gas natural a suministrar.

ANEXO II: CÁLCULOS DE LAS INSTALACIONES

En este Anexo se exponen los cálculos realizados para el diseño de la E.R.M. G-160.

ANEXO III: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

11. RESUMEN

Los datos básicos para el diseño y dimensionamiento de la E.R.M.-G160 son los siguientes:

- Caudal de diseño por línea de la E.R.M. G-160:
4250 m³(n)/h
- Presión de entrada de la E.R.M. G-160: 80 bar máx.

- Presión de salida de la E.R.M. G-160 : 16 bar máx.
- Presión de diseño de entrada de la E.R.M. G-160:
ANSI 600# 80 bar
- Presión de diseño de salida de la E.R.M. G-160:
ANSI 150# 16 bar
- Rugosidad interna : 0,2 mm
- Velocidad máxima del gas: 20 m/seg

Las canalizaciones de la E.R.M G-160 tienen las siguientes características:

a) Lado de entrada de 80 bar

Presión de diseño de 80 bar ANSI 600#

Ø 6"	e = 7,1 mm. (API 5L GrB)
Ø 4"	e = 6,0 mm. (API 5L GrB)
Ø 3"	e = 5,5 mm. (API 5L GrB)
Ø 2"	e = 5,5 mm. (API 5L GrB)
Ø 1"	e = 4,5 mm. (API 5L GrB)
Ø 1½"	e = 5,1 mm. (API 5L GrB)
Ø ½"	e = 3,7 mm. (API 5L GrB)

b) Lado de salida de 16 bar**Presión de diseño de 16 bar ANSI 150#****Ø ½" e = 3,1 mm. (API 5L GrB)****Ø 1" e = 4,5 mm. (API 5L GrB)****Ø 1½" e = 5,1 mm. (API 5L GrB)****Ø 2" e = 5,5 mm. (API 5L GrB)****Ø 3" e = 5,5 mm. (API 5L GrB)****Ø 4" e = 6,0 mm. (API 5L GrB)****Ø 6" e = 7,1 mm. (API 5L GrB)****c) Presiones de prueba****Lado de entrada APB $80 \times 1,5 = 120 \text{ Kgr/cm}^2$** **Lado de salida APA $16 \times 1,5 = 24 \text{ Kgr/cm}^2$** **12. DOCUMENTOS DEL PROYECTO**

El proyecto consta de los documentos siguientes:

- **DOCUMENTO I: MEMORIA Y ANEXOS**
- **DOCUMENTO II: PLANOS**

Los planos que se incluyen en el proyecto son los siguientes:

- Situación General.
- Diagrama de tuberías e instrumentos.
- Planta de tuberías e isométricos.
- Obra Civil.
- Electricidad e instrumentación.
- **DOCUMENTO III: PLIEGO DE CONDICIONES**

Este documento lo componen los Pliegos de Condiciones a que se ajustarán los materiales, conteniendo:

- Pliego de Condiciones Generales
- Pliego de Condiciones Particulares.
- Pliego de Condiciones de los Materiales.
- **DOCUMENTO N° 4 PRESUPUESTO**

En este documento se incluyen:

Estado de Mediciones y Presupuesto Total.

13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Kohan, A. “Manual de calderas. Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación , seguridad, requerimientos y normativas”, Editorial McGrawhill, 1 pp. 1-47, 10 pp. 351-409, 11 pp. 409-475, 15 p.p. 645-683 (2000).
- [2] Coulson , J.M., Richardson, J.F. “Ingeniería Química. Operaciones Básicas”, Editorial Reverte S.A., 8 p.p. 385-413, 9 p.p. 413-481 (1988).
- [3] Holman, J.P., “ Transferencia de calor”, Editorial McGrawhill (1998).
- [6] Crane “Flujo de fluidos en válvulas, tuberías y accesorios”, Editorial McGrawhill (1998).
- [7] Schouten, J.A., Michels, J.P.J, Jaeschke, M. “Calculations of compressibility Factor of Natural Gases Based on the Calorific Value and the Specific Gravity”, Int. H. Thermophys, 11 (1), pp. 145-156 (1990).
- [8] Jaeschke, M., Audibert, S., Van Caneghem, P., Humphreys, A.E., Janssen-Van Rosmalen, R., Pellei, Q., Schouten, J.A., Michels J.P.J. “Simplified GERG Virial Equation for Field Use”, SPE Product Eng., 6 (3) pp. 350-355 (1991).
- [8] Jaeschke, M., Audibert, S., Van Caneghem, P., Humphreys, A.E., Janssen-Van Rosmalen, R., Pellei, Q., Schouten, J.A., Michels J.P.J. “Simplified GERG Virial Equation for Field Use”, SPE Product Eng., 6 (3) pp. 350-355 (1991).
- [9] Jaeschke, M., Humphreys, A.E, Van Caneghem, P., M. Audibert, S., Janssen-Van Romalenn, R., Pellei, Q., Michels, J.P.J., Shouten, J.A., Ten seldam, C.A. “high accuracy Compresibility Factor calculat Calculation for Natural Gases and

- Similar Mixtures by use of a Truncated Virial Equation, GERG Technical Monograph TM2 (1990) and Fortschritt-Berichte VDI, Series 6, No. 231 (1989).
- [10] Jaeschke, M., Humphreys, A.E, Van Caneghem, P., M. Audibert, S., Janssen-Van Romalenn, R., Pellei, Q., Michels, J.P.J., Shouten, J.A., Ten seldam, C.A. “high accuracy Compressibility Factor calculation for Natural Gases and Similar Mixtures by use of a Truncated Virial Equation, GERG Technical Monograph TM2 (1990) and Fortschritt-Berichte VDI, Series 6, No. 231 (1989).
- [11] Jaeschke, M., Humphreys, A.E “The GERG Databank of High Accuracy Compressibility Factor Measurements”, GERG Technical Monograph TM4 (1990) and Fortschritt-Berichte VDI, Series 6, No. 251 (1990).
- [12] Jaeschke, M., Humphreys, A.E, Hinze, H.M. “Supplement to the GERG Databank of High Accuracy Compressibility Factor Measurements”, GERG Technical Monograph TM7 (1996) and Fortschritt-Berichte VDI, Series 6, No. 335 (1996).
- [13] Starling, K.E., Savidge, J.L. “Compressibility Factors for Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Gases”, American Gas Association (AGA) Transmission Measurement Committee Report No. 8, American Petroleum Institute (API) MPMS, chapter 14.2, second edition, November 1992.
- [14] Norma UNE 60560-3, “Cálculo del Factor de Compresibilidad del Gas Natural” (2003).
- [15] <http://www.enagas.es>, “página web de la empresa ENAGAS”.
- [16] Especificación Técnica de ENAGAS E-1 Rev 11, “ Estaciones Normalizadas de Regulación y Medida de Alta Presión”.
- [17] Especificación Técnica de ENAGAS E-M 966 para “Filtros de Cartucho”.

**ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDIDA G-
160 DE 80/16 BAR. PARA ALIMENTACIÓN DE
UNA RED DE DISTRIBUCIÓN EN APA**

DOCUMENTO I: MEMORIA

ANEXOS A LA MEMORIA

DOCUMENTO I: MEMORIA

ANEXOS A LA MEMORIA

ANEXO I: CARACTERÍSTICAS DEL GAS.....299

1. CARACTERÍSTICAS DEL GAS.....299

1.1. Constituyentes principales.....299

1.2. Otros constituyentes.....300

ANEXO II: CÁLCULOS.....301

1. GENERALIDADES.....301

1.1. Pérdidas de carga.....301

1.1.1. Método de cálculo.....303

2. EMPLAZAMIENTO.....303

3. CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS EDIFICIOS.....304

4. CÁLCULOS ESTRUCTURALES.....308

4.1. Cálculos de zapatas.....308

4.2. Cálculos de correas y jácenas.....309

5.	CÁLCULOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	312
5.1.	Justificación del diseño del intercambiador.....	312
5.2.	Como abordar el problema.....	313
5.3.	Planteamiento del problema de diseño.....	315
5.4.	Procedimiento de cálculo.....	319
5.5.	Diseño de la unidad.....	322
5.5.1.	Balance de energía.....	322
5.5.2.	Cálculo de las temperaturas calóricas y estimación de propiedades.....	325
5.5.2.	Cálculo de la MLDT corregida.....	328
5.5.4.	Suposición del coeficiente global de transferencia de calor (U_{sup}).....	330
5.5.5.	Cálculo del area de intercambio.....	331
5.5.6.	Cálculo del N° de tubos.....	332
5.5.7.	Estimación de U_{correg} y A_{correg}	333
5.5.8.	Estimación del fluido caliente (lado de la carcasa).....	333

5.5.8. Estimación del fluido frío	
(lado de los tubos).....	338
5.5.10. Cálculo de la temperatura de pared.....	342
5.5.11. Cálculo de los coeficientes corregidos.....	343
5.5.12. Obtención del U_{limpio}	344
5.5.13. Cálculo del U_{TOTAL} y A_{TOTAL}	345
5.5.14. Cálculo de la caída de presión	
en la carcasa.....	348
5.5.15. Cálculo de la caída de presión	
en los tubos.....	351
5.6. Resumen de los cálculos del intercambiador.....	353
5.7. Resumen de características del intercambiador de	
fábrica.....	355
6. TABLAS Y GRÁFICAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO DEL	
INTERCAMBIADOR	
6.1. Nomenclatura de intercambiadores	
(según TEMA).....	362

6.2.	Datos de tubos para intercambiadores y Condensadores.....	363
6.3.	Tablas de cuenta de tubos.....	364
6.4.	Propiedades del agua (líquido saturado).....	365
6.5.	Factores de corrección de la MLDT.....	366
6.6.	Curva de transferencia de calor para el lado de la carcasa.....	367
6.7.	Propiedades de los metales.....	368
6.8.	Factores de fricción para el lado de los tubos.....	369
6.9.	Factores de fricción para el lado de la carcasa.....	370
6.10.	Perdida de presión por retorno del lado de los tubos.....	371
7.	CÁLCULOS DE LAS CALDERAS.....	372
7.1	Justificación de los cálculos de calderas.....	372
7.2.	Cálculo del rendimiento de las calderas.....	372
7.2.1.	Como abordar el problema.....	373

7.2.2. Aplicación del método directo a las calderas de la E.R.M.....	375
7.3. Análisis de pérdidas.....	377
7.4. Evaluación del exceso de aire.....	381
8. DATOS PARA DISEÑO, CÁLCULO, OPERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES DE LA E.R.M. APB/APA.....	383
9. CÁLCULO DEL FACTOR DE COMPRESIBILIDAD.....	387
9.1. Definiciones.....	387
9.2. Principios generales.....	389
9.3. Directrices.....	391
9.3.1. Condiciones de medida en el transporte y la distribución.....	391
9.3.2. Cálculo a partir del análisis de la composición molar (método AGA 8-92DC).....	392

9.3.3. Cálculo a partir de las propiedades físicas (método SGERG-88).....	392
9.3.4. Gases manufacturados.....	393
9.3.5. Incertidumbre estimada.....	394
9.4. Otros gases y aplicaciones.....	394
9.4.1. Gases pobres y ricos.....	394
9.4.2. Gases húmedos y con azufre.....	395
9.5. Cálculo de propiedades relacionadas.....	397
9.6 Cálculo del factor de compresibilidad a partir de las propiedades físicas.....	397
9.6.1. Principio.....	397
9.6.2. Ecuación SGERG-88.....	398
9.7. Variables de partida.....	400
9.8. Rangos de aplicación.....	400
9.9. Rangos más amplios de aplicación.....	402
9.10. Incertidumbre.....	403
9.10.1. Incertidumbre para el gas canalizado.....	403

9.10.2. Incertidumbre para rangos más amplios de aplicación.....	404
9.10.3. Efecto de la incertidumbre de las variables de partida.....	405
9.10.4. Presentación de los resultados.....	406
9.11. Descripción del método SGERG-88.....	408
9.11.1. Estructura básica del método de cálculo.....	409
9.11.2. Cálculo de datos intermedios.....	412
9.11.2.1. Iteración con el poder calorífico molar H_{CH} (bucle interno).....	415
9.11.2.2. Iteración con el segundo coeficiente de virial B_n (bucle externo).....	416
9.11.3. Cálculo de los coeficientes de virial	
9.11.3.1. Cálculo de $B(T)$	422
9.11.3.2. Cálculo de $C(T)$	423

9.12.4.Cálculo del factor de compresibilidad y la densidad molar.....	426
9.12.5.Verificaciones de la consistencia del método SGERG-88.....	427
9.12.6.Ejemplos de cálculo.....	428
9.12.7.Comportamiento con rangos de aplicación más amplios.....	430
10. CÁLCULOS DE LA CONDUCCIÓN.....	435

ANEXO III: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

1. MEMORIA.....	439
1.1. Objeto de este estudio.....	439
1.2. Características de la obra.....	440
1.2.1. Descripción de la obra y situación.....	440
1.2.2. Interferencias y servicios afectados.....	441
1.2.3. Unidades constructivas que componen la obra.....	441
1.3. Riesgos de la obra.....	443

1.3.1. Riesgos profesionales.....	443
1.4. Prevención de Riesgos Profesionales.....	445
1.4.1. Protecciones individuales.....	445
1.4.2. Protecciones colectivas.....	446
1.4.3. Formación.....	447
1.4.4. Medicina preventiva y primeros auxilios.....	447
1.4.5. Prevención de Riesgos de Daños a Terceros.....	448
2. PLIEGO DE CONDICIONES.....	449
2.1. Disposiciones legales de aplicación.....	449
2.2. Condiciones de los medios de protección.....	451
2.2.1. Protecciones personales.....	452
2.2.2. Protecciones colectivas.....	452
2.3. Servicios de prevención.....	454
2.3.1. Servicio técnico de seguridad y salud.....	454
2.3.2. Servicio médico.....	454

2.4.	Vigilante de seguridad y comité de seguridad y salud.....	455
2.5.	Instalaciones médicas.....	455
2.6.	Instalaciones de higiene y bienestar.....	455
2.7.	Plan de Seguridad y Salud.....	456
2.8.	Obligaciones del contratista adjudicatario en materia de seguridad y salud.....	456
3.	PRESUPUESTO	
3.1.	Mediciones y cuadro de precios.....	460
3.2.	Resumen de presupuesto.....	474

ANEXO I – CARACTERÍSTICAS DEL GAS

1. CARACTERÍSTICAS DEL GAS

1.1. Constituyentes principales

CONSTITUYENTE PRINCIPAL	FORMULA	COMPOSICIÓN VOLUMÉTRICA (%)	
		MÍNIMA	MÁXIMA
METANO	CH ₄	79,00	88,90
ETANO	C ₂ H ₆	5,00	10,20
PROPANO	C ₃ H ₈	1,24	2,35
BUTANO	C ₄ H ₁₀	0,21	1,15
PENTANO	C ₅ H ₁₂	0,06	0,34
n-HEXANO (+)	C ₆ H ₁₄ (+)	0,05	0,29
NITRÓGENO	N ₂	3,90	6,50
DIÓXIDO DE CARBONO (*)	CO ₂		
HELIO	He		

(*) máx 2%

Tabla 24. Constituyentes principales del gas natural de la E.R.M.

1.2. Otros constituyentes

El gas, además de los constituyentes principales, contendrá los siguientes:

AGUA	< 80 ppm
SULFURO DE HIDRÓGENO	< 2 mg/m ³ (*)
AZUFRE (Mercaptanos)	< 15 mg/m ³ (*)
AZUFRE (Total)	< 50 mg/m ³ (*)

(*) Valores a 15 °C y 1 bar.

ANEXO II: CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES

1. GENERALIDADES

En este anexo se incluyen los resultados de cálculo, formulas resumidas, y métodos de cálculo utilizados en el presente Proyecto.

1.1. Pérdidas de carga

$$P_2^2 = e^{S(X_1-X_2)} \cdot (P_1^2 + (A\lambda Q^2 Z_m / S)) - (A\lambda Q^2 Z_m / S)$$

donde:

P_1, P_2	Presiones en origen y final de la conducción en bar (absolutos)
λ	Factor de fricción
Q	Caudal en condiciones de referencia, en m ³ (n)/h
Z_m	Factor medio de compresibilidad calculado a presión y temperatura medias
X_1	Distancia desde el origen al punto 1, en Km
X_2	Distancia desde el origen al punto 2, en Km

y siendo S un factor que tiene en cuenta las diferencias de cota. Este factor viene determinado por la expresión:

$$S = (B / Z_m) \cdot (Z_2 - Z_1 / X_2 - X_1)$$

en donde Z_1 y Z_2 son las elevaciones de los puntos 1 y 2, respectivamente (en metros) y siendo B igual a:

$$B = 2 \cdot 10^{-5} \cdot g \cdot \rho_0 \cdot T_0 / P_0 \cdot T_m$$

en donde:

g	Aceleración de la gravedad, m/s^2
T_0	Temperatura de referencia (273 K)
P_0	Presión de referencia (1,013325 bar absolutos)
T_m	Temperatura media de transporte
ρ_0	Densidad en condiciones de referencia (a T_0 y P_0), ($Kg/m^3(n)$), y siendo A, un coeficiente que se calcula según la fórmula:

$$A = 1250,6 \cdot 10^3 \cdot \rho \cdot P_0 \cdot T_m / Z_0 \cdot T_0 \cdot d^5$$

y donde:

Z_0	Factor de compresibilidad en condiciones de referencia (T_0, P_0)
D	Diámetro interior de la tubería

La presión media, P_m , entre los puntos 1 y 2 se obtiene de la fórmula:

$$P_m = 2/3 \cdot (P_1^3 - P_2^3 / P_1^2 - P_2^2)$$

El factor de fricción, λ se calcula con la ecuación de Colebrook-White:

$$\sqrt{\lambda} = 0,5 / \log((1 / 0,4Re\sqrt{\lambda}) + (K / 3,7 \times d))$$

En el cual:

K Es la rugosidad de la tubería (mm)

Re Es el numero de Reynolds

1.1.1. Método de cálculo

El método de cálculo seguido es el siguiente:

- a) Se establece como valor inicial, la presión en cabecera del primer tramo.
- b) Se calcula, para cada uno de los tramos de que consta el recorrido del gasoducto, la pérdida de carga, utilizando las fórmulas arriba descritas.

2. EMPLAZAMIENTO

De acuerdo con la definición según UNE 60.302 la E.R.M. G-160 pertenece a la Categoría de Emplazamiento 3ª.

3. CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS EDIFICIOS

1) De acuerdo con la normativa NB-EA/95, se han considerado los siguientes criterios:

a) Acciones gravitatorias

→ Cerramientos horizontales

Cubierta:

Carga → Peso propio: 20 Kg/m²

Sobrecarga puntual de uso: 100 Kg

→ Cerramientos verticales

Peso propio hormigón en masa: 2300 Kg/m²

Peso propio pared de ladrillo macizo: 1800 Kg/m²

b) Sobrecarga de nieve

No existe.

Se adopta un valor de 100 Kg/cm² de sobrecarga de uso considerando la cubierta como horizontal.

c) Acciones del viento

Dadas las características y dimensiones generales del edificio se considera esta acción como despreciable debido a su escasa importancia.

d) Acción térmica

Dada las dimensiones de la edificación y el tipo de construcción a realizar, debiéndose dejar por lo menos entre dos hormigonados sucesivos 48 horas mínimo, no se consideran retracciones en los cerramientos y armaduras.

e) Acción sísmica

Dada la calificación según Norma NBE-AE-88 de las zonas a instalar, la edificación y las características de la misma, no se han tenido en cuenta en su aplicación.

f) Condiciones térmicas

Dadas las características especiales de ventilación en la edificación, no se consideran de aplicación según la Norma NBE-CT-79.

g) Acciones verticales y horizontales de los equipos a instalar

Dadas las características, pesos y considerando que todos los equipos se hallan apoyados sobre soportes verticales en el pavimento, se consideran despreciables.

h) Acción del terreno

Se considera que la máxima presión admisible en el terreno en kg/cm^2 a una profundidad de cimentación de 1 m sería de $2 \text{ kg}/\text{cm}^2$ para terreno sin cohesión.

En la zona a realizar la edificación que nos ocupa, el terreno está constituido por un área de consistencia arcillosa para el apoyo, una vez se elimina la capa vegetal. Después de una inspección su estado de densidad -compacidad- se califica como alta con una capacidad de carga admisible $Q_{\text{ADM}} = 1,0 \text{ kg}/\text{cm}^2$ mínimo para las zonas de relleno con compactación.

2) De acuerdo con la Norma NBE-CPI-91 se han considerado las siguientes condiciones:

a) Condiciones urbanísticas

La edificación que se proyecta, es de tipo aislado. Estando el conjunto situado en zona rústica alejada de núcleos urbanos y masa forestales.

b) Condiciones de evacuación

Se considera una ocupación máxima del edificio de 6 personas, destinadas a realizar trabajos de mantenimiento.

Anchura mínima libre de las vías de evacuación:

$$A = (0,6 \cdot 6 / 100) < 80$$

Se considera $A = 0,80$ m, valor que se supera ampliamente en las tres zonas.

→ Zona de gas

4 puertas de 0,90 3,6 mts

2 puertas de 1,8 1,6 mts

TOTAL 7,2 mts

→ Zona de control (existente)

1 puerta de 1,0 1,0 mts

TOTAL 1,0 mts

→ Zona de calderas:

1 puerta de 1,5 1,5 mts

TOTAL 1,5 mts

La distancia máxima de un punto interior a la puerta más próxima es:

Zona de gas **5,2 mts**

Zona de control **4,0 mts**

Zona de calderas **3,8 mts**

Menores en los tres casos a los 25 mts requeridos.

4. CÁLCULOS ESTRUCTURALES

4.1. Cálculos de zapatas

Peso de pared por 1 m de longitud	2300 kg
Peso propio por 1 m de zapata	1311 kg
Carga por 1 m de longitud debido a la acción gravitatoria sobre cubierta	<u>305 kg</u>
TOTAL	3.916 kg

Presión sobre el terreno:

$$3916 \text{ Kg} / (60 \times 100) = 0,65 \text{ kg/cm}^2$$

Solicitud muy inferior al máximo admitido por el terreno sobre el que se asentará de $1,5 \text{ kg/cm}^2$.

- Cálculo armadura zapata

Para este cálculo se utilizará la siguiente fórmula:

$$A_y \cdot F_{yd} = M_{dx} / 0,9d = f / 0,9d \cdot N / b \cdot L_y^2 / 2$$

Donde:

A_y = Área armadura paralela a la sección

L_y = Vuela de la zapata

M_{dx} = Momento flector respecto a la sección

N = Esfuerzo normal sobre la zapata

B = Ancho de zapata

f_{yd} = Resistencia de cálculo del acero

d = Canto

f = Coeficiente de seguridad (1,5)

Aplicando valores:

$$A_y \cdot 4400 = (1,5 / 0,9 \times 85) \cdot (3.916 / 60) \cdot (15^2 / 2)$$

$$A_y = 143,97 / 4400 = 0,03 \text{ m}^2$$

Considerando que no es necesario armar la zapata, pero se coloca una armadura de reparto en la parte baja de zapata de 4 \emptyset 12 longitudinalmente y \emptyset 12 a 30 cms transversalmente según la Especificación EO-701. Rev. 13.

4.2. Cálculo de correas y jácenas

1) Correas

-	Peso propio plancha de cubierta	20 kg/cm ²
-	Sobrecarga nieve	80 kg/cm ²
-	Carga total p_1	100 kg/cm ²

- Sobrecarga puntual p_2 100 kg
- Distancia máxima entre correas: $d = 1,31$ m
- Luz: $L = 5,45$ m
- Carga repartida: $q = p_1 d = 131$ kg/m
- Momento resistente: Perfil Z de 180 mm de canto y espesor de 3 mm

$$w = 47,1 \text{ cm}^3$$

$$M_{\max.1} = (q \times L^2 / 8) = (131 \times 5,45^2 / 8) = 486,37 \text{ m}\cdot\text{kg}$$

$$\sigma_1 = (M_{\max.1} / w) = 48637 / 47,1 = 1032,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$< \sigma_{\text{admisible}} (2400 \text{ kg/cm}^2)$$

$$f_{\max.1} = \alpha \times \sigma \times L^2 / h = 0,415 \times 10,32 \times 5,45^2 / 18 = 7,06 \text{ mm}$$

$$7,06 \text{ mm} < L / 250 = 27 \text{ mm}$$

$$M_{\max.2} = p_2 \times L / 4 = 100 \times 5,45 / 4 = 136,25 \text{ m}\cdot\text{kg}$$

$$\sigma_2 = M_{\max.2} / w = 13625 / 47,1 = 289,27 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{\text{admisible}} (2400 \text{ kg/cm}^2)$$

$$f_{\max.2} = 2,89 \times 5,45^2 / 18 = 4,76 \text{ mm} < L / 250$$

Luego el cálculo está del lado de la seguridad.

2) Jácena

- Peso propio cubierta 20 kg/cm^2
- Peso propio correas $5,76 \text{ kg/cm}^2$
- Sobrecarga nieve 75 kg/cm^2
- Carga total P $100,8 \text{ kg/cm}^2$
 $= 101 \text{ kg/cm}^2$
- Sobrecarga puntual P 100 kg
- Distancia de carga: $d = 5,45 \text{ m}$
- Luz: $L = 8,90 \text{ m}$
- Carga repartida: $q = p \cdot d = 106 \times 5,45 = 577,7 \text{ kg/m}$
- Momento resistente IPN 280: $w = 542 \text{ cm}^3$

$$M_{\max.1} = q \times L^2 / 8 = 577,7 \times 8,90^2 / 8 = 5719,95 \text{ m}\cdot\text{kg}$$

$$\sigma_1 = M_{\max.1} / w = 571995 / 542 = 1055,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$< \sigma_{\text{admisible}} (2600 \text{ kg/cm}^2)$$

$$f_{\max.1} = \alpha \times \sigma \times L^2 / h = 0,415 \times 10,55 \times 5,45^2 / 18 = 7,22 \text{ mm}$$

$$f_{\max.1} = 10,55 \times 8,9^2 / 28 = 29,84 \text{ mm} < L / 250 = 35,6 \text{ mm}$$

Luego el cálculo está del lado de la seguridad.

2) Justificación de la resistencia de anclaje de cubierta en la correa

Resistencia desclavamiento tornillo: $R = 180 \text{ kg}$

Nº tornillos previstos: $N = 19$

$N \times R = 3420 \text{ kg}$

$S = 8,15 \times 1,07 = 8,72 \text{ m}^2$

$Y_s = 2$, coeficiente de seguridad

$$\sigma_T = (N \times R / Y_s \times S) = 3420 / 17,44 = 196,1 \text{ kg/m}^2$$

Suficiente para asegurar que en caso de explosión del techo se desclave sin deterioros del resto del edificio.

3) Justificación chapa cubierta para carga de nieve

Sobrecarga de nieve 100 kg/cm^2

Sobrecarga uniforme repartida según fabricante para $L = 2 \text{ m}$ y espesor chapa $0,6 \text{ mm}$ para $\sigma_{\text{admisible}} = 1400 \text{ kg/cm}^2$ y $f \leq L / 200$ (190 kg/cm^2)

5. CÁLCULOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR**5.1. Justificación del diseño del intercambiador de calor**

En el presente proyecto es necesario el diseño de un intercambiador de calor por cada línea de la ERM G-160, con las características adecuadas para poder realizar el precalentamiento del gas natural con el fin de evitar el enfriamiento a una temperatura a la cual se favorece la formación de

condensados. Para ello el gas entra a una temperatura de unos 10 °C, produciéndose el intercambio calorífico con el agua procedente de las calderas, saliendo del intercambiador a 36 °C. Esta temperatura será suficiente para que el gas natural no forme condensados al producirse la reducción de presión de 80 bar a 16 bar en los reguladores, que da lugar a una bajada brusca de temperatura del gas.

Partiendo de los datos del intercambiador, a instalar en la E.R.M G-160, se estimarán los parámetros mínimos de diseño del intercambiador.

El intercambiador de la E.R.M G-160 tendrá unas características fijas, diseñadas por un fabricante especializado, que cubrirá las necesidades mínimas obtenidas a partir del diseño realizado en el presente Anexo de Cálculos.

Por lo tanto, el fin de este diseño no es calcular las dimensiones definitivas del intercambiador de calor, sino estimar cuales serían las características mínimas apropiadas para cubrir las necesidades de calentamiento del gas natural, y conociendo estas, comprobar si el intercambiador de fábrica las cumple.

Dicha comprobación se detalla en el apartado **9.3.4.** de la Memoria.

5.2. Cómo abordar el problema

Existen dos procedimientos básicos para realizar el análisis y el posterior diseño de un intercambiador de calor: el método **MLDT** (Media Logarítmica de Temperatura) y el **NUT** (método de eficiencia). Para cualquier problema, ambos métodos se pueden usar y obtener resultados

equivalentes. Sin embargo, dependiendo de la naturaleza del problema, el método **NUT** puede ser más fácil de aplicar.

Claramente, el uso del método **MLDT** se facilita por el conocimiento de las temperaturas de entrada y salida de los fluidos caliente y frío, pues la **MLDT** se puede entonces calcular fácilmente. Los problemas para los que estas temperaturas son conocidas se pueden clasificar como *problemas de diseño de intercambiador de calor*. Normalmente, se establece la temperatura de entrada del fluido y la velocidad del flujo, así como una temperatura de salida que se desea del fluido caliente o frío. El problema entonces es seleccionar un tipo de intercambiador de calor apropiado y determinar el tamaño, es decir, el área superficial de transferencia de calor A que se requiere para alcanzar la temperatura de salida que se desea. Por supuesto, el método **NUT** también se puede usar para obtener A al calcular primero ε (eficiencia) y C (C_{\min}/C_{\max}). De esta forma, se utilizaría la ecuación apropiada según el caso para obtener el valor del **NUT**, que a su vez se puede usar para determinar A .

De manera alternativa, se pueden conocer el tipo de intercambiador de calor y el tamaño, cuando el objetivo es determinar la transferencia de calor y las temperaturas de salida del fluido para el caudal de fluido y temperaturas de entrada establecidas. Aunque el método **MLDT** se puede usar para tal cálculo del rendimiento de un intercambiador de calor, los cálculos serían tediosos y requerirían iteración.

La naturaleza iterativa de la solución anterior se podría eliminar al usar el método **NUT**.

A partir del conocimiento del tipo de intercambiador de calor y el tamaño y las velocidades de flujo del fluido, los valores del **NUT** y de (C_{\min}/C_{\max}) se podrían calcular y ϵ se podría determinar entonces de la ecuación apropiada. Obteniendo finalmente todos los parámetros de diseño del intercambiador en cuestión.

Una vez que se conocen los dos métodos por los que se puede abordar un problema de diseño de un intercambiador de calor, se tiene el conocimiento necesario para saber que método elegir según el caso. En la situación que ocupa este proyecto se elige el método de la **MLDT**, ya que se conocen las temperaturas de entrada y salida y los caudales máxicos de las corrientes, una vez que se han aplicado los pertinentes balances de energía al sistema.

5.3. Planteamiento del problema de diseño

Una vez que se ha elegido el tipo de intercambiador de calor y se ha decidido cual será el fluido que circulará por el interior de los tubos y cual por el exterior, es decir, por la carcasa, llega el momento del diseño del intercambiador, los cálculos numéricos. Para ello se necesitan conocer los coeficientes de transferencia de calor por el interior de los tubos y por la coraza. Estos coeficientes se estiman a partir de los números adimensionales que se encuentran en la bibliografía, teniendo que elegir la expresión correcta según sea el caso.

El diseño del intercambiador de calor, de cada línea, se realizará para un caudal máximo de gas de $4250 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$, mediante el cálculo de la potencia calorífica que se debe transmitir a dicho caudal.

Por el lado de los tubos circulará gas natural y por el lado de la carcasa circulará agua caliente, siendo las temperaturas de entrada y salida:

Gas natural:

$$T_{\text{entrada}} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C} (T_1)$$

$$T_{\text{salida}} = 36 \text{ }^{\circ}\text{C} (T_2)$$

Agua caliente:

$$T_{\text{entrada}} = 88 \text{ }^{\circ}\text{C} (t_1)$$

$$T_{\text{salida}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C} (t_2)$$

A continuación se procederá al cálculo del caudal másico de gas natural a la presión de 80 bar y a la temperatura calórica (calculada mas adelante).

Tenemos por lo tanto los siguientes datos:

$$Q_{\text{gas}} (\text{C.N.}) = 4250 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h} (\text{Caudal máximo de gas por línea})$$

$$P = 80 \text{ bar}$$

$$\text{Temperatura calórica del gas} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Para obtener el caudal másico de gas:

- 1) Se considera el gas natural como gas ideal.
- 2) Se aplica la ecuación de los gases ideales:

$$P \cdot Q_{\text{volumétrico}} = Q_{\text{molar}} \cdot R \cdot T$$

3) Para pasar de C.N. (1 bar y 273 K) a las condiciones de operación del gas (80 bar y 23 °C):

- En C.N.:

$$1 \text{ bar} \cdot 4250 \text{ m}^3/\text{h} = Q_{\text{molar}} \cdot R \cdot 273 \text{ K}$$

- En Condiciones de Operación:

$$80\text{bar} \cdot Q_{\text{volumétrico}} = Q_{\text{molar}} \cdot R \cdot 296 \text{ K}$$

4) Si el $Q_{\text{molar}} (\text{C.N.}) = Q_{\text{molar}} (\text{Condiciones de Operación})$ y $R_{\text{C.N.}} = R_{\text{Condiciones de operación}}$:

$$[(1 \cdot 4250) / 273] = [(80 \cdot Q_{\text{volumétrico}}) / 296]$$

$296 \text{ K} / 273 \text{ K} = 1,084 \approx 1$ (Se considera despreciable el efecto de la variación de temperatura, al pasar de unas condiciones a otras, sobre el caudal de gas natural)

$$Q_{\text{volumétrico}} (\text{Condiciones de Operación}) = (4250/80) = \\ = 53,125 \text{ m}^3/\text{h}$$

5) Una vez determinado el $Q_{\text{volumétrico}}$ de gas a 80 bar y 296 K, se calculará el caudal másico:

$$m_{\text{gas natural}} = Q_{\text{gas natural}} \cdot \rho_{\text{gas natural}}$$

$\rho_{\text{gas natural}} (296 \text{ K y } 80 \text{ bar}) = 3,912 \text{ Kmol/m}^3$ (Evaluada con el programa informático “PROGAS”, explicado mas adelante)

$$Q_{\text{gas natural}} = 53,125 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$m_{\text{gas natural}} = 53,125 \cdot 3,912 = 207,825 \text{ Kmol/h}$$

Peso molecular del gas natural (Calculado a partir de la composición dada en el Anexo I de la Memoria) = 18,74 Kg/Kmol

$$m_{\text{gas natural}} = 207,825 \text{ Kmol/h} \cdot 18,74 \text{ Kg/Kmol} = 3894,640 \text{ Kg/h} = 1,081 \text{ Kg/s}$$

Los datos que se tienen y que hay que estimar se reflejan en la siguiente tabla:

	INTERCAMBIADOR	
	ENTRADA	SALIDA
T₁	10 °C	-
T₂	-	36 °C
t₁	88 °C	-
t₂	-	70 °C
m_{gas natural}	1,081 Kg/s	1,081 Kg/s
m_{agua caliente}	¿?	¿?

Tabla 25. Caudales másicos y temperaturas de entrada y salida del intercambiador

Las entradas y salidas del intercambiador son las siguientes:

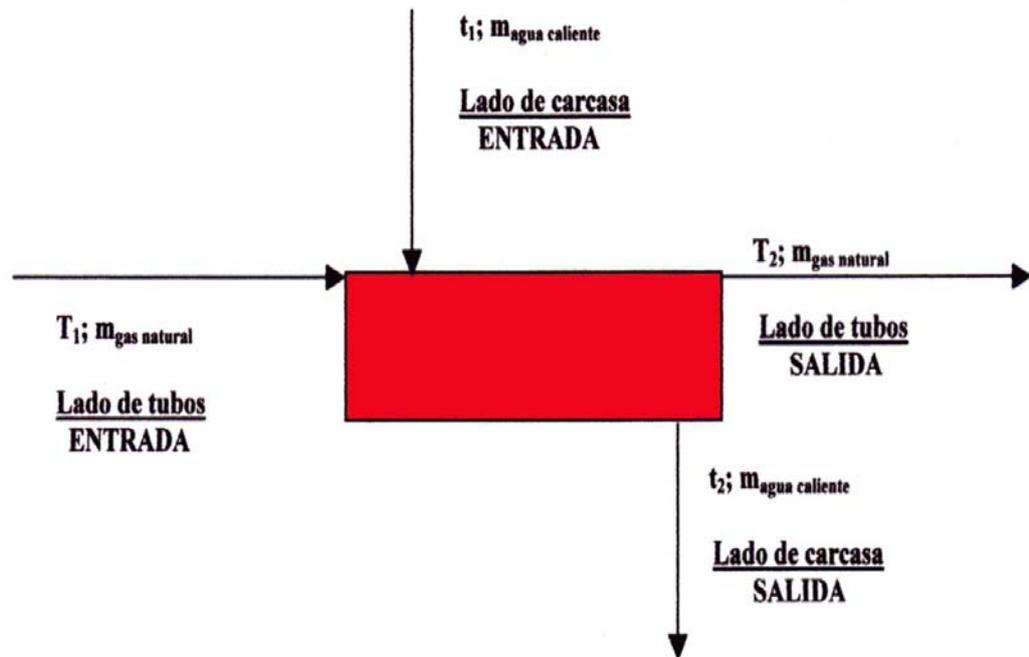


Figura 31. Representación gráfica de entradas y salidas del intercambiador

5.4. Procedimiento de cálculo

Para que se pueda plantear un procedimiento de cálculo adecuado es necesario conocer en primer lugar cuales van a ser las ecuaciones de diseño que van a entrar en juego. Para ello se supondrá que todo lo que entra es igual a lo que sale, es decir, que no existe acumulación de materia en el sistema, que es un sistema adiabático (no intercambia calor con el exterior) y que se opera en estado estacionario. En la siguiente

tabla se puede observar con claridad las ecuaciones que se van a utilizar y el significado de cada una de ellas:

ECUACIONES	SIGNIFICADO
$Q = U \cdot A \cdot \text{MLDT} \text{ (1)}$	Ecuación de Fourier: Ec. Global del intercambiador de calor
$\text{MLDT} = [(T_2 - T_1) - (t_1 - t_2)] / \ln[(T_2 - T_1) / (t_2 - t_1)] \text{ (2)}$	Media logarítmica de temperaturas
$m_e = m_s \text{ (3)}$	Conservación de la materia entre la entrada y salida de los tubos
$m_e = m_s \text{ (4)}$	Conservación de la materia entre la entrada y salida de la carcasa
$Q = m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_2 - T_1) \text{ (5)}$	Balance de energía en los tubos
$Q = m_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_1 - t_2) \text{ (6)}$	Balance de energía en la carcasa
$U = U (m_1, m_2, T_1, T_2, K, D, L \dots) \text{ (7)}$	Coefficiente global de transferencia de calor del intercambiador

Tabla 25. Ecuaciones de diseño del intercambiador

Una vez que se han planteado las ecuaciones se deben establecer los pasos a seguir en el diseño, los cuales son:

Etapa 1: Se calculan las propiedades del gas natural a la temperatura media calórica en el **PROGAS**.

Etapa 2: Se buscan las propiedades del agua a la temperatura media calórica en la bibliografía.

Etapa 3: Se tienen T_1 , T_2 , t_1 , t_2 , m_1 , C_{p1} (**PROGAS**) y C_{p2} (bibliografía); de manera que se calcula Q (calor global

transferido) con la ecuación 5. A continuación, de la ecuación 6, se extrae m_2 ya que son conocidos el resto de términos.

Etapa 4: Cálculo de la temperatura media logarítmica mediante el uso de la **ecuación 2**.

Etapa 5: Con el área de un tubo, que se calcula con la longitud y el diámetro de los tubos del intercambiador de fábrica a instalar, y el número de tubos del mismo, se hace el cálculo del **A de diseño**.

Etapa 6: Se obtiene un **U de diseño** a partir del **A de diseño**.

Etapa 7: Se hace la estimación del coeficiente de transferencia de caloren el interior de los tubos, donde circula el gas natural.

Etapa 8: Se hace la estimación del coeficiente de transferencia de calor en la carcasa, donde circula el agua caliente.

Etapa 9: Se obtiene el **U calculado limpio** y se compara con el **U de diseño**. Si coinciden se pasa a la **etapa 11**; si no coinciden se pasa a la siguiente etapa, utilizando como **U supuesto** el **U calculado limpio**.

Etapa 10: De la **ecuación 1** se extrae una **A supuesta** ya que la **MLDT**, **U** y **Q** son conocidos.

Etapa 11: Después con el área de un tubo, que se calcula con la longitud y el diámetro del intercambiador de fábrica a instalar, se hace el cálculo del nº de tubos y con esto se recalcula el **A corregida** y el **U corregido**.

Etapa 12: Se vuelven a repetir las **etapas 8 y 9**.

Etapa 13: Se obtiene el **U calculado limpio** y se compara con el **U supuesto**. Si coinciden se pasa a la siguiente etapa; si no coinciden se vuelven a hacer los cálculos desde la **etapa 9**, utilizando como **U supuesto** el **U calculado** limpio. Se convertiría en un proceso iterativo.

Etapa 14: Finalmente se calcula el **U real**, teniendo en cuenta la resistencia a la transferencia de calor por el interior y por el exterior de los tubos; y la resistencia a la transferencia de calor por la conducción en la pared del tubo.

5.5. Diseño de la unidad

5.5.1. Balance de energía

Siguiendo los pasos propuestos en el punto anterior hay que empezar calculando el calor global transferido desde la corriente de agua hasta la corriente de gas natural, la cual absorbe este calor. Para ello se supone que no existe intercambio de calor del sistema con el exterior, debido a que simplifica el cálculo, asegurándose que todo el calor va en una dirección. Para asegurar esta condición todo el sistema esta calorifugado.

Se utilizarán las ecuaciones 5 y 6 de la tabla anterior de la siguiente manera:

- Lado de la carcasa:

$$Q = m_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_1 - t_2)$$

m_2 (Caudal másico de agua a la temperatura media calórica)

C_{p2} (Calor específico del agua a la temperatura media calórica)

t_1 (Temperatura de entrada del agua)

t_2 (Temperatura de salida del agua)

- Lado de los tubos:

$$Q = m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_2 - T_1)$$

m_1 (Caudal másico de gas natural a la temperatura media calórica)

C_{p1} (Calor específico del gas natural a la temperatura media calórica)

T_1 (Temperatura de entrada del gas natural)

T_2 (Temperatura de salida del gas natural)

A continuación hay que apuntar las variables conocidas de ambas ecuaciones y las propiedades, buscadas en la bibliografía y calculadas con el **PROGAS**. Estas han sido tomadas a las temperaturas calóricas del gas y del agua (calculadas en el siguiente apartado)

C_pgas natural	0,663 Kcal/Kg·°C
C_pagua	1 Kcal/Kg·°C
t₁	88 °C
t₂	70 °C
T₁	10 °C
T₂	36 °C
m₁	1,081 Kg/s

Tabla 26. Calor específico de fluidos, temperaturas de entrada, salida y caudal másico de gas.

Se sustituyen los términos en la primera ecuación y se obtiene:

$$Q = 1,081 \cdot 0,663 \cdot (36 - 10) = 18,634 \text{ Kcal/s} = 67083,4 \text{ Kcal/h}$$

En la primera ecuación se sustituye el valor de **Q**, calculado anteriormente, para poder estimar **m₂**:

$$67083,4 = m_2 \cdot 1 \cdot (88-70)$$

$$m_2 = 3726,855 \text{ Kg/h} = 1,035 \text{ Kg/s}$$

Este será el caudal másico de agua necesario para calentar una corriente de 4250 m³(n)/h de gas natural de una temperatura de 10 °C a 36 °C.

Si la **ρ_{agua}** a la temperatura calórica es de **972 Kg/m³**:

$$Q_{\text{agua}} = m_2 / \rho_{\text{agua}}$$

$$Q_{\text{agua}} = 3726,855 / 972 = 3,834 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.5.2. Cálculo de las temperaturas calóricas y estimación de propiedades

La temperatura calórica es aquella temperatura representativa del comportamiento tanto del fluido frío como del fluido caliente. Hay que tener en cuenta que la temperatura a lo largo del intercambiador irá variando, por lo que las propiedades de los fluidos también. Sin embargo, para simplificar los cálculos se suponen unas temperaturas llamadas “calóricas” a las que se estiman las propiedades de los fluidos, suponiendo que estas no variarán a lo largo del intercambiador.

- **Temperatura calórica del fluido caliente (agua):**

$$t_c = (t_1 + t_2 / 2) = 79 \text{ °C} = 352 \text{ K}$$

- **Temperatura calórica del fluido frío (gas natural):**

$$T_c = (T_1 + T_2 / 2) = 23 \text{ °C} = 296 \text{ K}$$

A continuación hay que pasar a la estimación de las propiedades. En el caso del gas natural se ha utilizado un programa informático llamado **PROGAS**, que permite determinar diferentes propiedades del mismo para diferentes condiciones de presión y temperatura. A continuación se detalla el procedimiento realizado con dicho programa y los métodos utilizados por el mismo para la determinación de las propiedades del gas natural.

Etapas de cálculo de las propiedades del gas natural con PROGAS

1) El primer dato que necesita el programa para realizar los cálculos es la composición molar del gas natural. En el presente Proyecto se está utilizando un gas cuya composición viene detallada en el **Anexo I Características del Gas**, siendo ésta la introducida en el programa.

2) Se ha procedido al cálculo de las propiedades del gas natural que se necesitaban para el diseño del intercambiador de calor, a la temperatura calórica (23 °C) y a una presión de 80 bar.

3) Los métodos utilizados por el programa para la determinación de las propiedades, en las condiciones dadas en la etapa anterior, son los siguientes:

a) AGA 8 \longrightarrow ρ_{gas} , $C_{p_{\text{gas}}}$ y $P_{m_{\text{gas}}}$

b) Chung-Lee-Starling \longrightarrow μ_{gas} y k_{gas}

Las propiedades del gas natural, a la presión de 80 bar y temperatura calórica de 23 °C, calculadas se reflejan en la tabla siguiente:

GAS NATURAL	
Viscosidad (kg/m·s)	1,32 x 10⁻⁵
Conductividad térmica (W/m·K)	0,038
Densidad molar (kmol/m³)	3,912
Calor específico (J/mol·K)	52,02
Peso molecular (kg/kmol)	18,74

Tabla 27. Propiedades del gas natural a la temperatura calórica

Se realizarán las conversiones, que sean necesarias, de las unidades de las propiedades evaluadas anteriormente:

- **Calor específico = (52,02 J/mol·K / 0,01874 kg/mol) x (1 kcal / 4184 J) = 0,663 kcal/kg·°C**
- **Conductividad térmica = (0,0378 W/m·K) x (0,86 kcal/h / 1 W) = 0,0325 kcal/h·m·°C**
- **Viscosidad = 1,32 x 10⁻⁵ kg/m·s / 1 h / 3600 s = 0,0475 kg/m·h**

En el caso del agua se ha utilizado la bibliografía para la búsqueda de sus propiedades a la temperatura calórica (79 °C), las cuales se reflejan en la siguiente tabla:

AGUA (LIQUIDO)	
Viscosidad (kg/m·s)	3,59 x 10⁻⁴
Conductividad térmica (W/m·K)	0,67
Densidad (kg/m³)	972
Calor específico (kcal/kg·°C)	1

Tabla 28. Propiedades del agua a la temperatura calórica

Al igual que con el gas natural se procederá a convertir las unidades de algunas de las propiedades del agua:

- **Viscosidad = 3,59 x 10⁻⁴ kg/m·s / 1 h / 3600 s = 1,292 kg/m·h**
- **Conductividad térmica = 0,67 W/m·K x (0,86 kcal/h / 1 W) = 0,576 kcal/h·m·°C**

NOTA: Las propiedades del agua han sido extraídas de la **Tabla 34** (ver **6.4.** de los Anexos a la Memoria). En ésta se han encontrado las propiedades a las temperaturas de **82,22 °C** y **76,67 °C**, teniendo que determinarlas por interpolación a la temperatura calórica de **79 °C**.

5.5.3. Cálculo de la MLDT corregida

Para intercambiadores de calor de pasos múltiples como el proyectado, la forma apropiada de la **MLDT** es la siguiente:

$$\text{MLDT}_{\text{correg}} = F \cdot \text{MLDT}$$

Se calcula el valor de la **MLDT** (Media Logarítmica de Temperatura):

$$\mathbf{MLDT = (t_1 - T_2) - (t_2 - T_2) / \ln [(t_1 - T_2) / (t_2 - T_2)]}$$

$$\mathbf{MLDT = (88 - 36) - (70 - 10) / \ln [(88 - 36) / (70 - 10)] = 55,944 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Se le aplica un factor de corrección al valor de la Media Logarítmica de Temperatura inicialmente calculado. Existen expresiones algebraicas para el factor de corrección **F** para varias configuraciones de intercambiador de calor de carcasa y tubos y de flujo cruzado, y los resultados se pueden expresar de forma gráfica (ver **6.5.** de los Anexos a la Memoria). La notación (**T**, **t**) se usa para especificar las temperaturas del fluido, con la variable **t** siempre asignada al fluido del lado de los tubos. Con esta convención no importa si el fluido caliente o el fluido frío fluye a través de la coraza o de los tubos.

Sustituyendo los valores de temperatura en la gráfica correspondiente a un intercambiador de un paso por la carcasa y dos pasos por los tubos, se extrae que:

$$\mathbf{P = (t_2 - t_1) / (T_1 - t_2) = (36 - 10) / (88 - 10) = 0,333}$$

$$\longrightarrow \mathbf{F = 0,975}$$

$$\mathbf{R = (T_1 - T_2) / (t_2 - t_1) = (88 - 10) / (36 - 10) = 0,692}$$

$$\mathbf{MLDT_{\text{correg}} = 0,975 \times 55,944 = 54,545 \text{ } ^\circ\text{C} = 327,545 \text{ K}}$$

5.5.4. Suposición del coeficiente global de transferencia de calor (U_{sup}).

Con el área de un tubo, que se calcula con la longitud y el diámetro de los tubos del intercambiador de fábrica a instalar, y el número de tubos del mismo, se hace el cálculo del **A de diseño**.

Los datos del intercambiador de fábrica son:

$$N_t = 16 \text{ tubos}$$

$$d_o = 19,05 \text{ mm} = \frac{3}{4}''$$

$$L = 12 \text{ ft}$$

Con estos valores se extrae el área de un tubo. Ahora bien, el tubo tendrá aproximadamente unos 6 cm (0,196 ft) metidos en la placa tubular para que quede soportado, por ello este tramo no influirá en el intercambio de calor. Esto quiere decir que el área total del tubo es:

$$a = \pi \cdot d_o \cdot l = \pi \cdot \frac{3}{4}'' \cdot 12 \text{ in/ft} \cdot (12 - 0,196) \text{ ft} = 333,75 \text{ pulgadas}^2 = 0,215 \text{ m}^2$$

Con el área de un tubo se calculará el **A de diseño**:

$$A_D = N_t \cdot a \cdot n_c = 16 \cdot 0,215 \cdot 1 = 3,44 \text{ m}^2$$

Aplicando la ecuación de Fourier se extrae U_D , sustituyendo A_D y la **MLDT**:

$$\text{MLDT} = 54,545 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$A_D = 3,44 \text{ m}^2$$

$$U_D = Q / (A_D \cdot \text{MLDT}) = 67083,4 / (3,44 \cdot 54,545) = 357,5 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$$

Al realizar la primera estimación partiendo de U_D se obtiene:

$$U_{\text{calculado limpio}} = 520 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C} \neq U_D = 357,5 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$$

No se han expuesto las estimaciones de los coeficientes externos e internos de transmisión de calor, ya que más adelante se detallarán las realizadas para la obtención del U calculado limpio que coincide con el U supuesto, para evitar repetir dos veces la exposición de las etapas 8 y 9 de cálculo.

Por lo tanto, se continuarán los cálculos desde la etapa 10.

Ahora bien, para evitar alargar en demasía la memoria de cálculos se ha evitado exponer en el proyecto todas las iteraciones necesarias hasta llegar a un U supuesto que permita obtener un U calculado limpio coincidente con el mismo. Se partirá directamente de este U supuesto, que será:

$$U_{\text{sup}} = 819,8 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$$

5.5.5. Cálculo del área de intercambio

Aplicando la ecuación de Fourier se extrae el área del intercambiador, que por ahora se llamará A_{sup} ya que es un área supuesta porque viene de sustituir en la ecuación un coeficiente de diseño supuesto.

$$A_{\text{sup}} = (Q / U_{\text{sup}} \cdot \text{MLDT}_{\text{correg}}) = (67083,4 / 819,8 \cdot 54,545) = 1,5 \text{ m}^2$$

5.5.6. Cálculo del número de tubos (N_t)

Se procede a dividir el área de intercambio global entre el área de un tubo. De esta manera se obtiene el número de tubos sabiendo que todos los tubos serán del mismo tamaño y grosor.

El numero de tubos será:

$$N_t = A_{\text{sup}} / (a \cdot n_c)$$

$$n_c (\text{numero de pasos por carcasa}) = 1$$

$$a = 0,215 \text{ m}^2$$

$$N_t = 1,5 / (0,215 \cdot 1) = 6,97$$

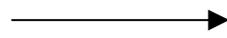
Por último se redondea al alza el número de tubos, con lo que se sobredimensiona en cierto modo el intercambiador. Se supondrán:

$$N_t = 7 \text{ Tubos}$$

Una vez que se conoce el número de tubos hay que elegir el diámetro de la carcasa. Este diámetro se escogerá de las **tablas de cuenta de tubos** (Ver **6.3.** de los Anexos a la Memoria), en el que se tomará el diámetro de carcasa inmediatamente superior al correspondiente según el número de tubos. Este diámetro también dependerá del diámetro del tubo, del arreglo de estos, del paso entre ellos (P_t) y del numero de pasos por los tubos (n_t).

Esto se hace para evitar problemas al diseñar la disposición de los tubos, ya que estos serán en forma de U y no podrán ser colocados en la parte central del intercambiador, necesitando una carcasa más ancha de la que le correspondería. Se elige un diámetro de carcasa (D_c):

$$n_t = 2$$



$$D_c = 8'' = 0,203 \text{ m}$$

$$P_t = 1''$$

Configuración triangular

5.5.6. Estimación de U_{correg} y de A_{correg} .

Al haber aumentado el número de tubos con respecto al que se obtenía en la fórmula de la página anterior se ha variado ligeramente el área global de intercambio y con ella el coeficiente de diseño supuesto, por lo que hay que hacerles una corrección de la siguiente manera:

$$A_{\text{correg}} = 7 \cdot a \cdot n_c = 7 \cdot 0,215 \cdot 1 = 1,505 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{correg}} = Q / (A_{\text{correg}} \cdot \text{MLDT}_{\text{correg}}) = 67083,4 / (1,505 \cdot 54,545) = 817,2 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

5.5.7. Estimación del fluido caliente (lado de la carcasa)

Para poder hacer el cálculo del coeficiente de transferencia externo de calor h_o , es necesario saber cual es el área real que va recorrer el agua. Esto es así porque al existir placas deflectoras que conducen el agua por

caminos preferenciales, hacen que el área de recorrido sea superior al valor que se obtendría conociendo el diámetro y la longitud de la carcasa.

Así pues, el área transversal de flujo para el lado de la coraza a_s está dada por la expresión:

$$a_s = D_c \times C' \times B / P_t \times 144; \text{ Los valores se deben introducir en pulgadas y el área transversal se obtiene en pies al cuadrado}$$

Donde los valores de los términos de la ecuación están tomados del apartado 9.3.4. de la Memoria del Proyecto. Los cuales son:

$$D_c = 8'' , \text{ según el punto}$$

$$P_t = 1''$$

$$C' = P_t - d_o = 1'' - 3/4'' = 1/4''$$

B = 14'' (Separación entre los deflectores del intercambiador instalado en cada línea)

$$a_s = (7 \times 1/4 \times 14) / 1 \times 144 = 0,194 \text{ ft}^2 = 0,018 \text{ m}^2$$

- **Cálculo del coeficiente h_o :**

Para este coeficiente lo primero que hay que conocer es un término llamado velocidad másica (G_e), y que se calcula así:

$$G_e = m_2 / a_s = 1,035 / 0,018 = 57,5 \text{ Kg/s}\cdot\text{m}^2 = 207000 \text{ kg/h}\cdot\text{m}^2$$

El siguiente paso es calcular el n° de Reynolds (**Re**) utilizando la velocidad másica ya estimada. El **Re** tiene la siguiente expresión:

$$\mathbf{Re} = \mathbf{G}_e \cdot \mathbf{D}_e / \mu$$

La **G** ya es conocida, la **μ** se extrae de las propiedades del agua a la temperatura calórica, que es **1,292 Kg/m·h**. Sólo queda conocer el valor de **D_e**, que es el diámetro equivalente.

Este término representa lo que debería de ser el radio hidráulico de la coraza, que corresponde al área de un círculo equivalente al área de un canal no circular y consecuentemente en un plano con ángulos rectos a la dirección del flujo. El radio hidráulico empleado para correlacionar los coeficientes de la coraza para un haz que tiene deflectores, no es el verdadero radio hidráulico. La dirección del flujo en la coraza es en parte a lo largo y en parte en ángulo recto al eje mayor de los tubos del haz. El área de flujo en ángulos rectos respecto al eje mayor es variable de hilera a hilera. Un radio hidráulico basado en el área de flujo a través de cualquier hilera, no podría distinguir entre una configuración en cuadro o una configuración triangular. Para poder obtener correlaciones simples combinando tanto el tamaño como la cercanía de los tubos y su tipo de arreglo, se logra una excelente correlación si el radio hidráulico se calcula a lo largo en lugar de a través del eje mayor de los tubos. El diámetro equivalente para la

coraza se toma entonces, como cuatro veces el radio hidráulico obtenido por la configuración dispuesta en el cabezal de los tubos. La expresión es:

$$D_e = 4 \times (\text{área libre} / \text{perímetro mojado})$$

En el caso de configuración triangular, como la del Proyecto, la expresión quedaría del siguiente modo:

$$D_e = 4 \times [1/2 \cdot P_t \times 0,86 \cdot P_t - (1/2 \cdot \pi \cdot d_o^2) / 4] / 1/2 \cdot \pi \cdot d$$

Sustituyendo las incógnitas de la ecuación, que son conocidas, se obtiene el diámetro equivalente:

$$D_e = 4 \times [0,5 \cdot 1 \times 0,86 \cdot 1 - (1/2 \cdot \pi \cdot 0,75^2) / 4] / 1/2 \cdot \pi \cdot 0,75$$

$$D_e = 0,713 \text{ in} = 0,018 \text{ m}$$

También existe otra forma mas rápida de calcular el diámetro equivalente. El método consiste simplemente en tomar el valor de D_e directamente de las **tablas de cuenta de tubos** (ver **6.3.** del Anexo de Cálculos), conociendo el diámetro del tubo, el paso de los tubos y la configuración. Sin embargo, aunque el valor es prácticamente el mismo, no es 100 % exacto. En este caso, **0,73 in.**

Finalmente, se calcula el valor del **Re**, sustituyendo se extrae que:

$$Re = (0,018 \cdot 207000) / 1,292 = 2884$$

Por tanto, el flujo de agua se encuentra en régimen turbulento al ser el $Re > 2100$.

Con este valor del Reynolds hay que ir a la gráfica del apartado 6.6. del Anexo de Cálculos y extraer el valor de jH , después se aplica la correlación correspondiente a esta gráfica que solo es válida para deflectores segmentados al 25 % como los que forman parte del intercambiador que está siendo proyectado. Con respecto a las propiedades que hay que incluir en esta ecuación, es importante señalar que para líquidos el efecto de la temperatura sobre h_o es mucho mayor que para gases debido a la rápida disminución de la viscosidad con la temperatura. Los efectos de k , C_p y μ actúan todos en la misma dirección, pero el aumento de h_o con la temperatura es debido principalmente al efecto de la temperatura sobre la viscosidad. Para el agua, por ejemplo, h_o aumenta alrededor del 50 por 100 en un intervalo de temperatura de 38 °C a 93 °C. Para aceites viscosos la variación de h_o puede ser de dos a tres veces para un intervalo de 38 °C.

En la práctica, se calcula y utiliza un valor medio de h_o como valor constante para la evaluación del coeficiente global U . El valor medio de h_o se calcula evaluando las propiedades C_p , k y μ a la temperatura calórica del fluido.

De la gráfica, para un $Re = 1,01 \times 10^4$, se obtiene:

$$jH = 29$$

La correlación utilizada en la gráfica es:

$$h_o = jH \times (k / D_e) \times [(C_p \cdot \mu) / k]^{1/3} \times (\mu / \mu_w)^{0,14}$$

$$\varnothing_s = (\mu / \mu_w)^{0,14}$$

Cálculo del término $[(C_p \cdot \mu) / k]^{1/3}$:

$$\mu = 1,292 \text{ kg/m}\cdot\text{h}$$

$$C_p = 1 \text{ kcal/kg}\cdot\text{°C}$$

$$K = 0,576 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot\text{°C}$$

$$[(C_p \cdot \mu) / k]^{1/3} = 1,31$$

Despejando de la expresión:

$$h_o = jH \times (k / D_e) \times [(C_p \cdot \mu) / k]^{1/3} \times \varnothing_s$$

$$h_o / \varnothing_s = jH \times (k / D_e) \times [(C_p \cdot \mu) / k]^{1/3} = 29 \times (0,576/0,018) \times 1,31 = 1215,7 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{°C}$$

5.5.8. Estimación del fluido frío (lado de los tubos)

Para poder hacer el cálculo del coeficiente de transferencia interno de calor h_i es necesario saber cual es el área de flujo a_t :

$$a_t = N_t \cdot a_i / n \cdot 144$$

$$N_t = 4 \text{ tubos}$$

$$n = 2 \text{ pasos por tubo}$$

$$D_i = 0,0148 \text{ m}$$

$$a_i = (\pi \cdot D_i^2) / 4 = (\pi \cdot 0,0148^2) / 4 = 1,72 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,266 \text{ in}^2$$

$$a_t = 7 \cdot 0,266 / 2 \cdot 144 = 6,46 \times 10^{-3} \text{ ft}^2 = 6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

La velocidad másica (G_i) será:

$$G_i = m_1 / a_t = 1,081 / 6 \times 10^{-4} = 1799,7 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} = 6479046,25 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$$

Finalmente se calcula el valor del Re :

$$Re = G_i \times D_i / \mu$$

Para el gas natural $\longrightarrow \mu = 1,32 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s} = 0,0475 \text{ kg/m} \cdot \text{h}$

$$Re = 6479046,25 \times 0,0148 / 0,0475 = 2,02 \times 10^6$$

Por tanto, el flujo de gas natural se encuentra en régimen turbulento al ser el $Re > 2100$.

Para estimar h_i se utilizará una correlación empírica llamada ecuación de “Sieder-Tate”, aplicable a la convección forzada en flujo turbulento ($Re > 2100$). Esta ecuación es válida para tubos largos con entradas rectas y no debe utilizarse para $Re < 6000$ o para metales fundidos, que tienen números de Prandtl anormalmente bajos.

Todas estas condiciones se cumplen sobradamente ya que el Re del gas natural es $1,3 \times 10^6$, que es superior a 6000, y los tubos utilizados en el intercambiador a diseñar son largos (12 ft de longitud) y con las entradas

rectas. Por ultimo decir que no es un metal fundido con número de Prandtl anormalmente bajo.

También se debe considerar el efecto de la longitud del tubo, ya que cerca de la entrada del tubo, donde todavía se están formando los gradientes de temperatura, el coeficiente individual h_x es mayor que h_∞ para flujo totalmente desarrollado. En la entrada de la misma, donde previamente no existe gradiente de temperatura, h_x es infinito. Su valor cae rápidamente hacia h_∞ en una longitud relativamente corta de tubo. Dimensionalmente, el efecto de la longitud del tubo se tiene en cuenta mediante otro número adimensional, x/D , siendo x la distancia desde la entrada del tubo. El coeficiente individual se aproxima asintóticamente hacia h_∞ al aumentar x , pero es prácticamente igual a h_∞ cuando x/D es del orden de **50**. El valor medio de h_x para la longitud del tubo se representa por h_i . El valor de h_i se obtiene por integración de h_x para toda la longitud del tubo. Puesto que $h_x \rightarrow h_\infty$ cuando $x \rightarrow \infty$, la relación entre h_i y h_∞ es de la forma

$$h_i / h_\infty = 1 + \psi (L / D)$$

El efecto de la longitud sobre h_i desaparece cuando L / D es mayor que aproximadamente 50. Esta condición se cumple, ya que:

$$L = 12 \text{ ft} = 3657,6 \text{ mm}$$

$$\longrightarrow L / D = 192 > 50$$

$$D = 19,05 \text{ mm}$$

Para el caso de gases el efecto de la temperatura sobre h_i es pequeño. Para velocidad másica constante en un tubo dado, h_i varía con k , C_p y μ . El aumento de la conductividad calorífica y el calor específico con la temperatura contrarresta el aumento de la viscosidad dando lugar a un ligero aumento de h_i . Por ejemplo, para el aire h_i aumenta del orden del 6 por 100 cuando la temperatura pasa de 38 °C a 93 °C.

En la práctica, se calcula y utiliza un valor medio de h_i como valor constante para la evaluación del coeficiente global U . El valor medio de h_i se calcula evaluando las propiedades C_p , k y μ a la temperatura calórica del fluido.

La ecuación de “Sieder–Tate” es:

$$h_{i0} \cdot D_o / k = 0,027 \times (D_i \cdot G_i / \mu)^{0,8} \times (C_p \cdot \mu / k)^{1/3} \times (\mu / \mu_w)^{0,14}$$

$$(D_i \cdot G_i / \mu)^{0,8} = 1,73 \times 10^5$$

Calculamos el valor del término $(C_p \cdot \mu / k)^{1/3}$ para las condiciones del fluido que circula por los tubos:

$$\mu = 0,0475 \text{ kg/m}\cdot\text{h}$$

$$C_p = 0,663 \text{ kcal/kg}\cdot\text{°C}$$

$$k = 0,0325 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}\cdot\text{°C}$$

$$D_o = 0,019 \text{ m}$$

$$(C_p \cdot \mu / k)^{1/3} = (0,663 \cdot 0,0475 / 0,0325) = 0,99 \approx 1$$

Finalmente, sustituyendo en la correlación de “Sieder-Tate”:

$$\phi_t = (\mu / \mu_w)^{0,14}$$

$$h_{io} \cdot D_o / k = 0,027 \times (D_i \cdot G_i / \mu)^{0,8} \times (C_p \cdot \mu / k)^{1/3} \times \phi_t$$

$$h_{io} / \phi_t = k / D_o \times 0,027 \times (D_i \cdot G_i / \mu)^{0,8} \times (C_p \cdot \mu / k)^{1/3}$$

$$h_{io} / \phi_t = (0,0325 / 0,019) \times 0,027 \times 110678,5 \times 1 = 5111,6$$

$$\text{Kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

5.5.9. Cálculo de la temperatura de pared (t_w)

La temperatura de pared del tubo puede ser computada a partir de las temperaturas calóricas cuando tanto h_{io} como h_o son conocidos. Se desprecia la diferencia de temperatura a través del metal del tubo y se considera que el tubo en su totalidad está a la temperatura de la superficie externa de la pared. En el caso en el que el fluido frío (gas natural) circule por el interior del tubo, la temperatura de pared se calcula con la siguiente expresión:

$$t_w = T_c + [(1 / h_{io}) / (1/h_{io} + h_o)] \cdot (t_c - T_c)$$

Recopilando los valores obtenidos en el apartado 5.5.8. del fluido que circula por los tubos y en el 5.5.9. del fluido que circula por la carcasa, para estimar la temperatura de la pared de los tubos t_w del siguiente modo:

$$t_w = T_c + [(1 / (h_{io} / \phi_t)) / (1 / (h_{io} / \phi_t) + h_o / \phi_s)] \cdot (t_c - T_c)$$

Siendo:

$$h_{i0} / \varnothing_t = 7989,868 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

$$h_o / \varnothing_s = 2096 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

$$t_c = 79 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_c = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$t_w = 23 + [(1 / 3062,062) / (2096 + (1 / 3062,062))] \cdot (79 - 23)$$

$$t_w = 23 \text{ }^\circ\text{C} = T_c$$

5.5.10.Cálculo de los coeficientes corregidos

Para el gas natural:

$$t_w = 23 \text{ }^\circ\text{C} \longrightarrow \mu_w = \mu \longrightarrow \varnothing_t = 1^{0,14} = 1$$

El coeficiente corregido del gas natural será:

$$h_{i0} = (h_{i0} / \varnothing_t) \times \varnothing_t = 7989,868 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

Para el agua:

$$t_w = 23 \text{ }^\circ\text{C} \longrightarrow \mu_w = 9,2 \times 10^{-4} \text{ kg/m}\cdot\text{s} = 3,312 \text{ kg/m}\cdot\text{h} \longrightarrow$$

$$\phi_s = (1,292 / 3,312)^{0,14} = 0,876$$

El coeficiente corregido del agua será:

$$h_o = (h_o / \phi_s) \times \phi_s = 1215,7 \times 0,876 = 1065 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{ }^\circ\text{C}$$

5.5.11. Obtención del U limpio

El coeficiente de transferencia de calor limpio $U_{\text{limpio calculado}}$ será:

$$U_{\text{limpio calculado}} = h_{io} \cdot h_o / (h_{io} + h_o) = 1065 \cdot 5111,6 / (1065 + 5111,6) = 881,36 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{ }^\circ\text{C}$$

Lo último que queda por comprobar, si fue bien elegido cuando se supuso, es el **U limpio**:

$$U_{\text{corregido}} = 817,2 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{ }^\circ\text{C} \approx 881,36 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{ }^\circ\text{C} = U_{\text{limpio calculado}}$$

A pesar de haber una ligera diferencia, se consideran aproximadamente iguales, ya que:

$$N_t = 6,49 \approx 7 \text{ tubos para } U_{\text{limpio calculado}} = 881,36 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{ }^\circ\text{C}$$

$$N_t = 7 \text{ tubos para } U_{\text{corregido}} = 817,2 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{ }^\circ\text{C}$$

En conclusión, si redondeamos al alza el número de tubos obtenidos con $U_{\text{limpio calculado}}$, coincidirá con los evaluados a partir del $U_{\text{corregido}}$, demostrándose que la diferencia entre ambos coeficientes es lo suficientemente baja como para poder despreciarla.

5.5.12. Cálculo del U_{total} y el A_{total}

El coeficiente arriba calculado no ha tenido en cuenta la resistencia a la transferencia de calor ofrecida por las incrustaciones de los fluidos circulantes. Durante la operación normal de un intercambiador de calor, a menudo las superficies están sujetas a la obstrucción por impurezas, formación de moho, u otras reacciones entre el fluido y el material de la pared. La siguiente deposición de una película o incrustaciones sobre la superficie puede aumentar mucho la resistencia a la transferencia de calor entre los fluidos. Este efecto se puede tratar mediante la introducción de una resistencia térmica adicional, denominada factor de impureza (R_f). Su valor depende de la temperatura de operación, velocidad del fluido, del tipo de fluido y del tiempo de servicio del intercambiador.

No se ha tenido en cuenta la resistencia a la transmisión de calor a través de la pared del tubo de acero. Esta resistencia, a veces se ignora, ya que se suelen utilizar paredes muy finas con una gran conductividad de calor. De todas formas, en este proyecto se tendrá en cuenta para un cálculo más exhaustivo del intercambiador.

Esto quiere decir que habrá que calcular un coeficiente total U que tenga en cuenta estas resistencias añadidas, a partir del conocimiento de los coeficientes de convección de los fluidos caliente y frío.

Para una geometría cilíndrica de los tubos del intercambiador la expresión utilizada es la que se detalla a continuación:

$$U = 1 / R_{total} = 1 / (R_o + R_i + R_{so} + R_{si} + R_f)$$

Donde:

- $R_o = 1/h_o =$ Resistencia a la transferencia de calor por convección en el exterior del tubo e igual a la inversa del coeficiente externo.
- $R_i = 1/h_{i0} =$ Resistencia a la transferencia de calor por convección en el interior del tubo e igual a la inversa del coeficiente interno.
- $R_{fo} =$ Resistencia debida a la película de ensuciamiento depositada en el exterior del tubo.
- $R_{fi} =$ Resistencia debida a la película de ensuciamiento depositada en el interior de los tubos.
- $R_p =$ Resistencia debida a la pared metálica del tubo.

El valor de R_p teniendo en cuenta que los tubos tienen geometría cilíndrica, se puede determinar como:

$$R_p = d \cdot \ln(d_o/d_i) / 2 \cdot k_{acero}$$

$$d_o = 0,75''$$

$$d_i = 0,584''$$

En esta ecuación, d representa al diámetro medio de la pared del tubo:

$$d = (d_o + d_i) / 2 = 0,0169 \text{ m}$$

El término k_{acero} representa la conductividad térmica del acero tomada a la temperatura de pared:

$$t_w = 23 \text{ °C} \rightarrow k_{\text{acero}} = 54 \text{ W/m} \cdot \text{°C} \times 0,86 = 46,44 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{°C}$$

Nota: La conductividad térmica del acero se ha tomado para un acero al carbono con un contenido aproximado de 0,5 % en carbono y a una temperatura de 20 °C ($\approx 23 \text{ °C}$). Esta aproximación es bastante buena ya que el material de los tubos es acero A-179, que tiene un contenido en carbono aproximado de 0,18 %. Esta se ha tomado de la tabla del apartado 6.7. del Anexo de Cálculos.

Por lo tanto, R_p será:

$$R_p = 0,0169 \cdot \ln(0,75/0,584) / 2 \cdot 46,44 = 4,55 \times 10^{-5} \text{ (kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{°C)}^{-1}$$

La resistencia al ensuciamiento es la proporcionada por el fabricante del intercambiador, que será:

$$R_f = R_{fo} + R_{fi} = 8 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{h/kcal}$$

Ahora se puede estimar el coeficiente total de transferencia de calor U :

$$U = 1 / (1/7989,868 + 1/1836,09 + 8 \times 10^{-4} + 4,55 \times 10^{-5}) = 505,02 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{°C}$$

El siguiente y último paso es calcular un nuevo área A con este nuevo coeficiente. Después se estimará el número de tubos reales al alza. Se elegirá un diámetro de carcasa; y, finalmente, con el número de tubos definitivos se extraerá el área y el coeficiente total reales.

Área:

$$A = Q / (U \cdot \text{MLDT}) = 67083,4 / 505,02 \cdot 54,545 = 2,44 \text{ m}^2$$

Número de tubos:

$$N_t = A / a \cdot n_c = 2,44 / 0,215 \cdot 1 = 11,35 \text{ tubos; Se suponen 12 tubos}$$

Diámetro de la carcasa:

$$D_c = 8''$$

Cálculo de A_{total} y U_{total} :

$$A_{\text{total}} = N_t \cdot a \cdot n_c = 2,58 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{total}} = Q / A_{\text{total}} \cdot \text{MLDT} = 476,7 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2$$

Como se puede observar, la resistencia a la conducción no influye en el cálculo del coeficiente global de transmisión de calor, ya que el espesor de la pared del tubo es muy pequeño.

5.5.13. Cálculo de la caída de presión en la carcasa

La caída de presión a través de la carcasa de un intercambiador es proporcional al número de veces que el fluido cruza el haz entre los deflectores. También es proporcional a la distancia a través del haz, cada vez que lo cruza.

Usando una modificación de la siguiente ecuación $f = \Delta P \cdot 2 \cdot g \cdot \rho \cdot D \cdot \alpha / 4 \cdot G^2 \cdot L \cdot \text{Re}^d$, se obtiene una correlación usando el producto de la distancia a través del haz, tomando D_s en pies como el diámetro interior de la

coraza y el número de veces que el haz se cruza como $N+1$, donde N es el número de deflectores.

Si L es la longitud del tubo en pies, el número de cruces $N+1 = \text{longitud del tubo, plg} / \text{espaciado de los deflectores, plg} = 12 \times L / B$.

Siempre habrá un número impar de cruces si las dos boquillas de la coraza están en lados opuestos de la misma, y un número par si las dos boquillas están en el mismo lado de la coraza. Con un espaciado de los deflectores estrecho, a intervalos convenientes como de 6 plg o menores, se puede omitir un deflector si el número de cruces no es un número entero. El diámetro equivalente usado para calcular la caída de presión es el mismo que para la transferencia de calor, se desprecia la fricción adicional de la coraza. La ecuación isotérmica para la caída de presión para fluidos que se calientan o enfrían y que incluye las pérdidas de entrada y salida es:

$$\Delta P_c = f \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N+1) / 2 \cdot g \cdot D_e \cdot \Theta_c = f \cdot G_s^2 \cdot D_c \cdot (N+1) / 5,22 \times 10^{10} \cdot D_e \cdot s \cdot \Theta_s$$

Donde s es la gravedad específica, G_s es la velocidad másica en $\text{lb}/\text{pie}^2 \cdot \text{h}$ que ya ha sido calculada con anterioridad, D_c es el diámetro de la carcasa en pies, $(N+1)$ es el número de cruces, que ha sido explicado más arriba, D_e es el diámetro equivalente en pies y Θ_c es la relación entre las viscosidades del fluido que circula por la carcasa a la temperatura calórica y a la temperatura de pared, $(\mu/\mu_w)^{0,14}$, que ya fue calculado para la estimación del coeficiente de transferencia de calor.

Todos los términos de la ecuación son conocidos excepto el factor de fricción **f**. Calculando el Reynolds se puede extraer **f** de la gráfica del apartado **6.9.** del Anexo de Cálculos.

$$\mathbf{Re = G \cdot D_c / \mu = 0,018 \cdot 207000 / 1,292 = 2884}$$

f es igual a:

$$\mathbf{f = 0,0028 \text{ ft}^2 / \text{in}^2}$$

El siguiente término que hay que estimar es número de cruces (**N+1**):

$$\mathbf{N+1 = 12 \times L / B = 12 \times 12 / 14 = 10,28 \approx 11}$$

Por último, se calcula la gravedad específica y se pasa el diámetro de carcasa a pies.

Por gravedad específica se entiende el cociente entre la densidad de la sustancia a la temperatura calórica y la densidad del agua a 0 °C.

$$\mathbf{\rho_{\text{agua}} (0 \text{ °C}) = 1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$\mathbf{\rho_{\text{sustancia}} (\text{agua a la temperatura calórica de } 79 \text{ °C}) = 972 \text{ kg/m}^3}$$

$$\mathbf{s = 972 / 1000 = 0,972}$$

$$\mathbf{D_c = 8'' / 12 = 0,666 \text{ ft}}$$

La velocidad másica **G_s** será:

$$\mathbf{G_s = 207000 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2 / 4,88 = 42418 \text{ lb/h} \cdot \text{ft}^2}$$

También se necesitarán los siguientes datos, antes calculados:

$$D_e = 0,018 \text{ m} = 0,059 \text{ ft}$$

$$\phi_s = 0,876$$

Finalmente se sustituyen todos los términos y se consigue la pérdida de carga en la carcasa.

$$\begin{aligned} \Delta P_c &= 0,0028 \times 42418^2 \times 0,666 \times 11 / 5,22 \times 10^{10} \times 0,059 \times 0,972 \times 0,876 \\ &= 0,014 \text{ lb/in}^2 = 1,13 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

5.5.14. Cálculo de la caída de presión en los tubos

Sieder y Tate correlacionaron los factores de fricción para fluidos que se calientan o enfrían dentro de tubos. Estas correlaciones están graficadas en el apartado 6.8. del Anexo de Cálculos, en forma dimensional y se usan en la siguiente ecuación:

$$\Delta P_t = f \cdot G_t^2 \cdot L_n / 5,22 \times 10^{10} \cdot D_e \cdot s \cdot \phi_t$$

donde n es el número de pasos, L la longitud del tubo y L_n es la longitud total de la trayectoria en pies. No se dan las desviaciones, pero la curva ha sido aceptada por TEMA. Al fluir de un paso al otro, pasando por el carrete y el cabezal flotante o la curva de tubos, el fluido cambia de dirección bruscamente en 180° , aun cuando el área de flujo en el carrete y en la doblez de los tubos no deberá ser menor que el área de flujo combinada de todos los tubos en un solo paso. El cambio de dirección introduce una caída de presión adicional ΔP_r , llamada pérdida de regreso y se consideran cuatro cabezas de velocidad por paso como pérdida. La

cabeza de velocidad $V^2/2g$ ha sido graficada en el apartado **6.10.** del Anexo de Cálculos, frente a la velocidad másica para un fluido de gravedad específica 1, y la pérdida de regreso para cualquier fluido será:

$$\Delta P_r = (4n / s) \times (V^2 / 2g)$$

Así pues, la caída de presión total del lado de los tubos será igual a:

$$\Delta P_T = \Delta P_r + \Delta P_t$$

En primer lugar hay que calcular la pérdida de carga en la parte recta del tubo, para lo cual hay que estimar f de la gráfica del apartado **6.8.** del Anexo de Cálculos, con ayuda del Reynolds. Después habrá que estimar s y el factor ϕ_t .

$$Re = D \cdot G_t / \mu = 0,01905 \cdot 6479046,25 / 0,0475 = 2,02 \times 10^6$$

$$f = 0,00007 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

La gravedad específica será:

$$\rho_{\text{agua}} (0 \text{ }^\circ\text{C}) = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{sustancia}} (\text{gas natural a la temperatura calórica de } 23 \text{ }^\circ\text{C}) = 3,912 \text{ kmol/m}^3 \times 18,74 \text{ kg/kmol} = 73,31 \text{ kg/m}^3$$

$$s = 73,31 / 1000 = 0,073$$

Otros datos necesarios ya calculados son:

$$\phi_t = (\mu / \mu_w)^{0,14} = 1$$

$$G_t = 6479046,25 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h} / 4,88 = 1327673,41 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{h}$$

$$D_e = 0,059 \text{ ft}$$

Sustituyendo en la ecuación de ΔP_t se obtiene:

$$\Delta P_t = 0,00007 \times 1327673,41^2 \times 12 \times 2 / 5,22 \times 10^{10} \times 0,059 \times 0,073 \times 1 = 13,17 \text{ lb/in}^2$$

Ahora hay que calcular la pérdida de carga por retorno, para ello se supondrá que la gravedad específica es igual a 1, para así poder hacer uso de la gráfica del apartado **6.10.** del Anexo de Cálculos. En esta gráfica se sustituye la velocidad másica, obteniendo el valor del término $V^2/2g$, que en este caso es igual a 0,7. Sustituyendo en la ecuación de ΔP_r se obtiene:

$$\Delta P_r = ((4 \times 2 / 1) \times 0,5) = 4 \text{ lb/in}^2$$

La pérdida de carga total en los tubos es:

$$\Delta P_T = 4 + 13,17 = 17,17 \text{ lb/in}^2 = 1,31 \text{ kg/cm}^2$$

5.6. Resumen de los cálculos del intercambiador

Tipo de intercambiador	BEU
Calor intercambiado	67083,4 Kcal/h
Coefficiente global de transferencia de calor	476,7 Kcal/h·m²·°C
LADO DE TUBOS	
Numero de pasos	2
Longitud de los tubos (ft)	12
Número de tubos	8
Espaciamiento entre tubos (in)	1"
Configuración de los tubos	Triangular
Diámetro externo (in)	3/4"
Espesor de los tubos (BWG)	14
Superficie exterior del tubo (ft²/ft)	0,1963
Pérdida de carga (kg/cm²)	1,31
LADO DE CORAZA	
Numero de pasos	1
Diámetro de la coraza (in)	8"
Distancia entre deflectores (in)	4"
Número de deflectores	11
Tipo de deflector	Segmentado al 25 %
Pérdida de carga (kg/cm²)	1,13x10⁻³

Tabla 29. Resumen de los cálculos efectuados para el diseño del intercambiador

Los datos obtenidos, en la tabla anterior, son los resultados de una estimación realizada a partir de las características del intercambiador de fábrica a instalar en la E.R.M G-160.

Estos datos obtenidos representan los requisitos mínimos que deberá cumplir el fabricante para el diseño del intercambiador.

5.7. Resumen de características del intercambiador de fábrica

En este apartado se evaluarán las características del intercambiador de fábrica que necesiten ser calculadas, para ser comparadas con las estimadas anteriormente.

a) Superficie de transmisión de calor.

$$a = 0,215 \text{ m}^2$$

$$N_t = 16 \text{ tubos}$$

$$A = a \cdot N_t \cdot n_c = 0,215 \cdot 16 \cdot 1 = 3,44 \text{ m}^2$$

b) Pérdida de carga en el lado de los tubos.

El primer paso es recalcular a_t :

$$a_t = N_t \cdot a_i / n \cdot 144$$

$$N_t = 16 \text{ tubos}$$

$$a_i = 0,266 \text{ in}^2$$

$$n = 2$$

$$a_t = 0,0147 \text{ ft}^2 = 1,37 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

A continuación se evalúa G_t :

$$G_t = m_1 / a_t = 1,081 / 1,37 \times 10^{-3} = 789,05 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} = 2840583,94 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$$

El Re será:

$$Re = D \cdot G_t / \mu = 0,01905 \cdot 2840583,94 / 0,0475 = 1,14 \times 10^6$$

Hay que estimar f de la gráfica del apartado 6.8. del Anexo de Cálculos con ayuda del Reynolds.

$$f = 0,00007$$

La gravedad específica será:

$$s = 73,31 / 1000 = 0,073$$

Otros datos necesarios ya calculados son:

$$\phi_t = (\mu / \mu_w)^{0,14} = 1$$

$$G_t = 2840583,94 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h} / 4,88 = 582086,87 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{h}$$

$$D_e = 0,059 \text{ ft}$$

Sustituyendo en la ecuación de ΔP_t se obtiene:

$$\Delta P_t = 0,00007 \times 582086,87^2 \times 12 \times 2 / 5,22 \times 10^{10} \times 0,059 \times 0,073 \times 1 = 2,53 \text{ lb/in}^2$$

Ahora hay que calcular la pérdida de carga por retorno, para ello se supondrá que la gravedad específica es igual a 1, para así poder hacer uso de la gráfica del apartado **6.10.** del Anexo de Cálculos. En esta gráfica se sustituye la velocidad másica, obteniendo el valor del término $V^2/2g$, que en este caso es igual a 0,04. Sustituyendo en la ecuación de ΔP_r se obtiene:

$$\Delta P_r = ((4 \times 2 / 1) \times 0,04) = 0,32 \text{ lb/in}^2$$

La pérdida de carga total en los tubos es:

$$\Delta P_T = 0,32 + 2,53 = 2,85 \text{ lb/in}^2 = 0,23 \text{ kg/cm}^2$$

c) Pérdida de carga en la coraza

El primer paso es recalcular a_s :

$$a_s = D_c \times C' \times B / P_t \times 144$$

$$D_c = 8''$$

$$C' = 1/4''$$

$$B = 14''$$

$$P_t = 1''$$

$$a_s = 0,194 \text{ ft}^2 = 0,018 \text{ m}^2$$

A continuación se evalúa G_e :

$$G_t = m_1 / a_t = 1,035 / 0,018 = 57,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} = 207000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$$

El Re será:

$$Re = G \cdot D_e / \mu = 0,018 \cdot 207000 / 1,292 = 2884$$

f es igual a:

$$f = 0,028 \text{ ft}^2 / \text{in}^2$$

El siguiente término que hay que estimar es número de cruces ($N+1$):

$$N+1 = 4; \text{ siendo } N = 3 \text{ deflectores}$$

Por último, se calcula la gravedad específica y se pasa el diámetro de carcasa a pies.

$$s = 972 / 1000 = 0,972$$

$$D_c = 8'' / 12 = 0,666 \text{ ft}$$

La velocidad másica G_s será:

$$G_s = 207000 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2 / 4,88 = 42418 \text{ lb/h} \cdot \text{ft}^2$$

También se necesitarán los siguientes datos, antes calculados:

$$D_e = 0,018 \text{ m} = 0,059 \text{ ft}$$

$$\phi_s = 0,876$$

Finalmente se sustituyen todos los términos y se consigue la pérdida de carga en la carcasa.

$$\Delta P_c = 0,0028 \times 42418^2 \times 0,666 \times 4 / 5,22 \times 10^{10} \times 0,059 \times 0,972 \times 0,876 = 0,0051 \text{ lb/in}^2 = 4,14 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^2$$

Tipo de intercambiador	BEU
Potencia nominal	65000 Kcal/h (67083,4 kcal/h de P_{max})
Coefficiente global de transferencia de calor	357,5 Kcal/h·m²·°C
LADO DE TUBOS	
Numero de pasos	2
Longitud de los tubos (ft)	12
Número de tubos	16
Espaciamiento entre tubos (in)	1"
Configuración de los tubos	Triangular
Diámetro externo (in)	3/4"
Espesor de los tubos (BWG)	14
Superficie exterior del tubo (ft²/ft)	0,1963
Pérdida de carga (kg/cm²)	0,23

LADO DE CORAZA	
Numero de pasos	1
Diámetro de la coraza (in)	8"
Distancia entre deflectores (in)	4"
Número de deflectores	3
Tipo de deflector	Segmentado al 25 %
Pérdida de carga (kg/cm²)	4,14x10⁻⁴

Tabla 30. Resumen de características del intercambiador de fábrica

Se puede observar que el coeficiente global del intercambiador de fábrica es U_D , a partir del cual se realizó la estimación del U_{total} , siendo los resultados de estos cálculos estimativos los parámetros mínimos de diseño que debe cumplir el intercambiador a instalar en la E.R.M. G-160.

Las comparaciones entre las características, algunas calculadas en el presente apartado, del intercambiador diseñado por el fabricante y los requisitos mínimos de diseño estimados en los apartados anteriores, serán efectuadas en el apartado **9.3.4.3.** de la Memoria del Proyecto.

Los criterios de selección de las características del intercambiador de fabrica, no calculadas en el presente apartado, se especificarán en este mismo punto de la Memoria del Proyecto.

6. TABLAS Y GRÁFICAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR

6.1. Nomenclatura de intercambiadores (según TEMA)

FRONT END STATIONARY HEAD TYPES		SHELL TYPES		REAR END HEAD TYPES	
A	 CHANNEL AND REMOVABLE COVER	E	 ONE PASS SHELL	L	 FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
B	 BONNET (INTEGRAL COVER)	F	 TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	M	 FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
C	 REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE-SHEET AND REMOVABLE COVER	G	 SPLIT FLOW	N	 FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD
N	 CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE-SHEET AND REMOVABLE COVER	H	 DOUBLE SPLIT FLOW	P	 OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
D	 SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE	J	 DIVIDED FLOW	S	 FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
		K	 KETTLE TYPE REBOILER	T	 PULL THROUGH FLOATING HEAD
		X	 CROSS FLOW	U	 U-TUBE BUNDLE
				W	 EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET

Tabla 31. Nomenclatura de intercambiadores según TEMA

Fuente: "Transferencia de Calor", de J.P. Holman; Editorial McGraw-Hill. Adaptado al SI de A.I. Brown y S.M. Marco: Introduction to Heat Transfer, 3ª ed., McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1958

6.2. Datos de tubos para condensadores e intercambiadores

Diámetro exterior pulg	Espesor de pared		Diámetro interior cm	Area de la sección transversal de metal cm ²	Area de la sección interior dm ²	Circunferencia m, o superficie m ² /m de longitud		Velocidad en m/seg para 1 litro/min	Capacidad para la velocidad de 1 m/seg litros/min	Peso kg/m ³
	Núm. BWG	cm				Exterior	Interior			
	14	0,211	1,166	0,910	0,01068	0,0499	0,0366	0,1361	6,407	0,713
	16	0,165	1,257	0,735	0,01245	0,0499	0,0395	0,1343	7,446	0,377
	18	0,124	1,339	0,574	0,01403	0,0499	0,0421	0,1184	8,449	0,451
3/4	12	0,277	1,351	1,419	0,01431	0,0598	0,0425	0,1163	8,601	1,113
	14	0,211	1,483	1,123	0,01728	0,0598	0,0466	0,0965	10,36	0,881
	16	0,165	1,575	0,903	0,01951	0,0598	0,0495	0,0856	11,69	0,708
	18	0,124	1,656	0,697	0,02155	0,0598	0,0520	0,0774	12,92	0,346
7/8	12	0,277	1,669	1,690	0,02183	0,0698	0,0524	0,0762	13,13	1,326
	14	0,211	1,801	1,335	0,02546	0,0698	0,0366	0,0634	15,29	1,048
	16	0,165	1,892	1,065	0,02815	0,0698	0,0594	0,0593	16,87	0,835
	18	0,124	1,974	0,819	0,03057	0,0698	0,0620	0,0545	18,36	0,643
1	10	0,340	1,859	2,348	0,02713	0,0798	0,0584	0,0614	16,29	1,841
	12	0,277	1,986	1,968	0,03103	0,0798	0,0624	0,0538	18,59	1,543
	14	0,211	2,118	1,542	0,03521	0,0798	0,0665	0,0473	21,14	1,210
	16	0,165	2,210	1,232	0,03837	0,0798	0,0694	0,0435	23,02	0,966
1 1/4	10	0,340	2,494	3,032	0,04887	0,0997	0,0784	0,0341	29,31	2,378
	12	0,277	2,621	2,523	0,05398	0,0997	0,0824	0,0309	32,37	1,978
	14	0,211	2,753	1,961	0,05955	0,0997	0,0865	0,0280	35,72	1,537
	16	0,165	2,845	1,561	0,06355	0,0997	0,0894	0,0262	38,14	1,225
1 1/2	10	0,340	3,129	3,710	0,07692	0,1197	0,0983	0,0217	46,14	2,909
	12	0,277	3,256	3,071	0,08324	0,1197	0,1023	0,0200	49,96	2,408
	14	0,211	3,388	2,387	0,09021	0,1197	0,1064	0,0185	54,09	1,872
2	10	0,340	4,399	5,068	0,15236	0,1596	0,1382	0,0110	91,19	3,988
	12	0,277	4,526	4,177	0,16072	0,1596	0,1422	0,0104	96,53	3,304

Tabla 32. Datos de tubos para condensadores e intercambiadores de calor

Fuente: "Transferencia de Calor", de J.P. Holman; Editorial McGraw-Hill. Adaptado al SI de A.I. Brown y S.M. Marco: Introduction to Heat Transfer, 3ª ed., McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1958

6.3. Tablas de cuenta de tubos

Tubos de 3/4" DE. arreglo triangular de 15/16 plg						Tubos de 3/4" DE. arreglo triangular de 1 plg					
Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P	Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P
8	36	32	26	24	15	8	37	30	24	24	
10	62	53	47	42	36	10	61	52	40	36	
12	109	98	86	82	78	12	92	82	76	74	70
13 1/4	127	114	96	90	85	13 1/4	109	106	86	82	74
15 1/4	170	160	140	136	128	15 1/4	151	138	122	118	110
17 1/4	239	224	194	188	178	17 1/4	203	196	178	172	166
19 1/4	301	282	252	244	234	19 1/4	262	250	226	216	210
21 1/4	361	342	314	306	290	21 1/4	316	302	278	272	260
23 1/4	442	420	386	378	364	23 1/4	384	376	352	342	328
25	532	506	468	446	434	25	470	452	422	394	382
27	637	602	550	536	524	27	559	534	488	474	464
29	721	692	640	620	594	29	630	604	556	538	508
31	847	822	766	722	720	31	745	728	678	666	640
33	974	938	878	852	826	33	856	830	774	760	732
35	1102	1068	1004	988	958	35	970	938	882	864	848
37	1240	1200	1144	1104	1078	37	1074	1044	982	986	870
39	1377	1330	1258	1248	1218	39	1206	1176	1128	1100	1078

Tubos de 1" DE. arreglo triangular de 1 1/8 plg						Tubos de 1 1/4" DE. arreglo triangular de 1 1/16" plg					
8	21	16	16	14		10	20	18	14		
10	32	32	26	24		12	32	30	26	22	20
12	55	52	48	46	44	13 1/4	38	36	32	28	26
13 3/8	68	66	58	54	52	15 1/4	54	51	45	42	38
15 1/4	91	86	80	74	72	17 1/4	69	66	62	58	54
17 1/4	131	118	106	104	94	19 1/4	95	91	86	78	69
19 1/4	163	152	140	136	128	21 1/4	117	112	105	101	95
21 1/4	199	188	170	164	160	23 1/4	140	136	130	123	117
23 1/4	241	232	212	212	202	25	170	164	155	150	140
25	294	282	256	252	242	27	202	196	185	179	170
27	349	334	302	296	286	29	235	228	217	212	202
29	397	376	338	334	318	31	275	270	255	245	235
	472	454	430	424	400	33	315	305	297	288	275
33	538	522	486	470	454	35	357	348	335	327	315
35	608	592	562	546	532	37	407	390	380	374	357
37	674	664	632	614	598	39	449	436	425	419	407
39	766	736	700	688	672						

Tabla 33. Tablas de cuentas de tubos

Fuente: "Transferencia de Calor", de J.P. Holman; Editorial McGraw-Hill. Adaptado al SI de A.I. Brown y S.M. Marco: Introduction to Heat Transfer, 3ª ed., McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1958

6.4. Propiedades del agua (líquido saturado)

Nota: $Gr, Pr = \left(\frac{g\beta\rho^2c_p}{\mu k} \right) x^3 \Delta T$

°F	°C	$c_p, \text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	$k, \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$	Pr	$\frac{g\beta\rho^2c_p}{\mu k}, \text{1/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$
32	0	4,225	999,8	$1,79 \times 10^{-3}$	0,566	13,25	
40	4,44	4,208	999,8	1,55	0,575	11,35	$1,91 \times 10^9$
50	10	4,195	999,2	1,31	0,585	9,40	$6,34 \times 10^9$
60	15,56	4,186	998,6	1,12	0,595	7,88	$1,08 \times 10^{10}$
70	21,11	4,179	997,4	$9,8 \times 10^{-4}$	0,604	6,78	$1,46 \times 10^{10}$
80	26,67	4,179	995,8	8,6	0,614	5,85	$1,91 \times 10^{10}$
90	32,22	4,174	994,9	7,65	0,623	5,12	$2,48 \times 10^{10}$
100	37,78	4,174	993,0	6,82	0,630	4,53	$3,3 \times 10^{10}$
110	43,33	4,174	990,6	6,16	0,637	4,04	$4,19 \times 10^{10}$
120	48,89	4,174	988,8	5,62	0,644	3,64	$4,89 \times 10^{10}$
130	54,44	4,179	985,7	5,13	0,649	3,30	$5,66 \times 10^{10}$
140	60	4,179	983,3	4,71	0,654	3,01	$6,48 \times 10^{10}$
150	65,55	4,183	980,3	4,3	0,659	2,73	$7,62 \times 10^{10}$
160	71,11	4,186	977,3	4,01	0,665	2,53	$8,84 \times 10^{10}$
170	76,67	4,191	973,7	3,72	0,668	2,33	$9,85 \times 10^{10}$
180	82,22	4,195	970,2	3,47	0,673	2,16	$1,09 \times 10^{11}$
190	87,78	4,199	966,7	3,27	0,675	2,03	
200	93,33	4,204	963,2	3,06	0,678	1,90	
220	104,4	4,216	955,1	2,67	0,684	1,66	
240	115,6	4,229	946,7	2,44	0,685	1,51	
260	126,7	4,250	937,2	2,19	0,685	1,36	
280	137,8	4,271	928,1	1,98	0,685	1,24	
300	148,9	4,296	918,0	1,86	0,684	1,17	
350	176,7	4,371	890,4	1,57	0,677	1,02	
400	204,4	4,467	859,4	1,36	0,665	1,00	
450	232,2	4,585	825,7	1,20	0,646	0,85	
500	260	4,731	785,2	1,07	0,616	0,83	
550	287,7	5,024	735,5	$9,51 \times 10^{-5}$			
600	315,6	5,703	678,7	8,68			

Adaptado al SI de A. I. Brown y S. M. Marco: *Introduction to Heat Transfer*, 3ª ed., McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1958.

Tabla 34. Propiedades del agua (líquido saturado).

Fuente: "Transferencia de Calor", de J.P. Holman; Editorial McGraw-Hill. Adaptado al SI de A.I. Brown y S.M. Marco: *Introduction to Heat Transfer*, 3ª ed., McGraw-Hill Book Company.

6.5. Factores de corrección de la MLDT

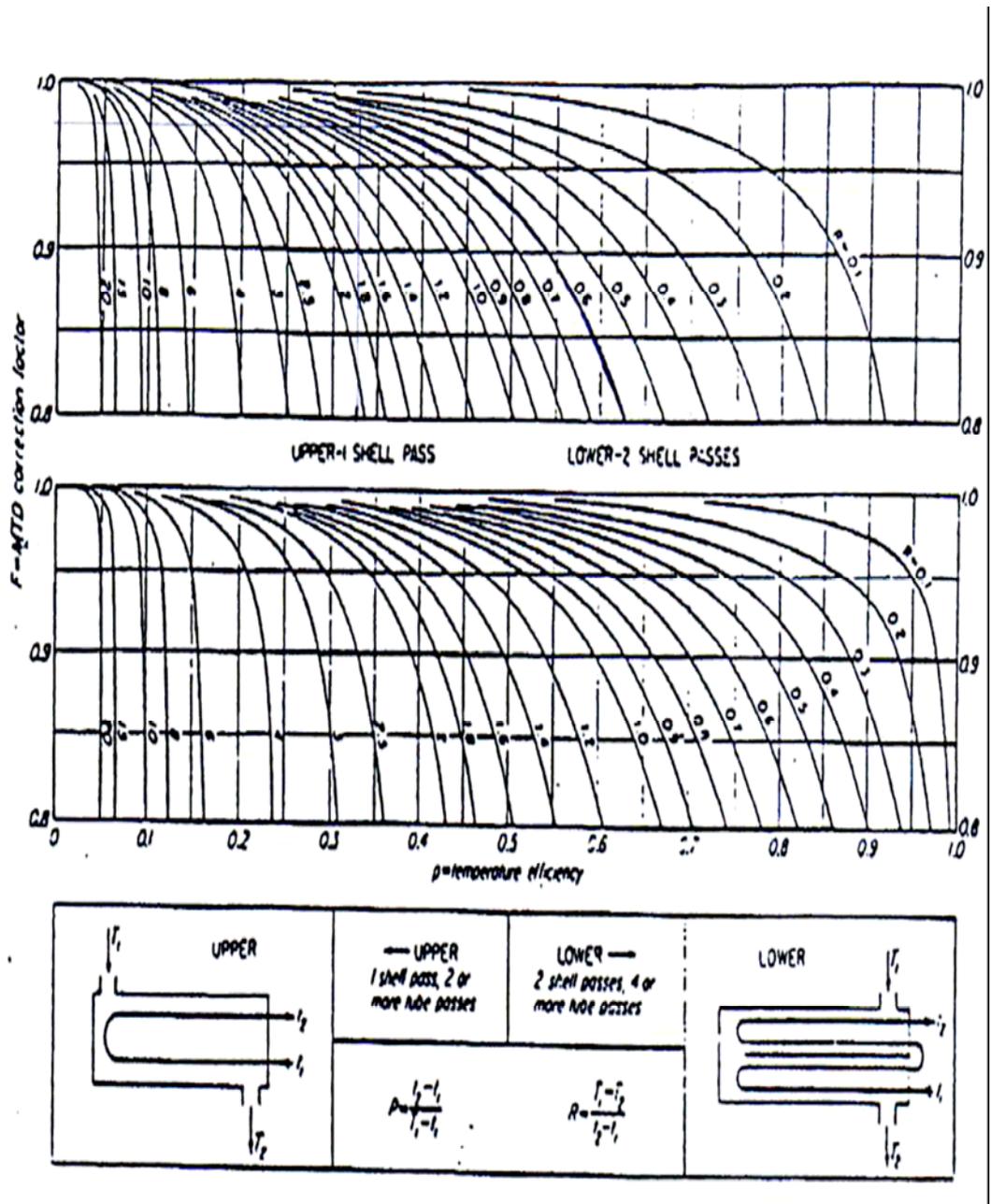


Figura 32. Corrección de la MLDT: (a) cambiadores 1-2; (b) cambiadores 2-4.

Fuente: R.A. Bowman, A.C. Mueller, y W.M. Nagle, Trans. ASME, 62:283 (1940). Por cortesía de American Society of Mechanical Engineers.

6.6. Curva de transferencia de calor para el lado de la coraza

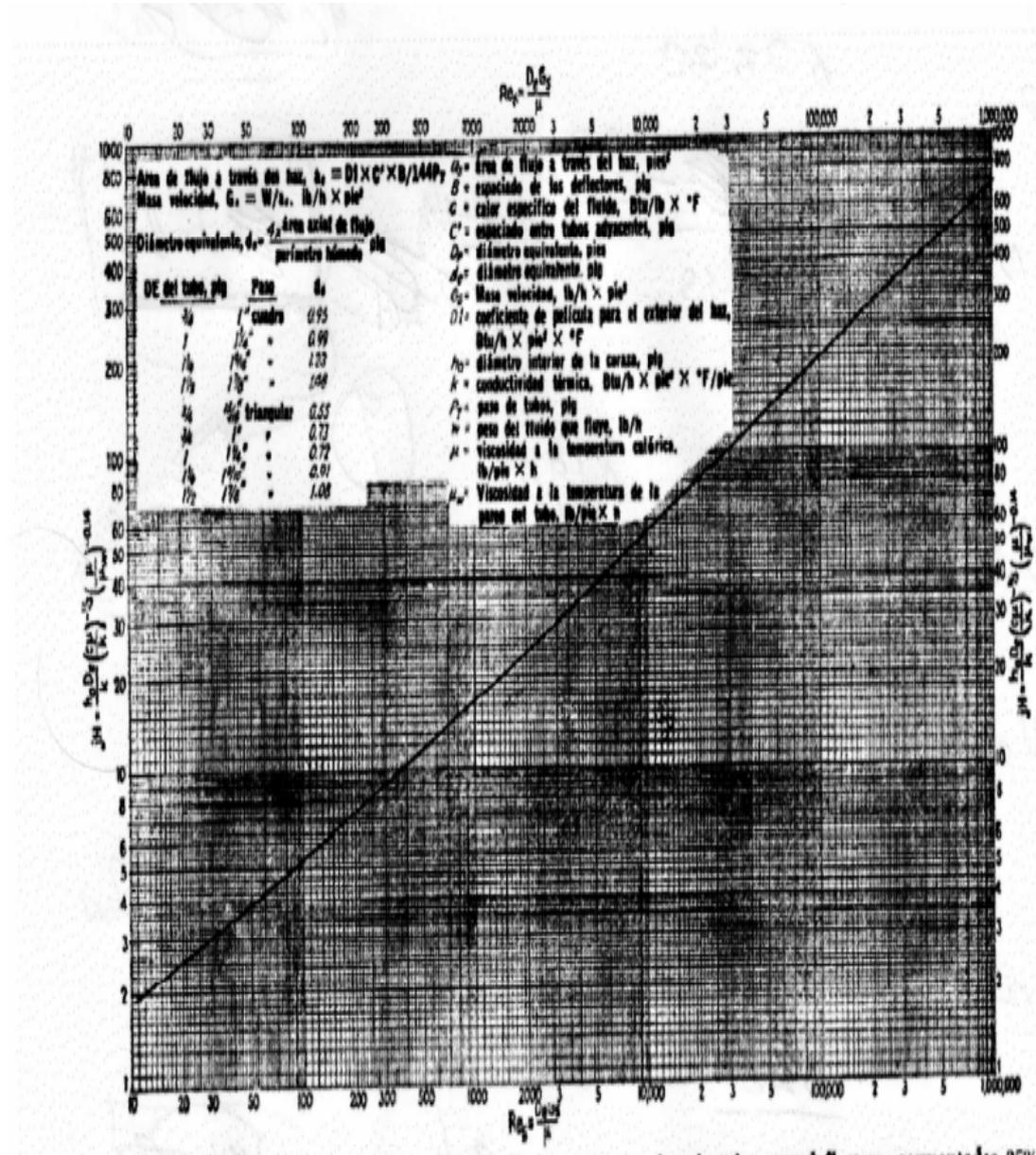


Figura 33. Curva de transferencia de calor para el lado de la coraza con haz de tubos con deflectores segmentados al 25 %

Fuente: R.A. Bowman, A.C. Mueller, y W.M. Nagle, Trans. ASME, 62:283 (1940). Por cortesía de American Society of Mechanical Engineers

6.7. Propiedades de los metales

Metal	Propiedades a 20°C				Conductividad térmica k W/m °C									
	ρ , kg/m ³	c_p , kJ/kg °C	k , W/m °C	$\alpha \times 10^5$, m ² /s	-100°C -148°F	0°C 32°F	100°C 212°F	200°C 392°F	300°C 572°F	400°C 752°F	600°C 1.112°F	800°C 1.427°F	1.000°C 1.832°F	1.200°C 2.192°F
	Aluminio:													
Puro	2.707	0,896	204	8,408	215	202	206	215	228	249				
Al-Cu (duraluminio), 94-96 % Al, 3-5 % Cu, trazas de Mg	2.787	0,883	164	6,676	126	151	182	194						
Al-Si (siluminio, cobre-portador), 86,5 % Al, 1 % Cu	2.659	0,867	137	5,933	119	137	144	152	161					
Al-Si (alusil), 78-80 % Al, 20-22 % Si	2.627	0,854	161	7,172	144	157	168	175	178					
Al-Mg-Si, 97 % Al, 1 % Mg, 1 % Si, 1 % Mn	2.707	0,892	177	7,311		175	189	204						
Plomo	11.373	0,130	35	2,343	36,9	35,1	33,4	31,5	29,8					
Hierro:														
Puro	7.897	0,452	73	2,034	87	73	67	62	55	48	40	36	35	36
Hierro forjado, 0,5 % C	7.849	0,46	59	1,626		59	57	52	48	45	36	33	31	33
Acero (C máx. \approx 1,5 %):														
Acero al carbono														
C \approx 0,5%	7.833	0,465	54	1,474		55	52	48	45	42	35	31	24	31
1,0%	7.801	0,473	43	1,172		43	43	42	40	36	33	29	24	29
1,5%	7.753	0,486	36	0,970		36	36	36	35	33	31	28	24	29
Acero al níquel														
Ni \approx 0%	7.897	0,452	73	2,026										
20%	7.933	0,46	19	0,526										
40%	8.169	0,46	10	0,279										
80%	8.618	0,46	35	0,872										
Invar 36 % Ni	8.137	0,46	10,7	0,286										
Acero al cromo														
Cr = 0%	7.897	0,452	73	2,026	87	73	67	62	55	48	40	36	35	36
1%	7.865	0,46	61	1,665		62	55	52	47	42	36	33	33	
5%	7.833	0,46	40	1,110		40	38	36	36	33	29	29	24	
20%	7.689	0,46	22	0,635		22	22	22	22	24	24	26	24	
Cr-Ni (cromo-níquel): 15% Cr, 10% Ni	7.865	0,46	19	0,527										
18% Cr, 8% Ni (V2A)	7.817	0,46	16,3	0,444		16,3	17	17	19	19	22	27	31	
20% Cr, 15% Ni	7.833	0,46	15,1	0,415										
25% Cr, 20% Ni	7.865	0,46	12,8	0,361										
Acero al wolframio														
W = 0%	7.897	0,452	73	2,026										
1%	7.913	0,448	66	1,858										
5%	8.073	0,435	54	1,525										
10%	8.314	0,419	48	1,391										

Tabla 35. Propiedades de los metales

Fuente: "Transferencia de Calor", de J.P. Holman; Editorial McGraw-Hill. Adaptado al SI de A.I. Brown y S.M. Marco: Introduction to Heat Transfer, 3ª ed., McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1958.

6.8. Factores de fricción para el lado de los tubos

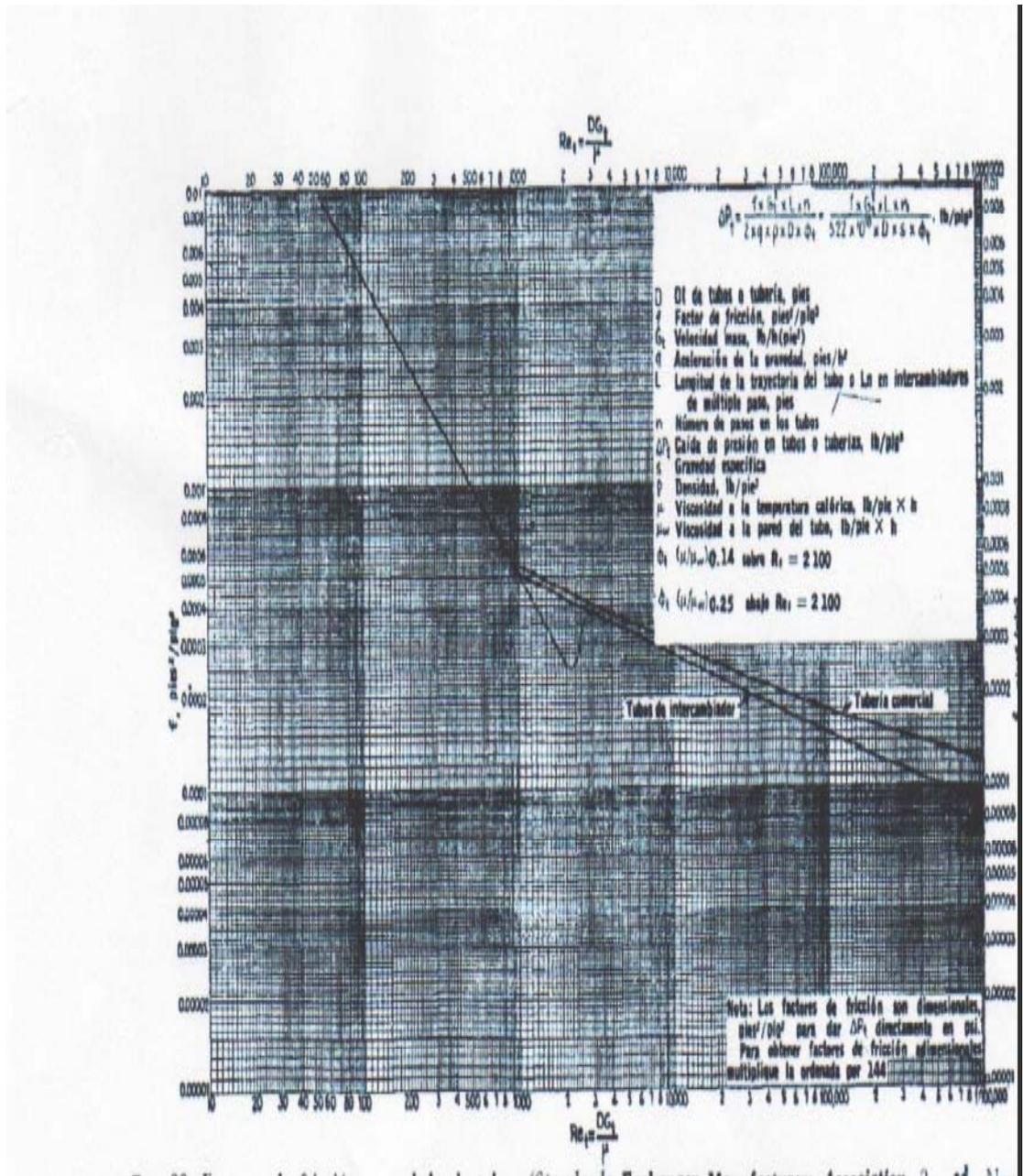


Figura 34. Factores de fricción para el lado de los tubos

Fuente: Standards Exchanger Manufacturers Association, 2a. Ed., New York 1949.

6.9. Factores de fricción para el lado de la coraza

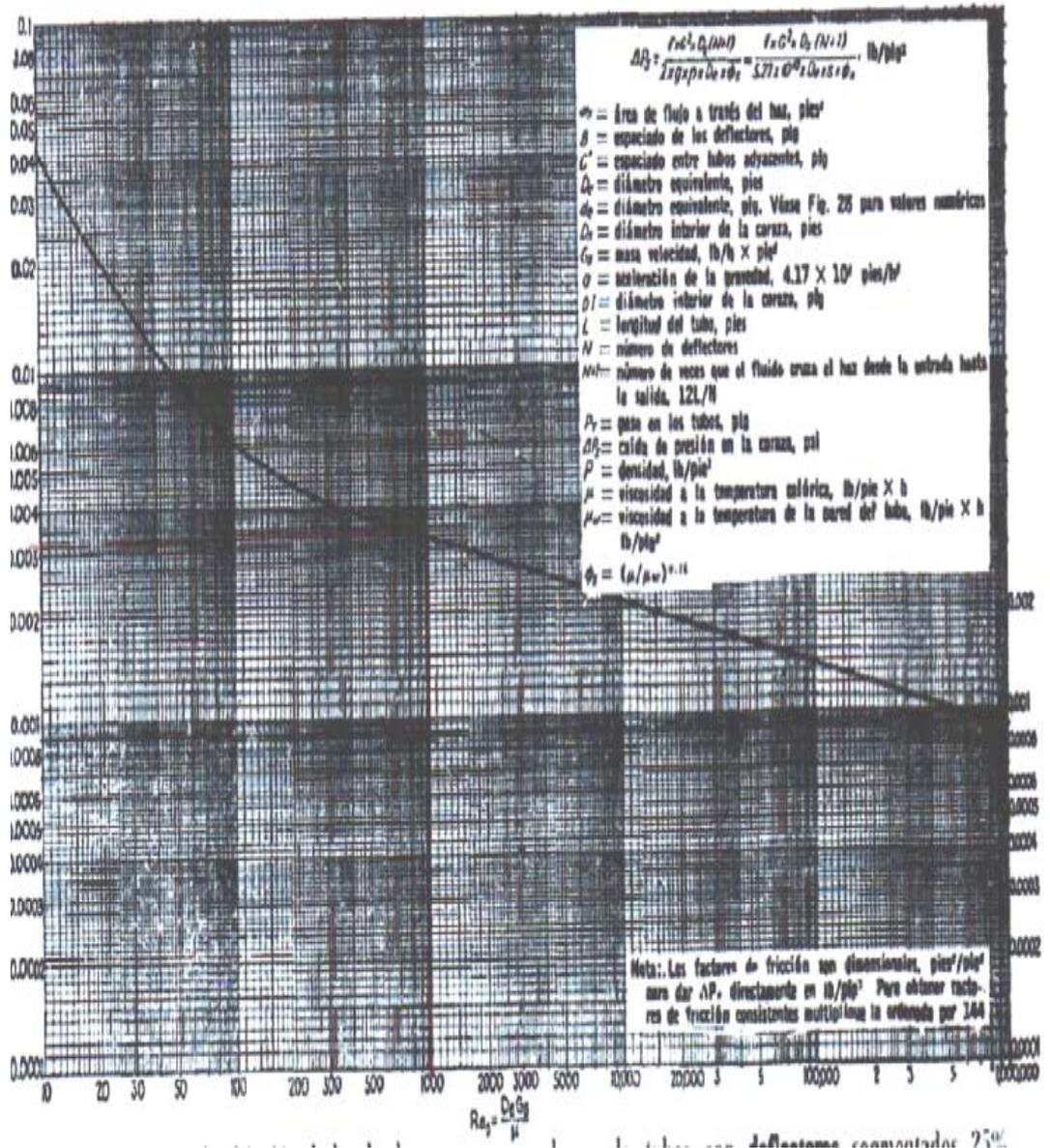


Figura 35. Factores de fricción para el lado de la coraza

Fuente: Standards Exchanger Manufacturers Association, 2a. Ed., New York 1949.

6.10. Pérdida de presión por retorno del lado de los tubos

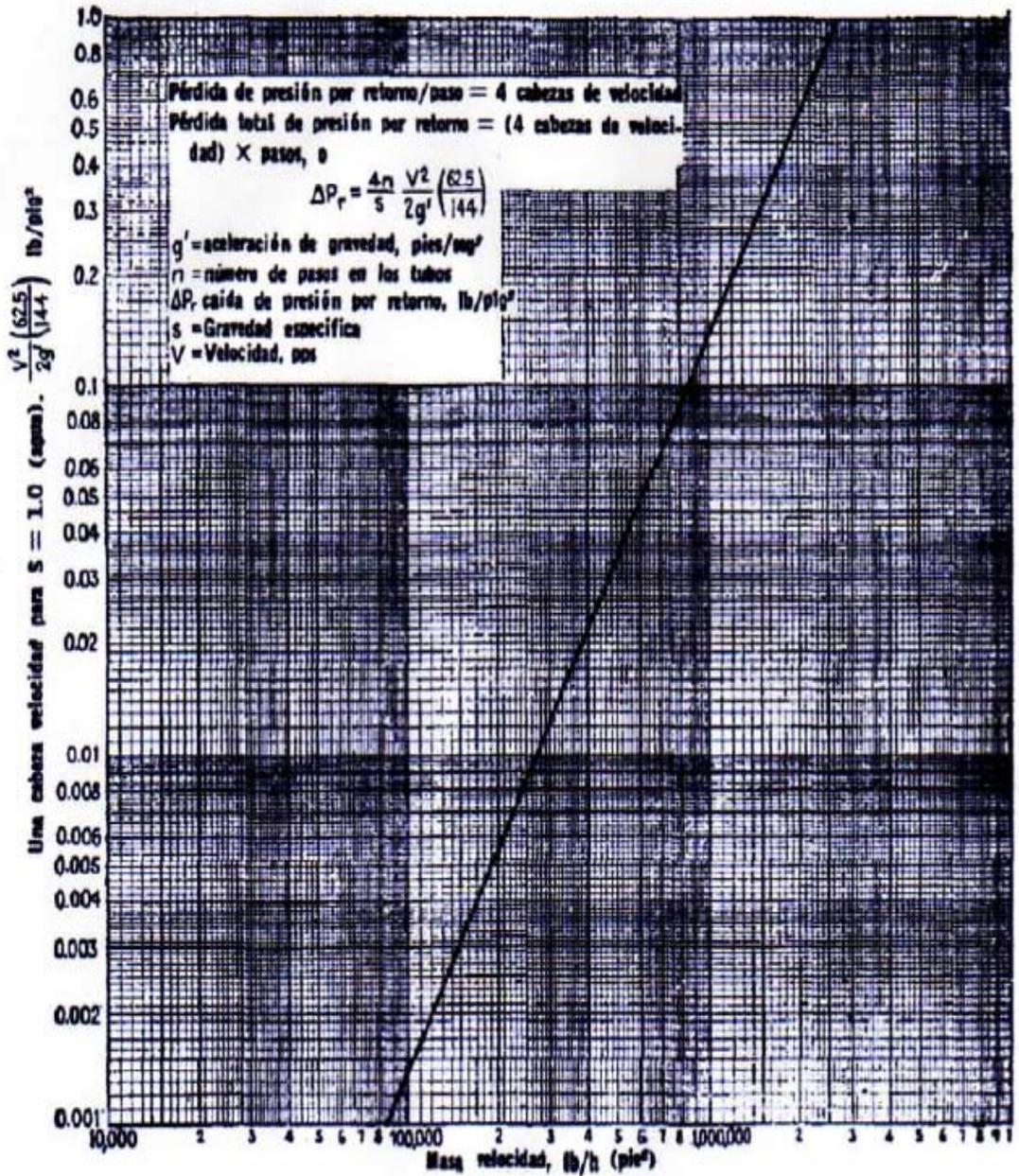


Figura 36. Factores de fricción para el lado de la coraza

Fuente: Standards Exchanger Manufacturers Association, 2a. Ed., New York 1949.

7. CÁLCULOS DE LAS CALDERAS

7.1. Justificación de los cálculos de calderas

En este apartado del anexo de Cálculos se cumplirán los siguientes objetivos:

a) Evaluación del rendimiento de las calderas de la E.R.M. G-160.

Se hará con el propósito de comprobar que las calderas funcionan con alto rendimiento, con el fin de que el gasto energético de las mismas sea mínimo para cubrir las necesidades de intercambio de calor de la instalación, con el fin de precalentar el gas con el propósito antes mencionado en el apartado 2.6 del Anexo de Cálculos.

b) Análisis de pérdidas de las calderas.

Evaluación de las posibles pérdidas mas importantes que se pueden dar en la caldera, con el fin de saber cuales deben minimizarse para conseguir un rendimiento mas alto.

c) Evaluación del exceso de aire.

Se evaluará el exceso de aire necesario para poder conseguir una combustión completa en las calderas.

7.2 Cálculo del rendimiento de las calderas

7.2.1 Como abordar el problema

Para calcular el rendimiento o eficiencia de una caldera, el método es el mismo que para hallar el rendimiento o eficiencia de prácticamente cualquier otra clase de equipo energético; a saber, rendimiento o eficiencia es la energía útil de salida dividida por la entrada de energía. En el caso de una caldera, alimentamos en BTU (o kcal) en forma de carbón, gasoil o gas natural y obtenemos BTU (o kcal) en forma de vapor o agua caliente.

a) Método directo.

Establece que la eficiencia o rendimiento de caldera puede ser cifrada directamente a partir del combustible total quemado en un periodo dado y el vapor o agua caliente obtenida en el mismo período.

Es el más simple y fácil de aplicar, y en el cual:

$$\text{Rendimiento} = (\text{energía saliente} / \text{energía entrante}) \times 100$$

Es muy normal cifrar primero la evaporación (o kg de agua caliente obtenidos) por libra de combustible quemado (o por kg) y después, a partir de este dato, obtener el rendimiento o eficiencia.

Este método simplificado de obtener la eficiencia puede usarse para detectar tendencias de rendimiento por comparación de rendimientos previos con resultados normales. La mejor comparación se obtiene con una lectura de puntos de referencia cuando la caldera es nueva, o después de una limpieza y revisión general.

b) Método indirecto.

El método indirecto se llama también método de las pérdidas, y sigue de cerca el método ASME de tabular las pérdidas cuando están ocurriendo. El rendimiento se determina así por:

$$\text{Rendimiento} = (\text{entrada de energía} - \text{pérdida}) / \text{entrada de energía} \times 100$$

Este método exige medir los gases de combustión y también efectuar un análisis último del combustible. Su ventaja clave es que indica donde están ocurriendo las pérdidas, haciendo así posible aumentar la eficiencia si las pérdidas identificables pueden reducirse. Su desventaja es que son necesarios muchos datos y cálculos.

7.2.2. Aplicación del método directo a las calderas de la E.R.M.

Se utilizara el método directo para el cálculo del rendimiento de las calderas, ya que no se dispone de los datos suficientes para la evaluación del mismo mediante el método indirecto.

Además, la simplicidad de este método con respecto al otro permite la obtención de un valor menos exacto pero orientativo del rendimiento aproximado de las calderas.

Para el cálculo del rendimiento por el método directo se necesitan los siguientes datos:

- Poder calorífico del gas natural.
- Potencia calorífica máxima de las calderas.

El poder calorífico del gas natural se evalua mediante el programa informático PROGAS, antes descrito en el punto 5.5.2. del Anexo de Cálculos.

Por lo tanto el poder calorífico del gas natural será:

$$PCS = 10103 \text{ kcal/Nm}^3$$

Se utilizará el poder calorífico superior evaluado con el método establecido por la Norma ISO 6976/83.

La potencia calorífica máxima de cada caldera será de 65000 kcal/h.

La capacidad de la línea de fuel gas será el 250 % de la necesaria para cubrir la demanda térmica máxima de cada línea de la E.R.M., siendo 25 Nm³/h.

La línea de fuel gas aporta este caudal a ambas calderas, siendo una línea de suministro común, teniendo por lo tanto que evaluar el rendimiento en base a lo potencia suministrada por ambas a la vez.

Esto significaría que las dos calderas se considerarían como una sola caldera que suministrará la potencia de ambas para poder calentar las dos líneas de la E.R.M., recibiendo un suministro de fuel gas con el caudal antes mencionado.

La potencia calorífica máxima aportada por ambas calderas de la E.R.M., será el doble de la suministrada por cada caldera, siendo 130000 kcal/h.

El calor aportado por el fuel gas será:

$$Q_{\text{fuel gas}} = 25 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 10103 \text{ kcal/Nm}^3 = 252575 \text{ kcal/h}$$

Se aplicará la formula para la evaluación del rendimiento:

$$\text{Rendimiento o eficiencia} = \left(\frac{\text{energía saliente}}{\text{energía entrante}} \right) \times 100$$

Energía saliente = Potencia calorífica máxima aportada por ambas calderas = 130000 kcal/h

Energía entrante = Potencia aportada por el fuel gas = 252575 kcal/h

$$\text{Rendimiento o eficiencia} = \left(\frac{130000}{252575} \right) \times 100 = 51,46 \%$$

Este será el rendimiento o eficiencia global del sistema de calentamiento de la E.R.M. G-160, es decir, en base al calor aportado por ambas calderas.

7.3 Análisis de pérdidas.

Al no poder aplicar el metodo indirecto, debido a la falta de datos necesarios para poder utilizarlo, se hara una evaluación general de las pérdidas mas importantes que se podrían dar en las calderas de la E.R.M.

Éstas influirán en el rendimiento o eficiencia del sistema de calentamiento del gas natural.

Las pérdidas serían:

1) Pérdidas debida a la humedad del combustible. En el caso del gas natural no sería importante, considerandose despreciable, ya que el gas natural tiene muy poca humedad.

2) Pérdida debida a la combustión del hidrógeno. No existiría tal pérdida, ya que el gas natural utilizado no cuenta con hidrógeno en su composición.

3) Pérdida debida a la humedad del aire usado para la combustión. Depende de la humedad del aire ambiente, ya que los quemadores utilizados en las calderas son de tipo atmosférico, siendo no controlable.

4) Pérdida debida al calor llevado a la chimenea por los gases de combustión. Los factores que pueden inferir en esta pérdida incluirán:

a) El alto exceso de aire revelado por un análisis de los gases de combustión.

Para ello se deberán hacer, cada cierto tiempo, analíticas de los gases de combustión con el fin de controlar el exceso de aire de la caldera, controlando de esta manera la pérdida mencionada.

b) Suciedad o incrustación de las superficies de transferencia del lado del agua y del fuego o gases.

Las incrustaciones del lado del agua se controlan mediante la utilización de un agua con las características adecuadas y cambiandola por completo anualmente.

Al ser el gas natural un combustible limpio, no se formaran cenizas que puedan originar incrustaciones en el lado del fuego o gases.

c) Pobre circulación del agua en comparación con los flujos del lado de gases de combustión.

Se procura impulsar el agua a una presión adecuada para evitar minimizar al máximo esta pérdida.

d) Velocidades de gases demasiado altas a través de la caldera (demasiado tiro), de forma que no hay tiempo suficiente para la transferencia de calor adecuada.

Al ser de tiro natural, la velocidad de los gases dependerá del diseño de la chimenea de las calderas, procurandose que la velocidad de estos no se excesiva para no producirse la pérdida mencionada.

5) Pérdida debida a la combustión incompleta por:

a) Suministro de aire insuficiente.

En el quemador atmosférico de la caldera procura aportar la cantidad suficiente tanto de aire primario como secundario para evitar la combustión incompleta. Para ello se procura diseñar la superficie del hogar abierto a la atmosfera para que el flujo de aire secundario sea el adecuado, además de regular la válvula de aguja del quemador para aportar igualmente el primario suficiente.

b) Pobre atomización o pulverización del combustible.

No es necesaria en el caso de gases.

6) Pérdida debida a las cenizas de los combustibles especialmente aplicables a calderas de combustibles sólidos. Se consideran inexistentes debido a que el gas natural no produce cenizas en su combustión.

7) Pérdidas diversas por radiación, convección y fugas, tales como:

a) Débil aislamiento alrededor del calderín y paredes.

Se utilizará un aislamiento de coquilla de vidrio en todo el sistema de calentamiento para minimizar esta pérdida.

b) Necesidad de reparación de los refractarios del hogar.

Se hará un mantenimiento, cada cierto tiempo, para el cuidado de los refractarios del hogar de las calderas.

c) Tuberías, juntas, sellado de uniones y otras fugas por las paredes de la caldera.

Se hará un mantenimiento general de la caldera, cada cierto tiempo, para evitar estas pérdidas.

7.4. Evaluación del exceso de aire.

Un método apropiado utilizado por algunos ingenieros de operaciones para determinar el exceso de aire a partir del análisis de los gases es el siguiente:

$$\text{Exceso de aire (porcentaje)} = [O_2 / (CO + CO_2)] \times 100$$

O_2 , CO y CO_2 = Porcentajes en volumen de O_2 , CO y CO_2 en los gases de combustión

Éste no se podría aplicar, ya que no se disponen de datos de análisis de los gases de combustión de las calderas.

El segundo método se basa en la variación del exceso de aire con el combustible quemado y tipo de quemador.

Un fabricante de calderas, B&W (Babcock & Wilcox), proporciona la guía siguiente de los excesos de aire que se pueden esperar según combustibles y sistemas de combustión:

Combustible	Sistema de combustión	Exceso de aire real (% en peso)	Observaciones
Carbón	Alimentador de parrilla	30 a 60 %	
	Parrilla galopante	15 a 50 %	
	Carbón pulverizado	15 a 20 %	
Fuel-oil	Quemador tipo de registros, 1 solo combustible	5 a 10 %	
	Quemador multifuel	10 a 20 %	
Gas natural	Quemador tipo de registros	5 a 10 %	Valor típico: 9 %
Madera	Hogar holandés	20 a 25 %	

Tabla 36. Previsión de excesos de aire para distintos tipos de quemadores y combustibles

Fuente: Manuel de calderas; De Anthony L. Kohan

Este último método será el utilizado para evaluar el exceso de aire, ya que proporciona un intervalo aproximado en el cual se debe encontrar.

Para gas natural el exceso de aire en % en peso estaría en el intervalo del 5 al 10 %, siendo el valor típico un 9 %.

Esta será el aire que se tendrá que aportar por encima del estequiométrico necesario para la combustión del gas natural, con el objeto de evitar una combustión incompleta del mismo, pero sin llegar a suministrar demasiado aire, lo cual también es perjudicial, como se ha comentado con anterioridad.

Este será un dato orientativo que servirá para saber la cantidad de aire primario-secundario que tendremos que aportar en los quemadores atmosféricos de las calderas de la E.R.M., diseñando el area del hogar para el flujo de aire secundario y regulando la válvula de aguja del quemador para el flujo de aire primario.

El aire total aportado deberá ser el estequiométrico necesario para la combustión y el porcentaje de exceso de aire, que deba estar situado en el intervalo antes mencionado.

8. DATOS PARA DISEÑO, CÁLCULO, OPERACIÓN Y

CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES DE LA E.R.M.

APB/APA

a) Cálculo Reguladores E.R.M. de 4250 m³(n)/h

$$P_2 \leq P_1 / 2 \quad \text{Siendo} \quad P_1 = 80 \text{ bar máx. (P. entrada)}$$

$$P_2 = 16 \text{ bar máx. (P. salida)}$$

$$Q = K \cdot C_g \cdot P_1 = 0,526 \cdot C_g \cdot P_1, \text{ para DN 1"}, 600\# \quad C_g = 575$$

$$Q = 0,526 \cdot 575 \cdot 80 = 24196 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$$

$$\text{Y para } Q = 4250 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$$

$$Q = K \cdot C_g \cdot P_1 = 0,526 \cdot 575 \cdot P = 4250 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$$

$$Q = 4250 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}, \text{ para } P = 14,05 \text{ bar mín.}$$

(b) Colector de entrada (APB)

$$Q_{\text{máx.}} = 4250 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h} \quad \text{Ø 3"} \text{ V} = 2,93 \text{ m/seg}$$

$$\text{Línea de entrada } Q = 4250 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h} \quad \text{Ø 2"} \text{ V} = 7,51 \text{ m/seg}$$

(c) Colector de salida (APA)

$$\text{Válvula salida regulación} \quad \text{Ø 1"} \text{ V} = 194,0 \text{ m/seg}$$

$$\text{Línea de salida} \quad \text{Ø 3"} \text{ V} = 14,68 \text{ m/seg}$$

$$\text{Colector de salida} \quad \text{Ø 4"} \text{ V} = 11,01 \text{ m/seg}$$

(d) Contador de turbina para 4250 m³(n)/h

$$\text{G-160} \quad \text{Ø 3"} \text{ 150\# RF}$$

(e) Los datos precisos para el correcto dimensionado de los equipos y tuberías de conexión, se indican a continuación:

Condiciones de diseño:

- Presión máxima de entrada 80 bar ef.
- Presión de servicio 80 bar ef.
- Presión máxima de salida 16 bar ef.
- Temperatura Máx. +60 °C Mín. 10 °C
- Velocidad máxima de entrada 20 m/sg
- Velocidad máxima de salida 20 m/sg
- Caudal nominal 2 x 4250 m³(n)/h
- Materiales y accesorios Rating 600# entrada
- Materiales y accesorios Rating 150# salida

Condiciones de cálculo reguladores

- Presión de entrada 80 bar ef.
- Presión de servicio 80 bar ef.
- Presión de salida 16 bar ef.

Condiciones de presión para el cálculo de canalización

- Presión de entrada 80 bar ef.
- Presión de servicio 80 bar ef.
- Presión de salida 16 bar ef.
- Presión de servicio 80 bar ef.

Características dimensionales

- Válvula de entrada de línea Bola PR 2" 600# RF PAL
- Filtro Conexión 2" RF 600#
- Intercambiador Conexión 2" RF 600#
- Reguladores Monitor-Activo Pilotados de 1" 600#
- Medidor de caudal G-160 de 3" RF 150#
- Válvula de salida de línea Bola PR de 3" 150# RF PAL
- Válvula de seccionamiento
de salida BolaPR 4" 150# RE PAL

9. CÁLCULO DEL FACTOR DE COMPRESIBILIDAD

9.1. Definiciones

Para los fines de las distintas partes de este capítulo del anexo Cálculos se aplican las siguientes definiciones:

a) Factor de compresibilidad, Z : Cociente entre el volumen ocupado por una masa arbitraria de gas en unas condiciones determinadas de presión y temperatura, y el volumen calculado según la ley de gases ideales de la misma masa de gas, en las mismas condiciones:

$$Z = V_m(\text{real}) / V_m(\text{ideal}) \quad (1)$$

donde

$$V_m(\text{ideal}) = RT / p \quad (2)$$

Por lo tanto,

$$Z(p, T, y) = pV_m(p, T, y) / RT \quad (3)$$

Donde

p Presión absoluta;

T Temperatura termodinámica;

y Conjunto de parámetros que únicamente caracterizan al gas (en principio, puede ser la composición molar, conjunto

característico de propiedades físico-químicas o una combinación de ambos);

V_m Volumen molar del gas;

R Constante molar de los gases en las unidades apropiadas;

El factor de compresibilidad es una magnitud adimensional normalmente próxima a la unidad.

c) Densidad, ρ : Masa de una cantidad determinada de gas dividida por su volumen en las condiciones especificadas de presión y temperatura.

d) Composición molar: El término se utiliza cuando la proporción de cada componente en una mezcla homogénea se expresa como una fracción de mol (molar) o porcentaje de mol (molar) del total.

Por tanto, la fracción molar x_i del componente i , es la relación entre el número de moles del componente i en una mezcla de volumen determinado y el número total de moles de todos los componentes en el mismo volumen de la mezcla. Un mol de cualquier compuesto químico es la cantidad de sustancia que contiene la masa molecular relativa expresada en gramos. En la Norma ISO 6976 se incluye una tabla de valores de masas moleculares relativas.

Para el caso de un gas ideal, la fracción molar (o porcentaje molar) es idéntica a la fracción volumétrica (o porcentaje

volumétrico) pero esto no es, en general, una aproximación suficientemente exacta en el caso del comportamiento real del gas para los fines de este capítulo.

e) Poder calorífico molar, H: Cantidad de calor que sería producida por la combustión completa en aire de los hidrocarburos contenidos en un mol de gas natural, de forma que la presión a la que tiene lugar la reacción permanece constante, y todos los productos de la combustión se conducen a la misma temperatura especificada para los reactivos, estando todos estos productos en estado gaseoso, excepto el agua formada por la combustión que está condensada en estado líquido a la temperatura especificada.

9.2. Principios Generales

Los métodos recomendados utilizan ecuaciones que están basadas en el concepto de que cualquier gas natural puede caracterizarse, en particular para el cálculo de sus propiedades volumétricas, bien mediante el análisis de sus componentes o bien mediante un conjunto apropiado y característico de propiedades físicas medibles. Estas características, junto con la presión y la temperatura, se utilizan como datos de partida para los métodos.

En el sentido de que el comportamiento volumétrico de una mezcla gaseosa se deduce directamente del número y de los tipos de interacciones moleculares (colisiones) que tienen lugar, un método que reconoce explícitamente cada componente molecular de la mezcla y su

proporción respecto del total, es de alguna forma más fundamental que otros métodos alternativos.

El primer método para calcular el factor de compresibilidad, se basa en el análisis detallado de la composición molar del gas en el que se deben representar todos los componentes existentes en cantidades superiores a la fracción molar de 0,00005. Para un gas típico distribuido (gas canalizado), esto incluye todos los hidrocarburos alcanos hasta aproximadamente C₂ o C₈ junto con nitrógeno, dióxido de carbono y helio. Para los gases que contienen aditivos sintéticos es probable que sean componentes igualmente significativos el hidrógeno, el monóxido de carbono y el etileno. Para categorías de gas más amplias es necesario considerar otros componentes como el vapor de agua y el ácido sulfhídrico.

La ecuación recomendada, se conoce como la ecuación como la ecuación de caracterización detallada AGA8-92DC.

El segundo método utilizado para el cálculo del factor de compresibilidad se basa en dos propiedades físicas características del gas denominadas poder calorífico superior y densidad relativa, junto con el contenido de dióxido de carbono.

Este método es, en particular, útil cuando no se dispone de la composición molar completa pero puede igualmente elegirse por su relativa simplicidad. Para los gases que contienen aditivos sintéticos es necesario conocer la concentración de hidrógeno.

La ecuación recomendada en este caso se conoce como ecuación SGERG-88.

La evaluación de ambas ecuaciones, AGA8-92DC y SGERG-88, ha sido realizada utilizando un amplio conjunto de datos de alta exactitud ($\pm 0,1\%$) de medidas del factor de compresibilidad (la mayoría de las cuales tienen trazabilidad de acuerdo a patrones metrológicos internacionales relevantes), recopilados con esta finalidad por el Grupo Europeo de Investigaciones Gasistas (GERG) y el Instituto de Investigación del Gas (GRI). Dentro de los rangos de temperatura y presión en transporte y distribución, las ecuaciones son de exactitud esencialmente equivalentes.

9.3. Directrices

9.3.1. Condiciones de medida en el transporte y la distribución

El principal uso previsto de este capítulo es el cálculo del factor de compresibilidad en aplicaciones relativas al transporte y la distribución de gases canalizados. El rango de condiciones encontradas para estas aplicaciones varía de un país a otro pero la mayoría de ellas está dentro de los siguientes límites:

$$263 \text{ K} \leq T \leq 338 \text{ K}$$

$$0 \text{ Mpa} < p \leq 12 \text{ Mpa}$$

Los métodos anteriormente descritos son válidos para todas las condiciones comprendidas en estos límites.

9.3.2. Cálculo a partir del análisis de la composición molar (método AGA8-92DC)

La ecuación AGA8-92DC puede utilizarse para cualquier gas canalizada del que se disponga el análisis detallado de la composición molar. Los componentes que debería incluir el análisis son: Metano, nitrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, helio, etano, propano, butanos, pentanos, hexanos e hidrocarburos de cadena larga hasta C_{10} (si están presentes en fracciones molares en cantidad superior a 0,00005).

Dentro de los rangos indicados en el apartado **9.3.1**, el valor del factor de compresibilidad calculado de esta forma tendrá la misma consideración (es decir, la misma validez) que el calculado a partir del poder calorífico superior, la densidad relativa y el contenido de dióxido de carbono.

Este método puede utilizarse en todas las aplicaciones en la que la composición está sujeta a determinaciones regulares o continuas.

9.3.3. Cálculo a partir de las propiedades físicas (método SGERG-88)

La ecuación SGERG-88 puede utilizarse para cualquier gas natural canalizado que tenga un poder calorífico superior dentro del rango comprendido entre 30 MJ/m^3 y 45 MJ/m^3 , una densidad relativa comprendida entre 0,55 y 0,80 y con un contenido conocido de dióxido de carbono y de hidrógeno.

Dentro de los rangos indicados en el apartado **9.3.1**, el valor del factor de compresibilidad calculado de esta forma tendrá la misma consideración (es decir, la misma validez) que el calculado a partir del análisis completo de la composición molar.

Este método puede utilizarse en todas las aplicaciones en las que los parámetros H_s y d se determinen regularmente.

9.3.4. Gases manufacturados

Ni el método AGA8-92DC ni el método SGERG-88 están específicamente destinados para ser utilizados con gases manufacturados ya que pueden contener cantidades importantes de compuestos químicos que no existen habitualmente en los gases naturales o compuestos habituales en proporciones atípicas.

No obstante, puede utilizarse cualquiera de los métodos si puede demostrarse que la composición del gas sintético es la más parecida a la de un posible gas natural real, con hidrocarburos superiores al butano (C_4) que desaparecen o decrecen regularmente con incremento del número de carbonos. En el sentido de que estos hidrocarburos superiores a C_4 se consideran ausentes teóricamente, el gas natural licuado puede entrar dentro de esta categoría.

Adicionalmente se puede utilizar el método SGERG-88 con gases naturales que contengan mezcla de gas en coque en cantidad inferior o igual a la concentración límite indicada para el hidrógeno. Sin embargo, este método no puede utilizarse con gas de coque “sin diluir”.

9.3.5. Incertidumbre estimada

Utilizando valores exactos de todas las variables relevantes de partida con ambos métodos se tiene previsto obtener una incertidumbre en la determinación del factor de compresibilidad de $\pm 0,1\%$ para los rangos completos de presión y temperatura indicados en el apartado **9.3.1** para las aplicaciones de transporte y distribución.

La incertidumbre estimada mediante la ecuación AGA8-92DC depende fuertemente tanto de la composición como de las condiciones consideradas. Esta incertidumbre puede ser a veces casi tan baja como en el caso de las aplicaciones de transporte y distribución, pero en condiciones extremas de temperatura o presión aumentará significativamente. Debido a la falta de datos experimentales de alta exactitud, es extremadamente difícil evaluar la incertidumbre.

9.4. Otros gases y otras aplicaciones

9.4.1. Gases “pobres” y “ricos”

Algunos gases naturales existen y se distribuyen con contenidos de hidrocarburos superiores, nitrógeno, dióxido de carbono o etano superiores a los límites para los que puede afirmarse con seguridad la obtención de una incertidumbre de $\pm 0,1\%$. En este contexto, los gases que contienen una fracción molar de nitrógeno superior a 0,15 o de dióxido de carbono superior a 0,05 se denominan “pobres” y los gases que contienen una fracción molar de etano superior a 0,10 o de propano superior a 0,035, se denominan “ricos”.

Los dos métodos antes comentados pueden aplicarse para estos gases “pobres” y “ricos” aunque con algún incremento de la incertidumbre.

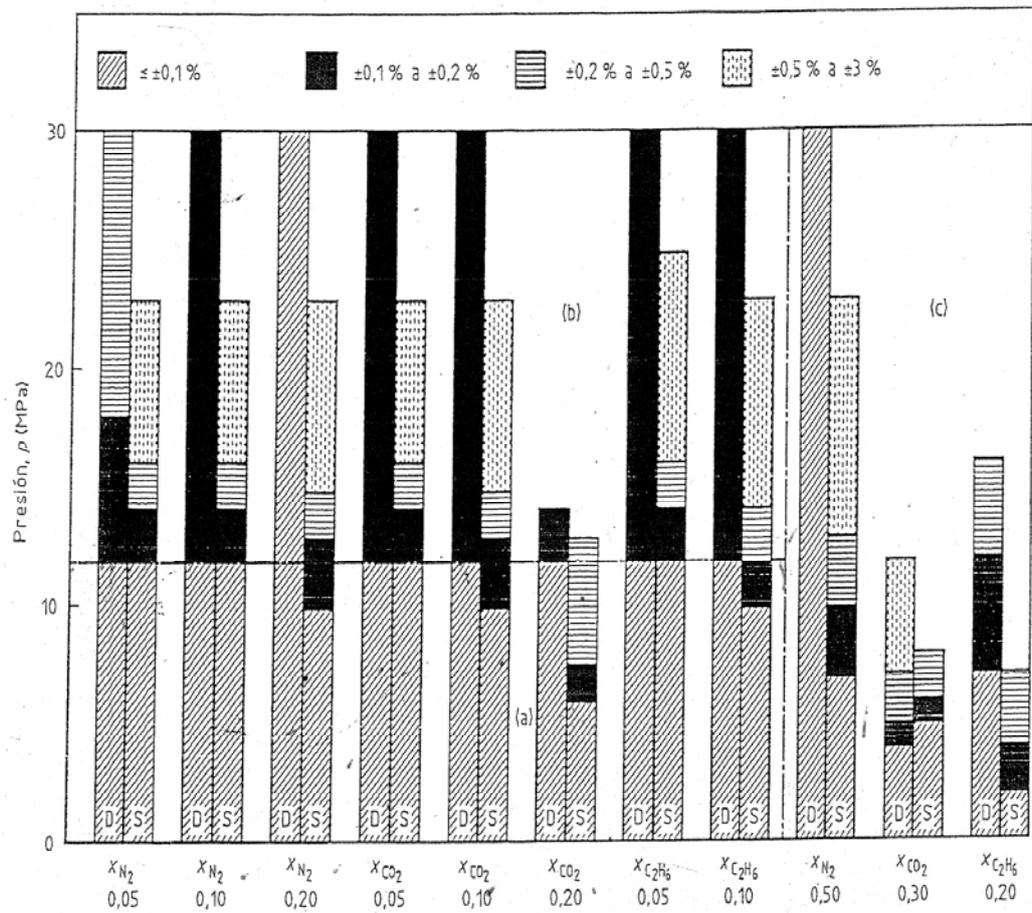
Por ejemplo, puede aplicarse el método SGERG-88 obteniéndose una incertidumbre de $\pm 0,2\%$ para gases naturales que contengan una fracción molar de nitrógeno, dióxido de carbono o etano inferior o igual a 0,50, 0,18 y 0,13 respectivamente a presiones de hasta 10 MPa. A continuación se muestra un gráfico donde la incertidumbre es estimada para cada método como una función de la fracción molar de cada componente, mostrándose para un amplio rango de temperaturas, las superficies de la presión en relación con la fracción molar de nitrógeno, dióxido de carbono, etano y propano respectivamente, con la incertidumbre como parámetro.

9.4.2. Gases “húmedos y “con azufre”

Este tipo de gases comprende todos aquellos que no pueden calificarse como gases naturales canalizados debido únicamente a la inclusión de componentes no deseados. Normalmente estos gases pueden ser gases naturales sin procesar (brutos) o gases naturales parcialmente procesados, y pueden contener, por ejemplo, vapor de agua (gases “húmedos”), ácido sulfhídrico (gases “con azufre”) u oxígeno en cantidades significativamente superiores a las normales, en ocasiones también trazas de sulfuro de carbonilo y vapores, tales como metanol y glicoles.

El método AGA8-92DC es aplicable a cualquiera de estos gases, siempre que los componentes no deseados se limiten al vapor de agua, ácido

sulfhídrico y oxígeno. No obstante, la incertidumbre aumenta considerablemente. El método SGERG 88 no puede aplicarse a estos gases.



- D método de cálculo AGA8-DC92 (parte 2) a partir del análisis de la composición molar
- S método de cálculo SGERG-88 (parte 3) a partir de las propiedades físicas
- (a) Gases naturales canalizados (263 K a 338 K; 0 MPa a 12 MPa)
- (b) Gases naturales canalizados (263 K a 338 K; 12 MPa a 30 MPa)
- (c) Rangos más amplios de composición del gas (263 K a 338 K; 0 MPa a 30 MPa)

Figura 37. Previsión de la incertidumbre en los métodos de cálculo

Fuente: Norma UNE 60560-3

9.5. Cálculo de propiedades relacionadas

Aunque el objeto expreso de este capítulo es el cálculo del factor de compresibilidad, es apropiado destacar que pueden calcularse igualmente otras propiedades de fluidos similares al gas natural mediante los métodos anteriormente descritos. Evidentemente, la densidad molar ρ_m , que simplemente es la inversa del volumen molar V_m (real), puede siempre deducirse a partir de las ecuaciones (1) y (2) una vez conocido $Z(p, T)$. La densidad ρ (masa) puede deducirse igualmente como el producto de ρ_m y el peso molecular M , si se conoce éste último, como es el caso de cualquier fluido caracterizado por el análisis de su composición molar.

Si no se conoce la composición molar, la densidad puede calcularse utilizando los factores de compresibilidad en condiciones de canalización y en condiciones normales junto con la densidad relativa y , conociendo la densidad del aire seco en condiciones normales.

9.6. Cálculo del factor de compresibilidad a partir de las propiedades físicas

9.6.1. Principio

Este método utiliza ecuaciones basadas en el concepto de que el gas natural canalizado puede ser caracterizado, en particular para el cálculo de sus propiedades volumétricas, mediante un conjunto apropiado y característico de propiedades físicas medibles. Estas propiedades, junto con la presión y la temperatura, se utilizan como datos de partida para este método.

El método utiliza las siguientes propiedades físicas: Poder calorífico superior, densidad relativa y contenido de dióxido de carbono. Este método es particularmente útil en las situaciones más comunes donde no se conoce la composición molar completa, pero puede elegirse igualmente por su simplicidad. Para los gases con aditivos sintéticos es necesario conocer el contenido de hidrógeno.

9.6.2 Ecuación SGERG-88

Este método de cálculo se basa en la ecuación de virial GERG 88 (SGERG-88) para gases naturales. Esta ecuación de virial se deduce a partir de la ecuación de virial original maestra GERG 88 (MGERG-88), que es un método de cálculo basado en el análisis de la composición molar.

La ecuación de virial SGERG-88, a partir de la que se calcula el factor de compresibilidad Z , puede expresarse

$$Z = 1 + B \cdot \rho_m + C \cdot \rho_m^2 \quad (4)$$

donde

B y C Son función de los datos de partida (poder calorífico superior H_s , densidad relativa d , contenido en inertes, combustibles que no son hidrocarburos (CO_2 e H_2) y temperatura T).

ρ_m Densidad molar expresada por

$$\rho_m = p / (ZRT) \quad (5)$$

donde

$$Z = f_1(p, T, H_s, d, x_{CO_2}, x_{H_2}) \quad (6)$$

No obstante, el método SGERG-88 considera internamente al gas natural como una mezcla de cinco componentes consistente en: Un hidrocarburo equivalente (con las mismas propiedades termodinámicas que la suma de los hidrocarburos presentes), nitrógeno, dióxido de carbono, hidrógeno y monóxido de carbono. Para caracterizar apropiadamente las propiedades termodinámicas del gas, se necesita conocer el poder calorífico del hidrocarburo equivalente H_{CH} . Por consiguiente, el cálculo de Z es función de:

$$Z = f_2(p, T, H_{CH}, x_{CH}, x_{N_2}, x_{CO_2}, x_{H_2}, x_{CO}) \quad (7)$$

Con el fin de poder simular las mezclas de gas de horno de coque, la fracción molar de monóxido de carbono se supone que tiene una relación fija con respecto al contenido de hidrógeno. Si no está presente el hidrógeno ($x_{H_2} < 0,001$), entonces $x_{H_2} = 0$. La mezcla de gas natural se considera entonces, en el método de cálculo, como una mezcla de tres componentes.

El cálculo se realiza en tres etapas:

En primer lugar, puede hallarse a partir de los datos de partida mediante un procedimiento iterativo descrito detalladamente en el punto **9.11.** del Anexo de Cálculos, la composición de cinco componentes a partir de los que pueden calcularse satisfactoriamente el poder calorífico conocido y la densidad relativa conocida.

En segundo lugar, una vez que se conoce esta composición, B y C pueden hallarse utilizando las relaciones indicadas igualmente en el punto **9.11.** del Anexo de Cálculos.

En la tercera etapa, se resuelven simultáneamente las ecuaciones **(4)** y **(5)** para ρ_m y Z mediante un método numérico apropiado.

En la **figura 39** se representa un diagrama de flujo del procedimiento para el cálculo de Z a partir de los datos de partida.

9.7. Variables de partida

Las variables de partida requeridas para utilizar la ecuación SGERG-88 son la presión y la temperatura absolutas, el poder calorífico superior (en base volumétrica), la densidad relativa y los contenidos de dióxido de carbono y de hidrógeno. Por tanto, las propiedades físicas utilizadas como datos de partida son:

H_s, d, x_{CO2} y x_{H2}

La densidad relativa se expresa en condiciones normales (101,325 kPa y 0 °C) y el poder calorífico superior se expresa igualmente en condiciones normales (101,325 kPa y 0 °C) y a la temperatura de combustión 25 °C.

9.8. Rangos de aplicación

A continuación se definen los rangos de aplicación para los gases canalizados:

Presión absoluta

$$0 \text{ MPa} \leq p \leq 12 \text{ MPa}$$

Temperatura absoluta	$263 \text{ K} \leq T \leq 338 \text{ K}$
Fracción molar de dióxido de carbono	$0 \leq x_{\text{CO}_2} \leq 0,20$
Fracción molar de hidrógeno	$0 \leq x_{\text{H}_2} \leq 0,10$
Poder calorífico superior	$30 \text{ MJ/m}^3 \leq H_s \leq 45 \text{ MJ/m}^3$
Densidad relativa	$0,55 \leq d \leq 0,80$

Las fracciones molares de otros componentes del gas natural no se requieren como datos de partida. No obstante estas fracciones molares deberán estar comprendidas dentro de los siguientes rangos:

Metano	$0,7 \leq x_{\text{CH}_4} \leq 1,0$
Nitrógeno	$0 \leq x_{\text{N}_2} \leq 0,20$
Etano	$0 \leq x_{\text{C}_2\text{H}_6} \leq 0,10$
Propano	$0 \leq x_{\text{C}_3\text{H}_8} \leq 0,035$
Butanos	$0 \leq x_{\text{C}_4\text{H}_{10}} \leq 0,015$
Pentanos	$0 \leq x_{\text{C}_5\text{H}_{12}} \leq 0,005$
Hexanos	$0 \leq x_{\text{C}_6} \leq 0,001$
Heptanos	$0 \leq x_{\text{C}_7} \leq 0,0005$
Octanos más hidrocarburos superiores	$0 \leq x_{\text{C}_8} \leq 0,0005$
Monóxido de carbono	$0 \leq x_{\text{CO}} \leq 0,03$

Helio $0 \leq x_{\text{He}} \leq 0,005$

Agua $0 \leq x_{\text{H}_2\text{O}} \leq 0,00015$

El método se aplica únicamente a las mezclas en estado monofásico gaseoso (por encima del punto de rocío), en las condiciones de temperatura y de presión consideradas. Para los gases canalizados, el método es aplicable para rangos de más amplios de temperatura y de presión pero la incertidumbre se incrementa (véase **figura 37**). En la aplicación informática, el límite inferior de temperatura se establece en 250 K.

9.9 Rangos más amplios de aplicación

Los rangos de aplicación estudiados fuera de los límites indicados en el apartado **9.8** del Anexo de Cálculos, son:

Presión absoluta $0 \text{ MPa} \leq p \leq 12 \text{ MPa}$

Temperatura absoluta $263 \text{ K} \leq T \leq 338 \text{ K}$

Fracción molar de dióxido de carbono $0 \leq x_{\text{CO}_2} \leq 0,30$

Fracción molar de hidrógeno $0 \leq x_{\text{H}_2} \leq 0,10$

Poder calorífico superior $20 \text{ MJ/m}^3 \leq H_s \leq 48 \text{ MJ/m}^3$

Densidad relativa $0,55 \leq d \leq 0,90$

Las fracciones molares admisibles de los principales componentes del gas natural estarán comprendidas en los siguientes rangos:

Metano	$0,5 \leq x_{\text{CH}_4} \leq 1,0$
Nitrógeno	$0 \leq x_{\text{N}_2} \leq 0,50$
Etano	$0 \leq x_{\text{C}_2\text{H}_6} \leq 0,20$
Propano	$0 \leq x_{\text{C}_3\text{H}_8} \leq 0,05$

Los límites para los componentes minoritarios del gas natural son los indicados en el apartado **9.8 del Anexo de Cálculos**, en el caso del gas canalizado.

El método no es de aplicación fuera de estos rangos. La aplicación informática descrita en el punto **9.11. del Anexo de Cálculos** del no permitirá transgredir los límites de composición aquí establecidos.

9.10. Incertidumbre

9.10.1. Incertidumbre para el gas canalizado

La incertidumbre en la determinación del factor de compresibilidad ΔZ (para el rango de temperatura de 263 K a 338 K) es $\pm 0,1\%$ hasta 10 MPa, y $\pm 0,2\%$ entre 10 MPa y 12 MPa para los gases naturales con las siguientes características (véase la figura 36):

$$x_{\text{N}_2} \leq 0,20, x_{\text{CO}_2} \leq 0,09, x_{\text{C}_2\text{H}_6} \leq 0,10, \text{ y para } 30 \text{ MJ/m}^3 \leq H_s \leq 45 \text{ MJ/m}^3 \text{ y } 0,55 \leq d \leq 0,80$$

Para los gases con un contenido de CO_2 superior a 0,09, la incertidumbre de $\pm 0,1\%$ se mantiene para presiones inferiores o iguales a 6 MPa y para temperaturas entre 263 K y 338 K.

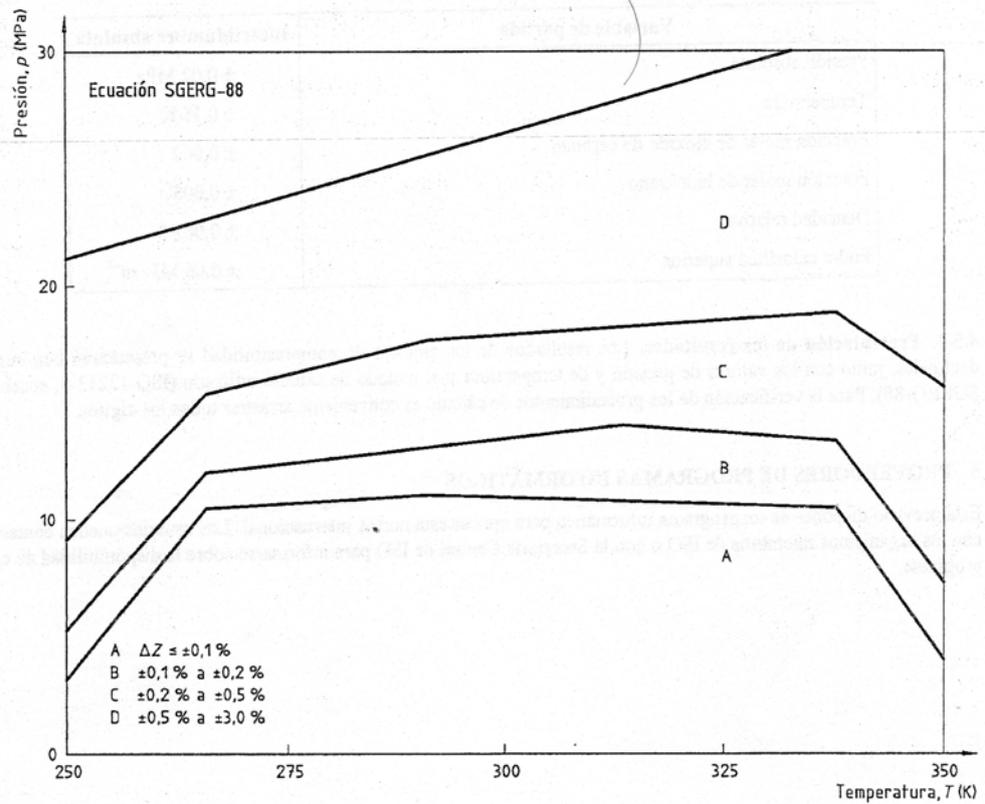


Figura 37. Límites de incertidumbre en el cálculos del factor de compresibilidad

Fuente: Norma UNE 60560-3

9.10.2. Incertidumbre para rangos más amplios de aplicación

La incertidumbre estimada para el cálculo de factor de compresibilidad fuera de los límites indicados en el apartado 9.8. del Anexo de Cálculos, se especifica en el punto 9.12.7. del Anexo de Cálculos.

9.10.3.Efecto de la incertidumbre de las variables de partida

En la **tabla 37** se citan los valores típicos de la incertidumbre de las principales variables de partida. Estos valores pueden alcanzarse en condiciones óptimas de operación.

Únicamente como directriz general, un análisis de propagación del error utilizando las incertidumbres de las variables de partida genera una incertidumbre adicional de aproximadamente $\pm 0,1\%$ en el resultado a 6 MPa y dentro del rango de temperatura de 263 K a 338 K. Por encima de 6 MPa, las incertidumbres adicionales son superiores y aumentan aproximadamente en proporción directa a la presión.

Variable de partida	Incertidumbre absoluta
Presión absoluta	$\pm 0,02$ MPa
Temperatura	$\pm 0,15$ K
Fracción molar de dióxido de carbono	$\pm 0,002$
Fracción molar de hidrógeno	$\pm 0,005$
Densidad relativa	$\pm 0,0013$
Poder calorífico	$\pm 0,06$ MJ/m³

Tabla 37. Incertidumbre de las variables de partida

Fuente: Norma UNE 60560-3

9.10.4. Presentación de los resultados

Los resultados de los factores de compresibilidad se presentarán con cuatro decimales, junto con los valores de presión y de temperatura y el método de cálculo utilizado (ISO 12213-3, ecuación SGERG-88). Para la verificación de los procedimientos de cálculo es conveniente arrastrar todos los dígitos.

Símbolo	Significado	Unidad
b_{H0}	Término de orden cero (constante) en el desarrollo de B_{11} en función del poder calorífico molar (H_{CH}) [ecuación (B.20)]	$m^3 \cdot kmol^{-1}$
b_{H1}	Término de primer orden (lineal) en el desarrollo de B_{11} en función del poder calorífico molar (H_{CH}) [ecuación (B.20)]	$m^3 \cdot MJ^{-1}$
b_{H2}	Término de segundo orden (cuadrático) en el desarrollo de B_{11} en función del poder calorífico molar (H_{CH}) [ecuación (B.20)]	$m^3 \cdot kmol \cdot MJ^{-2}$
$b_{H0(0)}$ $b_{H0(1)}$ $b_{H0(2)}$	Términos en el desarrollo de b_{H0} en función de la temperatura [ecuación (B.21)]	$m^3 \cdot kmol^{-1}$
		$m^3 \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-1}$
		$m^3 \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-2}$
$b_{H1(0)}$ $b_{H1(1)}$ $b_{H1(2)}$	Términos en el desarrollo de b_{H1} en función de la temperatura [ecuación (B.21)]	$m^3 \cdot MJ^{-1}$
		$m^3 \cdot MJ^{-1} \cdot K^{-1}$
		$m^3 \cdot MJ^{-1} \cdot K^{-2}$
$b_{H2(0)}$ $b_{H2(1)}$ $b_{H2(2)}$	Términos en el desarrollo de b_{H2} en función de la temperatura [ecuación (B.21)]	$m^3 \cdot kmol \cdot MJ^{-2}$
		$m^3 \cdot kmol \cdot MJ^{-2} \cdot K^{-1}$
		$m^3 \cdot kmol \cdot MJ^{-2} \cdot K^{-2}$
$b_{ij(0)}$ $b_{ij(1)}$ $b_{ij(2)}$	Términos en el desarrollo de b_{ij} en función de la temperatura [ecuación (B.22)]	$m^3 \cdot kmol^{-1}$
		$m^3 \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-1}$
		$m^3 \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-2}$
B	Segundo coeficiente de virial [ecuación (1)]	$m^3 \cdot kmol^{-1}$
B_{ij}	Segundo coeficiente de virial de interacción binaria entre el componente i y el componente j [ecuación (B.22)]	$m^3 \cdot kmol^{-1}$
c_{H0}	Término de orden cero (constante) en el desarrollo de C_{111} en función del poder calorífico molar (H_{CH}) [ecuación (B.29)]	$m^6 \cdot kmol^{-2}$
c_{H1}	Término de primer orden (lineal) en el desarrollo de C_{111} en función del poder calorífico molar (H_{CH}) [ecuación (B.29)]	$m^6 \cdot kmol^{-1} \cdot MJ^{-1}$
c_{H2}	Término de segundo orden (cuadrático) en el desarrollo de C_{111} en función del poder calorífico molar (H_{CH}) [ecuación (B.29)]	$m^6 \cdot MJ^{-2}$
$c_{H0(0)}$ $c_{H0(1)}$ $c_{H0(2)}$	Términos en el desarrollo de c_{H0} en función de la temperatura [ecuación (B.30)]	$m^6 \cdot kmol^{-2}$
		$m^6 \cdot kmol^{-2} \cdot K^{-1}$
		$m^6 \cdot kmol^{-2} \cdot K^{-2}$
$c_{H1(0)}$ $c_{H1(1)}$ $c_{H1(2)}$	Términos en el desarrollo de c_{H1} en función de la temperatura [ecuación (B.30)]	$m^6 \cdot kmol^{-1} \cdot MJ^{-1}$
		$m^6 \cdot kmol^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot K^{-1}$
		$m^6 \cdot kmol^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot K^{-2}$
$c_{H2(0)}$ $c_{H2(1)}$ $c_{H2(2)}$	Términos en el desarrollo de c_{H2} en función de la temperatura [ecuación (B.30)]	$m^6 \cdot MJ^{-2}$
		$m^6 \cdot MJ^{-2} \cdot K^{-1}$
		$m^6 \cdot MJ^{-2} \cdot K^{-2}$
$c_{ijk(0)}$ $c_{ijk(1)}$ $c_{ijk(2)}$	Términos en el desarrollo de c_{ij} en función de la temperatura [ecuación (B.31)]	$m^6 \cdot kmol^{-2}$
		$m^6 \cdot kmol^{-2} \cdot K^{-1}$
		$m^6 \cdot kmol^{-2} \cdot K^{-2}$
C	Tercer coeficiente de virial [ecuación (1)]	$m^6 \cdot kmol^{-2}$

Figura 38. Símbolos y unidades utilizados

Fuente : Norma UNE 60560-3

9.11. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO SGERG-88

Se utilizará un programa informático, que será instalado en el corrector, para el cálculo del factor de compresibilidad con el método SGERG a partir de los datos de partida (p , T , H_s , x_{CO_2} y x_{H_2})

Solo se describe este método con detalle porque la ecuación AGA98-2DC no se utiliza para el cálculo del factor de compresibilidad en el corrector de la instalación objeto de este proyecto, habiendo sido descrita en los anteriores apartados brevemente y sin necesidad de entrar en mas detalles sobre la misma en los puntos posteriores.

En este anexo se indican las ecuaciones y los valores numéricos de los coeficientes que especifican, completamente el método SGERG para el cálculo de los factores de compresibilidad.

Describe igualmente los procedimientos de iteración adoptados para la aplicación del método, en la subrutina Fortran 77 SGERG.FOR. Esta subrutina proporciona la solución correcta; se admiten otros procedimientos informáticos siempre que se pueda demostrar que genera idénticos resultados numéricos. Los resultados calculados deberán coincidir al menos en el cuarto decimal con los ejemplos incluidos en el punto **9.12.6.** del Anexo de Cálculos.

Otras aplicaciones conocidas con las que se obtienen resultados idénticos, son las siguientes:

- a) Una versión en BASIC, descrita en “GERG TM5”, que puede utilizarse con una variedad de condiciones métricas de referencia. Este programa fue diseñado principalmente para aplicaciones en PC.
- b) Una versión en C, descrita en “German DVGW Directives, sheet G486”.
- c) Una versión en Turbo Pascal.

Todos estos programas han sido verificados obteniéndose el mismo resultado, sin diferir (en términos absolutos) en un valor mayor de 10^{-5} .

9.11.1. Estructura básica del método de cálculo

Como se describe en el apartado 9.6.2. del Anexo de Cálculos, el cálculo se desarrolla en tres etapas, que se representan esquemáticamente en la **figura 39**.

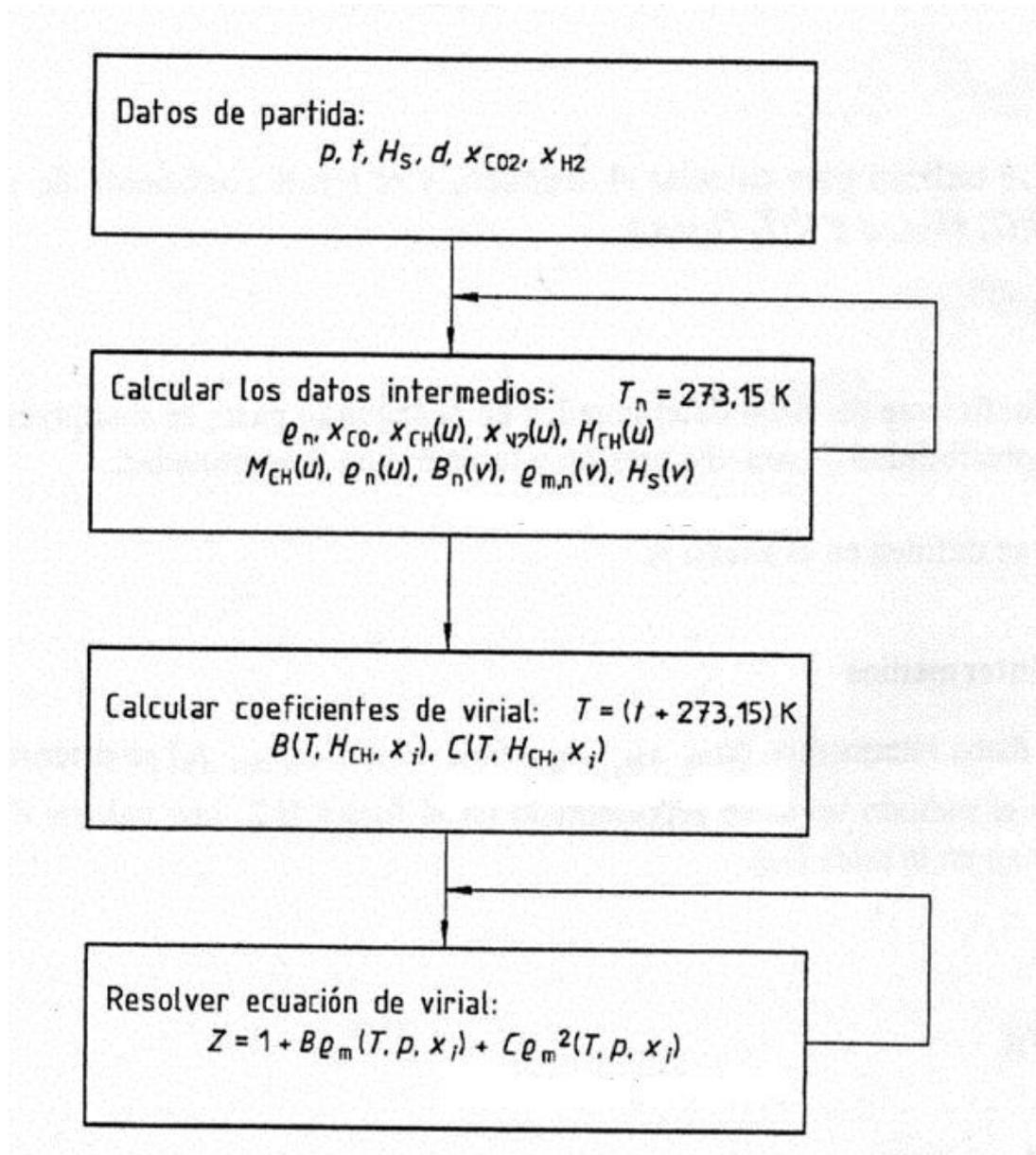


Figura 39. Diagrama de flujo para el método de cálculo normalizado GERG-88 (x_i = fracción molar del componente i)

Fuente: Norma UNE 60560-3

A continuación se describe el cálculo en el orden en el que se desarrollan las tres etapas.

Paso I

Los datos de partida son presión, temperatura, poder calorífico superior, densidad relativa y las fracciones molares de dióxido de carbono y de hidrógeno. Si los valores de los tres primeros parámetros no se encuentran en bar, °C y MJ/m³, se convertirán estas unidades utilizando los factores de conversión correspondientes.

Los datos de partida se utilizan para calcular los siguientes datos intermedios:

Fracción molar de:

Hidrocarburo equivalente	X_{CH}
Nitrógeno	X_{N_2}
Monóxido de carbono	X_{CO}
Poder calorífico molar del hidrocarburo equivalente	H_{CH}
Masa molar del hidrocarburo equivalente	M_{CH}
Segundo coeficiente del virial ($T_n = 273,15$ K)	B_n
Densidad molar en condiciones normales	$\rho_{m,n}$
Densidad en condiciones normales	ρ_n
Poder calorífico superior del gas	H_S

En las ecuaciones (B.1) a (B.46) cada símbolo representa una magnitud física dividida por su unidad elegida tal que su cociente es el valor adimensional de la cantidad.

Paso II

Los datos intermedios se utilizan para calcular el segundo, el tercer coeficiente de virial para el gas natural a la temperatura requerida, $B(T, H_{CH}, x_i)$ y $C(T, H_{CH}, x_i)$.

Paso III

El segundo y el tercer coeficiente de virial determinados en el segundo paso, se sustituyen en la ecuación de virial y se calcula el factor de compresibilidad Z para una presión y temperatura determinadas.

Los símbolos utilizados se definen en la **figura 38**.

9.11.2.Cálculo de datos intermedios

Los ocho valores de los datos intermedios (x_{CH} , x_{N_2} , x_{CO} , H_{CH} , M_{CH} , B_n , $\rho_{m,n}$, ρ_n) se determinan a partir de las ecuaciones (B.1) a (B.8) utilizando el método iterativo representado en la **figura 40**. Los valores de las constantes utilizadas en estas ecuaciones se indican en la **tabla 38**.

$$\rho_n = d\rho_n(\text{aire}) \quad (\text{B.1})$$

$$x_{CO} = 0,0964x_{H_2} \quad (\text{B.2})$$

$$V_{m,n}(\text{id}) = RT_n / p_n \quad (\text{B.3})$$

$$\rho_{m,n}(v) = [V_{m,n}(id) + B_n(v)]^{-1} \quad (B.4)$$

$$M_{CH}(u) = -2,709328 + 0,021062199H_{CH}(u - 1) \quad (B.5)$$

$$x_{CH}(u) = [H_S / (H_{CH}(u - 1)\rho_{m,n}(v)) - [(x_{H_2}H_{H_2} + x_{CO}H_{CO}) / H_{CH}(u - 1)]] \quad (B.6)$$

$$x_{N_2}(u) = 1 - x_{CH}(u) - x_{CO_2} - x_{H_2} - x_{CO} \quad (B.7)$$

$$\rho_n(u) = [x_{CH}(u)M_{CH}(u) + x_{N_2}(u)M_{N_2}] \rho_{m,n}(v) + (x_{CO_2}M_{CO_2} + x_{H_2}M_{H_2} + x_{CO}M_{CO}) \rho_{m,n}(v) \quad (B.8)$$

H_{H_2}	= 285,83	MJ/Kmol
H_{CO}	= 282,98	MJ/Kmol
M_{H_2}	= 28,0135	Kg/Kmol
M_{CO_2}	= 44,010	Kg/Kmol
M_{H_2}	= 2,0159	Kg/Kmol
M_{CO}	= 28,010	Kg/Kmol
R	= 0,0831451	$m^3 \cdot bar / Kmol \cdot K$
$V_{m,n}(id)$	= 22,414097	$m^3 / Kmol$
$\rho_n(aire)$	= 1,292923	Kg / m^3

Tabla 38. Valores de las constantes utilizadas en la ecuaciones (de acuerdo con los valores de las masas molares y de los poderes caloríficos molares de la ISO 6976:1975)

Fuente: Norma UNE 60560-3

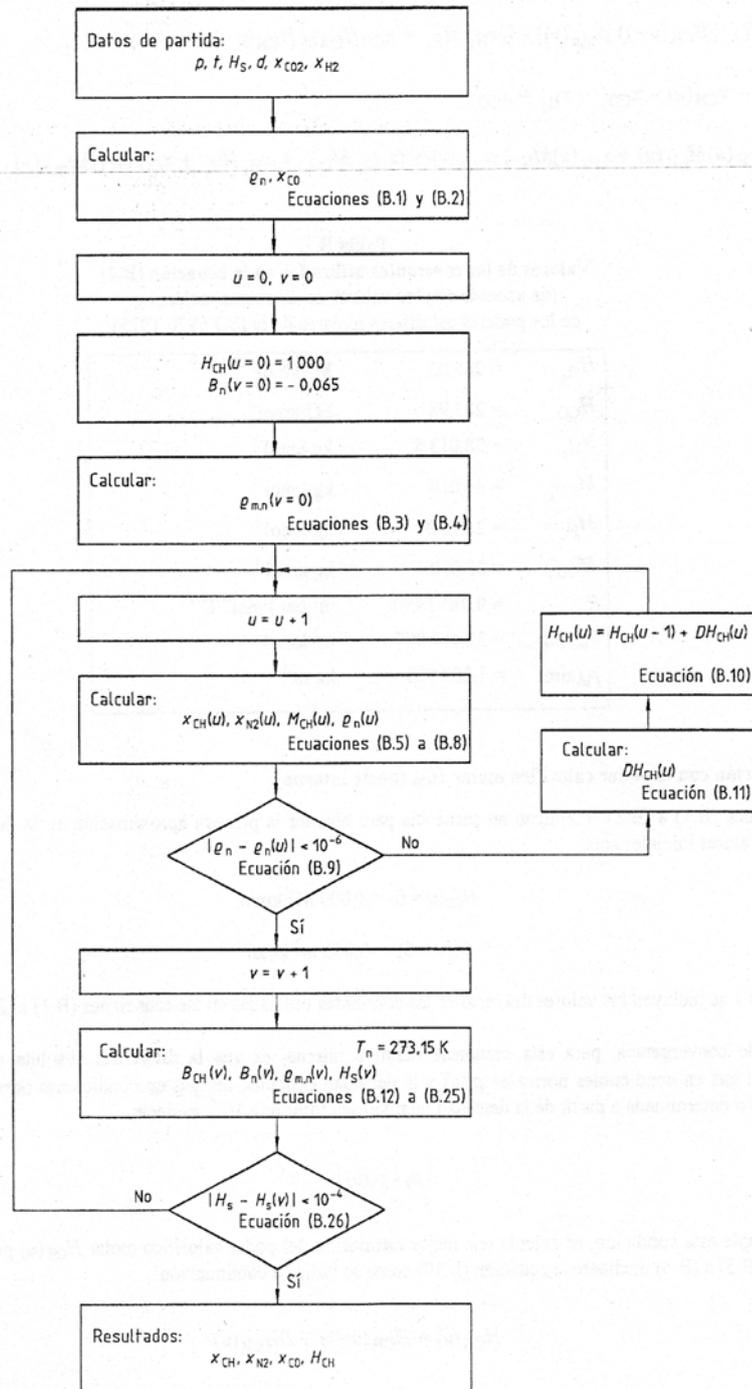


Figura 41. Diagrama de flujo para el cálculo de los datos intermedios mediante iteración

Fuente: Norma UNE 60560-3

9.11.2.1. Iteración con el poder calorífico molar H_{CH} (bucle interno)

Las ecuaciones (B.1) a (B.8) se aplican en secuencia para obtener la primera aproximación en la fase de iteración u -ésima. Los valores iniciales son:

$$H_{CH}(u = 0) = 1000 \text{ MJ/mol}$$

$$B_n(v = 0) = -0,065 \text{ m}^3/\text{Kmol}$$

En la **tabla 38** se incluyen los valores del resto de las constantes utilizadas en las ecuaciones (B.1) a (B.8).

El criterio de convergencia, para esta secuencia iterativa interna, es que la diferencia absoluta entre la densidad calculada del gas en condiciones normales $\rho_n(u)$ y la densidad conocida del gas en condiciones normales ρ_n (medida directamente o determinada a partir de la densidad relativa) sea inferior a 10^{-6} , es decir,

$$|\rho_n - \rho_n(u)| < 10^{-6} \quad (\text{B.9})$$

Si no se cumple esta condición, se calcula una mejor estimación del poder calorífico molar $H_{CH}(u)$ para utilizar en las ecuaciones (B.5) a (B.8) mediante la ecuación (B.10) como se indica a continuación:

$$H_{CH}(u) = H_{CH}(u - 1) + DH_{CH}(u) \quad (\text{B.10})$$

donde

$$DH_{CH}(u) = [\rho_n - \rho_n(u)][\rho(D) - \rho_n(u)]^{-1}$$

$\rho_n(u)$ Valor de la densidad para el paso de iteración en curso [comenzando con $H_{CH}(u - 1)$];

$\rho(D)$ Densidad determinada mediante las ecuaciones (B.4) a (B.8) utilizando [$H_{CH}(u - 1) + 1$] como valor de entrada para el poder calorífico molar.

Cuando la parte izquierda de la ecuación (B.9) es inferior a 10^{-6} , termina esta secuencia iterativa y comienza la iteración con el segundo coeficiente de virial.

9.11.2.2. Iteración con el segundo coeficiente de virial B_n (bucle externo)

Los valores intermedios $x_{CH}(u)$, $x_{N_2}(u)$, x_{CO} y $H_{CH}(u)$ a partir de la iteración precedente y los datos de entrada x_{CO_2} y x_{H_2} se utilizan para determinar la mejor estimación del segundo coeficiente de virial $B_n(v)$ para el gas en condiciones normales.

El segundo coeficiente de virial del gas natural está expresado por la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} B(T) = & x_1^2 B_{11} + 2x_1 x_2 B_{12} + 2x_1 x_3 B_{13} + 2x_1 x_4 B_{14} + 2x_1 x_5 B_{15} + x_2^2 B_{22} + \\ & 2x_2 x_3 B_{23} + 2x_2 x_4 B_{24} + x_3^2 B_{33} + x_4^2 B_{44} + x_5^2 B_{55} \end{aligned} \quad (B.12)$$

Se ha demostrado que algunos de los términos que no figuran en la ecuación (B.12), es decir, B_{25} , B_{34} , etc, no han mejorado la exactitud del cálculo si se incluyen y por tanto se consideran iguales a cero.

$$\mathbf{B}_n(\mathbf{v}) = \mathbf{B}(T_n) \quad (\text{B.13})$$

donde

$$T = T_n = 273,15 \text{ K} \quad (\text{B.14})$$

$$x_1 = x_{\text{CH}}(\mathbf{u}) \quad (\text{B.15})$$

$$x_2 = x_{\text{N}_2}(\mathbf{u}) \quad (\text{B.16})$$

$$x_3 = x_{\text{CO}_2} \quad (\text{B.17})$$

$$x_4 = x_{\text{H}_2} \quad (\text{B.18})$$

$$x_5 = x_{\text{CO}} \quad (\text{B.19})$$

$$\mathbf{B}_{11} = \mathbf{b}_{\text{H}_0} + \mathbf{b}_{\text{H}_1} \mathbf{H}_{\text{CH}}(\mathbf{u}) + \mathbf{b}_{\text{H}_2} \mathbf{H}_{\text{CH}}^2(\mathbf{u}) \quad (\text{B.20})$$

Donde los coeficientes \mathbf{b}_{H_0} , \mathbf{b}_{H_1} y \mathbf{b}_{H_2} son polinomios de segundo grado en función de la temperatura

$$\begin{aligned} \mathbf{B}_{11} = & \mathbf{b}_{\text{H}_0}(0) + \mathbf{b}_{\text{H}_0}(1)T + \mathbf{b}_{\text{H}_0}(2)T^2 + [\mathbf{b}_{\text{H}_1}(0) + \mathbf{b}_{\text{H}_1}(1)T + \\ & \mathbf{b}_{\text{H}_1}(2)T^2] \mathbf{H}_{\text{CH}}(\mathbf{u}) + [\mathbf{b}_{\text{H}_2}(0) + \mathbf{b}_{\text{H}_2}(1)T + \mathbf{b}_{\text{H}_2}(2)T^2] \mathbf{H}_{\text{CH}}^2(\mathbf{u}) \end{aligned} \quad (\text{B.21})$$

y los segundos coeficientes de virial \mathbf{B}_{14} , \mathbf{B}_{15} , \mathbf{B}_{22} , \mathbf{B}_{23} , \mathbf{B}_{24} , \mathbf{B}_{33} , \mathbf{B}_{34} , \mathbf{B}_{44} y \mathbf{B}_{55} son también polinomios de segundo grado en función de la temperatura, en la forma general

$$\mathbf{B}_{ij} = \mathbf{b}_{ij}(0) + \mathbf{b}_{ij}(1)T + \mathbf{b}_{ij}(2)T^2 \quad (\text{B.22})$$

Los coeficientes de virial de interacción entre componentes diferentes B_{12} y B_{13} se expresan por

$$B_{12} = [0,72 + 1,875 \times 10^{-5}(320 - T)^2](B_{11} + B_{22}) / 2 \quad (\text{B.23})$$

$$B_{13} = -0,865(B_{11}B_{33})^{1/2} \quad (\text{B.24})$$

Los coeficientes de las ecuaciones (B.21) a (B.24) se indican en **la tabla 39**.

	ij	b(0)	b(1)	b(2)
CH	H0	$-4,25468 \times 10^{-1}$	$-2,86500 \times 10^{-3}$	$-4,62073 \times 10^{-6}$
CH	H1	$8,77118 \times 10^{-4}$	$-5,56281 \times 10^{-6}$	$8,81510 \times 10^{-9}$
CH	H2	$-8,24747 \times 10^{-7}$	$4,31436 \times 10^{-9}$	$-6,08319 \times 10^{-12}$
N₂	22	$-1,44600 \times 10^{-1}$	$7,40910 \times 10^{-4}$	$-9,11950 \times 10^{-7}$
CO₂	33	$-8,68340 \times 10^{-1}$	$4,03760 \times 10^{-3}$	$-5,16570 \times 10^{-6}$
H₂	44	$-1,10596 \times 10^{-3}$	$8,13385 \times 10^{-5}$	$-9,87220 \times 10^{-8}$
CO	55	$-1,30820 \times 10^{-1}$	$6,02540 \times 10^{-4}$	$-6,44300 \times 10^{-7}$
CH + N₂	12	$y = 0,72 + 1,875 \times 10^{-5} (320 - T)^2$		
CH + CO₂	13	$y = -0,865$		
CH + H₂	14	$-5,21280 \times 10^{-2}$	$2,71570 \times 10^{-4}$	$-2,50000 \times 10^{-7}$
CH + CO	15	$-6,87290 \times 10^{-2}$	$-2,39381 \times 10^{-6}$	$5,18195 \times 10^{-7}$
N₂ + CO₂	23	$-3,39693 \times 10^{-1}$	$1,61176 \times 10^{-3}$	$-2,04429 \times 10^{-6}$
N₂ + H₂	24	$1,20000 \times 10^{-2}$	0,00000	0,00000

Tabla 39. Valores numéricos de los coeficientes $b(0)$, $b(1)$ y $b(2)$ en el desarrollo en la temperatura del segundo coeficiente de virial para los gases puros y de los coeficientes de virial de interacción entre componentes diferentes.

(Las unidades de B son $m^3/Kmol$ cuando la temperatura esta en Kelvin)

Fuente: Norma UNE 60560-3

El valor obtenido de $B_n(v)$, a partir de la ecuación **(B.13)**, se utiliza para calcular la aproximación v -ésima de $\rho_{m,n}$ mediante la ecuación **(B.4)**.

La ecuación **(B.6)** se aplica en sentido inverso al utilizado anteriormente, para obtener el valor de $H_S(v)$, es decir

$$H_S(v) = [x_1(u)H_{CH}(u - 1) + x_4H_4 + x_5H_5]\rho_{m,n}(v) \quad \text{(B.25)}$$

Donde H_4 ($= H_{H_2}$) y H_5 ($= H_{CO}$) son los valores del poder calorífico molar a 298,15 K del hidrógeno y del monóxido de carbono respectivamente. El criterio de convergencia para el bucle externo (contador de iteración v) es que la diferencia absoluta entre el valor medido del poder calorífico superior H_S y el poder calorífico calculado $H_S(v)$ sea inferior a 10^{-4} , es decir,

$$|H_S - H_S(v)| < 10^{-4} \quad \text{(B.26)}$$

Si no se cumple este criterio, se utiliza el valor obtenido de $B_n(v)$ a partir de la ecuación **(B.13)** como nuevo valor de partida para la ecuación **(B.4)** y se reinicia todo el procedimiento de iteración, es decir, el bucle interno

(contador de iteración u) a partir de la ecuación **(B.5)**, utilizando los valores actuales de $H_{CH}(u-1)$ y $\rho_{m,n}(v)$.

Cuando se cumplen simultáneamente ambos criterios de convergencia **(B.9)** y **(B.26)** se habrán determinado los datos intermedios finales de las fracciones molares x_{CH} y x_{N_2} y del valor del poder calorífico molar H_{CH} .

9.11.3.Cálculo de los coeficientes de virial

El segundo y tercer coeficiente de virial $B(T)$ y $C(T)$ del gas natural se determinan ahora a partir de las fracciones molares x_{CO_2} y x_{H_2} (datos de entrada), de x_{CH} , x_{N_2} y x_{CO} (datos intermedios) y del valor del poder calorífico molar H_{CH} (véanse las **figuras 41 y 42**).

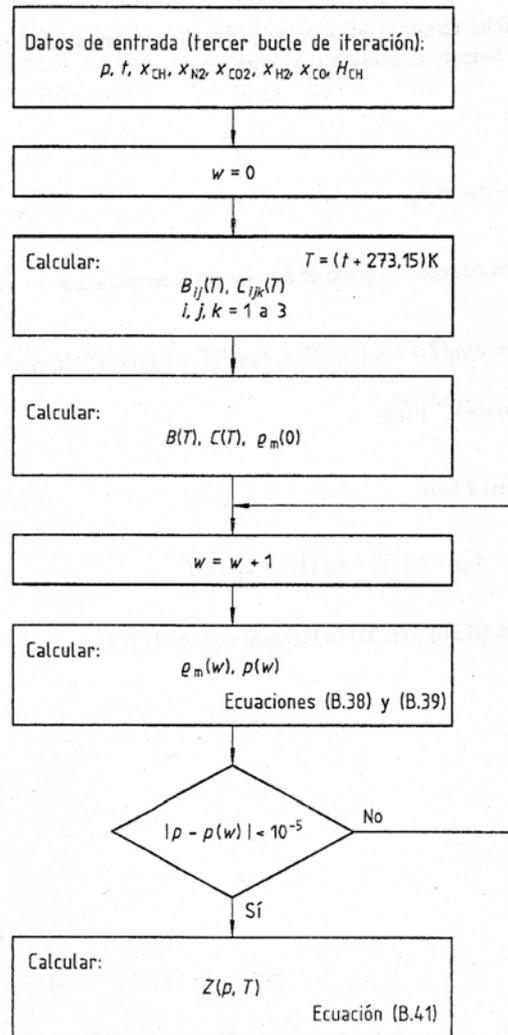


Figura 42. Diagrama de flujo para el cálculo del factor de compresibilidad

Fuente: Norma UNE 60560-3

9.11.3.1.Cálculo de B(T)

El segundo coeficiente de virial B(T) se calcula a partir de la ecuación (B.12) mediante el procedimiento, descrito en el apartado 9.11.2.2. del Anexo de Cálculos, para una temperatura:

$$T = t + 273,15 \quad (\text{B.27})$$

9.11.3.2.Cálculo de C(T)

El tercer coeficiente de virial para el gas natural a una temperatura T se determina utilizando la ecuación:

$$\begin{aligned} C(T) = & x_1^3 C_{111} + 3x_1^2 x_2 C_{112} + 3x_1^2 x_3 C_{113} + 3x_1^2 x_4 C_{114} + 3x_1^2 x_5 C_{115} + \\ & 3x_1 x_2^2 C_{122} + 6x_1 x_2 x_3 C_{123} + 3x_1 x_3^2 C_{133} + x_2^3 C_{222} + 3x_2^2 x_3 C_{223} + \\ & 3x_2 x_3^2 C_{233} + x_3^3 C_{333} + x_4^3 C_{444} \end{aligned} \quad (\text{B.28})$$

Se ha demostrado que los posibles términos adicionales que no figuran en la ecuación (B.28) no mejoran la exactitud del cálculo si se incluyen y por lo tanto se consideran iguales a cero.

Además en la ecuación (B.28):

$$C_{111} = c_{H0} + c_{H1}H_{CH} + c_{H2}H_{CH}^2 \quad (\text{B.29})$$

Siendo, c_{H0} , c_{H1} , y c_{H2} polinomios de segundo grado en función de la temperatura:

$$\begin{aligned} C_{111} = & c_{H0}(0) + c_{H0}(1)T + c_{H0}(2)T^2 + [c_{H1}(0) + c_{H1}(1)T + c_{H1}(2)T^2]H_{CH} + \\ & [c_{H2}(0) + c_{H2}(1)T + c_{H2}(2)T^2]H_{CH}^2 \end{aligned} \quad (\text{B.30})$$

así como C_{222} , C_{333} , C_{444} , C_{115} , C_{223} y C_{233} :

$$C_{ijk} = c_{ijk}(0) + c_{ijk}(1)T + c_{ijk}(2)T^2 \quad (\text{B.31})$$

Los coeficientes de las ecuaciones (B.30) y (B.31) se incluyen en la **tabla 40**

	ijk	c(0)	c(1)	c(2)
CH	H0	$-3,02488 \times 10^{-1}$	$1,95861 \times 10^{-3}$	$-3,16302 \times 10^{-6}$
CH	H1	$6,46422 \times 10^{-4}$	$-4,22876 \times 10^{-6}$	$6,88157 \times 10^{-9}$
CH	H2	$-3,32805 \times 10^{-7}$	$2,23160 \times 10^{-9}$	$-3,67713 \times 10^{-12}$
CH	222	$7,84980 \times 10^{-3}$	$-3,98950 \times 10^{-5}$	$6,11870 \times 10^{-8}$
N ₂	333	$2,05130 \times 10^{-1}$	$3,48880 \times 10^{-5}$	$-8,37030 \times 10^{-8}$
CO ₂	444	$1,04711 \times 10^{-3}$	$-3,64887 \times 10^{-6}$	$4,67095 \times 10^{-9}$
H ₂	112	$y = 0,92 + 0,0013(T-270)$		
CH + CH + N ₂	113	$y = 0,92$		
CH + CH + CO ₂	114	$y = 1,20$		
CH + CH + H ₂	115	$-7,36748 \times 10^{-3}$	$-2,76578 \times 10^{-5}$	$3,43051 \times 10^{-8}$
CH + CH +	122	$y = 0,92 +$		

CO		0,0013(T-270)		
CH + N ₂ + N ₂	123	y = 1,10		
CH + N ₂ + CO ₂	133	y = 0,92		
CH + CO ₂ + CO ₂	223	5,52066 x 10 ⁻³	-1,68609 x 10 ⁻⁵	1,57169 x 10 ⁻⁸
N ₂ + N ₂ + CO ₂	233	3,58783 x 10 ⁻³	8,06674 x 10 ⁻⁶	-3,25798 x 10 ⁻⁸

Tabla 40. Valores numéricos para los coeficientes c(0), c(1) y c(2) en el desarrollo en la temperatura del tercer coeficiente de virial para los gases puros y de los coeficientes de virial de interacción entre componentes diferentes (las unidades de C son m⁶/Kmol² cuando la temperatura está en Kelvins).

Fuente: Norma UNE 60560-3

El resto de coeficientes de virial de interacción entre componentes diferentes utilizados están expresados por

$$C_{ijk} = y_{ijk}(C_{iii}C_{jjj}C_{kkk})^{1/3} \tag{B.32}$$

donde y_{ijk} se expresa por

$$y_{112} = y_{122} = 0,92 + 0,0013(T - 270) \tag{B.33}$$

$$y_{113} = y_{133} = 0,92 \tag{B.34}$$

$$y_{114} = 1,20 \quad (\text{B.35})$$

$$y_{123} = 1,10 \quad (\text{B.36})$$

De la ecuación (B.32) se deduce que, la dependencia de los coeficientes de virial de interacción entre componentes diferentes con la temperatura, se determina principalmente mediante la dependencia de la temperatura de los terceros coeficientes de virial con la temperatura para los componentes puros.

9.12.4. Cálculo del factor de compresibilidad y de la densidad molar

La última etapa en el cálculo del factor de compresibilidad y de la densidad molar es resolver las ecuaciones (4) y (5) simultáneamente para el valor dado de la presión p . Para la primera aproximación en la iteración, usando w , ρ_m está expresada por

$$\rho_m^{-1}(w = 0) = RT / p + B \quad (\text{B.37})$$

donde el segundo coeficiente de virial B se define mediante la ecuación (B.12) para una temperatura T (véase figura 42). Se obtiene una mejor estimación de $\rho_m^{-1}(w)$ utilizando

$$\rho_m^{-1}(w) = (RT / p)[1 + B\rho_m(w-1) + C\rho_m^2(w-1)] \quad (\text{B.38})$$

donde el tercer coeficiente de virial C para la mezcla se define mediante la ecuación (B.28) para una temperatura dada T . El criterio de convergencia para la iteración w es que la diferencia absoluta entre la presión calculada $p(w)$ a partir de la ecuación (B.39) y la presión dada p sea inferior a 10^{-5} (véase ecuación B.40).

$$p(w) = RT\rho_m(w)[1 + B\rho_m(w) + C\rho_m^2(w)] \quad (\text{B.39})$$

$$|p - p(w)| < 10^{-5} \quad (\text{B.40})$$

Si no se cumple esta condición, se utiliza el valor actual de la densidad molar $\rho_m(w)$ como nuevo valor $\rho_m(w-1)$ en la ecuación (B.38) y de esta forma se obtiene una mejor estimación de la densidad molar $\rho_m(w)$.

Por el contrario, si la parte izquierda de la ecuación (B.40) es inferior a 10^{-5} , se termina la rutina de iteración y $\rho_m(w)$ es el valor final de la densidad molar ρ_m . De esta forma el factor de compresibilidad se obtiene mediante la expresión

$$Z = 1 + B\rho_m + C\rho_m^2 \quad (\text{B.41})$$

NOTA – La densidad puede calcularse entonces como se indica a continuación:

$$\rho = [d\rho_n(\text{aire})pZ_nT_n / (p_nZT)] \quad (\text{B.42})$$

estando Z y Z_n redondeados al cuarto decimal antes de utilizarse en el cálculo de la densidad.

La densidad se presentará con tres cifras significativas.

9.12.5.Verificaciones de la consistencia del método SGERG-88

Cuando se realice los cálculos por el método SGERG se aplicarán las siguientes pruebas que facilitan verificaciones parciales de la consistencia de los datos de partida.

a) Los datos de partida cumplirán la siguiente condición:

$$d > 0,55 + 0,97x_{CO_2} - 0,45x_{H_2} \quad (\text{B.43})$$

b) Los valores intermedios calculados para la fracción molar del nitrógeno cumplirán las siguientes condiciones:

$$-0,01 \leq x_{N_2} \leq 0,05 \quad (\text{B.44})$$

$$x_{N_2} + x_{CO_2} \leq 0,5 \quad (\text{B.45})$$

c) Además, la consistencia interna de los datos de partida para el tercer bucle de iteración deberá cumplir la condición:

$$d > 0,55 + 0,4x_{N_2} + 0,97x_{CO_2} - 0,45x_{H_2} \quad (\text{B.46})$$

9.12.6.EJEMPLOS DE CÁLCULO

Los siguientes ejemplos de cálculo se utilizarán para la validación de programas informáticos del método SGERG no citados en el apartado 9.11. del Anexo de Cálculos. Los cálculos se han realizado utilizando el programa ejecutable validado GERG88.EXE que incorpora la subrutina SGERG.FOR descrita en el apartado 9.11. del Anexo de Cálculos.

	Gas 1	Gas 2	Gas 3	Gas 4	Gas 5	Gas 6
x_{CO_2}	0,006	0,005	0,015	0,016	0,076	0,011
x_{H_2}	0,000	0,000	0,000	0,095	0,000	0,000
d	0,581	0,609	0,650	0,599	0,686	0,644
H_s	40,66	40,62	43,53	34,16	36,64	36,58

Tabla 41. Datos de partida

Fuente: Norma UNE 60560-3

Condiciones		Gas 1	Gas 2	Gas 3	Gas 4	Gas 5	Gas 6
p (bar)	t (°C)						
60	-3,15	0,84084	0,83397	0,79415	0,88569	0,82664	0,85406
60	6,85	0,86202	0,85615	0,82210	0,90150	0,85017	0,87388
60	16,85	0,88007	0,87500	0,84553	0,91507	0,87003	0,89071
60	36,85	0,90881	0,90491	0,88223	0,93684	0,90124	0,91736
60	56,85	0,92996	0,92690	0,90893	0,95302	0,92394	0,93690
120	-3,15	0,72146	0,71140	0,64322	0,80843	0,69557	0,74939
120	6,85	0,75969	0,75079	0,69062	0,83613	0,73828	0,78473
120	16,85	0,79257	0,78472	0,73196	0,85999	0,77463	0,81490
120	36,85	0,84492	0,83877	0,79778	0,89827	0,83166	0,86266
120	56,85	0,88322	0,87832	0,84554	0,92662	0,87269	0,89749

Tabla 42. Resultados (valores de Z)

Fuente: Norma UNE 60560-3

Estos gases son los mismos que los seis gases incluidos en la Norma ISO 12213-2, Anexo C, donde se indican las composiciones molares completas.

9.12.7.COMPORTAMIENTO CON RANGOS DE APLICACIÓN MÁS AMPLIOS

La ecuación de virial normalizada del GERG ha sido ampliamente verificada, en el rango de temperatura de 263 K a 338 K, y a presiones inferiores o iguales a 12 MPa, para los gases de composición, poder calorífico y densidad relativa, correspondientes a los gases canalizados. Dentro de estos límites, los comentarios acerca de la incertidumbre se indican en el apartado **9.10** del Anexo de Cálculos.

Las estimaciones aproximadas de las incertidumbres de los cálculos de los factores de compresibilidad para rangos más amplios de aplicación se representan en la **figuras 43 a 46** como gráficos presión-composición para el nitrógeno, dióxido de carbono, etano y propano, respectivamente.

En las **figuras 43 a 46** se muestra el comportamiento de la ecuación SGERG para una presión máxima de 30 MPa. Se incluye solo con fines informativos y no supone una recomendación para que se utilice la ecuación rutinariamente e indiscriminadamente por encima de los límites normales especificados. Los límites de incertidumbre dependen de la presión, la temperatura y la composición, y están también muy influenciados por la proximidad al límite de fase. Los límites de incertidumbre estimados, incorporados a continuación, están basados en datos más incompletos.

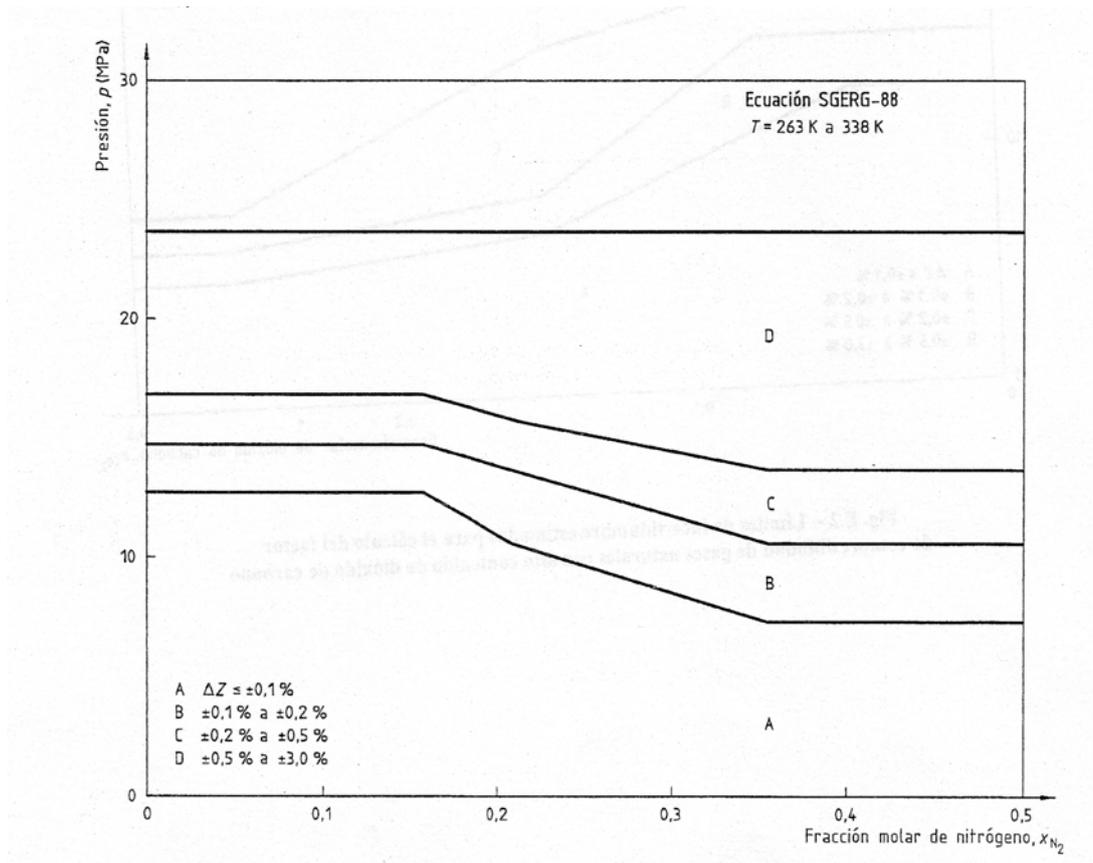


Figura 43. Límites de incertidumbre estimados para el cálculo del factor de compresibilidad de gases naturales con alto contenido de nitrógeno

Fuente: Norma UNE 60560-3

Se han elegido siempre los límites más desfavorables. Las líneas de guiones se utilizan para separar dos zonas de incertidumbre cuando la evidencia experimental no es suficiente para determinar la posición del límite.

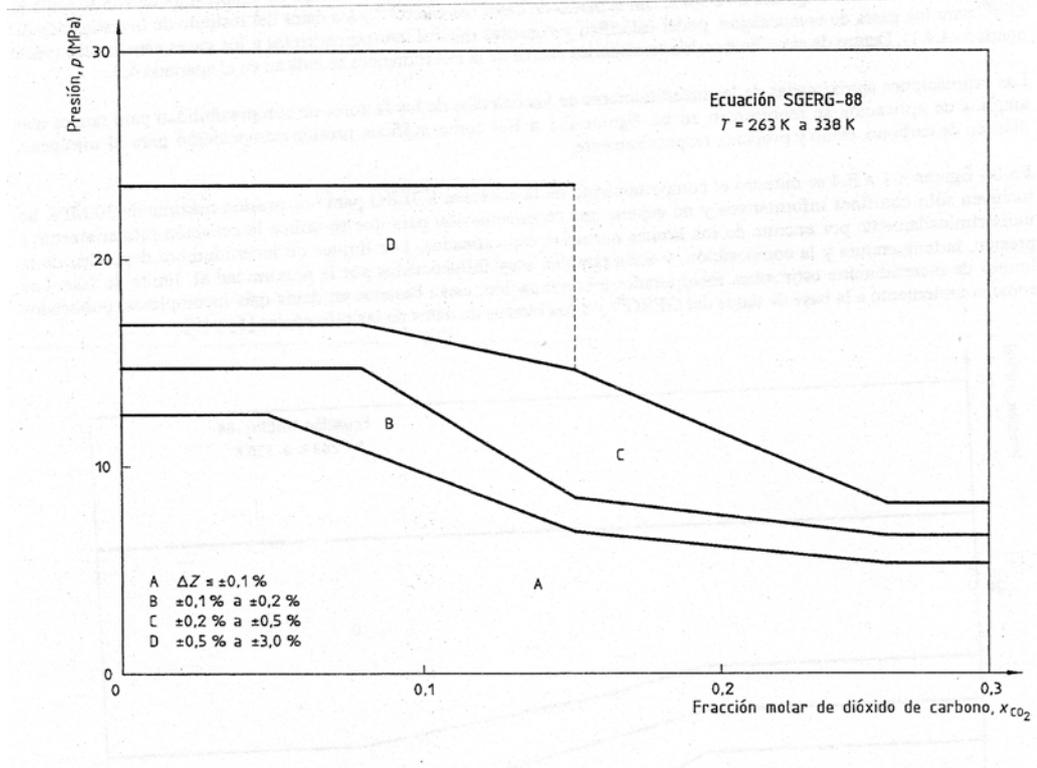


Figura 44. Límites de incertidumbre estimados para el cálculo del factor de compresibilidad de gases naturales con alto contenido de dióxido de carbono

Fuente: Norma UNE 60560-3

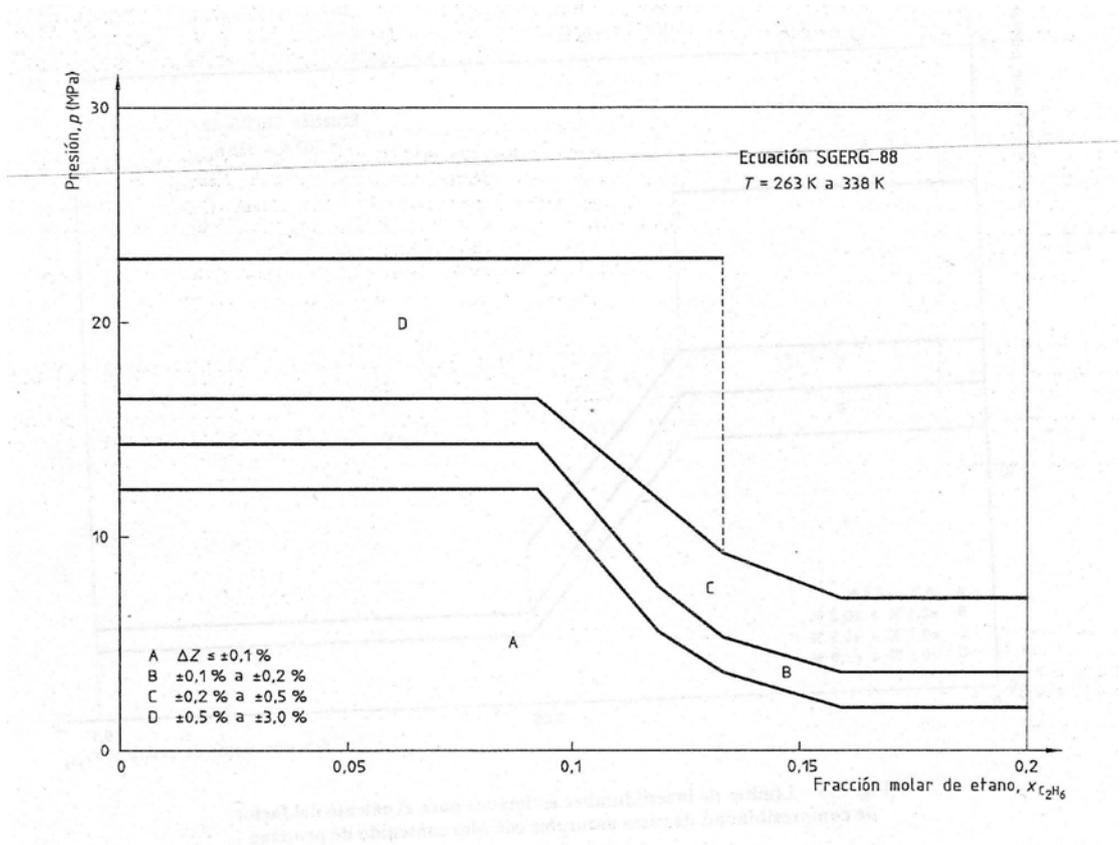


Figura 45. Límites de incertidumbre para el cálculo del factor de compresibilidad de gases naturales con alto contenido de etano

Fuente: Norma UNE 60560-3

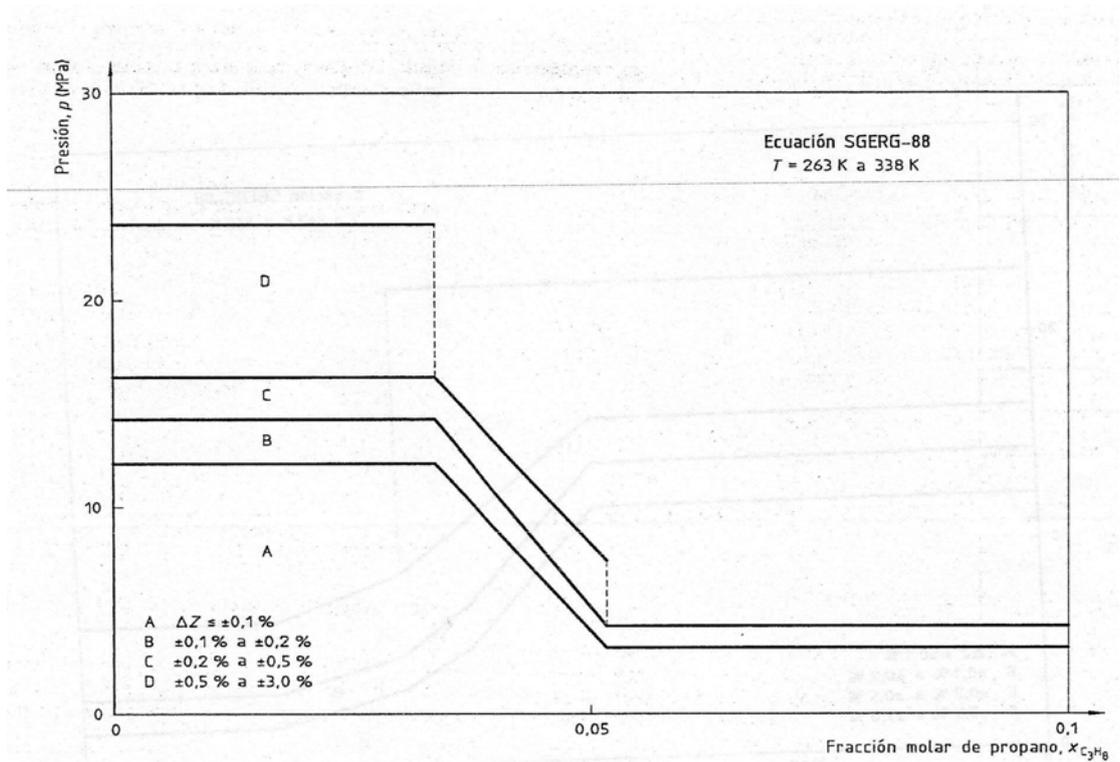


Fig. E.4 – Límites de incertidumbre estimados para el cálculo del factor de compresibilidad de gases naturales con alto contenido de propano

Figura 46. Límites de incertidumbre para el cálculo del factor de compresibilidad de gases naturales con alto contenido de propano

Fuente: Norma UNE 60560-3

Los resultados a presiones inferiores o iguales a 10 MPa y temperaturas dentro del rango de 263 K a 338 K pueden resumirse como se indica a continuación. Únicamente, los gases con fracciones molares dentro de los límites indicados a continuación, tendrán incertidumbres dentro de $\pm 0,1\%$, $\pm 0,2\%$ y $\pm 0,5\%$ respectivamente, en los rangos de presión y temperatura indicados.

Componente	Fracción molar para una incertidumbre comprendida dentro de		
	$\pm 0,1\%$	$\pm 0,2\%$	$\pm 0,5\%$
Nitrógeno	$\leq 0,20$	$\leq 0,50$	-
Dióxido de carbono	$\leq 0,09$	$\leq 0,12$	$\leq 0,23$
Etano	$\leq 0,10$	$\leq 0,11$	$\leq 0,12$
Propano	$\leq 0,035$	$\leq 0,04$	$\leq 0,045$

Tabla 43. Incertidumbre de las fracciones molares

Fuente: Norma UNE 60560-3

10. CÁLCULOS DE LA CONDUCCIÓN

a) Datos de Partida.

Para todos los cálculos que se incluyen a continuación, se ha tenido en cuenta los siguientes datos:

- Presión de diseño: 80 bar y 16 bar (ERM G-160)
- Rugosidad de las tuberías: 0,2 mm
- Caudal: 4250 m³(n)/h por línea (dos líneas de regulación)

b) Cálculo de espesores para Categoría de Emplazamiento 3^a

A efecto de cálculo de espesores de las conducciones y según la norma UNE 60.302, estos lo serán para la categoría de emplazamiento y de acuerdo con las normas de seguridad establecidas.

A continuación se calculan los espesores según norma UNE 60.309, utilizando la fórmula:

$$e = P \cdot d / 20 \cdot \sigma_e \cdot F \cdot C$$

siendo:

e = Espesor de cálculo del tubo, en milímetros

P = Presión de cálculo en bar

d = Diámetro exterior teórico del tubo en milímetros

σ_e = Límite elástico mínimo especificado en N/mm²

F = Coeficiente de cálculo, según Categoría de Emplazamiento

C = Coeficiente de soldadura = 1

c) DN 2" Categoría de Emplazamiento 3ª

DN 2"

P = 80 bar

d = 60,3 mm

$\sigma_e = 240,1 \text{ N/mm}^2$ (API 5 L Gr B)

F = 0,5

C = 1

$$e = (80 \times 60,3 / 20 \times 240,1 \times 0,5 \times 1) = 2,01 \text{ mm}$$

Espesor mínimo de 2,77 mm (UNE 60-309)

$$ec = 2,01 + 0,08 \times 2,01 = 2,17 \text{ mm}$$

Se adopta para esta Categoría 3^a de Emplazamiento el espesor normalizado de **5,5 mm** que cumple sobradamente con las exigencias reglamentarias.

Para la presión de diseño de 16 bar se utiliza el mismo espesor normalizado.

d) DN 3" Categoría de Emplazamiento 3^a

DN 3"

$$P = 80 \text{ bar}$$

$$d = 88,9 \text{ mm}$$

$$\sigma_e = 240,1 \text{ N/mm}^2 \text{ (API 5 L Gr B)}$$

$$F = 0,5$$

$$C = 1$$

$$e = (80 \times 88,9 / 20 \times 240,1 \times 0,5 \times 1) = 2,96 \text{ mm}$$

Espesor mínimo de 3,18 mm (UNE 60-309)

$$ec = 2,96 + 0,08 \times 2,96 = 3,19 \text{ mm}$$

Se adopta para esta Categoría 3ª de Emplazamiento, el espesor normalizado de **5,5 mm** que cumple sobradamente con las exigencias reglamentarias.

Para la presión de diseño de 16 bar se utiliza el mismo espesor normalizado.

e)DN 4” Categoría de Emplazamiento 3ª

DN 4”

P = 80 bar

d = 114,3 mm

$\sigma_e = 240,1 \text{ N/mm}^2$ (API 5 L Gr B)

F = 0,5

C = 1

$e = (80 \times 114,3 / 20 \times 240,1 \times 0,5 \times 1) = 3,81 \text{ mm}$

Espesor mínimo de 3,18 mm (UNE 60-309)

$ec = 3,81 + 0,08 \times 3,81 = 4,11 \text{ mm}$

Se adopta para esta Categoría 3ª de Emplazamiento, el espesor normalizado de **6,0 mm** que cumple sobradamente con las exigencias reglamentarias.

Para la presión de diseño de 16 bar se utiliza el mismo espesor normalizado.

ANEXO III – ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

1. MEMORIA

1.1. OBJETO DE ESTE ESTUDIO

El presente Estudio de Seguridad y Salud establece las normativas y recomendaciones respecto a la Prevención de Riesgos de Accidentes y Enfermedades Profesionales, así como los derivados de los trabajos de reparación, conservación, entretenimiento y mantenimiento, y las instalaciones preceptivas de higiene y bienestar de los trabajadores, durante la construcción y montaje de la **E.R.M. G-160** en el TM de los Barrios (Cádiz).

De acuerdo con el Real Decreto 1.627/1.997, de 24 de Octubre, por el se implanta la obligatoriedad de la inclusión de un Estudio de Seguridad y Salud en el Trabajo en Proyectos de Conducciones Enterradas.

El presente estudio forma parte de los documentos del Proyecto de la **E.R.M. G-160** en el TM de Los Barrios (Cádiz).

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA

1.2.1 Descripción de la obra y situación

La obra objeto de este informe consiste en instalaciones de gas , realizadas con tubería de acero y accesorios enterrados, a una profundidad de un metro, contado a partir de la generatriz superior de la tubería excepto en las zonas de cruces de servicios. Las conducciones de acero a instalar tienen para la calidad API 5L GrB los siguientes diámetros y espesores: Ø 4" e = 6,0 mm; Ø 3" e = 5,5 mm; Ø 2" e = 5,5 mm; Ø 1½" e = 5,1 mm; Ø ½" e = 3,7 mm.

Igualmente se realizarán obras de excavación, cimentación, hormigonado, albañilería, cerramientos y cubiertas para pequeños edificios.

Las uniones de las tuberías de acero se realizan mediante soldadura por arco eléctrico inspeccionando las mismas radiográficamente.

La protección contra la corrosión es doble:

- a) Activa mediante protección catódica, por corriente impresa y/o ánodos de sacrificio.
- b) Pasiva mediante revestimiento de polietileno extrusionado.

A lo largo del recorrido de las conducciones se cruzan con otras y con viales interiores, así como con los servicios aéreos y enterrados de cables, telemando, red de tierras, acometida eléctrica en los que se aplican protecciones adicionales.

El proyecto consta de una obra civil, consistente en la apertura de catas, la realización de una zanja en la que se instala la tubería de protección envolvente de la tubería, tapado de la zanja y la posterior restitución de los terrenos, y de un montaje mecánico de la conducción, con su posterior puesta en zanja, así como la colocación de conduits, tubos para cables y cables en zanja.

Finalmente se realizan las pruebas hidráulicas de resistencia y estanqueidad establecidos por la ITC-MIG 5.1 y 5.2 del Ministerio de Industria y Energía.

Los trabajos están ubicados en el TM de Los Barrios (Cádiz) en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

1.2.2 Interferencias y servicios afectados

Las interferencias se refieren a cruces de tuberías, viales, así como los servicios aéreos y enterrados (conducciones de gas, cables, tierra, F.O., etc.) en los que se aplican protecciones adicionales.

1.2.3 Unidades constructivas que componen la obra

- Limpieza del área de trabajo de gravilla.
- Demoliciones.
- Desmontes, rellenos, y compactación.
- Excavaciones de zanja.

- Encofrado, ferrallado y hormigonado, para losas de protección, cimentaciones y arquetas de válvula.
- Transporte, distribución y manipulación de tubería.
- Alineación y curvado de tubos de acero.
- Soldadura en acero y radiografiado.
- Revestimiento de juntas de soldadura de tubos de acero.
- Prueba de aislamiento del revestimiento.
- Puesta en zanja.
- Envoltente de tuberías y cables con arena.
- Tapado y restitución de terrenos.
- Pruebas de resistencia y estanqueidad.
- Restitución de viales y otros terrenos.
- Arquetas de válvulas de seccionamiento y acometida.
- Obras civiles en arquetas y conductos.
- Obras civiles de construcción de pequeños edificios (albañilería).
- Obras de cubrición y revestimiento de chapa de edificios.

1.3 RIESGOS DE LAS OBRAS

1.3.1 Riesgos profesionales

En las unidades de construcción de obra civil

- Atropellos por maquinaria y vehículos.
- Atrapamientos.
- Colisiones y vuelcos.
- Caídas a distinto nivel.
- Desprendimiento.
- Interferencias con líneas de alta tensión.
- Polvo.
- Ruido.
- Caída de altura de personal y objetos.
- Electrocutión.
- Cortes con máquinas y/o chapa.

En las unidades de instalación y montaje de las tuberías

- Golpes de o contra objetos.

- Suspensión y transporte de grandes cargas.
- Cortes, pinchazos y golpes con máquina, herramienta y material.
- Proyección de partículas a los ojos.
- Atrapamientos o aprisionamiento por mordazas.
- Peligro en uso de equipo de oxicorte y amolado (quemaduras y proyecciones).
- Propias de soldadura de acero.
- Radiaciones.

Riesgos eléctricos

- Interferencias con líneas de alta tensión.
- Derivados de útiles eléctricos.

Riesgos producidos por agentes externos

- Producido en los cruces de calles o caminos derivados de las obras fundamentalmente por circulación de vehículos.
- Las calles o caminos atravesados por la obra producen un riesgo debido a que circulan por ellos personas ajenas de la obra.

1.4 PREVENCIÓN DE RIESGOS PROFESIONALES

1.4.1 Protección individuales

- Cascos: para todas las personas que participan en la obra, incluido visitantes.
- Guantes de uso general.
- Guantes de goma.
- Guantes de soldador.
- Botas de agua.
- Botas de seguridad de cuero.
- Botas dieléctricas.
- Monos o buzos: se tendrán en cuenta las reposiciones a lo largo de la obra, según el convenio colectivo de aplicación para la obra.
- Trajes de agua.
- Gafas contra impactos y antipolvo.
- Gafas para oxicorte.
- Pantalla de seguridad para soldador.

- Mascarilla antipolvo.
- Mandiles de soldador.
- Polainas de soldador.
- Manguitos de soldador.
- Filtros para mascarilla antipolvo.
- Protectores auditivos.
- Chalecos reflectantes.

1.4.2 Protecciones colectivas

- Señalización adecuada para protección de líneas eléctricas que cruzan la pista de trabajo.
- Señales de tráfico.
- Señales y jalones de seguridad, incluida la de radiografiado.
- Cintas de balizamiento.
- Andamios.
- Balizamiento luminoso.
- Extintores.

- Escaleras.
- Tomas de tierra.
- Aparato acústico en vehículos.
- Interruptores diferenciales en oficina y taller.

1.4.3 Formación

Todo el personal debe recibir, al ingresar en la obra, una exposición de los métodos de trabajo y los riesgos que éstos pudieran entrañar, juntamente con las medidas de seguridad que deberán emplear.

Al personal mas cualificado, se le impartirán charlas sobre socorrismo y primeros auxilios, de forma que las diferentes fases de obra dispongan de una persona con conocimientos de estos primeros auxilios.

Asimismo se emitirán panfletos en los que se dicten las normas de seguridad básicas en este tipo de obras.

1.4.4. Medicina preventiva y primeros auxilios

- **Botiquín**

Se dispondrá en uno de los vehículos de obra y de forma permanente un maletín con botiquín de obra para primeros auxilios en cada fase de trabajo.

- **Asistencia al accidentado**

La persona con conocimiento de primeros auxilios deberá asimismo poseer información de los diferentes centros médicos más cercanos a la obra en cada momento.

Es muy conveniente que en el botiquín de obra se disponga de una lista de direcciones y teléfonos de los centros de urgencia, ambulancias, etc., más cercanas, en la zona de las obras a fin de evacuar tan pronto como sea posible al accidentado.

Asimismo es necesario la existencia de vehículos en obra, tales que con el abatimiento de sus asientos puede trasladarse a una persona en posición tumbada horizontal estirada, con los cuidados mínimos de transporte.

- **Reconocimiento médico**

Todo personal que empiece a trabajar en la obra deberá pasar por un reconocimiento médico previo al trabajo, y que será repetido en el periodo de un año.

1.4.5. Prevención de riesgos de daños a terceros

Se señalizará, de acuerdo con la normativa vigente, los cruces con carreteras y ferrocarriles, tomándose las medidas de seguridad que en cada caso requiera.

Se señalizarán los accesos naturales a la pista de trabajo, prohibiéndose el paso a toda persona ajena a la misma.

Durante los periodos de radiografiado con sistemas de radiación, deberán señalizarse y avisarse adecuadamente a fin de evitar daños.

En el radiografiado de las soldaduras se tendrá especial atención a la señalización y vigilancia de los tramos de trabajo, para impedir la aproximación de personas y animales al área. Así mismo se vigilará el buen estado, ubicación y localización en todo momento de las fuentes de radiación.

2. PLIEGO DE CONDICIONES

2.1 Disposiciones legales de aplicación

Son de obligado cumplimiento las disposiciones contenidas en:

- Estatuto de Trabajadores (Ley 8/1980).
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.M. 9/3/71) (B.O.E. 16/3/71).
- Plan Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (O.M. 9/3/71) (B.O.E. 16/3/71).
- Comités de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.M. 9/3/71) (B.O.E. 11/3/71).
- Reglamento de Seguridad e Higiene en la Industria de la Construcción (O.M. 9/3/71) (B.O.E. 16/3/71).

- Reglamento de los Servicios Médicos de Empresa (O.M. 21/11/59) (B.O.E. 27/11/59).
- Ordenanza de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámica (O.M. 28/8/70) (B.O.E. 5/7/8/9-9-70).
- Homologación de Medios de Protección Personal de los Trabajadores (O.M. 17/5/74) (B.O.E. 29/5/74).
- Reglamento de Explosivos (Real Decreto 2114/78, 2/3/78) (B.O.E. 7/9/78).
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (02-08-2002 Real Decreto 842-2002).
- Reglamento de Aparatos Elevadores para Obras (O.M. 23/5/77) (B.O.E. 14/5/77).
- Convenio Colectivo Provincial de la Construcción.
- Obligatoriedad de la inclusión de un Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo, en los Proyectos de Edificación y Obras Públicas (Real Decreto 555/1986, 21/2/86) (B.O.E. 21/3/86).
- Obligatoriedad de la inclusión de un Estudio de Seguridad y Salud en los Proyectos de Obras de Conducciones subterráneas (Real Decreto 1.627/1.997 de 24 de Octubre) (B.O.E. 25/10/97).

2.2. Condiciones de los medios de protección

Todas las prendas de protección personal o elementos de protección colectiva, tendrán fijado un período de vida útil, desechándose a su término.

Cuando por las circunstancias del trabajo se produzca un deterioro más rápido en una determinada prenda o equipo, se repondrá ésta, independientemente de la duración prevista o fecha de entrega.

Toda prenda o equipo de protección que haya sufrido un trato límite, es decir, el máximo para el que fue concebido (por ejemplo, por un accidente) será desechado y repuesto al momento.

Aquellas prendas que por su uso hayan adquirido más holgura o tolerancias de las admitidas por el fabricante, serán repuestas inmediatamente.

El uso de una prenda o equipo de protección nunca representará un riesgo en sí mismo.

2.2.1 Protecciones personales

Todo elemento de protección personal se ajustará a las Normas de Homologación del Ministerio de Trabajo (O.M. 17/5/74) (B.O.E. 29/5/74), siempre que exista en el mercado.

En el caso de que no exista Norma de Homologación, serán de calidad adecuada a sus respectivas prestaciones.

2.2.2 Protecciones colectivas

- A lo largo de la pista de trabajo se cruzan un número importante de líneas eléctricas tanto de alta, media o baja tensión. Para cada una de ellas deberá indicarse mediante señalización adecuada la advertencia de su existencia, incluyendo tipo de línea que se cruza, distancia a la que se encuentra y demás circunstancias que aseguren una función protectora.
- En los cruces con calles deberá señalizarse con arreglo a la normativa municipal vigente.
- La utilización de métodos radioactivos para la realización de las placas radiográficas de las soldaduras, estará a cargo de personal competente debidamente autorizado por el organismo correspondiente. Estos trabajos se harán siempre que sea posible en horas en las que no existe personal en las inmediaciones. Se marcará y señalizará la zona afectada de forma reglamentaria, consistente en cintas rojas y señales de peligro de radiación.

Todo el personal de la obra deberá tener conocimiento del uso de este tipo de métodos y los lugares en los cuales será utilizado.

Asimismo el personal que trabaja habitualmente en estos equipos habrá de estar dotado de un dosímetro.

- Todos los vehículos de obra deberán llevar aparato acústico, asimismo llevará un extintor contraincendios que será revisado cada seis meses como máximo.

La pista de trabajo se mantendrá en condiciones de circulación durante todas las fases de obra, dando continuidad a toda ella. La velocidad de circulación será de veinte kilómetros por hora como máximo.

- Los medios auxiliares de topografía tales como cintas, jalones, miras, etc. serán dieléctricos, dado el riesgo de electrocución por las líneas eléctricas e interviarias de ferrocarriles.

En las zonas de influencia de líneas eléctricas de media y alta tensión, o de una estación alimentadora de energía eléctrica, el contratista establecerá las medidas de seguridad para protección del personal que fijan los reglamentos vigentes.

Los criterios básicos que se aplicarán serán, como mínimo los siguientes:

- Se instalarán obligatoriamente puestas a tierra temporales en los extremos de cada tramo de tubería calzado, intercalando puestas a tierra temporales a intervalos de 200 m.
- Las tomas de tierra temporales deberán enterrarse un mínimo de un metro y las conexiones a la tubería deberán hacerse con un conductor de cobre aislado, empleando

conectores, picas, y accesorios de fijación de baja resistencia eléctrica.

- El personal encargado de la manipulación de la conducción y/o trabajos sobre tramos ya soldados, dispondrá de adecuados medios de protección personal y herramientas que garanticen su aislamiento eléctrico respecto a la conducción.
- Durante las pruebas hidráulicas y en la puesta en marcha de las instalaciones, deberán realizarse los trabajos o suspenderse ante la presencia de fenómenos tormentosos, evitándose sobre todo el accionar las válvulas o establecer contacto con las partes metálicas desnudas de las instalaciones.

2.3 SERVICIOS DE PREVENCIÓN

2.3.1 Servicio técnico de seguridad y salud

La empresa constructora dispondrá de asesoramiento en seguridad y salud.

2.3.2 Servicio médico

La empresa constructora dispondrá de un servicio médico de empresa propio.

2.4 Vigilante de seguridad y comité de seguridad y salud.

Se nombrará vigilante de acuerdo con lo previsto en la Ordenanza General de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Se constituirá el comité cuando proceda según la Ordenanza Laboral de Construcción o, en su caso, lo que disponga el Convenio Colectivo Provincial.

2.5 Instalaciones médicas

Tanto el botiquín de oficina como el de los tajos se revisarán semanalmente y se repondrá inmediatamente el material consumido.

2.6 Instalaciones de higiene y bienestar

En función del personal de oficina, almacenes y taller se dispondrá de lo siguiente:

- El vestuario dispondrá de taquillas individuales, con llave, asientos y calefacción.
- Los servicios higiénicos tendrán un lavabo y una ducha de agua fría y caliente por cada diez trabajadores, y un W.C. por cada 25 trabajadores, disponiendo de espejos y calefacción.

Para la limpieza y conservación de estos locales se dispondrá de un trabajador con la dedicación necesaria.

2.7 Plan de seguridad y salud

El Contratista está obligado a redactar un Plan de Seguridad y Salud, adaptando este estudio a sus medios y métodos de ejecución, que ha de ser presentado a la Autoridad Laboral para que se conceda la autorización de apertura.

Será obligación igualmente del contratista el cumplimiento de la Orden del 20 de Septiembre de 1986 referente al “Libro de Incidencias” a llevar en la obra.

2.8 Obligaciones del contratista adjudicatario en materia de seguridad y salud.

1. Cumplir y hacer cumplir en la obra, todas las obligaciones exigidas por la legislación vigente del Estado Español y sus Comunidades Autónomas, referida a la seguridad y salud en el trabajo y concordantes, de aplicación a la obra.

2. Elaborar en el menor plazo posible y siempre antes de comenzar la obra, un plan de seguridad cumpliendo con el artículo de los Reales Decretos: 1627/1997 de 24 de Octubre, por la que se establece el “Libro de Incidencias”, que respetará el nivel de prevención definido en todos los documentos de este Estudio de Seguridad y Salud. Requisitos sin los cuales no podrá ser aprobado.

3. Incorporar al Plan de Seguridad y Salud, el “Plan de Ejecución de Obra” que piensa seguir, incluyendo desglosadamente, las partidas de seguridad con el fin de que puedan realizarse a tiempo y de forma eficaz, para ello seguirá fielmente como modelo, el Plan de Ejecución de Obra que se suministra en este Estudio de Seguridad y Salud.
4. Entregar el plan de seguridad aprobado, a las personas que define el Real Decreto 1627 de 24 de Octubre de 1997.
5. Notificar al coordinador en materia de seguridad y salud, con quince días de antelación, la fecha en la que piensa comenzar los trabajos, con el fin de que pueda programar sus actividades y asistir a la firma del Acta de Replanteo, pues este documento, es el que pone en vigencia el contenido del Plan de Seguridad y Salud que se apruebe.
6. Transmitir la prevención contenida en el Plan de Seguridad y Salud aprobado, a todos los trabajadores propios, subcontratistas y autónomos de la obra y hacerles cumplir con las condiciones y prevención en él expresadas.
7. Entregar a todos los trabajadores de la obra independientemente de su afiliación empresarial principal, subcontratada o autónoma, los equipos de protección individual definidos en este Pliego de Condiciones Técnicas y Particulares del Plan de Seguridad y Salud aprobado, para que puedan usarse de forma inmediata y eficaz.

8. Tener en la obra la relación nominal del personal que se destinará a la realización de los trabajos, fotocopia mensual del TC1 y TC2 e indicación por escrito de la persona que será el encargado o responsable del equipo, fotocopias de las pólizas de responsabilidad civil y de accidentes así como su mutua patronal, y fotocopia del D.N.I. de cada uno de los operarios.

9. Montar a tiempo todas las protecciones colectivas definidas en el Pliego de Condiciones Técnicas y Particulares del Plan de Seguridad y Salud aprobado, según lo contenido en el Plan de Ejecución de Obra, mantenerla en buen estado, cambiarla de posición y retirarla, con el conocimiento de que se ha diseñado para proteger a todos los trabajadores de la obra, independientemente de su afiliación empresarial principal, subcontratistas o autónomos.

10. Disponer en acopio de obra, antes de ser necesaria su utilización, todos los artículos de prevención contenidos y definidos en este Estudio de Seguridad y Salud.

11. Colaborar con el coordinador en materia de seguridad y salud, en la solución técnico preventiva, de los posibles imprevistos del proyecto o motivados por los cambios de ejecución decididos sobre la marcha, durante la ejecución de la obra.

12. Incluir en el Plan de Seguridad y Salud que presentará para su aprobación, las medidas preventivas implantadas en su empresa y que son propias de su sistema de construcción. En el caso de no tener redactadas las citadas medidas preventivas a las que hacemos mención,

lo comunicará por escrito a la autora de este Estudio de Seguridad y Salud con el fin de que pueda orientarle en el método a seguir para su composición.

13. Componer en Plan de Seguridad y Salud, una declaración formal de estar dispuesto a cumplir con estas obligaciones en particular y con la prevención y su nivel de calidad, contenidas en este Estudio de Seguridad y Salud. Sin el cumplimiento de este requisito, no podrá ser otorgada la aprobación del Plan de Seguridad y Salud.

14. Componer en Plan de Seguridad y Salud el análisis inicial de los riesgos tal como exige la Ley 31 del 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales, para que sea conocido por el coordinador en materia de seguridad y salud.

4. PRESUPUESTO**4.1. Mediciones y cuadro de precios****PROTECCIONES COLECTIVAS**

N° Orden	CONCEPTO	N° Unidades	Precio Ud.	Importe
1	Ud. señal normalizada de tráfico, con soporte metálico e incluida la colocación.	6	2,5	15
2	Ud. cartel indicativo de riesgo, con soporte metálico e incluida la colocación.	10	4	40
3	Ud. cartel indicativo de riesgo, sin soporte metálico e incluida la colocación.	6	1,5	9
4	M. de cordón de balizamiento reflectante incluidos soportes, colocación y desmontaje.	400	0,2	80

PROTECCIONES COLECTIVAS

Nº Orden	CONCEPTO	Nº Unidades	Precio Ud.	Importe
5	Ud. valla normalizada de desviación de tráfico, incluida la colocación.	6	6	36
6	Ud. de baliza luminosa intermitente.	-	-	-

PROTECCIONES COLECTIVAS

N° Orden	CONCEPTO	N° Unidades	Precio Ud.	Importe
7	Ud. valla autónoma metálica de contención de peatones.	10	6	60
8	Ud. jalón de señalización, incluida la colocación.	10	5	50
9	Ud. valla de seguridad de 2,5 m x 2,2 (h).	80	20	1.600
10	H. de camión de riego, incluido el conductor.	10	7	70
11	H. mano de obra de señalista.	20	7	140

PROTECCIONES COLECTIVAS

N° Orden	CONCEPTO	N° Unidades	Precio Ud.	Importe
12	H. mano de obra de brigada de seguridad empleada en mantenimiento y reposición de protecciones.	20	7	140
13	Ud. extintor de polvo polivalente, incluido el soporte.	2	22	44

PROTECCIONES COLECTIVAS

N° Orden	CONCEPTO	N° Unidades	Precio Ud.	Importe
14	Ud. cuerpo de andamio de 3 metros y 5 metros de altura.	2	100	200
15	Ud. escalera de 5 metros.	2	30	60
	TOTAL PROTECCIONES COLECTIVAS			2.544

PROTECCIONES INDIVIDUALES

Nº Orden	CONCEPTO	Nº Unidades	Precio Ud.	Importe
1	Ud. casco de seguridad homologado.	8	1,5	12
2	Ud. pantalla de seguridad para soldador.	2	10	20
3	Ud. gafa antipolvo y anti-impactos.	6	6	36
4	Ud. gafa de seguridad para oxicorte.	2	4	8

PROTECCIONES INDIVIDUALES

N° Orden	CONCEPTO	N° Unidades	Precio Ud.	Importe
5	Ud. mascarilla de respiración antipolvo.	6	8	48
6	Ud. filtro para mascarilla antipolvo.	10	0,4	4
7	Ud. protector auditivo.	2	10	20
8	Ud. mono o buzo de trabajo.	10	10	100
9	Ud. impermeable.	10	6	60
10	Ud. mandil de cuero para soldador.	2	6	12
11	Ud. Par manguitos para soldador.	2	4	8

PROTECCIONES INDIVIDUALES

Nº Orden	CONCEPTO	Nº Unidades	Precio Ud.	Importe
12	Ud. par polainas para soldador.	2	5	10
13	Ud. par guantes para soldador.	2	5	10
14	Ud. par guantes dieléctricos.	2	12	24
15	Ud. par guantes de goma finos.	10	1,2	12
16	Ud. par guantes de cuero.	2	2	4

PROTECCIONES INDIVIDUALES

Nº Orden	CONCEPTO	Nº Unidades	Precio Ud.	Importe
17	Ud. par botas impermeables al agua y a la humedad.	6	7	42
18	Ud. par botas de seguridad de lona.	10	8	80
19	Ud. par botas de seguridad de cuero.	4	7	28
20	Ud. par botas dieléctricas.	2	16	32
21	Ud. chalecos reflectantes.	8	6	48
	TOTAL PROTECCIONES INDIVIDUALES			616

PROTECCIÓN INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Nº Orden	CONCEPTO	Nº Unidades	Precio Ud.	Importe
1	Ud. instalación de puesta a tierra compuesta por cable de cobre, electrodo conectado a tierra en masas metálicas, etc.	2	110	220
2	Ud. interruptor diferencial de media sensibilidad (30 mA), incluida instalación.	2	90	180
3	Ud. interruptor diferencial de alta sensibilidad (300 mA), incluida la instalación.	4	70	280
	TOTAL PROTECCIÓN INSTALACIÓN ELÉCTRICA		680

PROTECCIÓN INSTALACIÓN HIGIENE Y BIENESTAR

Nº Orden	CONCEPTO	Nº Unidades	Precio Ud.	Importe
1	Ud. recipiente para recogida de basuras.	2	18	36
2	Mes alquiler de barracón para vestuarios.	2	28	56
3	Ud. taquilla metálica individual con llave	10	14	140
4	Ud. banco de madera con capacidad para 5 personas.	2	14	28
5	Ud. radiador infrarrojos.	2	25	50

PROTECCIÓN INSTALACIÓN HIGIENE Y BIENESTAR

N° Orden	CONCEPTO	N° Unidades	Precio Ud.	Importe
6	Mes alquiler de barracón para aseos.	2	100	200
7	H. mano de obra empleada en limpieza y conservación de instalaciones de personal.	10	6	60
8	Acometida de agua para aseos y energía eléctrica para vestuarios y aseos, totalmente terminados.	1	60	60
	TOTAL INSTALACIONES DE HIGIENE Y BIENESTAR			630

MEDICINA PREVENTIVA Y PRIMEROS AUXILIOS

N° Orden	CONCEPTO	N° Unidades	Precio Ud.	Importe
1	Ud. botiquín.	1	60	60
2	Ud. reposición material sanitario durante el transcurso de la obra.	2	40	80
3	Ud. reconocimiento médico obligatorio.	10	11	110
	TOTAL MEDICINA PREVENTIVA Y PRIMEROS AUXILIOS			250

FORMACIÓN**Y REUNIONES DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO**

Nº Orden	CONCEPTO	Nº Unidades	Precio Ud.	Importe
1	Ud. reunión mensual del Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo (solamente en el caso de que el Convenio Colectivo Provincial así lo disponga para este número de trabajadores).	2	90	180
2	H. formación en seguridad y salud en el Trabajo.	10	8	80
	TOTAL FORMACIÓN Y REUNIÓN DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO			260

4.2. Resumen de presupuesto**RESUMEN DE IMPORTES:**

Protecciones colectivas	2.544 Euros
Protecciones individuales	616 Euros
Protección instalación eléctrica	680 Euros
Instalaciones de higiene y bienestar	630 Euros
Medicina preventiva y primeros auxilios	250 Euros
Formación y reunión de obligado cumplimiento	260 Euros
<u>TOTAL PRESUPUESTO</u>	<u>4.980 Euros</u>

ASCIENDE EL PRESENTE PRESUPUESTO A LA CANTIDAD DE:
CUATRO MIL NOVECIENTOS OCHENTA EUROS

ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y
MEDIDA G-160 DE 80/16 BAR. PARA
ALIMENTACIÓN DE UNA RED DE
DISTRIBUCIÓN EN APA

DOCUMENTO II: PLANOS

DOCUMENTO II: PLANOS

1. PLANOS DE OBRA CIVIL

- 1.1. Plano de emplazamiento
- 1.2. Plano de implantación
- 1.3. Plano de planta y secciones
- 1.4. Plano de alzado y detalles

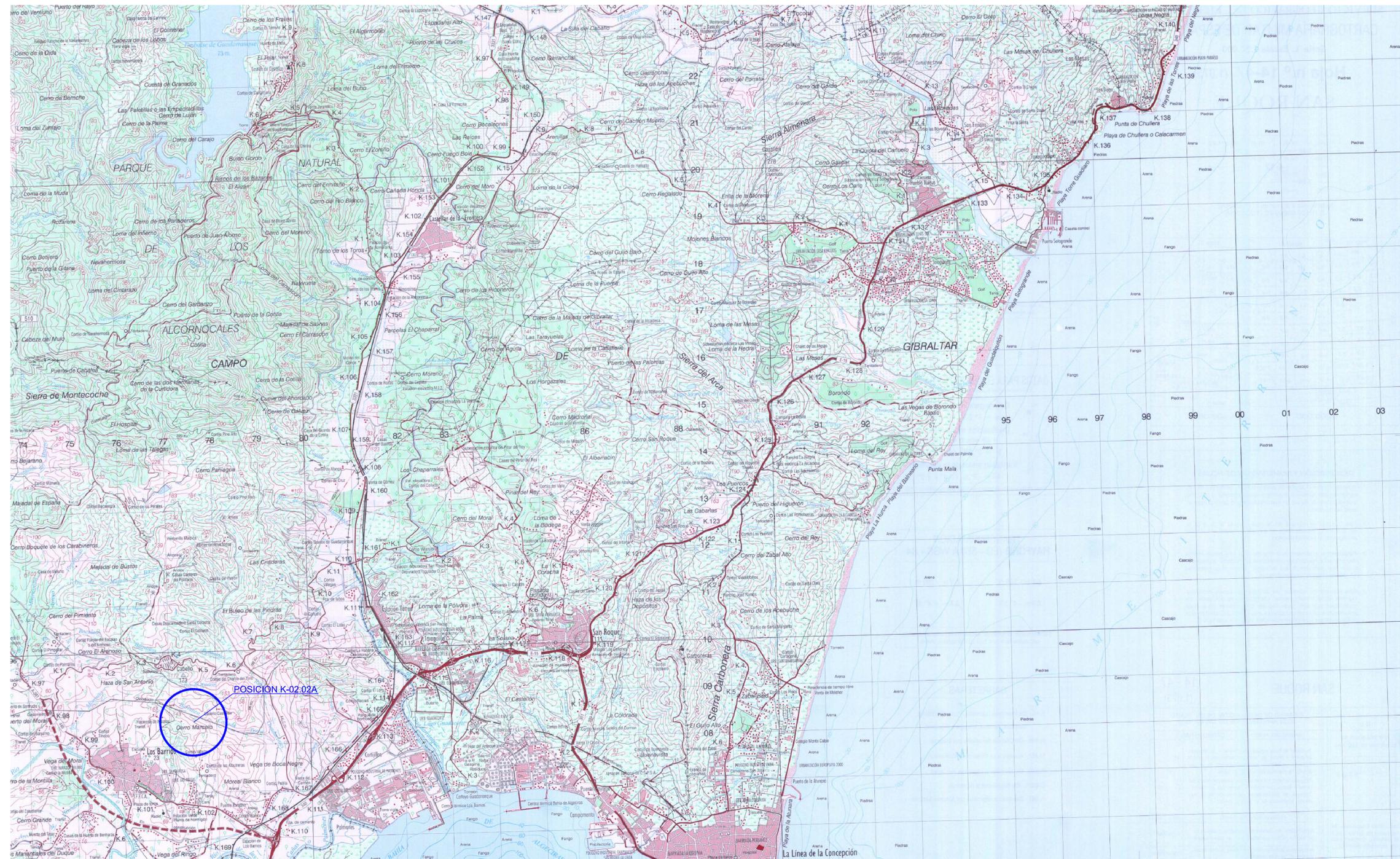
2. PLANOS DE OBRA MECÁNICA

- 2.1. Plano de montaje mecánico I: Líneas principales de Regulación
- 2.2. Plano de montaje mecánico II: Fuel-gas
- 2.3. Isométrico de la E.R.M.
- 2.4. Diagrama de tuberías e instrumentación I (E.R.M.)
- 2.4. Diagrama de tuberías e instrumentación II (Sistema de agua caliente)

3. PLANOS DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA

- 3.1. Esquema de señales de la zona de gas

- 3.2. Esquema de calderas y fuerza
- 3.3. Esquema de distribución del armario de instrumentación.
- 3.4. Esquema de detección de gas e incendios
- 3.5. Esquema de desarrollo I
- 3.6. Esquema de desarrollo II
- 3.7. Esquema de desarrollo III
- 3.8. Armario del cuarto de calderas
- 3.9. Esquema desarrollado del armario de instrumentación



LEYENDA

Notas:

FIRMA:

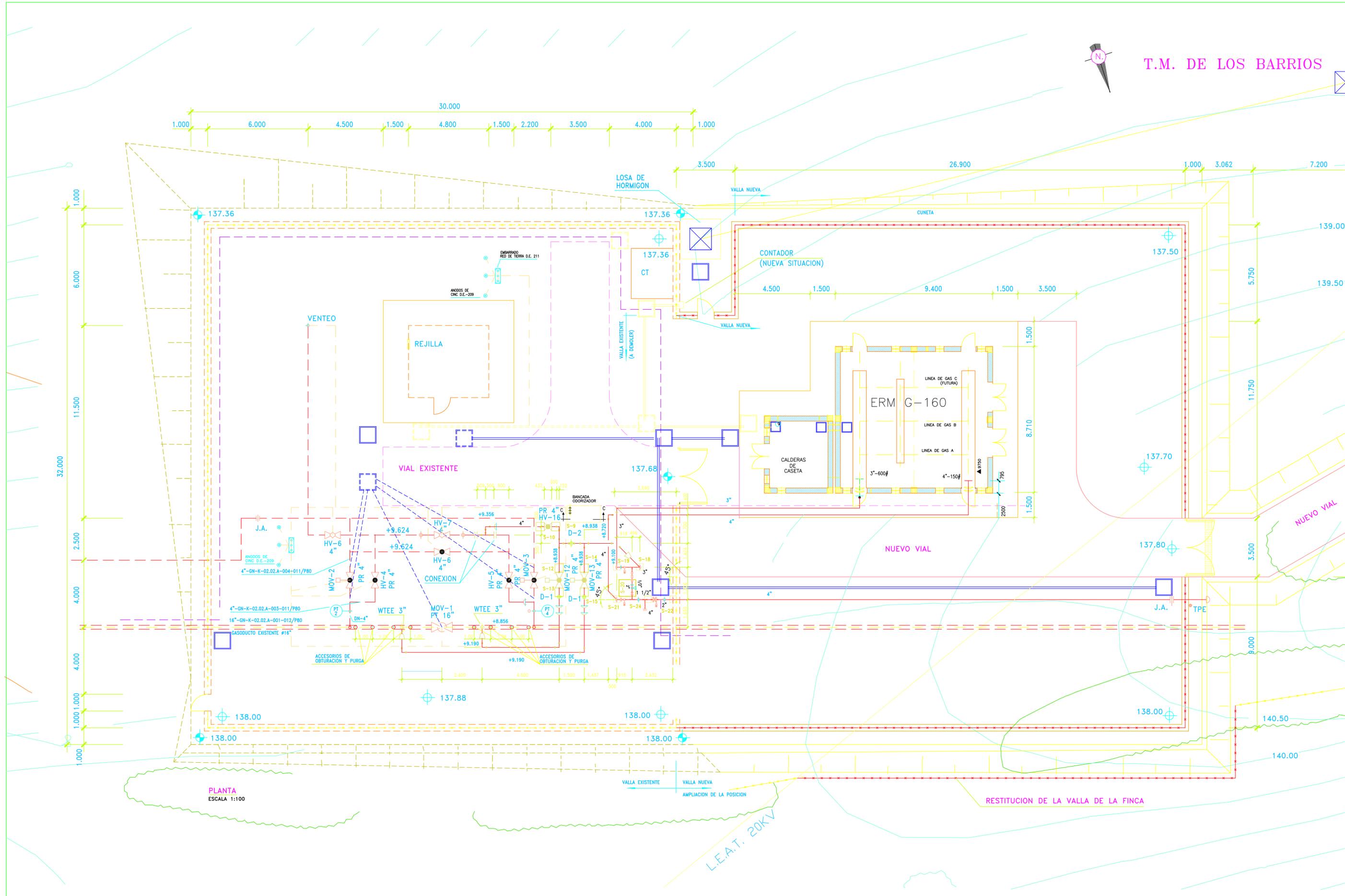
ESCALA:
1: 50000

FECHA:
14/06/2007

PLANO:
PLANO DE EMPLAZAMIENTO

PROYECTO:
E.R.M. G-160 de 80/16 bar
para una RED de Distribución en APA

N.Plano
1-9 NOMBRE Y APELLIDOS:
Juan Manuel Traveso Soto

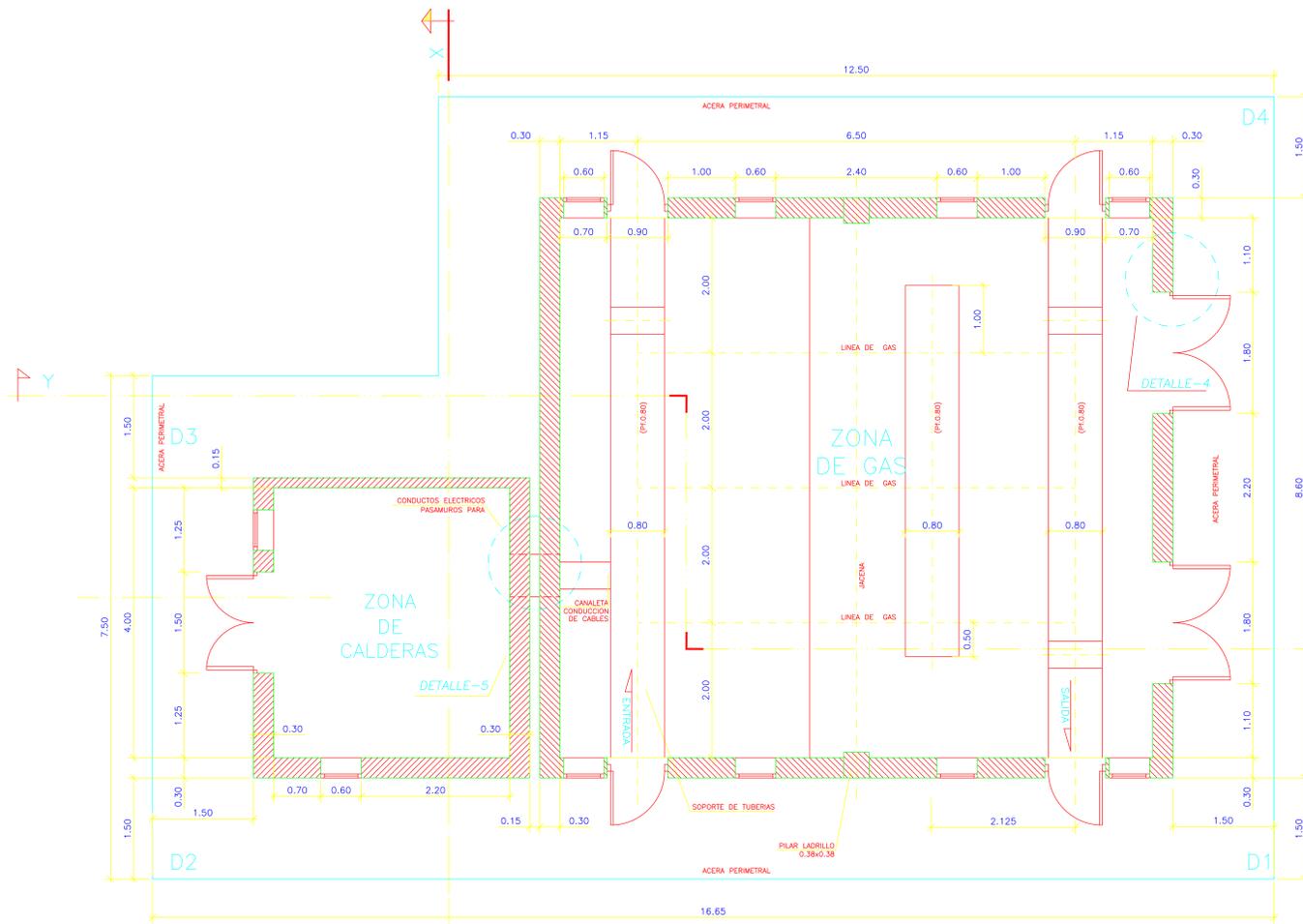


PLANTA
ESCALA 1:100

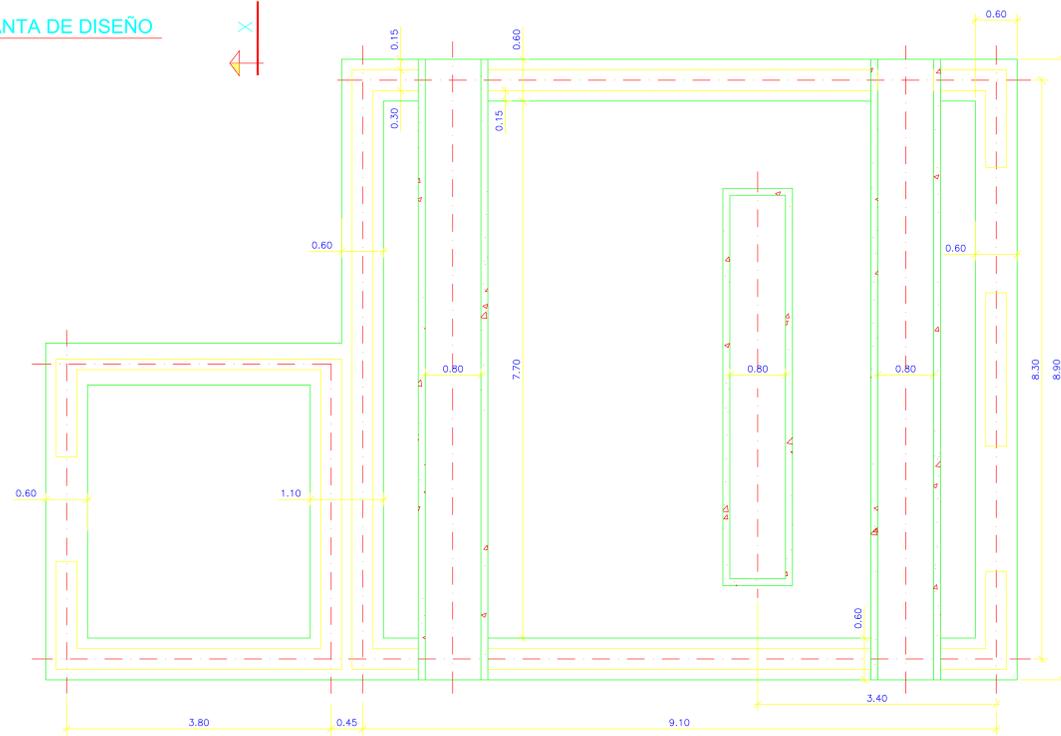
LEYENDA

Notas:
En este plano se muestra la implantación de la E.R.M. objeto del proyecto, en la Posición K02.02A, con las líneas de conexión al colector de entrada ERM(80 bar) y de salida a la RED (16 bar).

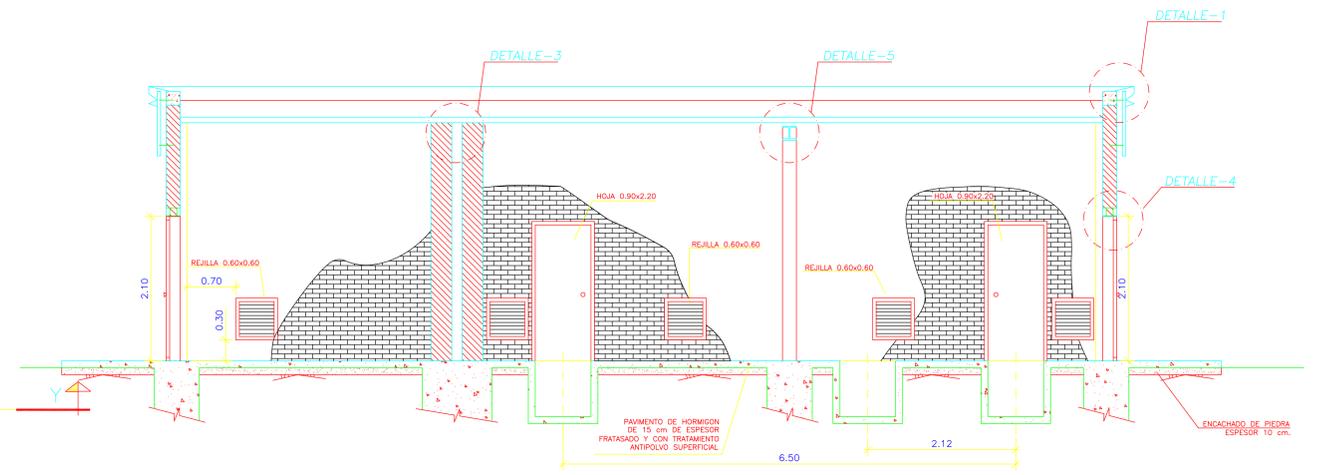
FIRMA:	PROYECTO:
Escala: 1/100	E.R.M. G-160 80/16 bar
Fecha: 14/06/2007	para RED de Distribución en A.P.A.
PLANO:	Nº PLANO:
PLANO DE IMPLANTACIÓN	2-9
NOMBRE Y APELLIDOS: Juan Manuel Traverso Soto	



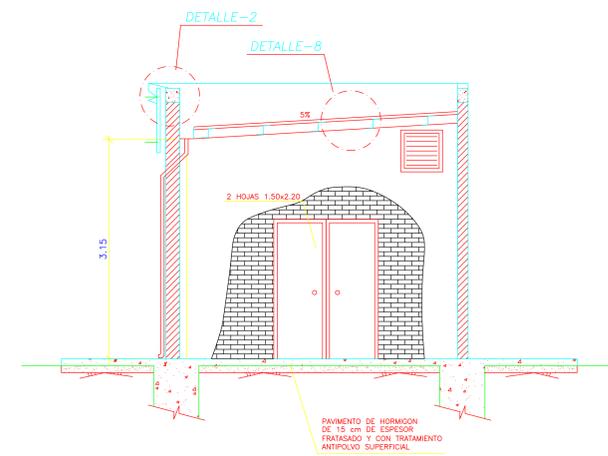
PLANTA DE DISEÑO



PLANTA DE CIMIENTOS



SECCION Y-Y LONGITUDINAL



SECCION X-X TRANSVERSAL

LEYENDA

Notas:

NOTA: LOS DETALLES HAN SIDO REFLEJADOS EN EL PLANO 4 DE 9

FIRMA:

ESCALA: 1/50

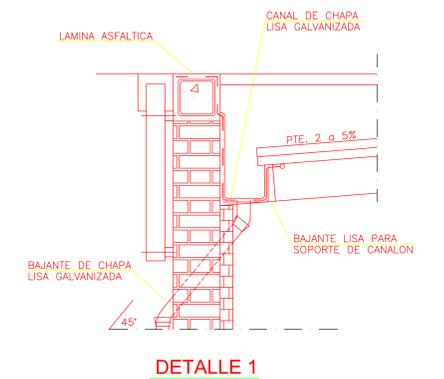
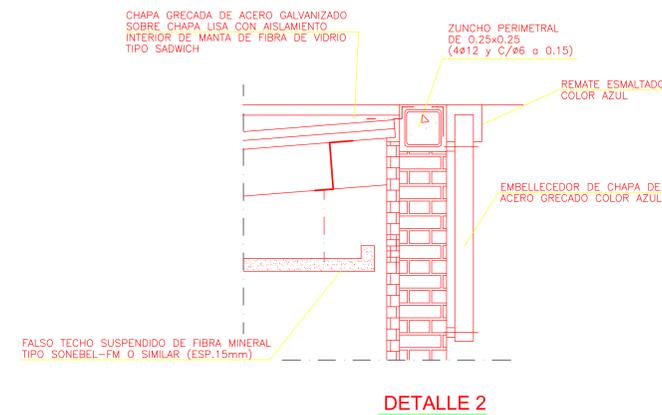
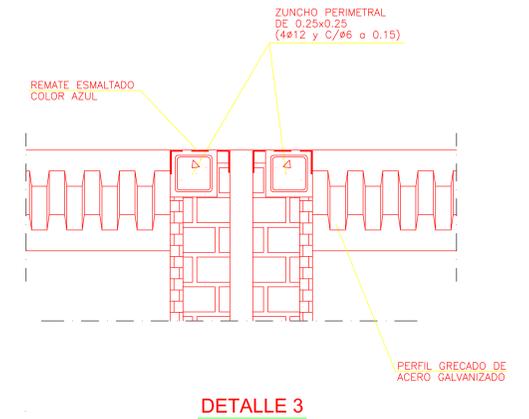
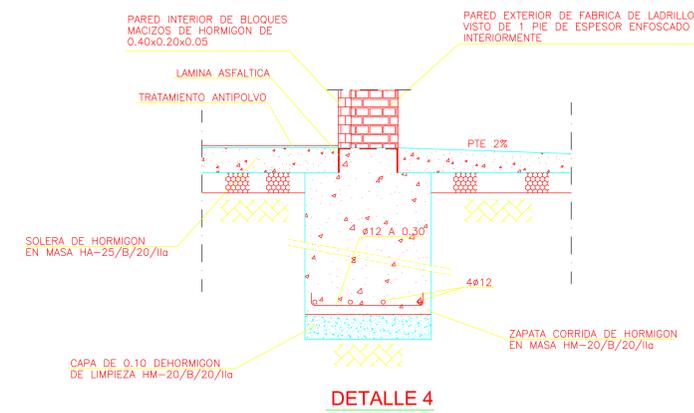
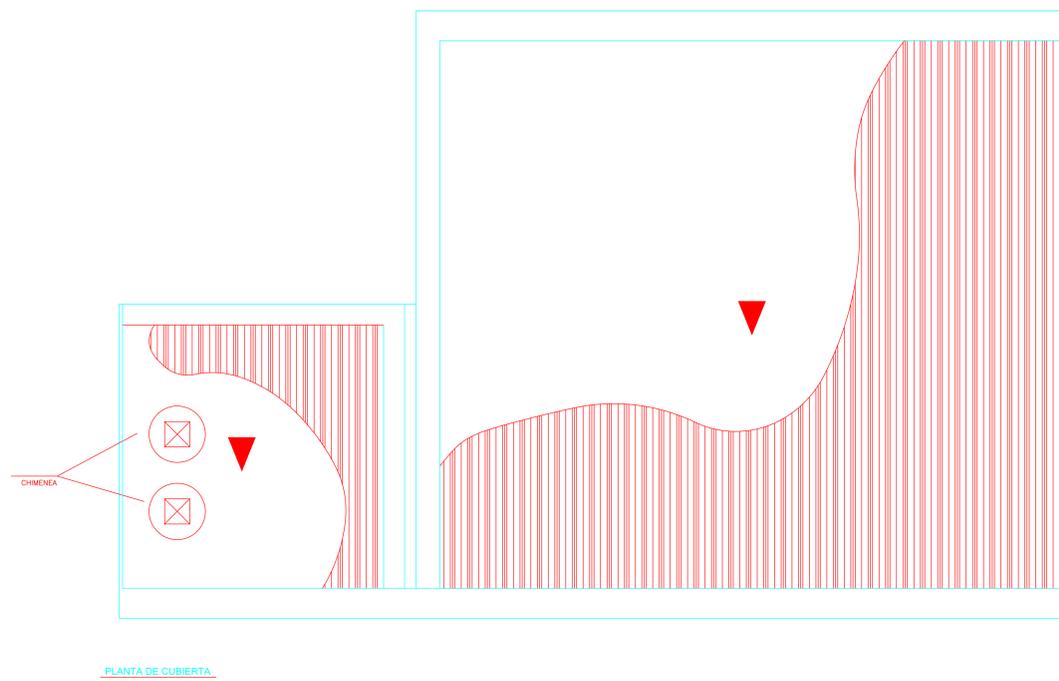
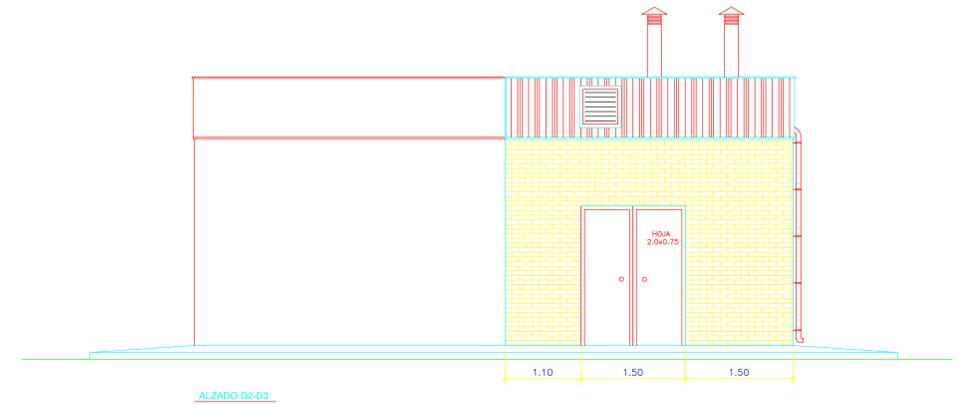
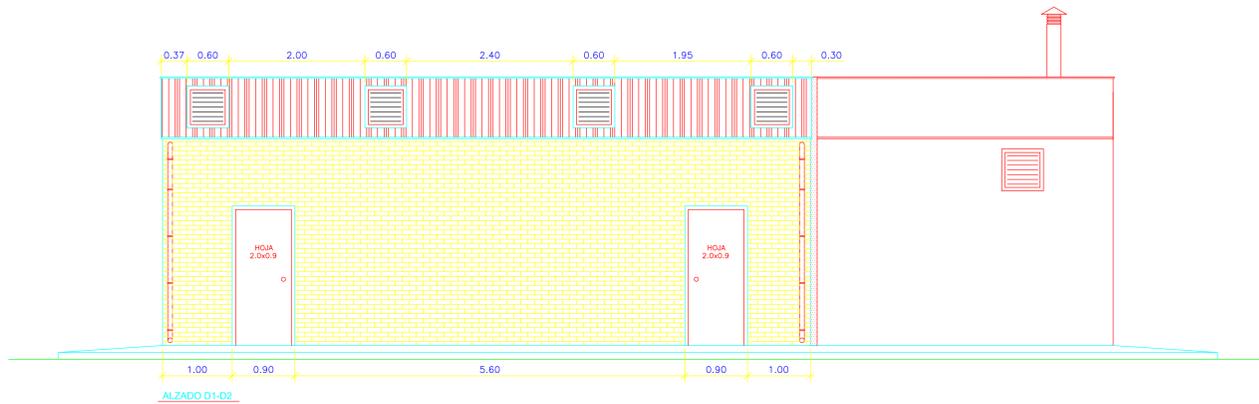
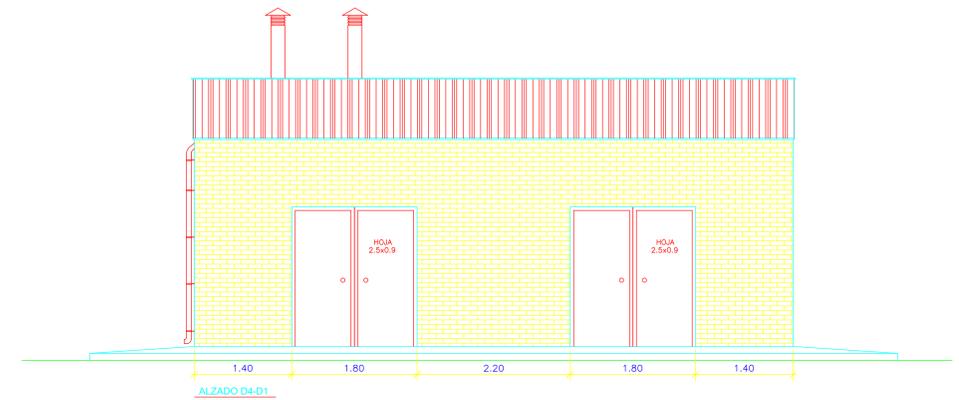
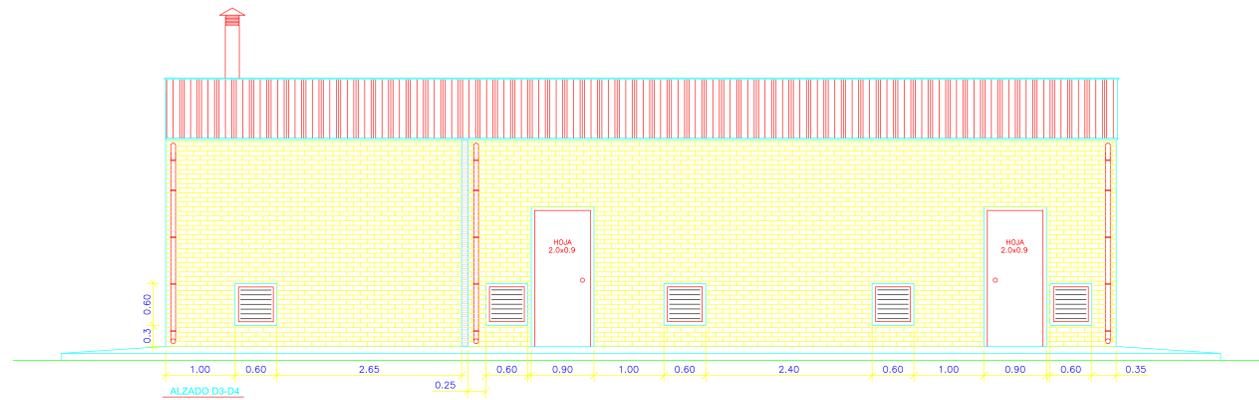
PLANO: PLANTA y SECCIONES

FECHA: 14/06/2007

PROYECTO:
E.R.M. G-160 de 80/16 bar
para una RED de Distribución en A.P.A.

N° PLANO 3-9

NOMBRE Y APELLIDOS:
Juan Manuel Traverso Soto

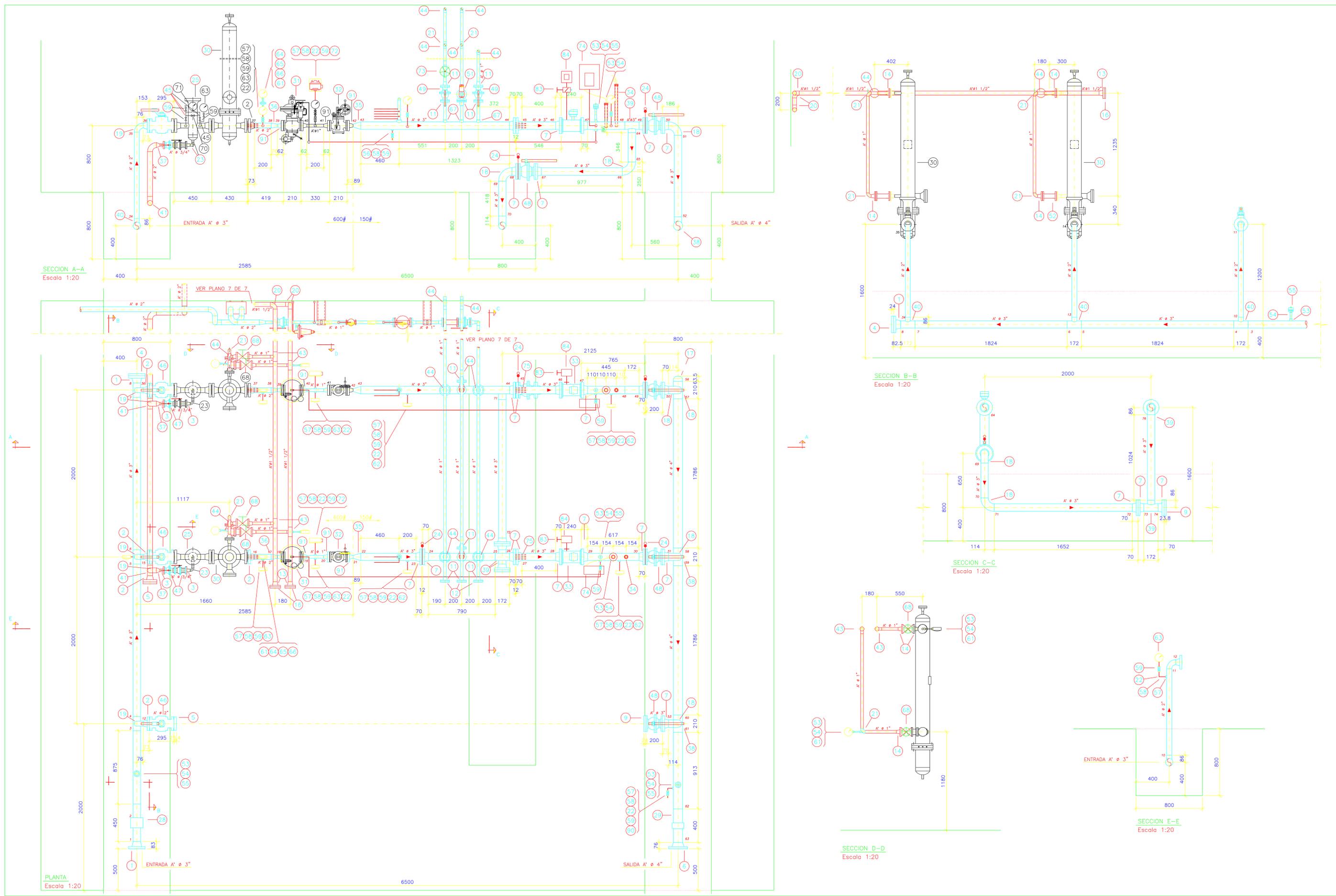


LEYENDA

Notas:

DETALLES 1, 2, 3 y 4 señalizados en Plano 3-9

FIRMA:	PROYECTO:
ESCALA: 1/50	E.R.M. G-160 de 80/16 bar para una RED de Distribución en A.P.A.
FECHA: 14/06/2007	
PLANO: ALZADO y DETALLES	Nº PLANO 4-9
	NOMBRE Y APELLIDOS: Juan Manuel Traverso Soto



SECCION A-A
Escala 1:20

SECCION B-B
Escala 1:20

SECCION C-C
Escala 1:20

SECCION D-D
Escala 1:20

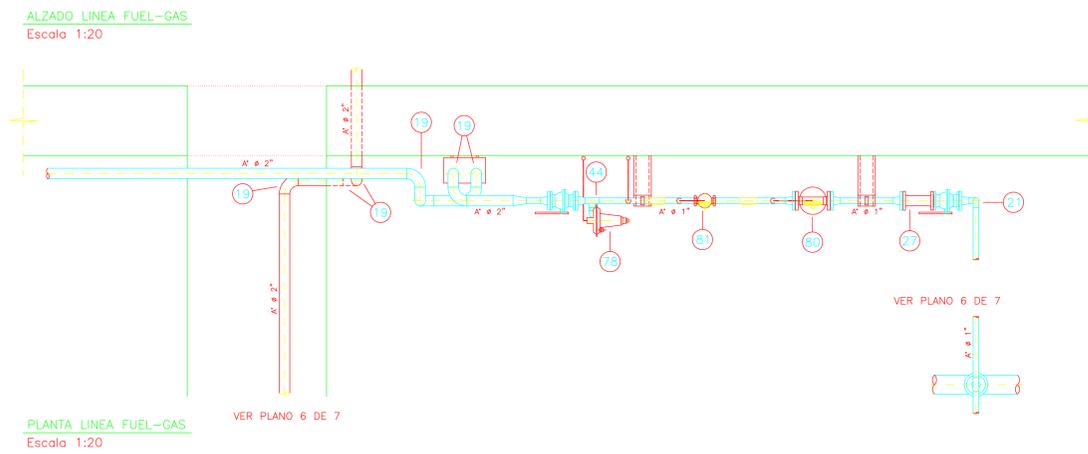
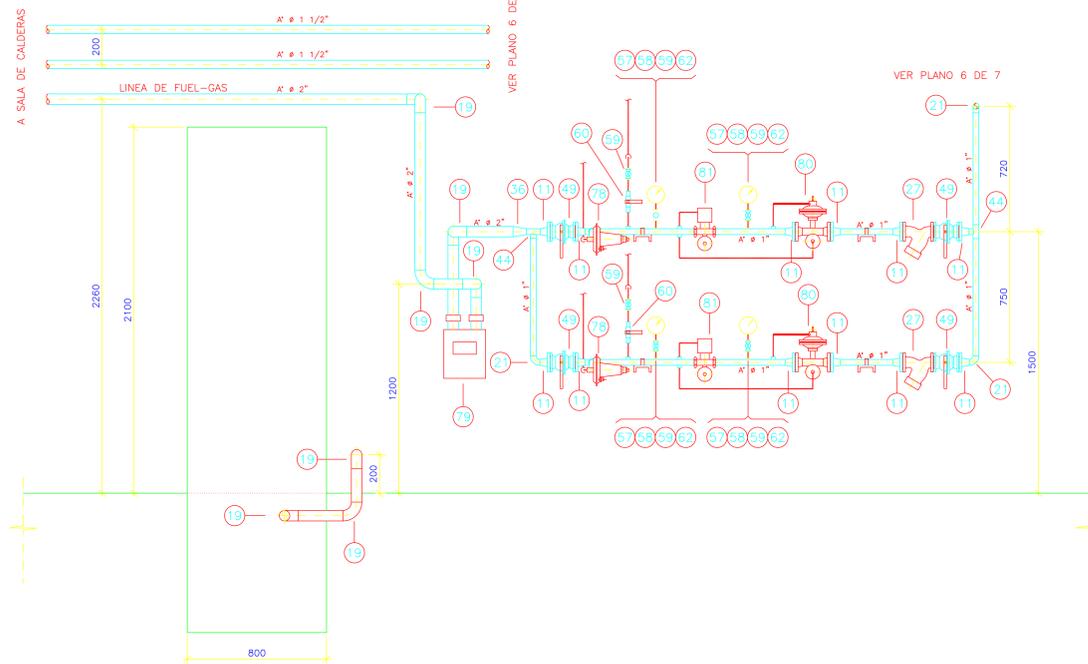
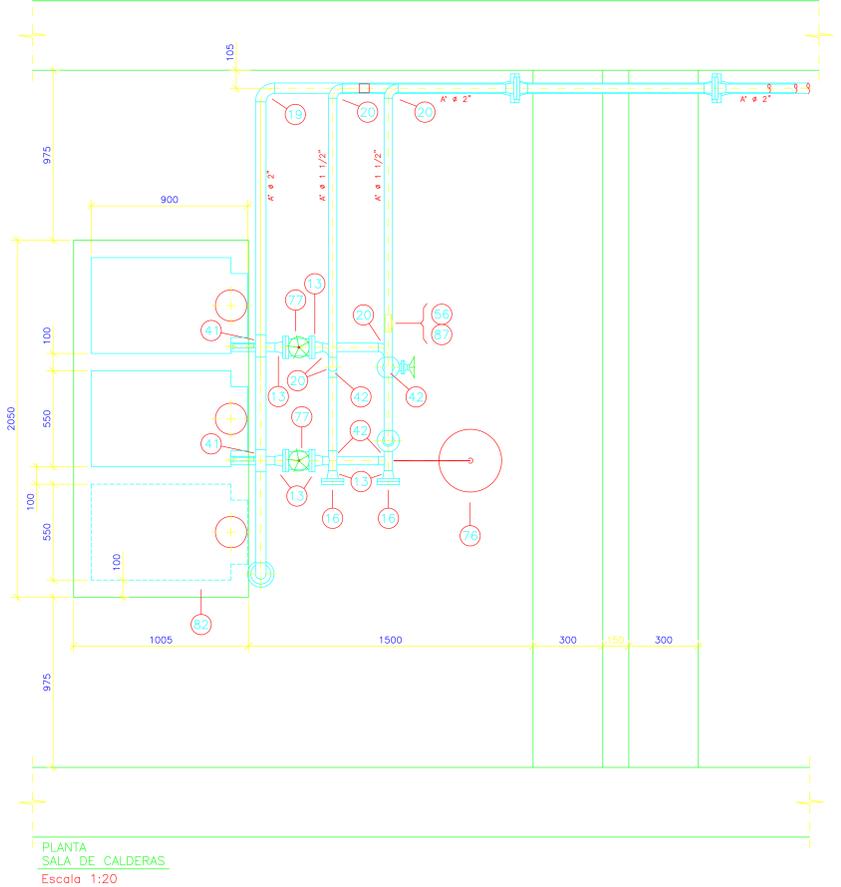
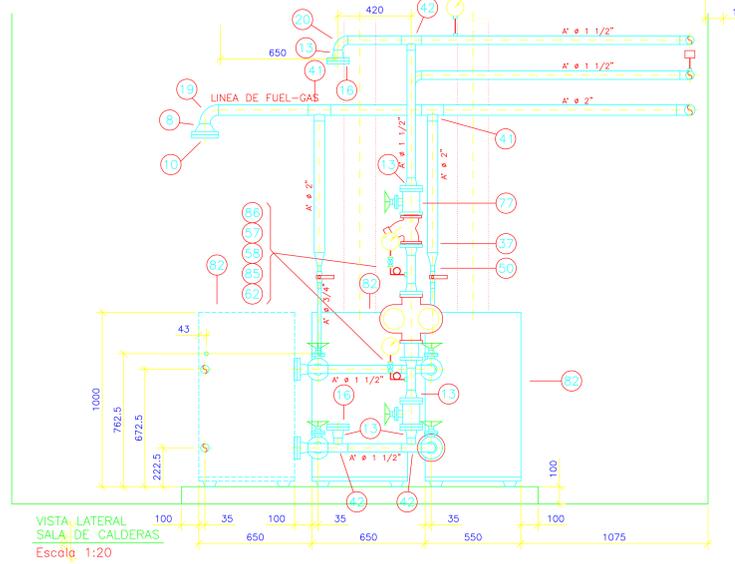
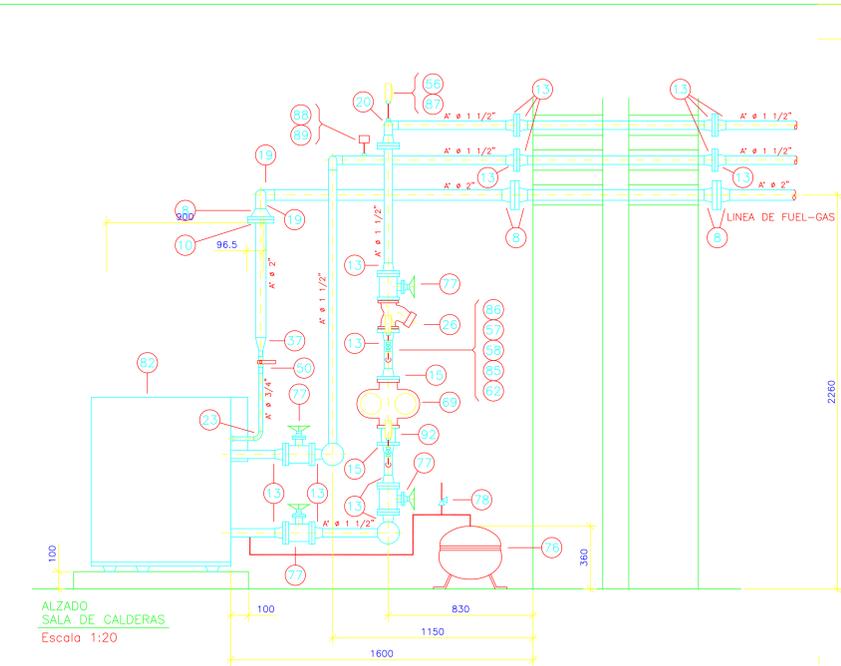
SECCION E-E
Escala 1:20

PLANTA
Escala 1:20

LEYENDA

Notas:
NOTA: LEYENDA DE MATERIALES EN PLANO 6 DE 9.

FIRMA:		PROYECTO:	
Escala:	Fecha:	E.R.M. G-160 de 80/16 bar	
1/20	14/06/2007	para una RED de Distribución en A.P.A.	
PLANO:		Nº PLANO	NOMBRE Y APELLIDOS:
MONTAJE MECANICO I		5/9	Juan Manuel Traverso Soto
Lineas Principales de Regulación			



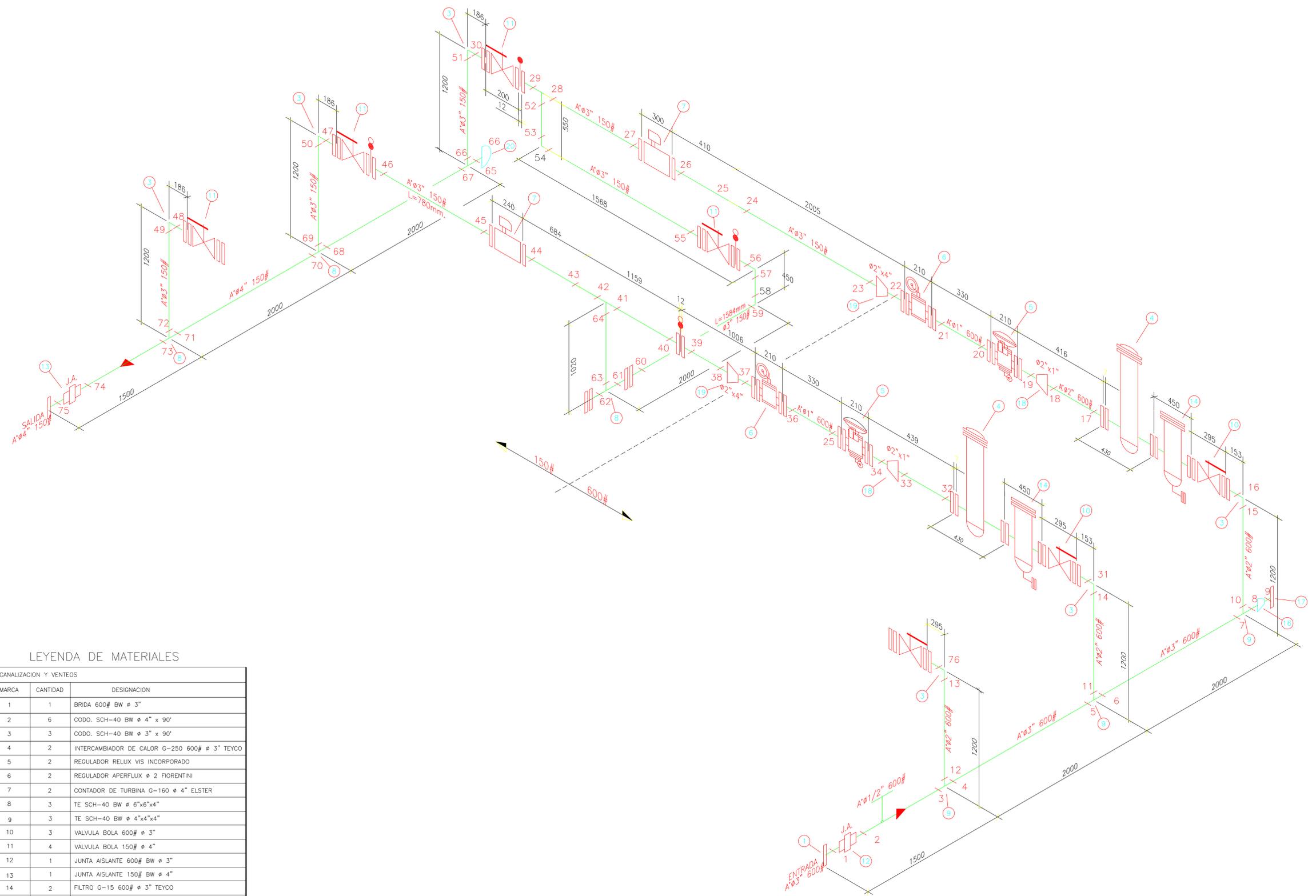
LEYENDA DE MATERIALES			LEYENDA DE MATERIALES		
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACION	MARCA	CANTIDAD	DESIGNACION
83	2	MANIFOLD 1 VIA - 2 VALVULAS ø 1/2"	1	2	BRIDA 600# WN ø 3"
84	2	TRANSMISOR DE PRESION	2	6	BRIDA 600# WN ø 2"
85	2	GRIFO PORTAMANOMETRO ø 1/2"	3	4	BRIDA 600# SW ø 3/4"
86	2	LIRA DE AMORTIGUACION	4	1	BRIDA CIEGA 600# ø 3"
87	1	TERMOMETRO BIMETALICO ORIENTABLE 0-60 ° Y TERMOSTATO	5	2	BRIDA CIEGA 600# ø 2"
88	1	SONDA DE TEMPERATURA	6	1	BRIDA 150# WN ø 4"
89	1	MEDIO MANGUITO ROSCA GAS ø 1/2"	7	20	BRIDA 150# WN ø 3"
90	1	TAPON MACHO ø 1/2"	8	5	BRIDA 150# WN ø 2"
91	8	BRIDA 600# SW ø 1"	9	2	BRIDA CIEGA 150# ø 3"
92	1	VALVULA DE RETENCION DN-40	10	1	BRIDA CIEGA 150# ø 2"
			11	27	BRIDA 150# SW ø 1"
			12	3	BRIDA CIEGA 150# ø 1"
			13	26	BRIDA PN-16 DN-40
			14	10	BRIDA PN-16 DN-25
			15	2	BRIDA PN-6 DN-40
			16	6	BRIDA CIEGA PN-16 DN-40
			17	1	CAP SCH-40 BW ø 4"
			18	6	CODO SCH-40 BW ø 3" x 90°
			19	17	CODO SCH-40 BW ø 2" x 90°
			20	9	CODO SCH-40 SW ø 1 1/2" x 90°
			21	13	CODO SCH-40 SW ø 1" x 90°
			22	5	CODO SCH-40 SW ø 1/2" x 90°
			23	6	CODO SCH-40 SW ø 3/4" x 90°
			24	4	DISCO GAFAS ø 3"
			25	2	FILTRO G-10 EMBRIDADO 600# ø 2"
			26	1	FILTRO TIPO "Y" ø 1 1/2"
			27	2	FILTRO TIPO "Y" ø 1"
			28	1	JUNTA AISLANTE MONOBLOCK 600# ø 3"
			29	1	JUNTA AISLANTE MONOBLOCK 150# ø 4"
			30	2	INTERCAMBIADOR DE CALOR G-100 600# ø 2"
			31	2	REGULADOR REFLUX VIS INCORPORADA ø 1" FIORENTINI
			32	2	REGULADOR APERFLUX ø 1" FIORENTINI
			33	2	CONTADOR DE TURBINA G-100 ø 3"
			34	2	BULBO TEMPERATURA CONTROL VALVULAS 3 VIAS V-4.10
			35	2	REDUCCION SCH-40 BW ø 3" x 1"
			36	3	REDUCCION SCH-40 BW ø 2" x 1"
			37	4	REDUCCION SCH-40 BW ø 2" x 3/4"
			38	3	TE REDUCIDA SCH-40 BW ø 4"x4"x3"
			39	3	TE SCH-40 BW ø 3"x3"x3"
			40	3	TE REDUCIDA SCH-40 BW ø 3"x3"x2"
			41	4	TE SCH-40 BW ø 2"x2"x2"
			42	5	TE SCH-40 SW ø 1 1/2"x1 1/2"x1 1/2"
			43	4	TE REDUCIDA SCH-40 SW ø 1 1/2"x1 1/2"x1"
			44	14	TE SCH-40 SW ø 1"x1"x1"
			45	8	TE ø 1/2" NPT
			46	3	VALVULA BOLA 600# ø 2"
			47	4	VALVULA BOLA 600# ø 3/4"
			48	4	VALVULA BOLA 150# ø 3"
			49	8	VALVULA BOLA 150# ø 1"
			50	2	VALVULA BOLA 150# ø 3/4"
			51	2	VALVULA SEGURIDAD VS-58 TARADA 17bar ø 1" FIORENTINI
			TE-5A/5B	2	PT-100 3 HILOS
			53	-	MEDIO MANGUITO ø 3/4" NPT
			54	-	NIPLE SOLDAR-ROSCAR ø 3/4"
			IT-55	4	PT-100 3 HILOS
			56	-	MEDIO MANGUITO ø 1/2" NPT
			57	-	SOCKOLET ø 1/2"
			58	-	NIPLE SOLDAR-SOLDAR ø 1/2"
			59	-	VALVULA AGUA SW-1/2" NPT-H
			60	2	VALVULA BOLA 150# ø 1/2"
			TI-61	-	TERMOMETRO ESCALA BIMETALICO ORIENTABLE 0-100 °C
			PI-62	-	MANOMETRO 0-6 bar
			PI-63	-	MANOMETRO CONCENTRICO 0-100bar
			64	-	SOCKOLET ø 1 1/2"
			65	4	BRIDA 600# SW ø 1 1/2"
			66	-	NIPLE SOLDAR-SOLDAR ø 1 1/2" 100mm
			67	6	SOCKOLET ø 1"
			68	4	VALVULA DE COMPUERTA PN-16 DN-25
			69	1	BOMBA DE CIRCULACION CALDERAS
			70	2	VALVULA AGUA ø 1/2" NPT-H
			PI-71	-	MANOMETRO DIFERENCIAL 0-1 bar
			72	2	PRESTOSTATO
			73	2	VALVULA AGUA ø 1" NPT-H
			74	2	REGISTRADOR CON ARMARIO
			75	2	ENDEZADOR DE FLUJO
			76	1	VASO EXPANSION 25L MARCA ROCA. MODELO VASOFLEX O SIMILAR
			77	6	VALVULA DE COMPUERTA PN-16 DN-40
			78	3	VALVULA DE SEGURIDAD TIPO VES VS-AMS8 150# ø 1" FIORENTINI
			79	1	CONTADOR
			80	2	REGULADOR DVAL 160 CON VS ø 1" 150# FIORENTINI
			81	2	REGULADOR DVAL 50 CON VS ø 1"
			82	3	CALDERA PEGASUS F2-51 65.000kcal/h FERROU PE-100 3 HILOS

Leyenda de Planos 5/9 y 6/9 Montaje Mecánico I y II

Notas:

FIRMA:
Escala: 1/20 Fecha: 14/06/2007
PLANO: MONTAJE MECÁNICO II FUEL GAS

PROYECTO:
E.R.M. G-160 de 80/16 bar para una RED de Distribución en A.P.A.
N°PLANO 6/9 NOMBRE Y APELLIDOS: Juan Manuel Traverso Soto



LEYENDA DE MATERIALES

CANALIZACION Y VENTEOS		
MARCA	CANTIDAD	DESIGNACION
1	1	BRIDA 600# BW ø 3"
2	6	CODO. SCH-40 BW ø 4" x 90°
3	3	CODO. SCH-40 BW ø 3" x 90°
4	2	INTERCAMBIADOR DE CALOR G-250 600# ø 3" TEYCO
5	2	REGULADOR RELUX VIS INCORPORADO
6	2	REGULADOR APERFLUX ø 2 FIORENTINI
7	2	CONTADOR DE TURBINA G-160 ø 4" ELSTER
8	3	TE SCH-40 BW ø 6"x6"x4"
9	3	TE SCH-40 BW ø 4"x4"x4"
10	3	VALVULA BOLA 600# ø 3"
11	4	VALVULA BOLA 150# ø 4"
12	1	JUNTA AISLANTE 600# BW ø 3"
13	1	JUNTA AISLANTE 150# BW ø 4"
14	2	FILTRO G-15 600# ø 3" TEYCO
16	1	REDUCCION EXCENTRICA SCH-40 BW ø 4" x 3"
17	6	BRIDA 600# BW ø 3"
18	2	REDUCCION SCH-40 BW ø 3" x 2"
19	2	REDUCCION SCH-40 BW ø 4" x 3"
20	2	CAP SCH-40 BW ø 4"
21	1	BRIDA 150# BW ø 4"

LEYENDA

Notas:

Enderezador de flujo vó insertado en las TURBINAS

Firma:

Escala:
1/20

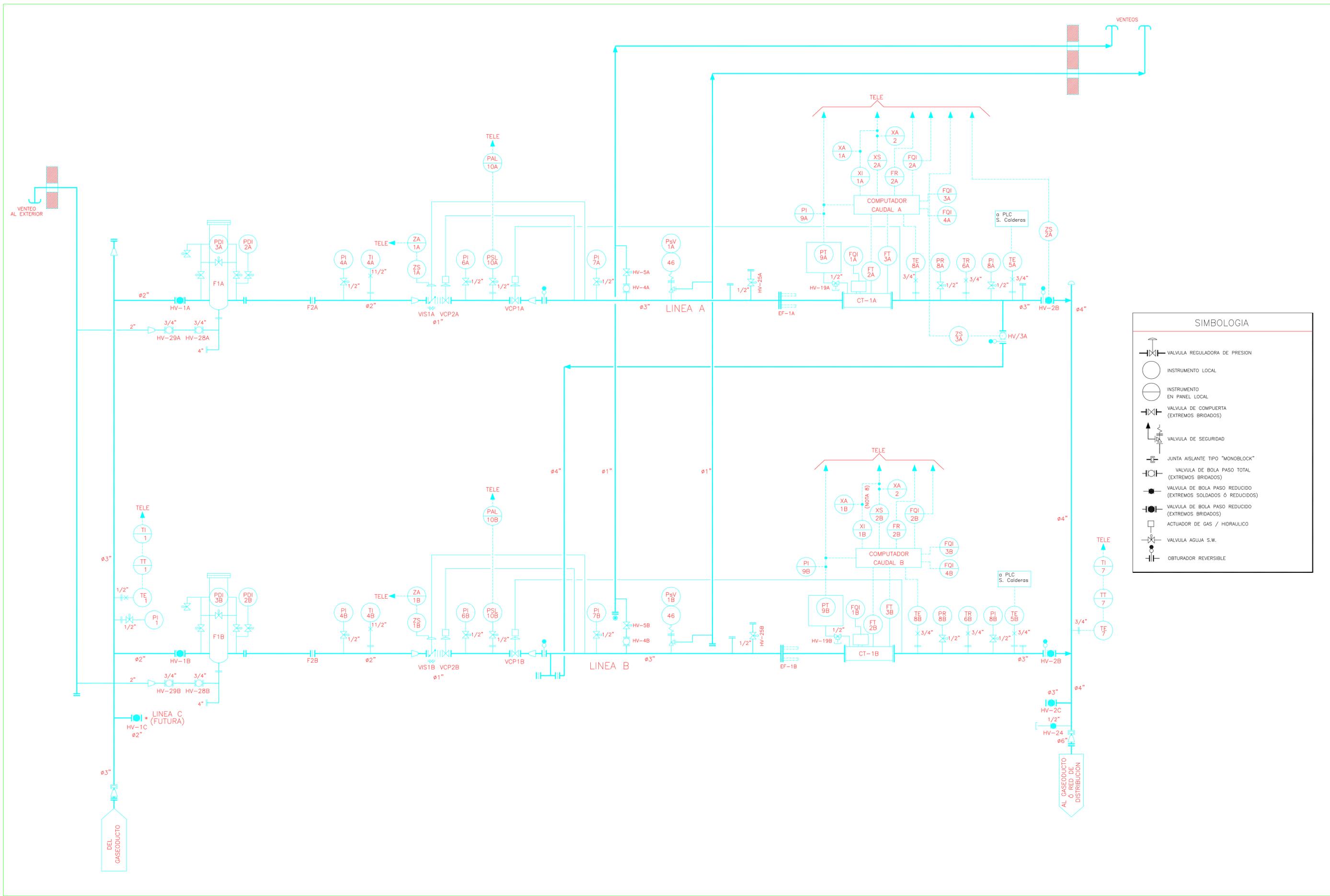
Fecha:
14/06/2007

PLANO:
ISOMÉTRICO DE LA ERM

PROYECTO:
E.R.M. G-160 80/16 bar
para RED de Distribución en A.P.A.

Nº PLANO:
7/9

NOMBRE Y APELLIDOS:
Juan Manuel Traverso Soto



SIMBOLOGIA	
	VALVULA REGULADORA DE PRESION
	INSTRUMENTO LOCAL
	INSTRUMENTO EN PANEL LOCAL
	VALVULA DE COMPUERTA (EXTREMOS BRIDADOS)
	VALVULA DE SEGURIDAD
	JUNTA AISLANTE TIPO "MONOBLOCK"
	VALVULA DE BOLA PASO TOTAL (EXTREMOS BRIDADOS)
	VALVULA DE BOLA PASO REDUCIDO (EXTREMOS SOLDADOS O REDUCIDOS)
	VALVULA DE BOLA PASO REDUCIDO (EXTREMOS BRIDADOS)
	ACTUADOR DE GAS / HIDRAULICO
	VALVULA AGUA S.W.
	OBTURADOR REVERSIBLE

LEYENDA

Notas:

Entre las bridas F2B se intercala el intercambiador representado en el Plano 9/9.

Firma:

Escala:
S/E

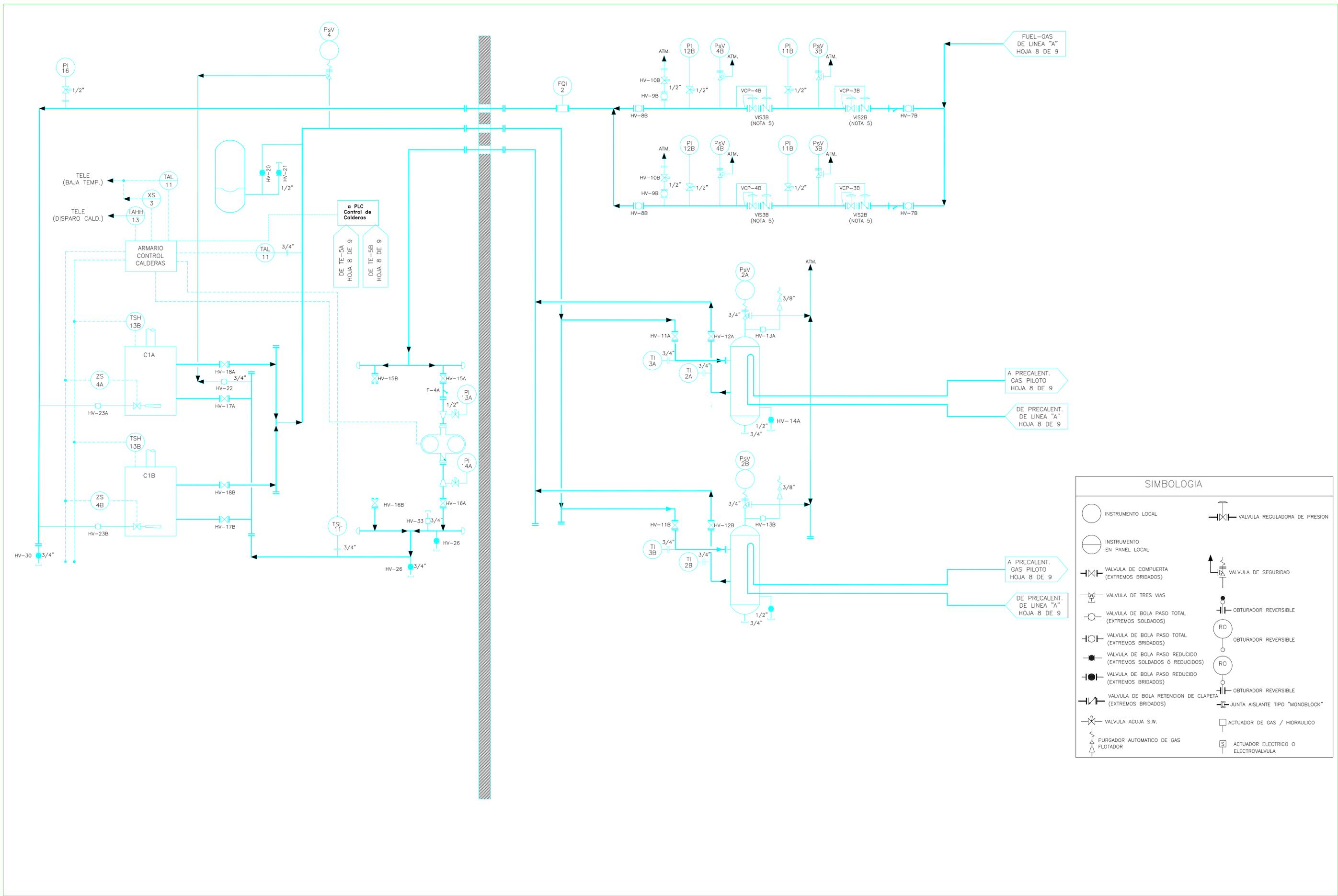
Fecha:
14/06/2007

PROYECTO:
E.R.M. G-160 de 80/16 bar
para una RED de Distribución en A.P.A.

PLANO:
DIAGRAMA DE TUBERIAS E
INSTRUMENTACIÓN

Nº PLANO
8/9

NOMBRE Y APELLIDOS:
Juan Manuel Traverso Soto

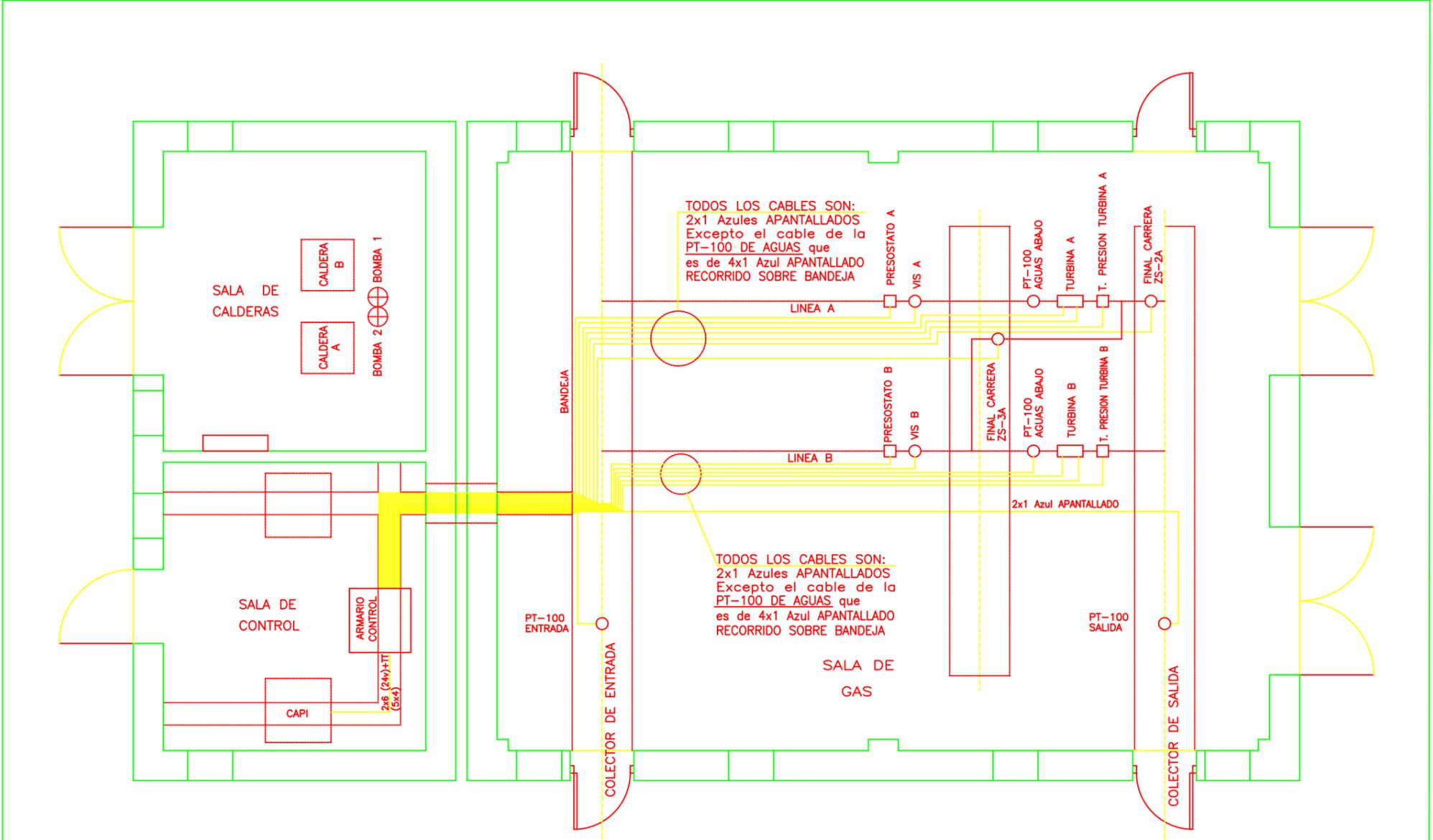


SIMBOLOGIA	
	INSTRUMENTO LOCAL
	INSTRUMENTO EN PANEL LOCAL
	VALVULA DE TRES VIAS
	VALVULA DE BOLA PASO TOTAL (EXTREMOS SOLDADOS)
	VALVULA DE BOLA PASO TOTAL (EXTREMOS BRIDADOS)
	VALVULA DE BOLA PASO REDUCIDO (EXTREMOS SOLDADOS O REDUCIDOS)
	VALVULA DE BOLA PASO REDUCIDO (EXTREMOS BRIDADOS)
	VALVULA DE BOLA RETENCION DE CLAPETA (EXTREMOS BRIDADOS)
	VALVULA AGUA S.W.
	PURGADOR AUTOMATICO DE GAS FLOTADOR
	VALVULA REGULADORA DE PRESION
	VALVULA DE SEGURIDAD
	OBTURADOR REVERSIBLE
	OBTURADOR REVERSIBLE
	OBTURADOR REVERSIBLE
	JUNTA AISLANTE TIPO "MONOBLOCK" (EXTREMOS BRIDADOS)
	ACTUADOR DE GAS / HIDRAULICO
	ACTUADOR ELECTRICO O ELECTROVALVULA

LEYENDA

Notas:
 Las señales de TE-5A/5B, se conectan a PLC en cuadro de control de calderas
 SISTEMA DE CALEFACCION DE ERM

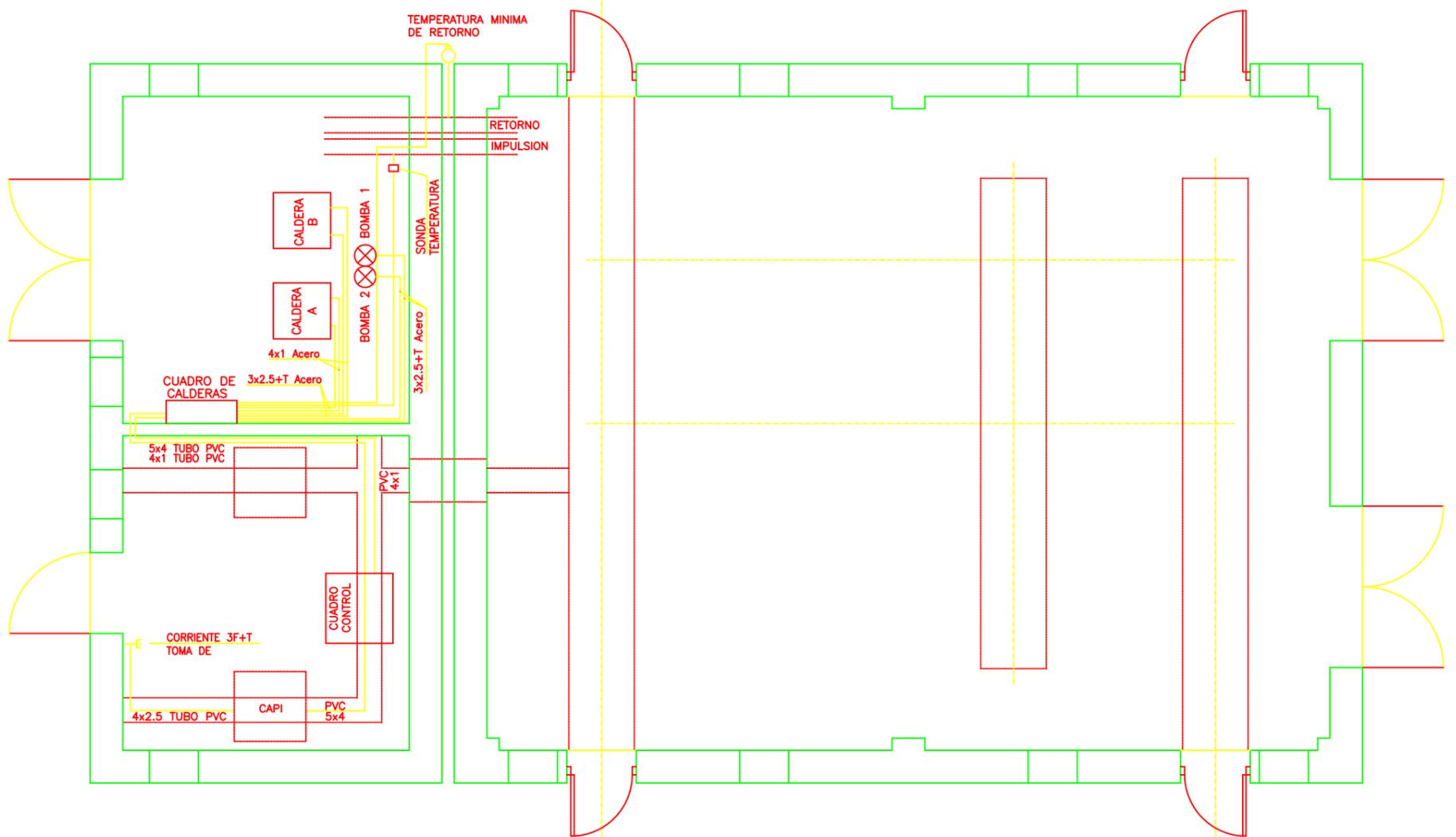
Firma:	Fecha:	PROYECTO:
S/E	14/06/2007	E.R.M. G-160 de 80/16 bar para una RED de Distribución en A.P.A.
PLANO:	Nº PLANO:	NOMBRE Y APELLIDOS:
DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION II (ERM)	9/9	Juan Manuel Traverso Soto



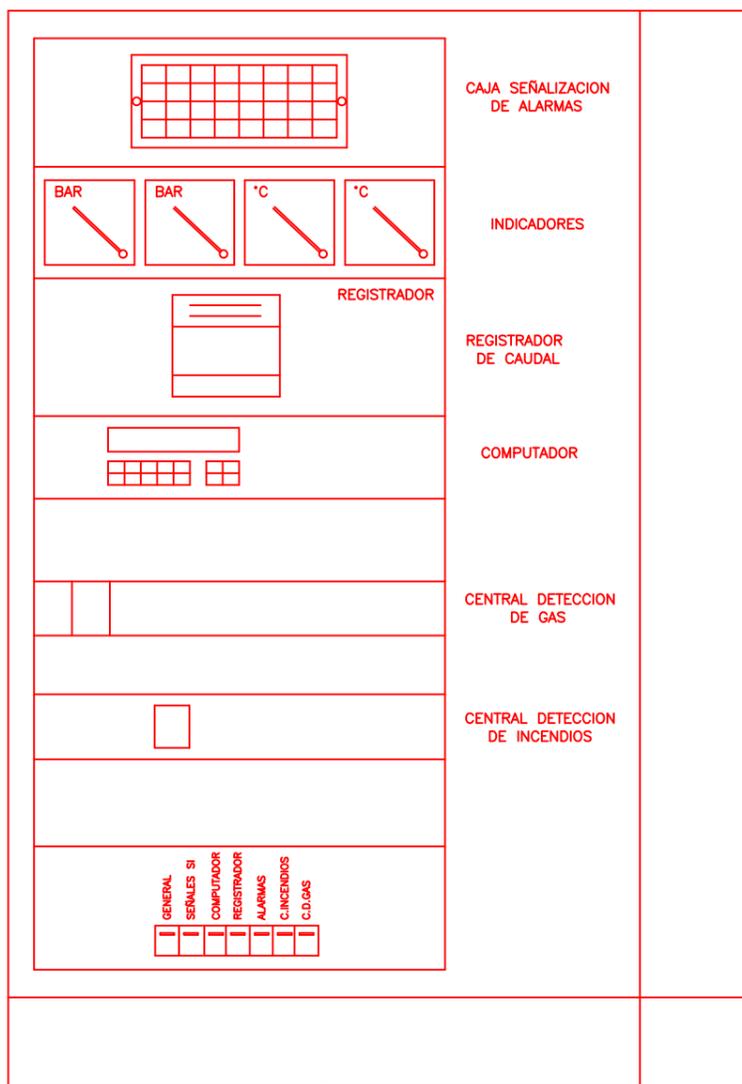
TODOS LOS CABLES SON:
 2x1 Azules APANTALLADOS
 Excepto el cable de la
 PT-100 DE AGUAS que
 es de 4x1 Azul APANTALLADO
 RECORRIDO SOBRE BANDEJA

TODOS LOS CABLES SON:
 2x1 Azules APANTALLADOS
 Excepto el cable de la
 PT-100 DE AGUAS que
 es de 4x1 Azul APANTALLADO
 RECORRIDO SOBRE BANDEJA

Firma:		PROYECTO: E.R.M. G-160 80/16 bar para una RED de Distribución en APA	
Escala: S/E	Fecha: 14/06/2007		
Plano: Esquema de señales Zona de Gas		HOJA 1 de 9	NOMBRE Y APELLIDOS: Juan Manuel Traverso Soto



Firma:		PROYECTO:	
Escala:	Fecha:	E.R.M. G-160 80/16 bar	
S/E	14/06/2007	para una RED de Distribución en APA	
Plano:		HOJA 2 de 9	NOMBRE Y APELLIDOS:
Esquema de Calderas y Fuerza			Juan Manuel Traverso Soto

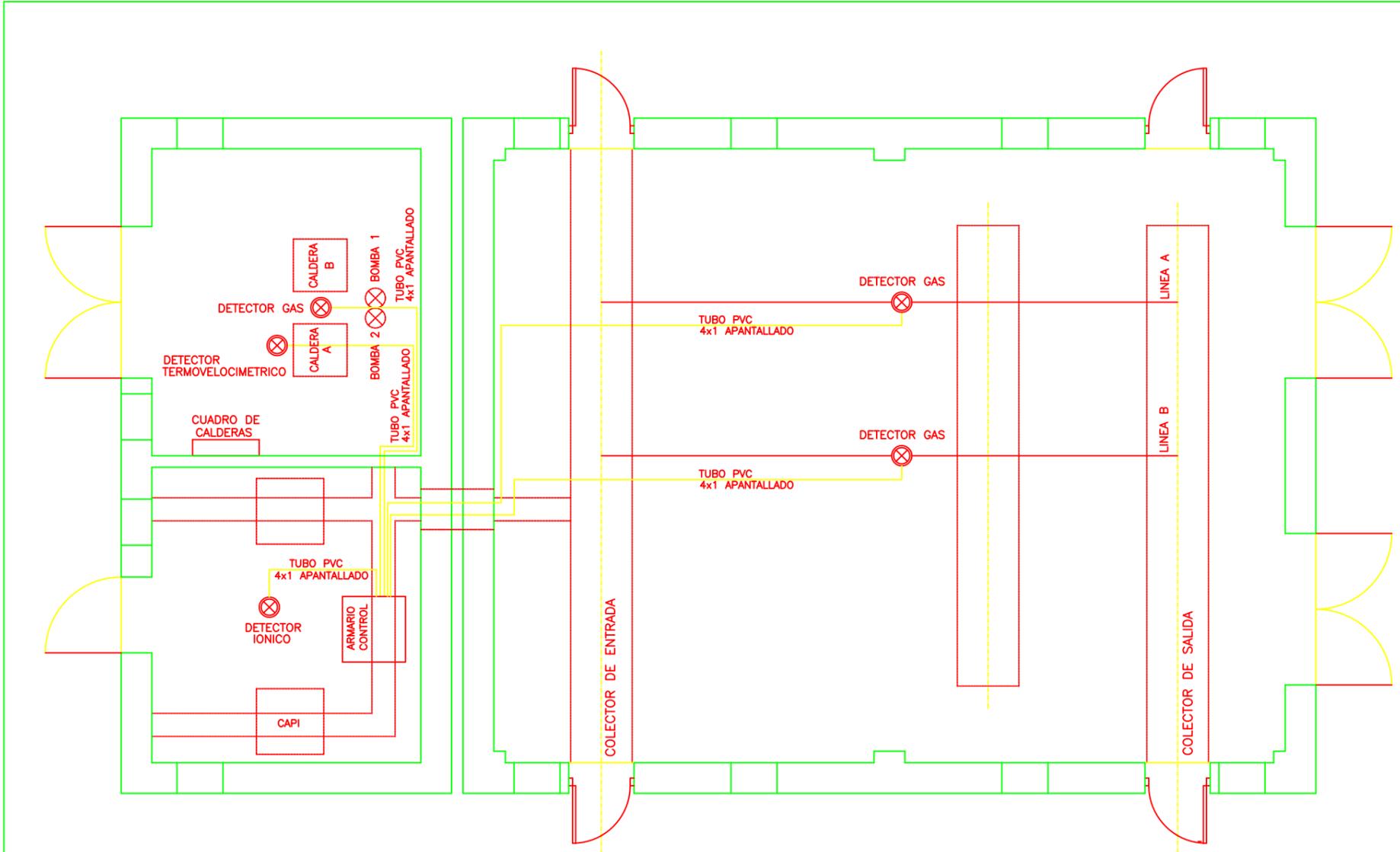


LEYENDA DE BORNAS

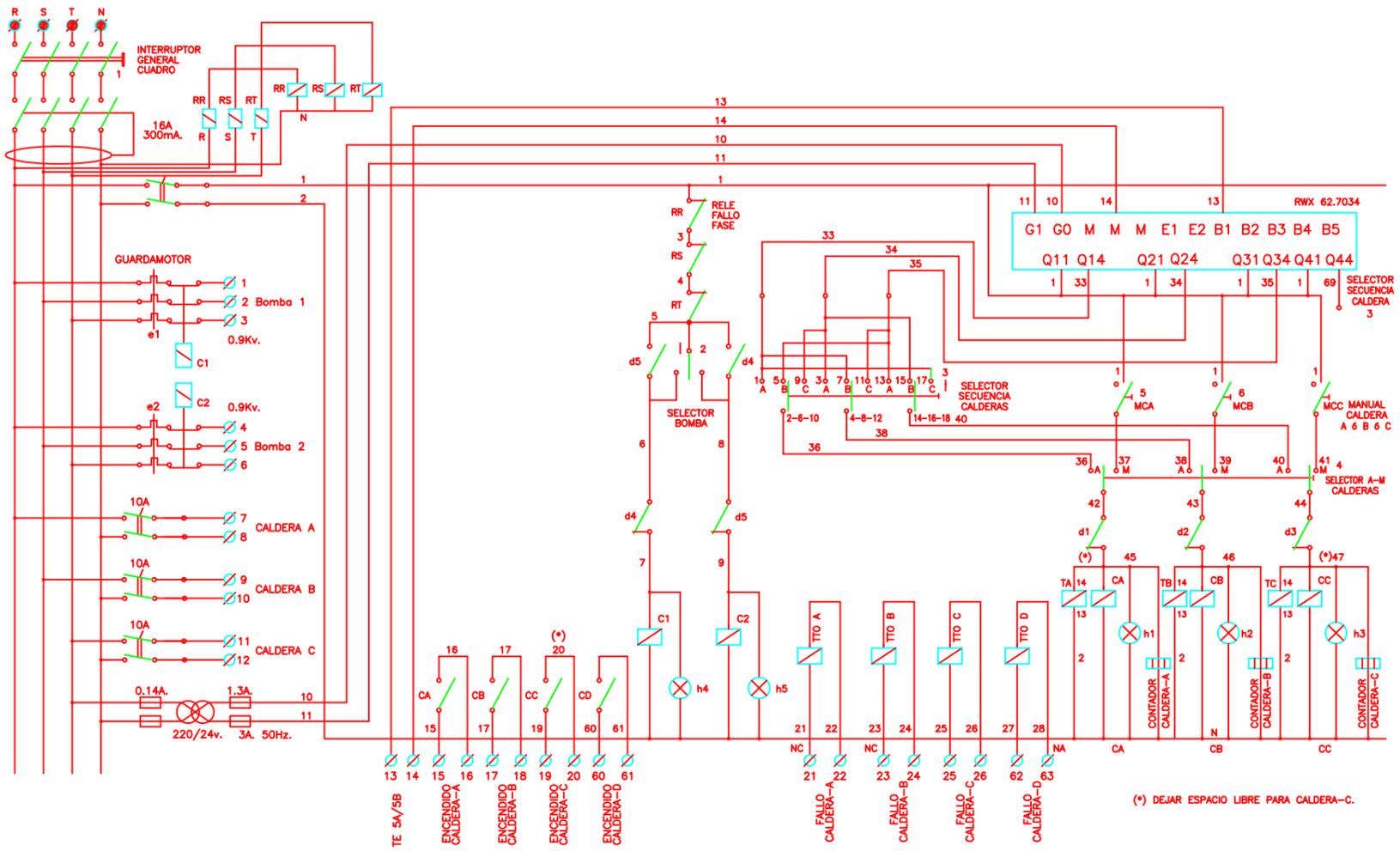
- ALIMENTACION
- ANALOGICAS AZULES
- ANALOGICAS NO AZULES
- ANALOGICAS REMOTA
- DIGITALES AZULES
- DIGITALES NO AZULES
- DIGITALES REMOTA

FRONTAL DEL BASTIDOR
"RACK 19"

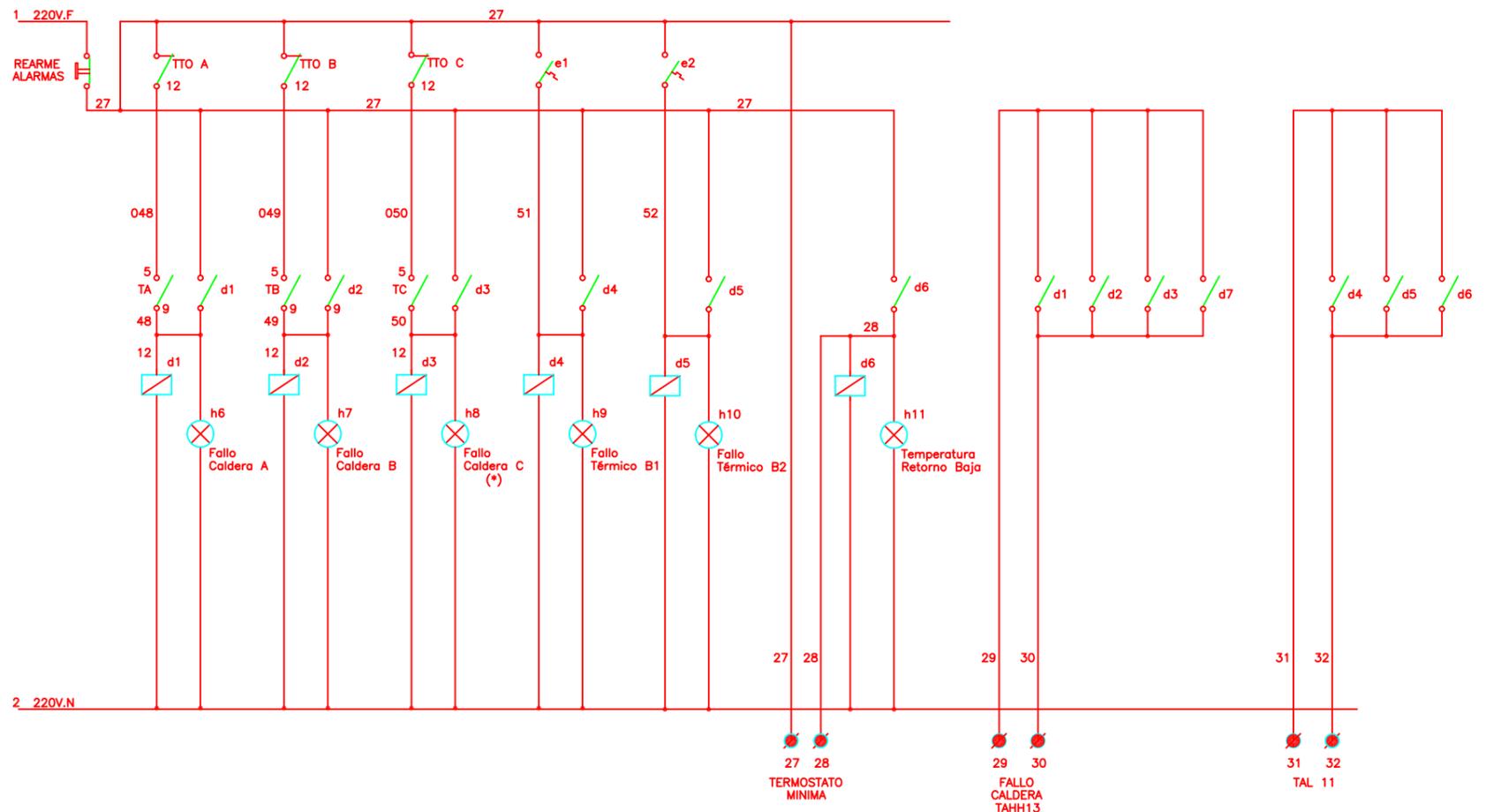
Firma:		PROYECTO:	
Escala:	Fecha:	E.R.M. G-160 80/16 bar	
S/E	14/06/2007	para una RED de Distribución en APA	
Plano:		HOJA 3 de 9	NOMBRE Y APELLIDOS:
Esquema Distribución Armario instrumentación			Juan Manuel Traverso Soto



Firma:		PROYECTO:	
Escala: S/E		Fecha: 14/06/2007	E.R.M. G-160 80/16 bar para una RED de Distribución en APA
Plano: Esquema Detección Gas e Incendios		HOJA 4 de 9	NOMBRE Y APELLIDOS: Juan Manuel Traverso Soto

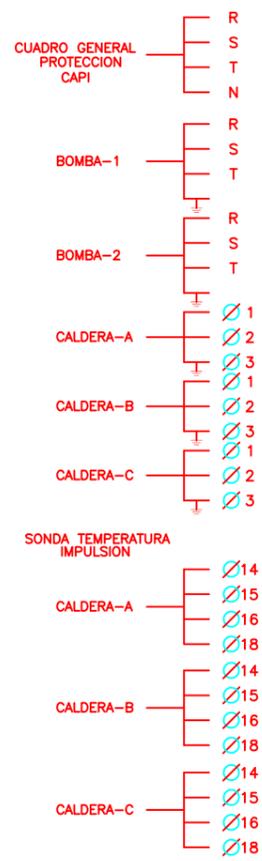
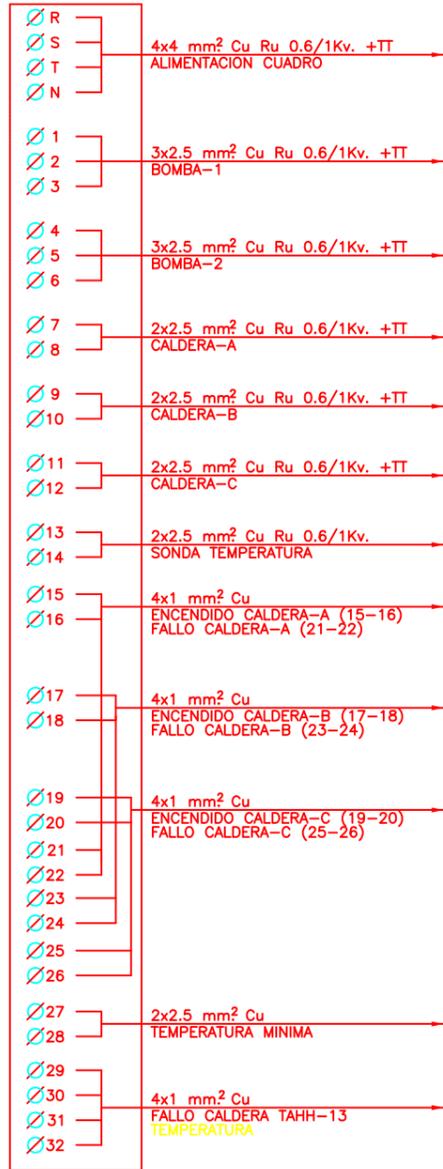


Firma:		PROYECTO: E.R.M. G-160 80/16 bar para una RED de Distribución en APA	
Escala: S/E	Fecha: 14/06/2007		
Plano: Esquema de Desarrollo I	HOJA 5 de 9	NOMBRE Y APELLIDOS: Juan Manuel Traverso Soto	

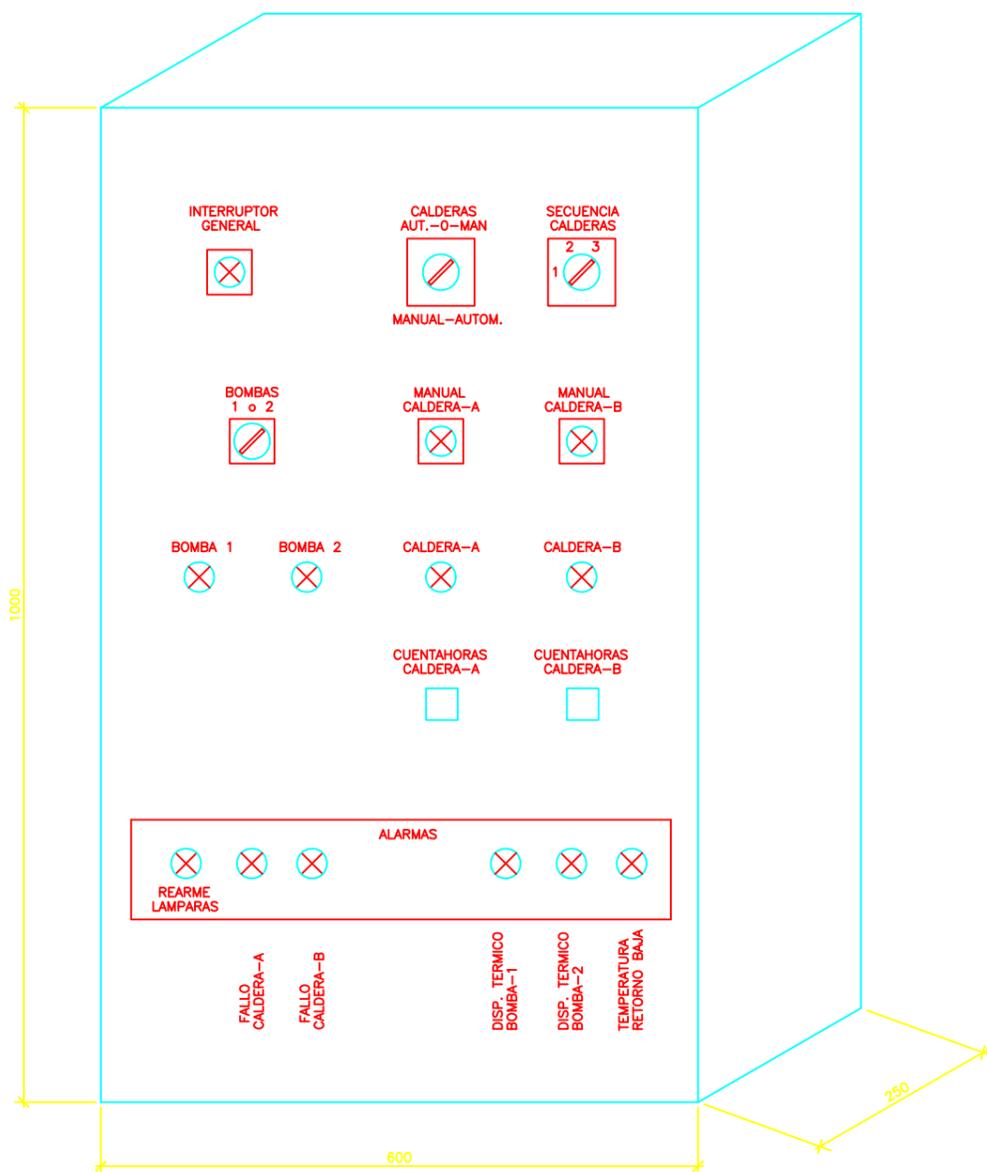


Firma:		PROYECTO: E.R.M. G-160 80/16 bar para una RED de Distribución en APA	
Escala: S/E	Fecha: 14/06/2007		
Plano: Esquema de Desarrollo II		HOJA 6 de 9	NOMBRE Y APELLIDOS: Juan Manuel Traverso Soto

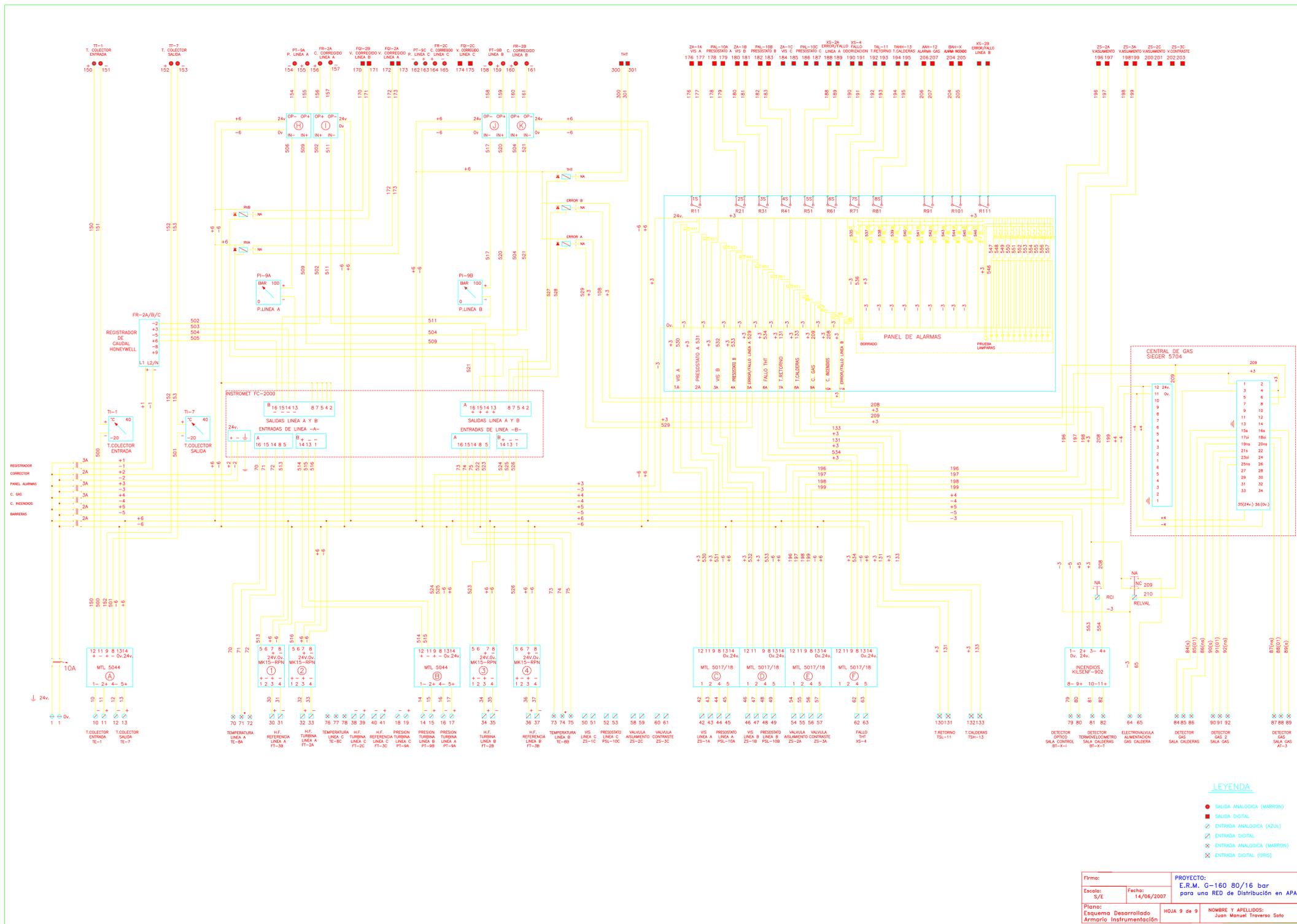
CUADRO DE CALDERAS



Firma:		PROYECTO:	
Escola:	Fecha:	E.R.M. G-160 80/16 bar	
S/E	14/06/2007	para una RED de Distribución en APA	
Plano:		HOJA 7 de 9	NOMBRE Y APELLIDOS:
Esquema de Desarrollo III			Juan Manuel Traverso Soto



Firma:		PROYECTO:	
Escala: S/E		Fecha: 14/06/2007	E.R.M. G-160 80/16 bar para una RED de Distribución en APA
Plano: Armario cuarto Calderas		HOJA 8 de 9	NOMBRE Y APELLIDOS: Juan Manuel Traverso Soto



LEYENDA

- SALIDA ANALÓGICA (MARRÓN)
- SALIDA DIGITAL
- ⊕ ENTRADA ANALÓGICA (AZUL)
- ⊖ ENTRADA DIGITAL
- ⊗ ENTRADA ANALÓGICA (MARRÓN)
- ⊘ ENTRADA DIGITAL (GRIS)

Firma:	PROYECTO:
Escrito: S/E	E.R.M. G-160 80/16 bar
Fecha: 14/06/2007	para una RED de Distribución en APA
Plano: Esquema Desarrollado	HOJA 9 de 9
Armario Instrumentación	NOMBRE Y APELLIDOS: Juan Manuel Traverso Soto

ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y
MEDIDA G-160 DE 80/16 BAR. PARA
ALIMENTACIÓN DE UNA RED DE
DISTRIBUCIÓN EN APA

DOCUMENTO III: PLIEGO DE
CONDICIONES

DOCUMENTO III: PLIEGO DE

CONDICIONES

CAPITULO 1º: DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PLIEGO.....16

CAPÍTULO 2º: CONDICIONES GENERALES.....24

1. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS....24

1.1. Dirección Facultativa.....24

1.2. Obligaciones y derechos del Contratista.....27

1.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares.....31

1.3.1. Libro de Órdenes.....31

1.3.2. Replanteo, comienzo de los trabajos y
plazo de ejecución.....33

1.3.3. Trabajos defectuosos y modificación por
causa de fuerza mayor.....37

1.3.4. Obra y vicios ocultos.....39

1.3.5. Materiales y medios auxiliares.....	40
1.3.6. Medidas de seguridad.....	43
1.4. Recepción provisional, plazo de garantía y recepción definitiva.....	44
1.5. Casos no previstos en este Pliego.....	47
2. CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS.....	47
2.1. Base fundamental.....	47
2.2. Garantía de cumplimientos y fianzas.....	48
2.3. Penalización.....	50
2.4. Precios y revisiones.....	52
2.5. Medición, valoración y abono de las unidades de obra.....	57
2.5.1. Generalidades.....	57
2.5.2. Composición de precios.....	59

2.5.3. Relaciones valoradas y certificaciones.....	63
2.5.4. Formas de abono de las obras	68
2.5.5. Liquidaciones.....	71
2.5.6. Pagos.....	74
2.5.7. Indemnización de daños causados por fuerza mayor.....	74
3. CONDICIONES GENERALES LEGALES.....	75
3.1. Arbitrio y jurisdicción.....	75
3.2. Responsabilidades legales del Contratista.....	77
3.3. Subcontratas.....	84
3.4. Pago de arbitrios.....	84
3.5. Causas de rescisión del contrato.....	85
CAPÍTULO 3º: CONDICIONES PARTICULARES.....	87

1.	OBJETO.....	87
2.	ALCANCE DE LOS TRABAJOS.....	87
	2.1. Trabajos a efectuar.....	88
	2.1.1. Obras civiles.....	88
	2.1.2. Montaje mecánico.....	90
	2.1.3. Protección catódica.....	92
	2.1.4. Instalación eléctrica.....	92
	2.1.5. Instalaciones de telemando.....	92
	2.2. Trabajos por Administración.....	93
3.	OFICINAS Y LOCALES.....	93
	3.1. Servicios.....	93
	3.2. Locales de obra.....	93
4.	MATERIALES.....	95

4.2.	Materiales a suministrar por la Propiedad.....	95
4.3.	Materiales a suministrar por el Contratista.....	95
5.	HORMIGONES.....	97
6.	CONTROL NO DESTRUCTIVO.....	98
7.	CONTABILIDAD DE LOS MATERIALES.....	98
8.	PRUEBAS DE RESISTENCIA Y ESTANQUEIDAD....	105
9.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	109
10.	INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	114
10.1.	Instrumentos en zona de gas.....	114
10.1.1.	Medidores de caudal.....	115
10.1.2.	Transmisores analógicos de presión.....	115
10.1.3.	Transmisores analógicos de temperatura.....	115

10.1.4.Presostatos y termostatos.....	116
10.1.5.Indicadores locales de presión y presión diferencial.....	116
10.1.6.Indicadores locales de temperatura....	116
10.1.7.Montaje.....	116
10.1.8.Contactos.....	117
10.2. Armario de control.....	117
10.2.1.Características constructivas del armario.....	117
10.2.2. Elementos a incluir en el armario.....	120
10.2.3.Pruebas y documentación del armario.....	120
10.3. Instalación eléctrica de instrumentación.....	120
11. CALIDAD.....	121

12.	DOCUMENTACIÓN FINAL.....	121
13.	IMPACTO MEDIOAMBIENTAL.....	126
13.1.	Medidas preventivas.....	126
13.2.	Instalaciones provisionales.....	126
13.3.	Ocupaciones.....	127
13.4.	Voladuras.....	127
13.5.	Combustibles y aceites.....	127
13.6.	Materiales sólidos sobrantes.....	128

CAPITULO 4º: CONDICIONES DE LOS MATERIALES

1.	TUBERÍA PARA LÍNEA.....	128
2.	BRIDAS Y ACCESORIOS.....	131
3.	VÁLVULAS Y ESPECIFICACIONES.....	132
3.1.	Válvulas que vehiculan gas.....	132
3.1.1.	Válvulas de bola.....	132

3.1.2. Válvulas de aguja.....	133
3.1.3. Válvulas de mariposa.....	134
3.2. Válvulas para agua.....	135
3.3. Válvulas para instrumentación.....	135
4. JUNTAS AISLANTES.....	136
5. REVESTIMIENTO DE LA TUBERÍA.....	136
5.1. Característica del revestimiento de P.E. sobre tuberías, realizado en fábrica.....	136
5.1.1. Limpieza de tubería.....	137
5.1.2. Imprimación.....	137
5.1.3. Material de protección.....	138
5.2. Revestimiento con cinta de polietileno.....	139
5.2.1 Imprimación.....	139
5.2.2. Cintas de protección.....	139

5.3.	Revestimiento con bordes o manguitos termorretráctiles.....	142
5.4.	Protecciones adicionales.....	143
5.5.	Suministro.....	145
6.	MATERIAL DE APORTACIÓN PARA SOLDADURA.....	146
7.	CONTROL NO DESTRUCTIVO.....	147
8.	CAJAS PARA TOMA DE POTENCIAL.....	150
8.1.	Caja o cofre.....	150
8.2.	Placa de montaje.....	152
8.3.	Bornas de conexión.....	152
8.4.	Terminales.....	152
9.	TUBO PROTECTOR DE CABLES Y PORTANTE DE CAJAS.....	152
9.1.	De acero.....	152

9.2.	Vaina protectora del sistema de telemando..	153
10.	CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	153
11.	PASAMUROS.....	154
11.1.	Marcos prefabricados con bloques a Compresión.....	155
11.2.	Pasamuros circular con bloques de Compresión.....	157
12.	INTERRUPTOR ANTIDEFLAGRANTE Y OTROS ACCESORIOS.....	158
12.1.	Interruptor antideflagrante.....	158
12.2.	Tubo protector de cable.....	158
12.3.	Placa de sujeción y señalización.....	158
12.4.	Cables de tierra.....	158
12.5.	Ánodos de Zic.....	159
13.	CONEXIÓN CABLE-TUBERÍA.....	159

14.	CINTA DE SEÑALIZACIÓN.....	159
15.	PINTURA PARA PARTES AEREAS.....	160
16.	AGUA.....	160
17.	CONGLOMERANTES HIDRÁULICOS.....	161
18.	ÁRIDOS PARA HORMIGONES Y MORTEROS.....	162
	18.1 Aridos para hormigones y morteros.....	162
	18.2 Arenas para morteros.....	164
19.	ARMADURAS.....	165
20.	ENCOFRADOS.....	166
21.	MATERIAL DE RELLENO DE ZANJA.....	167
22.	LIGANTES PARA PAVIMENTOS.....	171
23.	TAPAS DE FUNDICIÓN PARA REGISTROS.....	171
24.	PERFILES LAMINADOS PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS.....	172

25.	MATERIAL GRANULAR PARA PAVIMENTOS.....	172
26.	OTROS MATERIALES PARA PROTECCIÓN CATÓDICA.....	173
27.	MATERIALES PARA PASOS ESPECIALES.....	174
	27.1. Tubería para cruces de encamisado.....	174
	27.2. Tubería para ventilación de cruces.....	174
	27.3. Cierres elásticos para extremos entubados...	175
	27.4. Anillos separadores para cruces entubados..	176
28.	OTROS MATERIALES.....	177
	28.1. Subbases granulares.....	177
	28.2. Bordillos.....	177
	28.3. Zahorra natural.....	178
	28.4. Zahorra artificial.....	179

28.5. Endurecedor superficial.....	180
28.6. Pintura antipolvo endurecedora de superficie.....	180
28.7. Material de juntas.....	180
28.7.1. Poliestireno expandido.....	180
28.7.2. Imprimación.....	181
28.7.3. Masilla de sellado.....	181
28.8. Ladrillos.....	181
28.9. Viguetas prefabricadas.....	182
28.10. Macadam.....	183
28.11. Recebo.....	184
28.12. Aislamiento.....	185
28.13. Láminas asfálticas.....	185
28.14. Bloques de cemento.....	186

28.15. Tuberías de PVC.....186

28.16. Carpintería de acero.....187

CAPITULO 1º: DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PLIEGO

- Artículo 1º.- Interpretación del siguiente Pliego

El siguiente Pliego de Condiciones tiende a unificar criterios y establecer normas definidas en las obras que se realizarán en el siguiente proyecto. Se establecerán los criterios que se han de aplicar en la ejecución de las obras; también se deben fijar las características y ensayos de los materiales a emplear, las normas que se han de seguir en la ejecución de las distintas unidades de obra, las pruebas previstas para la recepción, las formas de medida y abono de las obras y el plazo de garantía.

- Artículo 2º.- Objeto del Pliego

El Pliego incluirá las prescripciones técnicas que han de regir en la ejecución de las obras de nuestro proyecto, así como condiciones facultativas, económicas y legales. Serán objeto de este estudio todas las obras incluidas en el presupuesto, abarcando todos los oficios y materiales que se emplearán en ella.

- Artículo 3º.- Documentos que definen la obra

Serán cuatro los documentos que definirán la obra:

Memoria, Planos, Pliego de Condiciones y Presupuesto.

En la Memoria se describirán con detalles las obras e instalaciones.

En los Planos se definirá la ubicación geográfica, detalles constructivos, estructura, así como las instalaciones.

En el Pliego de Condiciones se hará una descripción de las obras o extracto de la Memoria Descriptiva.

En el Presupuesto se definirán, especificando su número, las unidades de obra completas.

El Contratista encargado de la realización de las obras estará obligado a seguir estrictamente todo lo especificado en el presente Pliego.

- Artículo 4º.- Alcance de la documentación

Los diversos anexos y documentos del presente proyecto se complementan mutuamente. En consecuencia, una obra que venga indicada en los planos y presupuestos y que no venga indicada en los otros documentos, debe ser ejecutada por el Contratista sin indemnización alguna por parte del Propietario. Lo mismo se entiende para todos los trabajos accesorios no indicados en planos y documentos, pero generalmente admitidos como necesarios al complemento normal de ejecución de una obra de calidad irreprochable.

- Artículo 5º.- Descripción general de las obras

Las obras objeto del Proyecto: **Estación de Regulación y Medida G-160 de 80/16 bar. para alimentación de una red de distribución en APA** constan de:

- Replanteo y localización de servicios para la nueva E.R.M. G-160.
- Replanteo de zapatas, demoliciones de pavimentos, y vallas, excavación, sustitución de terreno, compactación, etc.
- Excavación, alineación, soldadura, revestimiento, descenso a zanja, recubrimiento con material apto, tapado de zanja, compactación y operaciones de acabado y restitución, cuando sea necesario, para el montaje de las Canalizaciones.
- Obras especiales de cimentaciones, losas, viales de hormigón, estructuras, vigas y vallados. Rotura de viales. Reposición de viales y construcción de nuevos viales.
- Formación de muros, revestimiento de fachada, colocación de cubiertas de chapa, canalones y cerrajería.
- Montaje de tuberías, accesorios y pruebas. Conexión en carga.

- Pruebas de resistencia y estanqueidad de las distintas partes de la E.R.M. G-160.
- Instalaciones eléctricas de puesta a tierra, alumbrado, fuerza e instrumentación y control.
- Adecuación de la instalación eléctrica en el CAPI, cambio de equipo de situación del contador.
- Suministro, instalación y montaje de materiales para Protección Catódica, ánodos de magnesio y/o de zinc, cajas, cables y obras civiles.
- El diámetro de las conducciones a instalar es:

Rango de diseño 80 bar y 16 bar.

Ø 4" (GrB) e = 6,0 mm (APB, APA)

Ø 2" (GrB) e = 5,5 mm (APB, APA)

Ø ½" (GrB) e = 3,7 mm (APB, APA)

Ø 3" (GrB) e = 5,5 mm (APB, APA)

Ø 1½" (GrB) e = 5,1 mm (APB, APA)

Con las longitudes que se indican en planos para la E.R.M. G-160 dentro del Término Municipal de Los Barrios (Cádiz).

En la realización de todas las obras se tendrá en cuenta toda la información dada en todos los documentos del proyecto.

Artículo 6º.- Compatibilidad y prelación entre los documentos del proyecto

Los cuatro documentos que definen este proyecto son compatibles entre sí y además se complementan unos a otros. Se ha de procurar que con la ayuda de los Planos y del Pliego de Condiciones se pueda ejecutar totalmente el proyecto.

En cuanto al orden de prioridad, en el caso de existir alguna contradicción entre este documento y el resto de los facilitados al Contratista, se resolverá de acuerdo con el orden de prelación que establezca el Contrato, o en su defecto, dependerá del aspecto que se considere. Si se mira desde un punto de vista técnico-teórico, el documento más importante es la Memoria y en especial los cálculos, seguido de los Planos. Si se mira desde el punto de vista jurídico-legal, será el Pliego de Condiciones el documento más importante.

Artículo 7º.- Disposiciones a tener en cuenta

Para todo lo previsto o descrito en el presente Pliego, se aplicarán los criterios y recomendaciones fijadas en las siguientes normas y códigos, en la versión vigente en el momento de la construcción:

- Norma UNE 60.302. Canalizaciones para combustibles gaseosos. Emplazamiento.
- Norma UNE 60.305. Canalizaciones de acero para combustibles gaseosos. Zonas de seguridad y coeficientes de calculo.
- Norma UNE 60.309. Canalizaciones para combustibles gaseosos. Espesores mínimos de para tubería de acero.
- Norma UNE 14.011. Calificación de soldaduras por Rayos X.
- Norma UNE 14.042. Examen y calificación de los operarios soldadores manuales por arco descubierto, con electrodo revestido.
- Norma UNE 20.322.86. Clasificación de emplazamientos con riesgo de explosión, debido a la presencia de gases, vapores y nieblas inflamables.

- Norma API 6D. API Specifications for Pipeline Valves.
- Norma API 1104. Standard for welding pipelines and related facilities.
- Norma API-RP-550. Montaje de Instrumentación
- Normas ASTM
- Normas MSS-SP
- Normas DIN
- NBE. Normas Básicas de la Edificación.
- ANSI B-31.8. Última edición para conducción de gases.
- ANSI B-16.5. Steel pipe flanges and flanges fittings
- ANSI B-36.10. Wrought-Steel and Wrought-Iron pipe
- NEC-NEMA. Cableado eléctrico de conexiones y protección de instrumentos electrónicos.

- Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos del Ministerio de Industria y Energía.

- EHE. Instrucción de hormigón estructural.

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RD 842-2002).

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centrales Térmicas.

- ASME VIII Y IX – Soldadura.

- SIS 055900. Para la preparación de superficies para revestir o pintar.

- AWWA y DIN 30.670 y 30672. Para el revestimiento exterior de las conducciones.

- INTA. Sobre calidad de pintura.

- UNE-14618-91 Requisitos de calificación de supervisores de soldadura e inspectores de campo.

- Especificación API 5L – Tubería.

- Especificación Enagas EM-701 – Accesorios de acero.
- Reglamento general de contratación, según decreto 3410/75 del 25 de Noviembre.
- Reglamentos oficiales que, eventualmente, puedan publicarse antes del comienzo de las obras.

El Adjudicatario deberá atenerse en la adjudicación de la obra a las condiciones especiales dadas en estos documentos, respecto a condiciones de los materiales y formas de ejecutar los trabajos y ensayos a que deben ser sometidos.

CAPITULO 2º: CONDICIONES GENERALES

En este capítulo se regulará el desarrollo general de las obras desde el punto de vista facultativo, económico y legal.

1. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS

1.1. Dirección Facultativa

Artículo 1º.- Dirección Facultativa

La Dirección Facultativa de las obras e instalaciones recaerá en el Ingeniero que suscribe, salvo posterior acuerdo con la Propiedad.

Artículo 2º.- Facultades de la Dirección Facultativa

Además de las facultades particulares, expresada en los artículos siguientes, es misión específica suya la dirección y vigilancia de los trabajos que se realicen, con autoridad técnica legal, completa e indiscutible de las personas y cosas situadas en obras y con relación a los trabajos que para la ejecución del contrato se lleven a cabo incluso con causa justificada, recusar en nombre de la Propiedad al Contratista, si considera que al adoptar esta solución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

Con este fin, el Contratista se obliga a designar sus representantes de obra, los cuales atenderán en todas las observaciones e indicaciones de la Dirección Facultativa, asimismo el Contratista se obliga a facilitar a la Dirección Facultativa la inspección y vigilancia de todos los trabajos y a proporcionar la información necesaria sobre el cumplimiento de las condiciones de la contrata y el ritmo de realización de los trabajos, tal como esta previsto en el plan de obra.

A todos estos efectos el Adjudicatario estará obligado a tener en la obra durante la ejecución de los trabajos el personal técnico, los capataces y encargados necesarios que a juicio de la Dirección Facultativa sean necesarios para la debida conducción y vigilancia de las obras e instalaciones.

Artículo 3º.- Responsabilidades de la Dirección Facultativa en el retraso de la obra

El contratista no podrá excusarse de haber cumplimentado los plazos de obra estipulados, alegando como causa la carencia de planos y órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en el que la Contrata, en uso de las facultades que en este artículo se le conceda los haya solicitado por escrito a la Dirección Facultativa y este no los haya entregado. En este único caso, el Contratista estará facultado para recurrir entre los amigables componedores previamente designados, los cuales decidirán de la procedencia o no del requerimiento; en caso afirmativo, la Dirección Facultativa será responsable del retraso sufrido, pero únicamente en las unidades de obra afectadas por el requerimiento del Contratista y las subsiguientes que con ellas estuviesen relacionadas.

Artículo 4º.- Cambio del Director de Obra

Desde que se de inicio a las obras, hasta su recepción provisional, el Contratista designará un jefe de obra como representante suyo autorizado, que cuidará que los trabajos sean llevados con diligencia y competencia. Este jefe estará expresamente autorizado por el Contratista para recibir notificaciones de las órdenes de servicio y de las instrucciones escritas o verbales emitidas por la Dirección Facultativa y para asegurar que dichas órdenes se ejecuten.

Así mismo estará expresamente autorizado para firmar y aceptar las mediciones realizadas por la Dirección Facultativa.

Cualquier cambio que el Contratista desee respecto a su representante y personal cualificado y en especial del jefe de obra deberá comunicarlo a la Dirección Facultativa, no pudiendo producir el relevo hasta la aceptación de la Dirección Facultativa de las personas designadas.

Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados y empresarios de la obra, y en ausencia de todos ellos, las depositadas en la residencia designada como oficial del Contratista en el contrato de adjudicación, aun en ausencia o negativa del recibo por parte de los dependientes de la Contrata.

1.2. Obligaciones y derechos del Contratista

Artículo 5º.- Obligaciones y derechos del Contratista

El Director de Obra podrá exigir al Contratista la necesidad de someter a control todos los materiales que se han de colocar en las obras, sin que este control previo sea una recepción definitiva de los materiales. Igualmente tiene derecho a recibir tantos catálogos, certificados, muestras y ensayos que estime oportuno para asegurarse de la calidad de los materiales.

Una vez adjudicada la obra definitiva y antes de su instalación, el Contratista presentará al encargado los catálogos, muestras, etc., que se relacionen en este pliego según los distintos materiales. No se podrán emplear materiales sin que previamente hayan sido aceptados por la Dirección de Obra. Si el fabricante no reúne la suficiente garantía a juicio del Director de Obra, antes de instalarse comprobará sus características en un laboratorio oficial donde se realizarán las pruebas necesarias.

El control previo no constituye la recepción definitiva pudiéndose ser rechazado por la Dirección de Obra aún después de colocados si no cumplen con las condiciones exigibles en el siguiente Pliego de Condiciones debiendo ser reemplazados por otros que cumplan con las calidades exigibles y cargo de la Contrata.

Artículo 6º.- Remisión de solicitud de ofertas

Por la Dirección Facultativa se solicitarán ofertas a las empresas especializadas del sector para la realización de las instalaciones especificadas en el siguiente proyecto, para lo cual se pondrá a disposición de los ofertantes un ejemplar del citado proyecto o un extracto con los datos suficientes. En caso de que el ofertante lo estime de interés deberá presentar además de la mencionada, la o las solicitudes que recomiende para resolver la instalación. El plazo máximo fijado para la recepción de las ofertas será de un mes.

Artículo 7º.- Presencia del Contratista en la obra

El Contratista, por sí o por medio de sus representantes o encargados estarán en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañarán a la Dirección Facultativa en las visitas que hará en la obra durante la jornada laboral.

Por sí, o por medio de sus representantes, asistirá a las reuniones de obra que se convoquen, no pudiendo justificar por motivo de ausencia ninguna reclamación a las órdenes cruzadas por la Dirección Facultativa en el transcurso de las reuniones.

Artículo 8º.- Locales de Obra

El Contratista se proveerá, para el desarrollo de las obras, de talleres, oficinas, vestuarios, servicios y almacenes en superficie suficiente para dedicar, directamente, a la ejecución de las obras de este proyecto, así como las instalaciones auxiliares y accesos necesarios para el normal desenvolvimiento de los trabajos en situación adecuada y a conveniencia del Contratista.

Las instalaciones han de cumplir con la Reglamentación vigente en cuanto a depósitos de materiales inflamables (carburantes, disolventes) y elementos radiactivos, además de cumplir con las normas legales y su situación ha de ser aprobada por el Director Facultativo.

- 1 despacho con mobiliario, 1 archivador y 1 archivador de planos.
- Servicio de comunicaciones (teléfonos), mecanografía, fotocopidora en A-3, etc.

El Contratista protegerá todos los materiales, así como la obra contra todo deterioro y daño durante el período de construcción y plazo de garantía.

El Contratista deberá construir y conservar el lugar debidamente apartado, las instalaciones sanitarias provisionales para ser utilizadas por el personal asignado a la obra y en lugares debidamente aprobados por la Inspección de Trabajo o el Organismo que corresponda.

En la oficina de obra tendrá siempre el Contratista una copia autorizada de todos los documentos del proyecto que les hayan sido facilitados por la Dirección Facultativa y el libro de órdenes.

Artículo 9º.- Residencia del Contratista

Desde que se de comienzo las obras hasta su recepción definitiva, el Contratista o un representante suyo autorizado deberá residir en un punto próximo al de la ejecución de los trabajos y no podrá ausentarse de él sin previo conocimiento de la Dirección Facultativa y notificándole expresamente la persona que, durante su ausencia, le ha de representar en

todas sus funciones. Cuando se falte a lo anteriormente prescrito se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados u operarios de cualquier ramo que, como dependientes de la Contrata, intervengan en las obras y, en ausencia de ellos, las depositadas en la residencia designada como oficial, de la Contrata en los documentos del proyecto, aún en ausencia o negativa por parte de los dependientes de la Contrata.

Artículo 10°.- Recusación del Contratista por el personal nombrado por la Dirección Facultativa

El contratista no podrá recusar al personal técnico de cualquier índole, dependiente de la Dirección Facultativa o de la Propiedad, encargado de la vigilancia de las obras, ni pedir por parte de la Propiedad se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones. Cuando se crea perjudicado con los resultados de estos, procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo 12, pero que sin por esta causa pueda interrumpirse la marcha de los trabajos.

1.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares

1.3.1. Libro de Órdenes

Artículo 11°.- Libro de órdenes

El Contratista tendrá siempre en la oficina de la obra y a disposición de la Dirección Facultativa un libro de órdenes con sus hojas foliadas por duplicado y visado por el colegio profesional correspondiente. En el libro se redactarán todas las órdenes que la Dirección Facultativa crea oportunas dar al Contratista para que adopte las medidas de todo género que puedan sufrir los obreros.

Cada orden deberá ser firmada por la Dirección Facultativa y por el Contratista o por su representante en obra; la copia de cada orden quedará en poder de la Dirección Facultativa.

El hecho de que en el libro no figuren redactadas las órdenes que ya preceptivamente tiene la obligación de cumplimentar el Contratista de acuerdo con lo establecido en las normas oficiales, no supone atenuante alguno para las responsabilidades que sean inherentes al Contratista, no pudiendo tener en cuenta ningún acontecimiento o documento que no haya sido mencionado en su momento oportuno en el libro de órdenes.

Artículo 12°.- Reclamaciones contra la Dirección Facultativa

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes de la Dirección Facultativa solo podrá presentarlas a través de la misma ante la Propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes;

contra disposiciones de orden técnico o facultativo de la Dirección Técnica, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar sus responsabilidades, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida a la Dirección Facultativa el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

Artículo 13°.- Despidos por insubordinación, incapacidad o mala fe

Por falta de respeto y obediencia a la Dirección Facultativa o al personal encargado de la vigilancia de las obras, por manifiesta incapacidad, o por actos que comprometan o perturben la marcha de los trabajos, el Contratista tendrá obligación de despedir a sus dependientes y operarios a requerimiento de la Dirección Facultativa.

1.3.2. Replanteo, comienzo de los trabajos y plazo de ejecución.

Artículo 14°.- Orden de los trabajos

El Director de Obra fijará en el orden que haya que seguirse en la realización de las distintas partes que componen este Proyecto, así como las normas a seguir en todo lo no regulado en el presente Proyecto.

En general, la determinación del orden de ejecución de los trabajos será facultad potestativa de la Contrata, salvo aquellos casos en que, por

cualquier circunstancia de orden técnico o facultativo, estime conveniente su variación la Dirección.

Estas órdenes deberán comunicarse precisamente por escrito a la Contrata y ésta estará obligada a su estricto cumplimiento siendo responsable de cualquier daño o perjuicio que pudiera sobrevenir por su incumplimiento.

Artículo 15°.- Replanteo

Antes de dar comienzo a las obras, la Dirección Facultativa auxiliada por el personal subalterno necesario y en presencia del Contratista o su representante, procederá al replanteo general de la obra. Una vez finalizado el mismo, se levantará acta de comprobación de replanteo.

Los replanteos de detalle se llevarán a cabo de acuerdo con las instrucciones y ordenes de la Dirección Facultativa, quién realizará las comprobaciones necesarias en presencia del Contratista o de su representante.

El Contratista se hará cargo de las estacas, señales y otras referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo.

El Contratista esta obligado a satisfacer los gastos de replanteo, tanto en general como parciales, y sucesivas comprobaciones. Asimismo, serán cuenta del Contratista, los que origine el alquiler o adquisición de los

terrenos para depósito de maquinaria o materiales, los de protección de materiales y obra contra todo deterioro, daño e incendio, cumpliéndose los requisitos vigentes para el almacenamiento de carburante desde los puntos de vista de seguridad y accidentes, los de limpieza y evacuación de los desperdicios, basuras, escombros, etc., los motivados por desagües, señalización y otros recursos.

También serán cuenta del Contratista los gastos totales de Dirección Facultativa y desplazamiento de personal y material para la inspección y vigilancia, recepción y liquidación.

Artículo 16°.- Comienzo de las obras

El Contratista deberá dar comienzo a las obras en el plazo marcado en el contrato de adjudicación de la obra desarrollándose en las formas necesarias para que dentro de los periodos parciales en aquel reseñados, queden ejecutadas las obras correspondientes y que, en consecuencia, la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo exigido por el contrato.

Obligatoriamente y por escrito, el Contratista deberá dar cuenta a la Dirección Facultativa del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir 24 horas de su iniciación. Previamente se habrá suscrito el acta de replanteo en las condiciones establecidas en el artículo 15.

Artículo 17º.- Plazo de ejecución

Los plazos de ejecuciones totales y parciales, indicados en el contrato, se empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo, que no exceda de 7 días a partir de la fecha de la contrata, y deberán quedar terminadas en plazo improrrogable de 12 meses, contados a partir del acta de replanteo.

El Contratista estará obligado a cumplir con los plazos que se señalen en el contrato para la ejecución de las obras y que serán improrrogables. No obstante además de lo anteriormente indicado, los plazos podrán ser objeto de modificaciones cuando así resulte por cambios determinados por el Director de Obra debidos a exigencias de la realización de las obras y siempre que tales cambios influyan realmente en los plazos señalados en el contrato.

Si por cualquier causa ajena al Contratista, no fuera posible empezar los trabajos en la fecha prevista o tuvieran que ser suspendidos una vez empezados, se concederá por el Director de Obra la prórroga estrictamente necesaria.

Artículo 18º.- Condiciones generales de ejecución de los trabajos

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al Proyecto que haya servido de base a la Contrata o a las modificaciones que, previamente hayan sido aprobadas y a las ordenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entregue la Dirección Facultativa al

Contratista siempre que estas encajen dentro de la cifra a la que ascienden dentro de los presupuestos aprobados.

1.3.3. Trabajos defectuosos y modificación por causa de fuerza mayor

Artículo 19º.- Trabajos defectuosos

El Contratista debe emplear los materiales que cumplan con las condiciones exigidas en las condiciones generales de índole técnico del Pliego de Condiciones en la edificación y se realizarán todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también según dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos pudiera existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servirle la excusa o le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que la Dirección Facultativa o alguno de sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados en la certificaciones parciales de la obra que siempre se supone que se extienden y abonan a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando la Dirección Facultativa o su representante en la obra advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los materiales colocados no reúnan las condiciones preceptuadas, ya sea en la ejecución del curso de los trabajos o finalizados estos, y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado y todo ello a expensas de la contrata.

Artículo 20°.- Aclaraciones y modificaciones de los documentos del Proyecto

Cuando se trata de aclarar, interpretar o modificar preceptos del Pliego de Condiciones y las órdenes e instrucciones de los planos, se comunicará por escrito al Contratista, estando este obligado a devolver, ya los originales, ya las copias, de las ordenes e instrucciones recibidas, suscribiendo con su firma al enterado, que figura así mismo en todas las órdenes, avisos e instrucciones que reciba tanto de la Propiedad como de la Dirección Técnica.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por estos crea oportuno no hacer el Contratista, habrá de dirigirla, dentro del plazo de 15 días a la Dirección Facultativa, la cual dará al Contratista el correspondiente recibo si este lo solicitase.

Artículo 21°.- Ampliación del proyecto por causa de fuerza mayor

Si por causa de fuerza mayor o independencia de la voluntad del Contratista y siempre que esta causa sea distinta de la que se especifiquen como la rescisión en el capítulo de condiciones generales de índole general, aquel no pudiese comenzar las obras o tuviese que suspenderlas, o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata, previo informe de la Dirección Facultativa.

Para ello, el Contratista expondrá por escrito dirigido a la Dirección Facultativa, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso de que por ello se originaría en los plazos acordados razonando la prórroga que por dicha causa se solicita.

1.3.4. Obra y vicios ocultos**Artículo 22°.-** Obras ocultas

De todos los trabajos donde haya unidades de obra que tienen que quedar ocultos a la terminación del proyecto, se levantarán los planos precisos e indispensables para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado entregados: uno al Propietario, otro a la Dirección Facultativa y el tercero al Contratista, firmados todos ellos por estos dos últimos.

Dichos planos, que deberán ir acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones.

Artículo 23°.- Vicios ocultos

Si la Dirección Facultativa tuviera fundadas razones para creer la existencia de vicios ocultos de construcciones en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción de la obra definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que se suponen defectuosos. Los gastos de demoliciones y reconstrucciones que se ocasionan serán a cuenta del Contratista, siempre que los vicios existan realmente, y en caso contrario los gastos correrán a cargo del Propietario.

1.3.5. Materiales y medios auxiliares

Artículo 24°.- Características de los materiales, de los aparatos y su procedencia

El Contratista tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas las clases en los puntos que les parezca convenientes, siempre que reúnan las condiciones exigidas por el contrato, que están perfectamente preparados para el objeto al que se apliquen y sea, a lo preceptuado en el Pliego de Condiciones y a las condiciones e instrucciones de la Dirección Facultativa.

Artículo 25°.- Empleo de los materiales y aparatos

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y aparatos que no fuesen de la calidad requerida, sin que antes sean examinados y aceptados por la Dirección Facultativa, en los términos que prescriben los Pliegos, depositando al efecto el Contratista las pruebas y modelos necesarios previamente contrastados, para efectuar en ellos las comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones vigente en la obra. Los gastos que ocasionen los análisis, ensayos, pruebas, etc. antes indicados serán a cargo del Contratista.

Artículo 26°.- Materiales no utilizables

El contratista, a su costa, transportará y colocará agrupándolos ordenadamente en el sitio de la obra en el que por no causar perjuicios a la marcha de los trabajos se le designe, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc. que no serán utilizables en la obra. Se retirarán de ésta o se llevarán al vertedero cuando así estuviese establecido en el Pliego de Condiciones vigente en la obra.

Sino se hubiese preceptuado nada sobre el particular se retirarán de ella cuando así lo ordene la Dirección Facultativa, pero acordando previamente con el Contratista la justa tasación de esos materiales y los gastos de su transporte.

Artículo 27º.- Materiales y aparatos defectuosos

Cuando los materiales no fuesen de la calidad requerida o no estuviesen preparados, la Dirección Facultativa dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los Pliegos de Condiciones o, a falta de éstas, a las órdenes de la Dirección Facultativa. La Dirección Facultativa podrá permitir el empleo de aquellos materiales defectuosos que mejor le parezcan o aceptar el empleo de otros de calidad superior a los que aparecen en los Pliegos; si no le fuese posible al Contratista suministrarlos en el modo requerido por ellos, se descontará en el primer caso la diferencia de precio del material requerido al defectuoso empleado y no teniendo derecho el Contratista a indemnización alguna en el segundo.

Artículo 28º.- Medios auxiliares

Serán de cuenta del Contratista, los andamiajes, máquina y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesitan, al Propietario se le exime de responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de esos medios auxiliares. Todos estos, siempre que no se haya estipulado lo contrario en las condiciones particulares de la obra quedarán a beneficio del Contratista, sin que este pueda fundar reclamación alguna en la insuficiencia de dichos medios, cuando estos estén detallados en el presupuesto y consignados por partidaalzada o incluidos en los precios de las unidades de obra.

En caso de rescisión por incumplimiento del contrato por parte del Contratista, los medios auxiliares del Constructor podrán ser utilizados libre y gratuitamente por la Administración, para la terminación de las obras.

En cualquier caso, todos estos medios auxiliares quedarán en propiedad del Contratista una vez terminadas las obras, pero no tendrá ningún derecho a reclamación alguna por parte de los desperfectos que a su uso haya dado lugar.

1.3.6. Medidas de seguridad

Artículo 29°.- Medidas de seguridad

El Contratista deberá atenerse a las condiciones vigentes en materia de seguridad e higiene en el trabajo, tanto en lo que se refiere al personal de la obra como a terceros.

Como elemento primordial se prescribirá el establecimiento de señalización necesaria tanto durante el desarrollo de las obras, como durante su explotación, haciendo referencia bien a peligros existentes o a las limitaciones de las estructuras.

Se utilizarán, cuando existan, las correspondientes señales establecidas por el Ministerio competente, y en su defecto por departamentos nacionales u organismos internacionales.

1.4. Recepción provisional, plazo de garantía y recepción definitiva.

Tanto en la recepción provisional como definitiva, se observará lo regulado en el artículo 169 de Reglamento de Contratación y en el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales.

Artículo 30°.- Recepción provisional

Terminado el plazo de ejecución de las obras y puesta en servicio, se procederá a la recepción provisional de las mismas estando presente la comisión que designe el Contratista y la Dirección de Obra. Se realizarán todas las pruebas que el Director de Obra estime oportunas para el cumplimiento de todo lo especificado en este pliego y buena ejecución y calidad de las mismas, siendo inapelable el fallo de dicho Director, a la vista del resultado de las mismas, de donde sobre la validez o invalidez de las obras ejecutadas.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por recibidas provisionalmente comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía señalado en el presente pliego y procediéndose en el plazo mas breve posible a su medición general o definitiva, con asistencia del Contratista o su representante.

Cuando las obras no se encuentren en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta especificando las premisas que el Director de Obra debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijando un plazo para ellos.

Artículo 31°.- Conservación de los trabajos recibidos provisionalmente

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que las obras no hayan sido ocupadas por el Propietario, procederá a disponer todo lo que se precise para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la Contrata.

Al abandonar el Contratista la obra, tanto por buena terminación de las obras como en el caso de rescisión de contrato, está obligado a dejarlas desocupadas y limpias en el plazo que la Dirección Facultativa fije.

Después de la recepción provisional de la obra y en el caso de que la conservación de la misma corra a cargo del Contratista, no deberá disponer de mas herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para guardería y limpieza y para los trabajos que fuere preciso realizar.

En todo caso, ocupada o no la obra, está obligado el Contratista a revisar y reparar la obra durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el Presente Pliego de Condiciones Económicas.

El Contratista se obliga a destinar a su costa un vigilante de las obras que prestará su servicio de acuerdo con las órdenes recibidas de la Dirección Facultativa.

Artículo 32°.- Plazo de garantía

El plazo de garantía será de un año a contar desde su fecha de recepción provisional. Durante el periodo de garantía todas las reparaciones derivadas de mala construcción imputables al Contratista serán abonadas por éste.

En el caso de la existencia de vicios ocultos en la obra, antes de la recepción definitiva, se cumplirá lo establecido en el Artículo 23 del Pliego de Condiciones Generales Facultativas.

Artículo 33°.- Recepción definitiva

Pasado el plazo de garantía, si las obras se encuentran en perfecto estado de uso y conservación, de acuerdo al presente pliego, se darán por recibidas definitivamente.

Una vez recibidas definitivamente, se procederá inmediatamente a su liquidación y resolución de la fianza de la que se retraerán las sanciones o cargas que se proceden conforme a lo estipulado en el presente pliego.

En el caso en que las obras no se encuentren en estado para la recepción definitiva, se procederá de igual forma que para la recepción provisional sin que el Contratista tenga derecho a percibir cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía.

1.5.- Casos no previstos en este pliego

El Director de Obra dará las normas a seguir en todo aquello que no quede regulado en este Pliego de Condiciones.

2. CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS

2.1. Base fundamental

Artículo 34°.- Alcance

Comprenderán las que afecten al coste y pago de las obras contratadas, al plazo y forma de las entregas, a las fianzas y garantías para el cumplimiento del contrato establecido, a los casos que proceden las mutuas indemnizaciones y todas las que se relacionen con la obligación contraída por el Propietario a satisfacer el importe y la remuneración del trabajo ejecutado, una vez ejecutadas, parcial o totalmente por el

Contratista y de acuerdo con las condiciones convenidas, la que le fueran adjudicadas.

Artículo 35°.- Base fundamental

La base fundamental de estas condiciones es la de que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que estos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y condiciones generales y particulares que rijan la construcción contratada.

2.2. Garantía de cumplimientos y fianzas

Artículo 36°.- Garantías

El Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato; dichas referencias, se les son pedidas, las presentará el Contratista antes de la firma del contrato.

Artículo 37°.- Fianzas

Si la obra se adjudica por subasta, el depósito para tomar parte de ella se especificará en el anuncio de la misma y su cuantía será de un 3 % como mínimo del total del presupuesto de la contrata.

La persona o entidad a la que se haya adjudicado la ejecución de la obra, deberá depositar en el punto y plazo marcados en el anuncio de la subasta la fianza definitiva de estas y en su defecto, su importe será del 10 % de la cantidad por la que se otorgue la adjudicación de obra.

La fianza que se exigirá al Contratista se convendrá entre el Ingeniero y el Contratista entre una de las siguientes:

- Depósito de valores públicos del Estado por un valor del 10 % del total del presupuesto de la obra contratada.
- Depósito en metálico de la misma cuantía indicada en el apartado anterior.
- Depósito previo en metálico de la misma cuantía del 10 % del total del presupuesto mediante deducción del 5 % efectuadas del importe de cada certificación abonada al Contratista.
- Descuento del 10 % efectuado sobre el importe de cada certificación abonada al Contratista.

Artículo 38°.- Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza

Si el Contratista se negara por su cuenta a hacer los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Ingeniero en

nombre y representación del Propietario, los ordenará a ejecutar a un tercero, o directamente por Administración abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones legales a las que tenga derecho el Propietario en el caso de que el importe de la fianza no baste para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran de recibo.

Artículo 39°.- Devolución de la fianza

La fianza será devuelta al Contratista en un plazo que no exceda en 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado por medio de la certificación del Alcalde al Distrito Municipal en cuyo término se halle emplazada la obra contratada, y no haya reclamación alguna contra aquel por los daños y perjuicios que sean por su cuenta o por deudas de jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes transcurridos en el trabajo.

2.3. Penalizaciones

Artículo 40°.- Importe de indemnización por retraso no justificado

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista, por causa de retraso no justificada en el plazo de terminación de las obras contratadas, se fijará entre cualquiera de los siguientes:

- Una cantidad fija durante el tiempo de retraso

- El importe de la suma de perjuicios a materiales causados por la imposibilidad de la ocupación de la obra, previamente fijados.

- El abono de un tanto por ciento anual sobre el importe del capital desembolsado a la terminación del plazo fijado y durante el tiempo que dure el retraso.

La cuantía y el procedimiento a seguir para fijar el importe de la indemnización, entre los anteriores especificados, se obtendrán expresamente entre ambas partes contratantes, antes de la firma del Contrato; a falta de este previo convenio, la cuantía de la indemnización se entiende que será el abono por el Contratista al Propietario de un interés del 4,5 % anual, sobre las sumas totales de las cantidades desembolsadas por el Propietario, debidamente justificadas y durante el plazo de retraso de la entrega de las obras, en las condiciones contratadas.

2.4. Precios y revisiones

Artículo 41º.- Precios contradictorios

Si ocurriese algún caso por virtud del cual fuese necesario fijar un nuevo precio, se procederá a estudiarlo y convenirlo contradictoriamente de la siguiente forma:

El Contratista formulará por escrito, bajo su firma, el precio que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad.

La Dirección técnica estudiará el que, según su criterio, debe utilizarse.

Si ambos son coincidentes se formulará por la Dirección técnica el acta de avenencia, igual que si cualquier pequeña diferencia o error fuesen salvados por simple exposición y convicción de una de las partes, quedando así formalizado el precio contradictorio.

Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, la Dirección Facultativa propondrá a la Propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el Contratista o, en otro caso, la segregación de la obra o instalación nueva, para ser ejecutada por Administración o por otro adjudicatario distinto.

La fijación del precio contradictorio habrá de preceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo ya se hubiese, el Contratista estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarle la Dirección Facultativa y a concluir a satisfacción de este.

De los precios así acordados se levantarán actas que firmarán por triplicado el Director de Obra, el Propietario y el Contratista o los representantes autorizados a estos efectos por estos últimos.

Artículo 42°.- Revisión de precios

Si los vigentes precios de jornales, cargas sociales y materiales, en el momento de firmar el Contrato, experimentan una variación oficial en mas o menos de un 5 %, podrá hacerse una revisión de precios a petición de cualquiera de las partes, que se aplicará a la obra que falte por ejecutar. En caso de urgencia podrá autorizarse la adquisición de materiales a precios superiores, siendo el abono de la diferencia con los contratos.

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello que en principio no se debe admitir la revisión de los precios contratados. No obstante y dada la variabilidad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que son características de determinadas épocas anormales, se admite durante ellas la rescisión de los precios contratados, bien en alza o en baja con las oscilaciones de los precios del mercado.

El Contratista puede solicitar la revisión en alza del Propietario en cuanto se produzca cualquier alteración de precio que repercuta aumentando los contratados. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de recontinuar la ejecución de la unidad de obra en que intervengan el elemento cuyo precio en el mercado y por causas justificadas haya subido, especificándose y acordándose también previamente la fecha a partir de la cual se tendrá en cuenta y cuando proceda, el acopio de materiales en la obra en el caso de que estuviese abonado total o parcialmente por el Propietario.

Si el Propietario o el Ingeniero en su representación estuviese conforme con los nuevos precios de materiales que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad de proponer al Contratista, en cuyo caso se tendrá en cuenta para la revisión, los precios de los materiales adquiridos por el Contratista merced a la información del Propietario.

Cuando entre los documentos aprobados por ambas partes figure el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al preceptuado en los casos de revisión por alza de precios.

Artículo 43º.- Reclamaciones de aumentos de precios

Si el Contratista, antes de la firma del contrato no hubiese hecho la reclamación y observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de

error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que se aprobase para la ejecución de las obras.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en indicaciones que, sobre las obras, se hagan en la Memoria, por no servir este documento de base a la Contrata. Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades de obra o en su importe, se corregirán en cualquier época que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión del contrato, señalados en los documentos relativos a las Condiciones Generales o Particulares de índole Facultativa, sino en el caso de que la Dirección Facultativa o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de cuatro meses contados desde la fecha de la adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha en la Contrata, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, puesto esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

Artículo 44°.- Normas para la adquisición de los materiales

Si al Contratista se le autoriza a gestionar y adquirir los materiales, deberá presentar al Propietario los precios y las muestras de los materiales, necesitando su previa aprobación antes de adquirirlos.

Si los materiales fuesen de inferior calidad a las muestras presentadas y aprobadas, el Contratista adquiere la obligación de rechazarlos hasta que se le entreguen otros de las calidades ofrecidas y aceptadas. A falta del cumplimiento de esta obligación, el Contratista indemnizará al Propietario con el importe de los perjuicios que por su incumplimiento se originen, cuya cuantía la evaluará el Ingeniero Director.

Artículo 45°.- Intervención administrativa del Propietario

Todos los documentos que deben figurar en las cuentas de administración llevarán la conformidad del representante en los partes de jornales, transportes y materiales, firmando su conformidad en cada uno ellos.

Artículo 46°.- Mejora de obras

No se admitirán mejorar las obras, más que en el caso que el Ingeniero haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados.

Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo en caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que el Ingeniero ordene también por escrito la ampliación de las contratadas.

Será condición indispensable que ambas partes contratadas convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales y los aumentos de todas las mejoras.

Artículo 47°.- Unidades de obra no conformes con el Proyecto

Si el Contratista, por causa justificada a juicio del Ingeniero, propusiera la ejecución de algún trabajo que no esté conforme con las condiciones de la contrata y por causas especiales de excepción la estimase el Ingeniero, éste la resolverá dando conocimiento al Propietario y estableciendo contradictoriamente con el Contratista la rebaja del precio.

2.5. Medición, valoración y abono de las unidades de obra

2.5.1. Generalidades

Artículo 48°.- Medición, valoración y abono de las unidades de obra

El pago de obras realizadas se hará sobre certificaciones parciales que se practicarán mensualmente. Dichas certificaciones contendrán solamente las unidades de obra totalmente terminadas que se hubieran ejecutado en el plazo a que se refieran.

La relación valorada que figuren las certificaciones, se hará con arreglo a los precios establecidos y con la cubicación, planos y referencias necesarias para su comprobación.

La comprobación, aceptación o reparos deberán quedar terminadas por ambas partes en plazo máximo de 15 días. El Director de Obra expedirá las certificaciones de las obras ejecutadas, que tendrán carácter provisional a buena cuenta, verificables por la liquidación definitiva o por cualquiera de las certificaciones siguientes, no suponiendo por otra parte, aprobación ni recepción de las obras ejecutadas y comprendidas en dichas certificaciones.

Serán de abono al Contratista las obras de fábrica ejecutadas con arreglo a condiciones y con sujeción a los planos del Proyecto o a la modificaciones introducidas por el Director Técnico en el replanteo o durante la ejecución de las obras, que constarán en planos de detalle y órdenes escritas. Se abonarán por su volumen o su superficie real de acuerdo con lo que se especifique en los correspondientes precios unitarios que figuran en el cuadro de precios.

Artículo 49°.- Mediciones parciales y finales

Las mediciones parciales se verificarán en presencia del Contratista, de lo que se levantará acta por duplicado, que será firmada por ambas partes. La medición final se hará después de terminadas las obras con precisa asistencia del Contratista.

En el acta que se extienda, de haberse verificado la medición en los documentos que le acompañan, deberá aparecer la conformidad del Contratista o de su representación legal. En caso de no haber

conformidad, lo expondrá sumariamente y a reserva de ampliar las razones que a ello obliga.

2.5.2. Composición de precios

Artículo 50º.- Composición de los precios unitarios

Los precios unitarios se compondrán preceptivamente de la siguiente forma:

- Mano de obra, por categorías dentro de cada oficio, expresando el número de horas intervenidas por cada operario en la ejecución de cada unidad de obra y los jornales horarios correspondientes.
- Materiales, expresando la cantidad que en cada unidad de obra se precise de cada uno de ellos y su precio unitario respectivo en origen.
- Transporte de materiales, desde el punto de origen al pie de trabajo.
- Tanto por ciento de medios auxiliares y de seguridad
- Tanto por ciento de seguros y cargas sociales.

- Tanto por ciento de beneficio industrial del Contratista.

Artículo 51°.- Composición de los precios por ejecución material

Se entiende por precio de ejecución material el que importe el coste total de la unidad de obra, es decir, el resultante de la suma de las partidas que importan los conceptos “dos” y “seis”, ambos inclusive, del artículo precedente, es decir, será igual a la suma de los cinco primeros conceptos del artículo anterior.

Artículo 52°.- Composición de los precios por contrata

En el caso de que los trabajos a realizar en la obra y obra aneja, se entiende por precio de contrata el que importe el coste de la unidad de obra total, es decir, el precio de ejecución material más el tanto por ciento sobre este último precio en concepto de “beneficio industrial del Contratista”.

A falta de convenio especial se aplicará el 15 %. De acuerdo con lo establecido se entiende por importe de contrata de un edificio u obra aneja, a la suma de su importe de ejecución material más el 15 % de beneficio industrial:

- Imprevistos 1 %.

- Gastos de administración y dirección práctica de los trabajos 5 %.
- Intereses del capital adelantado por el Contratista 3 %.
- Beneficio industrial del Contratista 6 %.

Artículo 53º.- Composición de los precios por administración

Se denominan obras por administración aquellas en que las gestiones que se precisen realizar las lleva a cabo el Propietario, bien por sí o por un representante suyo, o bien por mediación de su Constructor.

Las obras por administración directa son aquellas en las que el Propietario por sí o por mediación de un representante suyo lleve las gestiones precisas para la ejecución de las obras.

Las obras por administración indirecta son aquellas en las que convienen un Propietario y el Contratista, para que éste por cuenta de aquel y como delegado suyo realice las gestiones y los trabajos que se precisen y así se convengan.

Por parte del Propietario, tiene la obligación de abonar directamente o por mediación del Contratista todos los gastos inherentes a la realización de los trabajos. Por parte del Contratista, la obligación de llevar la gestión práctica de los trabajos.

Para la liquidación de los trabajos que se ejecute por administración indirecta, regirán las normas que a tales fines se establece en las Condiciones Particulares de índole Económico vigente en la obra:

- Las facturas de los transportes de materiales entrados en la obra.
- Los documentos justificativos de las partidas abonadas por los seguros y cargas sociales vigentes.
- Las nóminas de los jornales abonados.
- Los recibos de licencias, impuestos y demás cargas inherentes a la obra.
- A la suma de todos los gastos inherentes a la propia obra en cuya gestión o pago haya intervenido el Contratista se le aplicará un 15 %, incluidos los medios auxiliares y de seguridad.

Artículo 54°.- Precio del material acopiado a pie de obra

Si el Propietario ordenase por escrito al Contratista el acopio de materiales o aparatos en la obra a los precios contratados y ésta así lo efectuase, los que se hayan acopiado se incluirán en la certificación siguiente a su entrada en la obra.

Artículo 55°.- Precio de las unidades de obra y de las partidas alzadas

En los precios de las distintas unidades de obra, en los de aquellas que hayan de abonarse por partidas alzadas, se entenderán que se comprende el de la adquisición de todos los materiales necesarios, su preparación y mano de obra, transporte, montaje, colocación, pruebas y toda clase de operaciones y gastos que vayan a realizarse, así como riesgos y gravámenes que puedan sufrirse , aún cuando no figuren explícitamente en el cuadro de precios, para dejar la obra completamente terminada, con arreglo a las condiciones, y para conservarla hasta el momento en que se realice la entrega.

Los precios serán invariables, cualquiera que sea la procedencia de los materiales y el medio de transporte, sin más excepción que la expresada en este Pliego.

2.5.3. Relaciones valoradas y certificaciones**Artículo 56°.-** Relaciones valoradas y certificaciones

Lo ejecutado por el Contratista se valorará aplicando al resultado de la medición general los precios señalados en el Presupuesto para cada una de ellas, teniendo en cuenta además lo establecido en el presente Pliego respecto a mejoras o sustituciones de materiales y las obras accesorias y especiales.

Al Contratista se le facilitarán por el Ingeniero los datos de la certificación, acompañándose de una nota de envío, al objeto, que dentro del plazo de 10 días a partir de la fecha del envío de dicha nota, pueda el Contratista examinarlos y devolverlos firmados con su conformidad, haciendo en caso contrario, las observaciones y reclamaciones que considere oportuna.

Dentro de los 10 días siguientes a su recibo, el Ingeniero aceptará o rechazará las reclamaciones al Contratista si las hubiera, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el Propietario contra la resolución del Ingeniero en la forma prevenida en los pliegos anteriores.

Cuando por la importancia de la obra, o por la clase y número de documentos, no considere el Contratista suficiente aquel plazo para su examen, podrá el Ingeniero concederle una prórroga. Si transcurrido el plazo de 10 días a la prórroga expresada no hubiese devuelto el Contratista los documentos remitidos, se considerará que está conforme con los referidos datos, y expedirá al Ingeniero la certificación de las obras ejecutadas.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del Propietario, podrá certificarse hasta el 90 % de su importe, a los que figuren en los documentos del Proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de contrata.

Las certificaciones se remitirán al Propietario, dentro del mes siguiente al periodo a que se refieren, y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta sujetas a las rectificaciones y variaciones que se derive de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere.

En el caso de que el Ingeniero lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

Artículo 57º.- Valoración en el caso de rescisión

Cuando se rescinda la contrata por causas que no sean de la responsabilidad del Contratista, las herramientas y demás útiles que como medios auxiliares de la construcción se hayan estado empleando en las obras con autorización del Ingeniero y la contrata y de no mediar acuerdo, por los amigables componedores de índole legal y facultativa.

A los precios de tasación sin aumento alguno, recibirá el Propietario aquellos de dichos medios auxiliares que se señalan en las condiciones de cada contrata, o en su defecto los que se consideren necesarios para terminar las obras y quiera reservar para sí el Contratista, entendiéndose que no tendrá lugar el abono por este concepto, cuando el importe de los

trabajos realizados hasta la rescisión no llegue a los tercios de la obra contratada.

Se abonará los materiales acopiados al pie de obra si son de recibo y de aplicación para terminar esta, en una cantidad proporcionada a la obra pendiente de ejecución, aplicándose a estos materiales los precios que figuren en el cuadro de precios descompuestos. También se abonarán los materiales acopiados fuera de la obra, siempre que se transporten al pie de ella.

En el caso de rescisión por falta de pago o retraso en el abono o suspensión por plazo superior de un año imputable al Propietario, se concederá al Contratista además de las cantidades anteriormente expuestas, una indemnización que fijará el Ingeniero, la cual no podrá exceder del 3 % del valor de las obras que falten por ejecutar.

En caso de rescisión por alteración de Presupuesto o por cualquiera de las causas reseñadas en las condiciones legales, no procederá más que el reintegro al Contratista de los gastos por custodias de fianza, anuncio de subasta y formalización del contrato, sin que pueda reclamar el abono de los útiles destinados a las obras.

En caso de rescisión por falta de cumplimiento en los plazos de obra, no tendrá derecho el Contratista a reclamar ninguna indemnización a las obras pero si a que se abonen las ejecutadas, con arreglo a condiciones y los materiales acopiados a pie de obra que sean de recibo.

Si lo incompleto, es la unidad de obra y la parte ejecutada en ella fuera de recibo, entonces se abonará esta parte con arreglo a lo que correspondan según la descomposición del precio que figura en el cuadro del Proyecto, sin que pueda pretender el Contratista que, por ningún motivo se efectúe la descomposición en otra forma que la que en dicho cuadro figura.

Toda unidad compuesta o mixta no especificada en el cuadro de precios, se valorará haciendo la descomposición de la misma y aplicando los precios unitarios de dicho cuadro a cada una de las partes que la integra, quedando en esta suma, así obtenida, comprendido todos los medios auxiliares.

En general se dará al Contratista un plazo de tiempo que determinará la Dirección de Obra, dentro de los límites de 20 y 60 días para poner el material, en curso de instalaciones, de ser aceptado como obra terminada, teniendo en cuenta que las no finalizadas se liquidarán a los precios elementales que figuren en el Presupuesto, así como los recibos de los materiales a pie de obra que reúnan las debidas condiciones.

Se seguirá por las disposiciones vigentes.

Artículo 58°.- Equivocaciones en el presupuesto

Se supone que el Contratista ha hecho detenido estudio de los documentos que componen el Proyecto, y por tanto al no haber hecho

ninguna observación sobre posibles errores o equivocaciones en el mismo, se entiende que no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a medidas o precios, de tal suerte, que si la obra ejecutada con arreglo al Proyecto contiene mayor número de unidades que las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna.

Si por el contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

2.5.4. Formas de abono de las obras

Artículo 59°.- Formas de abono de las obras

El abono de los trabajos efectuados se efectuará por uno de los procedimientos siguientes, convenido por el Ingeniero y el Contratista antes de dar comienzo los trabajos:

- Tipo fijo o a tanto alzado total
- Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar el número de unidades ejecutadas.
- Tanto variable por unidad de obra según las condiciones en que se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las órdenes del Ingeniero.

- Por lista de jornales y recibos de materiales autorizados en la forma que el presente pliego determina.

- Por horas de trabajo ejecutado en las condiciones determinadas en el Contrato.

Artículo 60°.- Abono de las unidades de obra ejecutadas

El Contratista deberá percibir el importe de todas aquellas unidades de obra que haya ejecutado con arreglo y sujeción a los documentos del Proyecto, a las condiciones de la contrata y a las órdenes e instrucciones que por escrito entregue el Ingeniero.

Artículo 61°.- Abono de trabajos presupuestados con partidas alzadas

Si existen precios contratados para unidades de obra iguales a las presupuestadas mediante partida alzada se abonará previa medición y aplicación del precio establecido.

Si existen precios contratados para las unidades de obra similares, se establecerá, precios contradictorios para las unidades con partidas alzadas, deducidos de los similares contratados.

Si no existen precios contratados, para unidades de obra iguales o similares, la partida alzada se abonará íntegramente al Contratista, salvo el caso de que en el presupuesto de la obra se exprese que el importe de

dicha partida debe justificarse en cuyo caso, el Ingeniero Director de la Obra indicará al Contratista y con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que debe seguirse para llevar dicha cuenta.

Artículo 62°.- Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos para su abono se procederá así:

- Si los trabajos se realizan y están especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo, y el Ingeniero exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en los pliegos particulares o en su defecto en los generales, en el caso de que dichos fueran inferiores a los que rijan en la época de su realización, en caso contrario, se aplicarán estos últimos.

- Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso de obras, por haber sido utilizadas durante dicho plazo por el Propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día, nada se abonará por ellos al Contratista.

Artículo 63°.- Abono de obras incompletas

Cuando por rescisión u otra causa fuera preciso valorar obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto sin que pueda pretenderse la valoración de cada unidad de obra en forma distinta, ni que tenga derecho el Contratista a reclamación alguna por insuficiencia u omisión del costo de cualquier elemento que constituye el precio.

Las partidas que componen la descomposición del precio serán de abono cuando esté acopiado en obra la totalidad del material, incluidos accesorios, o realizados en su totalidad las labores u operaciones que determina la definición de la partida, ya que el criterio a seguir ha de ser que sólo se consideren abonables fases con ejecución terminadas, perdiendo el Adjudicatario todos los derechos en el caso de dejarlas incompletas.

2.5.5. Liquidaciones**Artículo 64°.-** Liquidaciones parciales

Las liquidaciones se harán por certificaciones mensuales y se hallarán multiplicando las unidades resultantes de las mediciones por el precio asignado de cada unidad del presupuesto. Se añadirá el % correspondiente al sistema de Contrato, desquitando las rebajas que se obtuvieran en subasta.

Artículo 65°.- Carácter provisional de las liquidaciones parciales

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a certificaciones y variaciones que resulten de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

La Propiedad se reserva en todo momento y especialmente al hacer efectivas las liquidaciones parciales, el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido los compromisos referentes al pago de jornales y materiales invertidos en la obra, a cuyo efecto deberá presentar el Contratista los comprobantes que se exijan.

Artículo 66°.- Liquidación final

La liquidación general se llevará a cabo una vez terminadas las obras y en ella se hará las mediciones y valoraciones de todas las unidades de obra realizadas, las que constituyen modificaciones del proyecto, y los documentos y aumentos que se aplicaron en las liquidaciones parciales, siempre y cuando hayan sido previamente aprobadas por la Dirección Técnica con sus precios.

De ninguna manera tendrá derecho el Contratista a formular reclamaciones por aumentos de obra que no estuviesen autorizados por escrito a la Propiedad con el visto bueno del Ingeniero Director.

Artículo 67°.- Liquidación en caso de rescisión

En este caso, la liquidación se hará mediante un contrato liquidatorio, que se redactará de acuerdo por ambas partes. Incluirá el importe de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de rescisión.

2.5.6. Pagos

Artículo 68°.- Pagos

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos, y sus importes corresponderán precisamente al de las certificaciones de obras expedidas por el ingeniero, en virtud de las cuales se verificarán aquellos.

Artículo 69°.- Suspensión o retrasos en el ritmo de los trabajos por retraso en los pagos

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos o ejecutarlos a menor ritmo que el que le corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

Artículo 70°.- Demora de los pagos

Si el Propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que corresponda el plazo convenido, el Contratista

tendrá además el derecho de percibir el abono de un 4,5 % anual en concepto de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo, tendrá derecho el Contratista a la rescisión del Contrato, procediéndose a la ejecución de la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que estos reúnan las condiciones preestablecidas y que la cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

Se rechazará toda solicitud de rescisión del Contrato fundada en dicha demora de pagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha de dicha solicitud ha invertido en obra en los materiales acopiados admisibles la parte de presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el Contrato.

2.5.7. Indemnización de daños causados por fuerza mayor

Artículo 71°.- Indemnización de daños causados por fuerza mayor

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas ocasionadas en la obra sino en los casos de fuerza mayor. Para los efectos de este artículo, se considerarán como tales casos los que siguen:

- Los incendios causados por electricidad atmosférica.

- Los producidos por terremotos o los maremotos.
- Los producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de los ríos, superiores a los que sean de prever en el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que por el Contratista se tomarán las medidas posibles dentro de sus medios para evitar daños.
- Los que provengan de movimientos del terreno en el que estén construidas las obras.

La indemnización se referirá al abono de las unidades de obra ya ejecutadas con materiales acopiados a pie de obra; en ningún caso comprenderán medios auxiliares.

3.- CONDICIONES GENERALES LEGALES

3.1. Arbitrio y jurisdicción

Artículo 72º.- Formalización del Contrato

Los Contratos se formalizarán mediante documentos privados, que podrán elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes y con arreglo a las disposiciones vigentes. Este documento contendrá una cláusula en la que se expresa terminantemente que el Contratista se

obliga al cumplimiento exacto del Contrato, conforme a lo previsto en el Pliego General de Condiciones.

El Contratista antes de firmar la escritura habrá firmado también su conformidad al pie del Pliego de Condiciones Particulares que ha de regir la obra, en los planos, cuadros de precios y presupuesto general.

Serán de cuenta del Adjudicatario todos los gastos que ocasione la extensión del documento en que se consigne la contrata.

Artículo 73°.- Arbitraje obligatorio

Ambas partes se comprometen a someterse en sus diferencias al arbitraje de amigables compondores, designados uno de ellos por el Propietario, otro por la contrata y tres ingenieros por el C.O. correspondiente, uno de los cuales será forzosamente el Director de Obra.

Artículo 74°.- Jurisdicción competente

En caso de no haberse llegado a un acuerdo por el anterior procedimiento, ambas partes son obligadas a someterse a la discusión de todas las cuestiones que pueden surgir como derivadas de su Contrato, a las autoridades y tribunales administrativos, con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese enclavada la obra.

3.2. Responsabilidades legales del contratista

Artículo 75°.- Medidas preparatorias

Antes de comenzar las obras el Contratista tiene la obligación de verificar los documentos y de volver a tomar sobre el terreno todas las medidas y datos que le sean necesarios. Caso de no haber indicado al Director de Obra en tiempo útil, los errores que pudieran contener dichos documentos, el Contratista acepta todas las responsabilidades.

Artículo 76°.- Responsabilidad en la ejecución de las obras

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el Contrato y en los documentos que componen el Proyecto. Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la demolición y reconstrucción de todo lo mal ejecutado, sin que pueda servir de excusa el que la Dirección Facultativa haya examinado o reconocido la construcción durante las obras, ni el que hayan sido abonadas las liquidaciones parciales.

Artículo 77°.- Legislación Social

Habrà de tenerse en cuenta por parte del Contratista la Reglamentación del Trabajo, así como las demás disposiciones que regulan las relaciones entre patronos y obreros, contratación del Seguro Obligatorio, Subsidio Familiar y de Vejez, los Accidentes de Trabajo, Seguridad e Higiene en

el Trabajo y demás con carácter social urgentes durante la ejecución de las obras.

El Contratista ha de cumplir lo reglamentado sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo, así como la legislación actual en el momento de ejecución de las obras en relación sobre protección a la industria nacional y fomento del consumo de artículos nacionales.

Artículo 78º.- Medidas de seguridad

En caso de accidentes ocurridos a los operarios con motivo de ejercicios en los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos vigentes en la legislación, siendo en todo caso único responsable de su incumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la Propiedad, por responsabilidad en cualquier aspecto.

De los accidentes y perjuicios de todo género que por cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudiera recaer o sobrevenir, será este el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales. Será preceptivo que el tablón de anuncios de la obra presente artículos del Pliego de Condiciones Generales de índole general, sometido previamente a la firma de la Dirección Facultativa.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes perpetúen para evitar en lo posible accidentes a los obreros y a los andantes no sólo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra.

Se exigirán con especial atención la observación de lo regulado por la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.G.S.H.T.).

Artículo 79°.- Vallado y policía de obra

Serán de cargo y cuenta del Contratista el vallado y la policía del solar, cuidando de la conservación de sus líneas de lindeo y vigilando que, por los poseedores de las fincas contiguas, si la hubiese, no se realicen durante las obras actos que mermen o modifiquen la propiedad.

Toda observación referente a este punto será puesta inmediatamente en conocimiento del Ingeniero Director.

Artículo 80°.- Permisos y Licencias

El adjudicatario estará obligado a tener todos los permisos y licencias, para la ejecución de las obras y posterior puesta en servicio y deberá abonar todas las cargas, tasas e impuestos derivados de la obtención de dichos permisos.

Artículo 81°.- Daños a terceros

El Contratista será responsable de todos los accidentes que por inexperiencia o descuido sobreviniese en la edificación donde se efectúan las obras.

Como en las contiguas será, por tanto, de sus cuentas el abono de las indemnizaciones a quien corresponde y cuando por ello hubiera lugar, todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras.

El Contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, debiendo exhibir cuando a ello fuese requerido, el justificante de tal cumplimiento.

Artículo 82°.- Seguro de la obra

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva, la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la sociedad aseguradora se ingresará en cuenta a nombre del Propietario, para que con cargo a él, se abone la obra que se construye y a medida que esta se vaya realizando. El reintegro de dicha

cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones como el resto de los trabajos.

En las obras de reparación o reforma, se fijará la porción de la obra que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se previene, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte de la obra afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza de seguros, las pondrá el Contratista antes de contratadas, en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar en éste su previa conformidad o reparos.

Artículo 83°.- Suplementos

El Contratista no puede hacer ningún trabajo que ocasione suplementos de gastos sin autorización escrita del Propietario de la instalación y con el visto bueno del Director de Obra.

Artículo 84°.- Conservación y otros

El Contratista ejecutor de las obras tendrá que conservar a su cargo todos los elementos de las obras civiles y eléctricas desde el comienzo de las obras hasta la recepción definitiva de las mismas. A este respecto, los gastos derivados de la conservación, tales como revisiones periódicas de las instalaciones, vigilancia, reposición de posibles desperfectos causados por terceros, limpieza de aparatos, etc. correrán a cargo del

Contratista, no pudiendo éste alegar que la instalación esté o no en servicio.

La sustitución o reparación será decidida por la Dirección de Obra, que juzgará a la vista del incidente si el elemento puede ser reparado o totalmente sustituido por uno nuevo teniendo que aceptar totalmente dicha decisión.

El Contratista estará obligado a ejecutar aquellos detalles imprevistos por su minuciosidad o que se hayan omitido si el Director de la Obra lo juzga necesario.

Artículo 85°.- Hallazgos

El Propietario se reserva la posesión de las antigüedades, objetos de arte, o sustancias minerales utilizables, que se encuentren en las excavaciones y demoliciones practicadas en su terreno o edificaciones. El Contratista deberá emplear para extraerlo todas las precauciones que le indiquen por la Dirección.

El Propietario abonará al Contratista el exceso de obras o gastos especiales que estos trabajos ocasionen.

Serán así mismo, de la exclusiva pertenencia del Propietario los materiales y corrientes de agua que, como consecuencia de la ejecución de las obras, aparecieran en los solares o terrenos donde se realicen las

obras, pero el Contratista, en el caso de tratarse de aguas y si las utilizara, serán de cargo del Contratista las obras que sean convenientes ejecutar para recogerlas para su utilización.

La utilización para el aprovechamiento de gravas y arenas y toda clase de materiales procedentes de los terrenos donde los trabajos se ejecuten, así como las condiciones técnicas y económicas en que estos aprovechamientos han de concederse y ejecutarse, se señalarán para cada caso por la Dirección Facultativa.

Artículo 86°.- Anuncios y carteles

Sin previa autorización de la Propiedad no podrán ponerse, ni en sus vallas, más inscripciones o anuncios que los convenientes al régimen de los trabajos y la policía local.

Artículo 87°.- Copia de documentos

El Contratista tiene derecho a sacar sus copias a su costa de los planos, presupuesto, y pliego de condiciones y demás documentos del proyecto.

3.3. Subcontratas

Artículo 88°.- Subcontratas

El Contratista puede subcontratar una parte o la totalidad de la obra a otra u otras empresas, administradores, constructores, instaladores, etc. no eximiéndose por ello de su responsabilidad con la Propiedad.

El Contratista será el único responsable de la totalidad de la obra tanto desde el punto de vista legal como económico, reconociéndose como el único interlocutor válido para la Dirección Técnica.

3.4. Pago de arbitrios

Artículo 89°.- Pago de arbitrios

El pago de impuestos y arbitrios en general municipales o de otro régimen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse el tiempo de ejecución de las obras y por conceptos inherentes a los propios trabajos que se realizan, correrá a cargo del Contratista siempre que en las condiciones particulares del Proyecto no se estipule lo contrario. No obstante, al Contratista le deberá ser reintegrado el importe de todos aquellos conceptos que la Dirección Facultativa considere justo hacerlo.

3.5. Causas de rescisión del contrato

Artículo 90º.- Causas de rescisión del contrato

Se consideran causas suficientes de rescisión de Contrato las que a continuación se señalan:

- La muerte o incapacidad del Contratista.
- La quiebra del Contratista.

En los casos anteriores, si los herederos o síndico se ofrecieran a llevar a cabo las obras bajo las mismas condiciones estipuladas en el Contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que en este último caso tengan derecho a indemnización.

- Las alteraciones del Contrato por las causas siguientes:
 - a) La modificación del Proyecto en forma tal, que representen alteraciones fundamentales del mismo a juicio de la Dirección Facultativa y en cualquier caso, siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, representen más o menos un 25 % como mínimo del importe de aquel.

b) La modificación de las unidades de obra siempre que estas modificaciones representen variaciones, más o menos del 40 % como mínimo de alguna de las unidades que figuren en las modificaciones del Proyecto, o más de un 50 % de unidades del Proyecto modificadas.

c) La suspensión de la obra comenzada y en todo caso siempre que por causas ajenas a la contrata no se dé comienzo de la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación; en este caso la devolución de la fianza será automática.

d) La suspensión de la obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año.

e) El no dar comienzo de la contrata a los trabajos dentro de los plazos señalados en las condiciones particulares del Proyecto.

f) Incumplimiento de las condiciones del Contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras. La mala fe de la ejecución de los trabajos.

g) El abonado de la obra sin causa justificada.

h) La terminación del plazo de ejecución de la obra sin haberse llegado a ésta.

Quedará rescindido el contrato por incumplimiento del Contratista de las condiciones estipuladas en este Pliego perdiendo en este caso la fianza, y quedando sin derecho a reclamación alguna.

CAPITULO 3º: CONDICIONES PARTICULARES

1. OBJETO

Se definirán en este Pliego de Condiciones Particulares las características más importantes de las obras a realizar, destacando los puntos más notables, recogiendo las particularidades de la misma, así como las modificaciones que afecten a los siguientes capítulos por los que se regirán los trabajos de construcción del Proyecto: **Estación de Regulación y Medida G-160 de 80/16 bar. para alimentación de una red de distribución en APA** en el T.M. de Los Barrios (Cádiz).

2. ALCANCE DE LOS TRABAJOS

Las obras objeto del presente Pliego consisten en la ejecución de los trabajos correspondientes al Proyecto **Estación de Regulación y Medida G-160 de 80/16 bar. para alimentación de una red de distribución en APA.**

2.1 Trabajos a efectuar

El contratista adjudicatario de las obras deberá realizar todas las operaciones necesarias de construcción y montaje del Proyecto **Estación de Regulación y Medida G-160 de 80/16 bar. para alimentación de una red de distribución en APA**, comprendiendo:

2.1.1 Obras Civiles

Sin carácter limitativo, incluye la ejecución de:

- Trabajos a realizar dentro de la posición en áreas clasificadas.
- Replanteo de las obras lineales y concentradas.
- Excavación para zapatas y arquetas y transporte a vertedero. Demolición de viales y de valla.
- Relleno de sobreexcavaciones con material adecuado.
- Suministro de materiales y construcción de nueva valla y puerta de hombre. Cambio de puerta de camiones.
- Suministro de materiales y construcción de nuevos viales.
- Excavación de zanja para alojamiento de conducciones, conductos de cables y transporte a vertedero de material sobrante y de escombros.

- Suministro y colocación de lecho de asiento en material seleccionado para protección de las tuberías y de cables, así como para envolventes.
- Descenso a zanja, pretapado con material seleccionado y relleno con materiales adecuados, donde se forma la súbbase de vial de servicio.
- Colocación de malla de señalización y/o losa de hormigón.
- Colocación de vaina protectora del sistema de telecomunicación acompañando a la tubería de salida.
- Restitución de terrenos a su estado original, mediante relleno, compactación y posterior acabado, etc ., de acuerdo con los planos, así como de servicios.
- Agotamiento de agua en las zanjas, por inundación o como consecuencia del nivel freático, si fuera necesario.
- Construcción de zapatas y vigas de atado, pilares y vigas en hormigón. Jácenas de acero
- Obra Civil de colocación de ladrillos, aislamientos y bloques. Cubierta de chapa y cerramientos en chapa. Carpintería metálica en puertas y rejillas.
- Pavimentos de hormigón y canaletas para servicios.

- Obras de drenaje o cimentaciones singulares, para apoyo de tuberías, edificios y contenciones de tierra.
- Sustitución de materiales de relleno de zanjas, cuando así proceda y compactación al 95% P.M.
- Demolición de viales en cruces o por ampliaciones y restitución de los cruces realizados en los existentes.

2.1.2 Montaje mecánico

Comprende, en general, y sin carácter limitativo:

- Recepción de los materiales, según se indica en el Pliego de Condiciones, en los almacenes de la Propiedad por el Contratista, o en otros lugares designados por la Propiedad.
- Transporte de los materiales y tuberías a obra.
- Ejecución del montaje dentro de la posición en área clasificada.
- Limpieza de tubos, verificación de los extremos y sus eventuales reparaciones.
- Homologaciones de procedimiento, según diámetros, espesores, piezas especiales y materiales.

- Alineación, limpieza de bocas, distribución, curvado, corte de tubos y accesorios, soldadura, revestimiento, paso de detector y descenso a zanja en línea.
- Soldadura de tuberías, accesorios y curvas, control no destructivo y destructivo de las uniones soldadas.
- Limpieza interior de tramos de tubería, antes de su puesta en zanja. Tapado de bocas.
- Revestimiento de todas las partes de revestimiento deterioradas de la tubería de acero, revestimiento de uniones soldadas y piezas especiales, de acuerdo con los procedimientos de ENAGAS.
- Control de calidad del revestimiento y ejecución de las reparaciones necesarias.
- Unión de tramos, una vez efectuadas las pruebas.
- Pruebas del bitubo portacable.
- Suministro, montaje y pruebas de la E.R.M. G-160 y sala de calderas.
- Montaje de instalaciones auxiliares.

2.1.3. Protección catódica

Comprende, sin carácter limitativo:

- Excavación de zanja, colocación de ánodos y cables, señalización y tapado.
- Colocación de cables y cajas de toma de potencial con sus accesorios.

2.1.4 Instalación eléctrica

Comprende, sin carácter limitativo:

- Montaje de red de tierras.
- Suministro e instalación del cuadro secundario en la nueva sala de calderas.
- Instalaciones de cableado, de alumbrado y fuerza en edificio de la E.R.M. y en el de calderas.
- Adecuación de las salidas actuales del CAPI para las nuevas necesidades de la ERM G-160.

2.1.5 Instalaciones de telemando

- Modificación del equipo de control y comunicaciones existente, para ampliar el servicio a la nueva ERM G-160.

- Suministro e instalación de conduit y tubos para paso de cables.
- Instalación y pruebas de bitubo.
- Instalación de cables de señales de PT'S y para fines de carrera.

2.2 Trabajos por Administración

Comprende el suministro de materiales, equipos y mano de obra para todos los trabajos no previstos en el Proyecto, cuya realización se regula por lo indicado en las Normas de Medición y Abono y que solicite el Director Facultativo al Contratista para realizar este tipo de trabajos.

3. OFICINAS Y LOCALES

3.1. Servicios

El Contratista obtendrá, a su cargo, todos los servicios necesarios para la ejecución de las obras.

La Propiedad no está obligada a facilitar ningún servicio (agua, gas, energía eléctrica, etc.), aunque pudiera disponer de ellos.

3.2. Locales de Obra

El Contratista se proveerá, para el desarrollo de las obras, de talleres, oficinas, vestuarios, servicios y almacenes en superficie suficiente para dedicar, directamente, a la ejecución de las obras de este proyecto, así como las instalaciones auxiliares y accesos necesarios para el normal

desenvolvimiento de los trabajos en situación adecuada y a conveniencia del Contratista.

Las instalaciones han de cumplir con la Reglamentación vigente en cuanto a depósitos de materiales inflamables (carburantes, disolventes) y elementos radiactivos, además de cumplir con las normas legales y su situación ha de ser aprobada por el Director Facultativo.

La Propiedad necesita para el desarrollo de las obras:

- 1 despacho con mobiliario, 1 archivador y 1 archivador de planos.
- Servicio de comunicaciones (teléfonos), mecanografía, fotocopidora en A-3, etc.

El Contratista protegerá todos los materiales, así como la obra contra todo deterioro y daño durante el período de construcción y plazo de garantía.

El Contratista deberá construir y conservar, en lugar debidamente apartado, las instalaciones sanitarias provisionales para ser utilizadas por el personal asignado a la obra y en lugares debidamente aprobados por la Inspección de Trabajo o el Organismo que corresponda.

4. MATERIALES

4.1. Materiales a suministrar por la Propiedad

- Malla de señalización y tapas y cercos.
- Bitubo portacable de 2 x 40.
- Extintores y equipo de protección contra incendios durante las operaciones de soldadura y conexión a la red existente.
- Vaina de acero para protección de la vaina del sistema de telemando.
- CAPI y Cuadro de Control e Instrumentación.

4.2. Materiales a suministrar por el Contratista

El Contratista suministrará, sin carácter limitativo:

- La tubería en los diámetros y espesores indicados en el P.C. de los materiales y para $\varnothing \geq 2''$.
- Válvulas de seccionamiento, y de venteo en todos los diámetros.
- Accesorios de acero, tales como, codos, bridas, reducciones, caps, weldolets, etc. de $\varnothing \geq 2''$.
- Cajas para toma de potencial y juntas aislantes.

- Juntas aislantes monobloc de $\varnothing \geq 2''$.
- Tubería de acero y accesorios para instalaciones no sometidas a presión (excepto tubo-vaina) y portacables.
- Tuberías auxiliares para conductos de cables con guías incluidas y soportes estructurales de cualquier tipo.
- Accesorios para tuberías en $\varnothing < 2''$ excepto válvulas.
- Hormigón para cimentaciones, lastrados y losas. Ladrillos, chapa, cerrajería, etc.
- Armaduras para hormigón armado y telas asfálticas.
- Cintas de revestimientos, mangas termorretráctiles, cintas de protección antirroca y de protección mecánica. Resinas para revestimiento de uniones de cables de T.P.
- Equipos de medida de fluidos, bombas de impulsión, cepillos, esferas o rascadores, calibres, compresores de aire, registradores, balanza manométrica, termómetros y cualquier otro material auxiliar para la realización de las pruebas de resistencia y estanqueidad.
- Cerrajería y su protección anticorrosiva para exteriores e interiores, etc. tapas metálicas y de madera, aislamiento, cubiertas de chapa, vigas, correas, canalones, bajantes, etc.

- Ánodos, cables auxiliares, picas y tomas de tierra.
- Suministro de vallas provisionales y definitivas y otros materiales de cerrajería.
- Equipos de protección contra incendios.
- Todos los materiales en general para la construcción del edificio de E.R.M. y de calderas.
- Todos los materiales para la fabricación, montaje y pruebas de la E.R.M. G-160.
- Espárragos con 2 tuercas.
- Juntas espirometálicas de $\varnothing \leq 2''$ para la E.R.M.
- Materiales y equipos radiológicos para el control de las uniones soldadas (directamente o a través de una ENICRE).

5. HORMIGONES

Los hormigones a realizar en la obra serán de acuerdo a EHE con los siguientes cementos:

Para H-25 CEM 1-MR

Para H-20 CEM IV/B.MR

Siendo los hormigones los siguientes:

- Hormigón en zapatas HA 25/B/20/I

- Hormigón en vigas de atado HA 25/B/20/Ha

6. CONTROL NO DESTRUCTIVO

El control radiográfico de las soldaduras a tope a realizar en este Proyecto se realizará al 100%.

Todas las uniones soldadas no radiografiables serán controladas por líquidos penetrantes, igualmente, al 100%.

La calificación de uniones soldadas será de acuerdo a UNE 14.011.

El equipo radiológico y la toma y calificación previa de placas será suministrado por el Contratista y estando a su cargo este coste incluido en la partida de montaje mecánico.

7. CONTABILIDAD DE LOS MATERIALES

Es deber del Contratista determinar por sí o bajo su responsabilidad, a lo largo de las obras y con una antelación no inferior a 90 días de su instalación, las cantidades que habrá de necesitar sin que nada de cuanto se dice en este Pliego pueda relevarle de forma alguna de ello.

Se computa como consumido el material que estrictamente quede incorporado a la conducción. El sobrante se pondrá a disposición del Propietario que indicará la parte de aquel que le interese recuperar y los lugares en que quiera que se almacenen, siendo de cuenta del Contratista, todos los gastos inherentes a dicha devolución y transporte con exclusión de la adquisición y acondicionamiento de las áreas o lugares que se elijan.

El valor de la tubería o materiales perdidos por cualquier concepto, usado en exceso, destruidos o dañados, fuera de los recortes de tubería y revestimiento aceptados por el Director Facultativo, será cargado a cuenta del Contratista, descontándolo de cualquier cantidad que se le abone, a los precios de coste que el Propietario justifique.

El Contratista deberá facilitar, en cualquier momento, la situación de los materiales, teniendo constantemente al día, el balance de los materiales a su cargo y los incorporados a obra.

Dos copias del citado balance, puesto al día, cada fin de mes, se entregarán al Director Facultativo dentro de los primeros cinco días del mes siguiente.

En el plazo de un mes, a partir del término de los trabajos, se realizará un balance final y definitivo de los materiales, según las prescripciones siguientes:

a) Balance de tubería en línea.

Para la tubería, el Contratista deberá presentar al Propietario un Balance en el que se reflejen los siguientes conceptos:

1. Longitud de tubería entregada por el Propietario.

Esta longitud es la correspondiente a sumar las longitudes de tubería que figuran en las actas de entrega de tubería.

2. Longitud de tubería puesta en obra.

La longitud de tubería puesta en obra a consignar en el balance, es la que figura en el libro-tubo deduciendo las longitudes de las piezas especiales (curvas en caliente, bridas, válvulas, etc.) que se intercalen en la conducción.

3. Longitud de tubería recuperada y utilizable.

La longitud de tubería recuperada y utilizable será el resultado de sumar las longitudes de tubería no incorporada a la obra y que el Contratista debe reintegrar al Propietario en condiciones de ser utilizada, es decir, en las mismas condiciones en que por el Propietario le fue entregada al Contratista. La longitud de tubería recuperada y utilizable deberá ser desglosada en el balance en los dos conceptos siguientes:

- Longitud de tubería recuperada y utilizable en tubos enteros.

Esta longitud es la que resulta de sumar las longitudes de tubos enteros que el Contratista debe reintegrar al Propietario en condiciones de ser utilizados. Se entiende por tubos enteros aquellos que tienen las mismas longitudes iniciales, es decir, las que figuran en el Acta de Entrega de Tubería por el Propietario al Contratista.

- Longitud de tubería recuperada y utilizable en carretes de longitud superior a 4,27 metros.

Esta longitud es la suma de las longitudes de los carretes de tubería que el Contratista debe reintegrar al Propietario en condiciones de ser utilizadas de forma que todos los carretes contabilizados dispongan de una longitud superior a 4,27 metros.

4. Longitud de tubería recuperada y no utilizable.

La longitud de tubería recuperada y no utilizable será la suma de los carretes de tubería de longitudes inferiores a 4,27 metros, que el Contratista debe reintegrar al Propietario.

5. Longitud de tubería en pérdidas.

La longitud de tubería en pérdidas será la diferencia entre la longitud de tubería entregada por el Propietario y la suma de las longitudes de tubería puesta en obra, mas la tubería recuperada y utilizable, mas la tubería recuperada y no utilizable.

Es decir:

$$L_p = L_1 - (L_2 + L_3 + L_4) = L_1 - [L_2 + (L'_3 + L''_3) + L_4]$$

Siendo:

L_p = Longitud de tubería en pérdidas.

L_1 = Longitud de tubería entregada por el Propietario.

L_2 = Longitud de tubería puesta en obra.

L_3 = Longitud de tubería recuperada y utilizable ($L'_3 + L''_3$).

L'_3 = Longitud de tubería recuperada y utilizable en tubos enteros.

L''_3 = Longitud de tubería recuperada y utilizable en carretes de longitud de tubería superior a 4,27 metros.

L_4 = Longitud de tubería recuperada y no utilizable.

En el balance, el Contratista, además de las longitudes anteriormente definidas, consignará claramente las siguientes partidas:

- Suma de la longitud de tubería en pérdidas y de la longitud de tubería recuperada y no utilizable.

- Longitud de tubería recuperada y utilizable en carretes de longitud superior a 4,27 metros.

Estas pérdidas se consignarán tanto en cifras absolutas como en porcentajes referidos a la longitud de tubería puesta en obra.

El porcentaje de tubería en pérdidas respecto a la longitud de tubería puesta en obra, no podrá exceder la cifra que se señala en el Pliego de Condiciones de los Materiales.

La suma de los porcentajes de longitud de tubería en pérdidas y de longitud de tubería recuperada y no utilizable, respecto a la longitud de tubería puesta en obra, no deberá exceder la cifra que se especifica en el Pliego de Condiciones de los Materiales.

El porcentaje de la longitud de la tubería recuperada y utilizable en carretes de longitud superior a 4,27 metros, respecto a la longitud de la tubería puesta en obra no deberá exceder la cifra que se consigna en el Pliego de Condiciones de los Materiales.

Es decir:

$$L_p (\%) < A$$

$$L_p (\%) - L_4 (\%) < B$$

$$L^{>3} (\%) < C$$

Donde cada L (%) tiene los significados antes definidos y referidos en tantos por ciento en relación a la longitud de la tubería puesta en obra; y siendo A, B, y C las cifras que se detallan en el Pliego de Condiciones de los Materiales.

Si las cantidades de tubería que efectivamente reintegrarse el Contratista al Propietario no cumpliera los requisitos que se han establecido anteriormente, es decir, hubiera diferencias entre las cantidades de tubería reintegrada efectivamente por el Contratista y las que refleja el Balance así establecido, estas diferencias serán abonadas por el Contratista a los precios de compra de la tubería del Propietario.

b) Balance de otros materiales

Las piezas especiales (juntas aislantes, válvulas, bridas, etc.) que suministre la Propiedad, serán contabilizadas igualmente a la firma del Acta de Recepción de Materiales.

El material colocado en la línea será únicamente contabilizable a efectos de su utilización.

El balance se establecerá entre la diferencia del material recepcionado y el material almacenado y util, según el criterio del Director Facultativo.

El balance de la tubería para fibra óptica no tendrá pérdidas superiores al 4% sobre la longitud de red de línea, incluyendo en este % la senoide posible en zanja.

Las bobinas a devolver serán completas o parciales, no admitiéndose retales.

No se admitirán pérdidas, de forma tal que si no se devolvieran a la Propiedad las cantidades resultantes en el balance, el Contratista pagará a la Propiedad la diferencia no devuelta a los precios que justifique la Propiedad.

Los gastos del transporte por devolución de materiales sobrantes a los almacenes de la Propiedad serán a cargo del Contratista.

8. PRUEBAS DE RESISTENCIA Y ESTANQUEIDAD.

Independientemente de las pruebas efectuadas por los fabricantes de los componentes individuales (filtros, intercambiadores, calderas, reguladores, turbinas, etc.), de las que se adjuntarán con la documentación del Proyecto los correspondientes protocolos y certificados, el suministrador procederá a efectuar las siguientes pruebas, de acuerdo con los procedimientos de llenado, purga y posterior limpieza, incluidos en las Especificaciones de ENAGAS.

El suministrador colaborará con ENAGAS en las operaciones de puesta en marcha, hasta que se cumplan las prestaciones especificadas y se extiendan los documentos de recepción.

1) Pruebas de resistencia en taller (y/o timbrado del aparato a presión) según Norma MIG 5.1 y 5.2, y Especificaciones de ENAGAS.

Consistirá en una prueba hidrostática realizada a 1,3 veces mínimo la presión máxima admisible de operación y como mínimo a 2 bar.

Dada la división de cada línea en zona de alta presión (80 bar) y zona de baja presión (16 bar), y a la existencia de las tuberías de agua caliente, se efectuará una prueba para cada zona con diferente presión máxima admisible de trabajo.

Por lo tanto se realizarán tres pruebas de resistencia:

a) Prueba de resistencia de la zona de alta presión (80 bar).

Se hará un montaje en taller de las tuberías y accesorios, conformando las dos líneas de la ERM G-160 en la zona de alta presión, delimitada por dos bridas ciegas en los extremos, excepto los siguientes componentes:

- Intercambiadores de ambas líneas.
- Filtros de ambas líneas.
- Reguladores de ambas líneas.

Estos serán excluidos, instalando bridas de unión en su lugar, ya que se consideran componentes individuales a los cuales se les habra efectuado las pertinentes pruebas en taller.

A este estructura montada en taller, se le realizará la prueba de resistencia hidráulica a las condiciones mencionadas.

Se considerará que la zona de baja y de alta presión son de Categoría de Emplazamiento 3^a, a la hora de realizar las pruebas de resistencia a éstas.

b) Prueba de resistencia de la zona de baja presión (16 bar).

Además del montaje de la zona de baja presión con bridas ciegas en los extremos, se incluirá la línea de fuel-gas a calderas, la cual se probará a la misma presión de diseño.

Se seguirá el mismo procedimiento que para la zona de alta presión, excluyendo los siguientes componentes:

- Reguladores de ambas líneas de fuel-gas.
- Contador de turbina de fuel-gas.
- Contadores de turbinas de ambas líneas.
- Calderas

c) Prueba del circuito de agua caliente.

Será realizada considerando la presión de diseño del circuito de agua caliente, de la misma forma que las anteriores, excluyendo:

- Calderas
- Intercambiadores de calor
- Bombas

Se considerará que la zona de baja y de alta presión son de Categoría de Emplazamiento 3ª, a la hora de realizar las pruebas de resistencia a éstas.

La presión se mantendrá durante el tiempo necesario para inspeccionar todas las uniones y nunca menor de 60 minutos.

2) Prueba de estanqueidad (en campo) como continuación de la prueba de resistencia, según Norma MIG y Especificaciones de ENAGAS.

Se efectuará con aire o nitrógeno, a una presión 1,1 veces la presión máxima de operación y para las diversas zonas (alta y baja presión de las líneas) que trabajan con gas.

Para esta prueba, la E.R.M. G-160 estará completamente instalada, con las zonas de alta y de baja presión unidas, y con todos los aparatos a presión de ambas zonas acoplados (intercambiadores, filtros, reguladores, etc.).

Primero se probará la zona de alta presión, que se considerará hasta el regulador principal, el cual se cerrará completamente para poder efectuarla.

Finalmente se probará la zona de baja presión, reduciendo la presión de prueba de la zona de alta a la presión de prueba de la zona de baja con el regulador principal.

La duración de la prueba será la necesaria para controlar por medio de una solución espumante la ausencia de fugas en ninguna unión y nunca será menor de 6 horas. La forma de efectuar la prueba será la siguiente:

- 1) Aumento lento de presión hasta la máxima presión de prueba.
- 2) Mantenimiento de la presión al menos 20 minutos, dar jabón a las juntas y controlar las eventuales fugas.
- 3) Reducción lenta de presión hasta, aproximadamente el 20 % de la máxima presión de prueba.
- 4) Mantenimiento de la presión reducida al menos 20 minutos.
- 5) Aumento lento de la presión hasta obtener de nuevo la presión máxima. Dar nuevamente jabón a las juntas y controlar las eventuales fugas.
- 6) Mantenimiento de la presión de prueba durante 6 horas, con registro de presión.

9. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

a) Prueba de funcionamiento (en taller del Fabricante).

Consistirá en una comprobación, vehiculando nitrógeno, de los puntos de tarado de las válvulas VIS y reguladores.

b) Prueba de funcionamiento (en campo).

Las pruebas de funcionamiento, a realizar con la operación dirigida por y en el momento que indique ENAGAS, con la estación vehiculando gas natural, serán tales que se verifiquen al menos, las siguientes operaciones:

- 1) Comprobación del funcionamiento de indicador de presión diferencial de los filtros, con anotación de la pérdida de carga.
- 2) Comprobación del punto de consigna de disparo de la válvula VIS de cada línea provocando tres disparos. Comprobación de la estanqueidad de la válvula VIS cerrada.
- 3) Comprobación del valor de presión regulada y del funcionamiento a caudal máximo y mínimo de los reguladores de presión de cada línea.
- 4) Comprobación del tarado de la válvula de alivio provocando un disparo. Comprobación de la estanqueidad después del disparo.
- 5) Comprobación de la operabilidad sin agarrotamientos de las válvulas de paso de cada línea, así como su estanqueidad.
- 6) Comprobación de que los contadores giran normalmente. Calibración de los lazos de medida de cada línea de correctores, siguiendo el Procedimiento Operativo vigente en ENAGAS.

7) Realización de la prueba de puesta en serie de las dos turbinas de las líneas, llevando a cabo el Procedimiento Operativo vigente en ENAGAS.

8) Comprobación del funcionamiento de las calderas y sus seguridades de detección de llama y de alta temperatura. Comprobación del funcionamiento de todas las bombas de circulación de agua caliente así como del control de temperatura del gas.

9) Comprobación del cumplimiento de los límites de emisión de CO y NO_x establecidos en la legislación de aplicación (estatal o autonómica), realizada por parte de un Organismo de Control Autorizado.

12) Comprobación de los armarios de control y calderas;

- Verificación mecánica, conexiones, ausencia de golpes, etc.
- Comprobación de la limpieza interior y exterior.
- Verificación de la resistencia de aislamiento de los circuitos principales con Megger de 1000 V. La prueba se efectuará con los interruptores cerrados y antes de conectar los cables de los circuitos exteriores.

- Puesta en tensión de armarios y efectuar el control de los circuitos, eficacia del aparellaje y el funcionamiento correcto de las señalizaciones y mandos.
- Pruebas funcionales de cada elemento.
- Comprobación de la correcta programación del PLC de calderas y bombas.
- Comprobación de la entrega correcta de las señales a telecontrol.

13) Verificación de la correcta conexión al embarrado correspondiente de las puestas a tierra de bancadas, tuberías y equipos.

14) Inspecciones en la instalación eléctrica y de instrumentación en zonas clasificadas.

Después del montaje, pero antes del comisionado, se realizará una revisión general de la instalación para verificar que cumple con los criterios de diseño y se ha realizado correctamente y sin sufrir daños.

Se verificarán especialmente que todos los instrumentos y sus circuitos son adecuados a la categoría, grupo de gases y temperatura superficial requeridos. Se comprobará el correcto marcado CE/ATEX, así como la correspondencia de los

instrumentos instalados en zona de gas con la documentación asociada incluida en el Documento de Protección Contra Explosiones.

En aquellos equipos donde sea posible, se procederá a energizarlos o ponerlos en servicio antes de que la unidad entre en servicio (y la zona se clasifique), para detectar cualquier anomalía eléctrica.

Cuando la verificación visual no sea suficiente para garantizar el estado de un circuito, se procederá a la realización de ensayos compatibles con el estado de servicio de la planta.

15) Verificación de la instalación de fuerza y alumbrado.

- Comprobación de las correctas conexiones de cables a los diferentes equipos y elementos.
- Medida de la resistencia de aislamiento de la instalación.
- Verificación de la instalación de alumbrado en las zonas de control, caldera y gas.

16) Comprobación de que se ha entregado al personal de ENAGAS la documentación de operación y mantenimiento correspondiente a la instalación.

10. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

10.1 Instrumentos en zona de gas.

En general cumplirán con los siguientes requisitos:

- Dispondrán de Declaración CE de conformidad con Directiva ATEX-100^a todos los instrumentos que les sea de aplicación, tales como transmisores, presostatos, etc., así como el marcado CE/ATEX correspondiente y con certificado CENELEC de la protección contra explosiones válida para clasificación de gases IIA y clase de temperatura T1.
- Dispondrán de Declaración CE de conformidad con Directiva PE y marcado CE todos los instrumentos que les sea de aplicación, tales como presostatos, medidores de caudal, etc.
- El modo de protección contra atmósferas explosivas será la seguridad intrínseca Eexi, tanto de los instrumentos como del sistema de cableado.
- El grado de protección mínimo de las envolventes será IP-65.
- Las señales de transmisión analógica de los PT y TT serán de 4-20 mA.

10.1.1. Medidores de caudal

Los medidores tipo turbina se suministrarán según Especificación EI de ENAGAS.

10.1.2. Transmisores analógicos de presión.

Cumplirán con lo indicado en la Especificación de ENAGAS EI-212 en su última revisión.

Para poder realizar su calibración “in situ” con los instrumentos patrones de campo, se montarán con un manifold que permita aislar el transmisor de la toma de presión del contador y poder conectar un patrón de presión que permita la medida de la presión en la línea.

10.1.3. Transmisores analógicos de temperatura

Cumplirán con lo indicado en la Especificación de ENAGAS EI-221 en su última revisión.

En la TE-8, para poder realizar la calibración “in situ” con una fuente de calor (horno de bloque seco), extrayendo el sensor sin necesidad de desconectar los cables del cabezal, se deberá instalar una tuerca de unión entre la vaina y el cabezal de la termo resistencia Pt 100.

Asimismo en cada línea de medida se instalará una segunda vaina de temperatura, análoga a la primera, que permita la inserción de una sonda patrón para la medida de la temperatura de línea.

10.1.4.Presostatos y termostatos

Cumplirán con lo indicado en las especificaciones de ENAGAS EI-112 y EI-122, respectivamente.

10.1.5.Indicadores locales de presión y de presión diferencial

Cumplirán con lo indicado en la Especificación de ENAGAS EI-111, última revisión.

En las conexiones a los manómetros locales se instalará una restricción de diámetro máximo 1 mm con el fin de limitar el escape de gas en caso de rotura del tubo Bourdon.

En el circuito de agua son admisibles manómetros con esfera de Ø 100 mm y ± 1 % de precisión.

10.1.6.Indicadores locales de temperatura

Cumplirán con lo indicado en las especificaciones de ENAGAS EI-121.

En el circuito de agua son admisibles termómetros con esfera de Ø 100 mm y de la misma precisión.

10.1.7.Montaje

Las conexiones primarias de los instrumentos de campo se realizarán según lo indicado en las Especificaciones de ENAGAS EI-061 y EI-011, última revisión.

10.1.8.Contactos

Los contactos provenientes de la instrumentación en Sala de Gas se conectarán con el Armario de Control mediante un circuito intrínsecamente seguro (Eexi), empleando aisladores galvánicos Eexi.

10.2 Armario de Control

10.2.1.Características constructivas del armario

Todos los instrumentos que en el diagrama de tubería e instrumentación figuran como “situados en panel”, irán alojados en un armario de control.

Es un armario metálico de tipo modular de 19”, apto para alojar “racks” tipo 80 TE DIN, de dimensiones orientativas mínimas de 800 x 700 x 2000 mm. (Frontal x Fondo x Altura), con acceso por las dos caras.

El armario será de chapa de acero de 2 mm con armazón de 3 mm, y bastidor reforzado abatible con capacidad para 42 unidades.

El bastidor dispondrá de un apoyo de forma que cuando esté cerrado no soporten todo su peso los puntos de giro. El bastidor tendrá una limitación de giro que evite una apertura excesiva y se preverá dispositivo de anclaje que impida el cierre cuando esté en posición totalmente abierta, para facilitar los trabajos de mantenimiento.

La puerta frontal será de metacrilato con cerradura de llave y anclaje en tres puntos, con el mismo sentido de giro que el bastidor. La puerta posterior será de chapa con cerradura de llave y mismo extremo de giro que la frontal. Las puertas y el bastidor abatible se conectarán al armazón mediante latiguillos de cobre que permitan la apertura total de los mismos.

El color del armario será RAL-7032

Estará diseñado para trabajar en las siguientes condiciones ambientales:

- Temperatura de 5 a 45 °C.
- Choque térmico máximo 1 °C / min.
- Humedad relativa 20-90 % (no condensable).
- Polvo 0,1 mg/m³, 0 – 0,5 micrón.
- Protección IP-45.

Para la construcción del armario deberán de tenerse en cuenta los requisitos expuestos a continuación:

- La entrada de cables se realizará por la parte inferior a través del falso suelo.
- Todos los cables y multicables se incorporarán al sistema a través de regleteros de bornas simples con la misma disposición y etiquetado del multicable correspondiente. En ningún caso podrán ir directamente a las tarjetas.

- En las bornas se identificará claramente la polaridad de las señales de 24 Vcc.
- Los cables irán identificados con el nombre de la señal.
- Los equipos de S.I. y sus regleteros estarán separados de los demás, los cables irán por canaletas separadas y las tapas de las canaletas serán de color azul.
- El armario llevará una etiqueta identificativa en lugar visible.
- En la parte superior dispondrá de panel de ventilación.
- En la parte superior o techo existirá a disposición del servicio de mantenimiento una lámpara de incandescencia a 230 Vca con interruptor para iluminación del interior del armario.
- En parte accesible existirá a disposición del servicio de mantenimiento una toma de corriente a 230 Vca de 10 A.
- Protección contra interferencias de radio y magnéticas.
- Los interruptores y magnetotérmicos estarán accesibles.
- Irá provisto de barras de tierra de cobre adecuadas para las tomas de tierra de todos los racks.
- Los espacios de reserva vendrán ocultos mediante una tapa ciega.

El armario de control dispondrá de las reservas necesarias y estará diseñado de forma que en un futuro puedan integrarse en el mismo las necesidades correspondientes a la 3ª línea.

10.2.2.Elementos a incluir en el armario

Todos los aparatos bajo el ámbito de aplicación del Real Decreto 444/1994 (Directiva 89/336/CE, CEM) deberán estar de acuerdo al mismo y disponer de las declaraciones de conformidad, del marcado y certificaciones oportunas.

10.2.3.Pruebas y documentación del armario

El armario será probado en taller de manera que se compruebe satisfactoriamente su funcionalidad de acuerdo con lo indicado en el apartado 9 del Pliego de Condiciones Particulares del Proyecto.

El armario será enviado a obra totalmente probado y con la documentación y marcado necesarios.

La documentación incluirá como mínimo: plano dimensional y de disposición, esquemas de cableados, lista de materiales, informe de pruebas y los certificados necesarios.

10.3. Instalación eléctrica de instrumentación

Toda la instalación eléctrica cumplirá con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, concretamente lo dispuesto en la ITC-BT-29 y la normativa UNE-EN referenciada, y se hará de acuerdo a las especificaciones de ENAGAS EI-011 y EI-061.

Todos los cables a instalarse a / desde la zona e gas serán armados con alambre de acero galvanizado. Los prensaestopas para la entrada de cables a los instrumentos serán aptos para cable armado y acordes a la protección contra explosiones del instrumento y el circuito.

Todos los aparatos, componentes y dispositivos, tanto a instalar en zona de gas como en zona de control, bajo el ámbito de aplicación de Real Decreto 400/1996 (Directiva 94/9/CE, ATEX 100A) deberán estar de acuerdo al mismo y disponer de las declaraciones de conformidad, marcado y certificaciones necesarias, y con certificado CENELEC de la protección contra explosiones válida para clasificación de gases IIA y clase de temperatura T1.

Los cables de alimentación eléctrica y conducción de señales a / desde los instrumentos pasan a la zona de control a través de pasamuros configurados de acuerdo con lo indicado en el apartado **11** del Pliego de Condiciones de Materiales.

11. CALIDAD

El Contratista tendrá en cuenta, que ha de disponer de un sistema de Aseguramiento de la Calidad, conforme con UNE.66.902-89.

12. DOCUMENTACIÓN FINAL

La Documentación Final de Obra se entregará:

- En carpetas de formato A-4.

- Con índices en cada carpeta.
- Con las copias de planos debidamente dobladas.
- Según el Orden de Documentos indicado a continuación:

**Documento I. Documentación Administrativa.
(Original y copia).**

1.1.- Acta de puesta en marcha emitida por la Administración Competente.

1.2.- Actas de Pruebas de Resistencia y Estanquidad visadas por Entidad Colaboradora.

1.3.- Certificado de calidad de soldadura, emitido por Entidad Colaboradora.

1.4.- Certificado Final de Obra, firmado por el Director Facultativo, y visado en el colegio correspondiente.

1.5.- Acta de Puesta en Marcha de Líneas Eléctricas y Centros de Transformación (si procede).

1.6.- Licencias Municipales.

1.7.- Autorizaciones de cruce o paralelismo con Instalaciones de Organismos Públicos.

Documento II. Libro de Tubos. (Original firmado y copia).

Documento III. Planos. (Dos copias).

- Plano de emplazamiento E: 1:25.000 (con cuadro de detalle E: 1:5.000) de la posición K-02-02.A.
- Planos de Obra Civil de la E.R.M. E:1:50.
- Planos de Montaje Mecánico de la E.R.M. E:1:20, indicando zonas clasificadas.
- Planos de Instalación Eléctrica y Red de Tierras de la E.R.M. E:1:100.
- Planos de Instrumentación y Telemando de la E.R.M. E:1:100.
- Planos de Esquema Mecánico e Instrumentación (S/E) de la E.R.M.
- Planos Isométricos de la E.R.M., con lista de materiales.

- Plano de Instalación de Agua Caliente de la E.R.M. E:1:20 .
- Plano de Instalación de Fuel Gas de la E.R.M. E:1:10.

En el caso de realizarse ampliaciones o modificaciones de instalaciones en servicio se deberá proceder a la revisión de los planos existentes, de modo que dicha revisión recoja las instalaciones actuales y las de nueva construcción.

**Documento IV. Informe de calidad de soldadura.
(Original y copia).**

- IV.1. Procedimiento de soldadura y homologaciones. (Si procede).
- IV.2. Homologación de soldadores.
- IV.3. Informes de END (Radiografías, líquidos penetrantes, ultrasonidos, etc).
- IV.4. Certificados de material de aporte (electrodos).

IV.5. Informes de ensayos de probetas de producción.

IV.6. Certificados de materiales y equipos.

Además de toda la documentación anterior, se entregará lo siguiente (si procede):

a) Manuales de Operación y Mantenimiento de Equipos e Instalaciones Básicas. (Dos ejemplares).

- Planos generales.
- Planos de despiece.
- Características técnicas de los equipos.
- Instrucciones de Puesta en Marcha, Operación y Mantenimiento.

b) Armario de radiografías.

c) CD ROM. Incluyendo todos los planos indicados en el Documento III, en formato DWG (de Autocad V.14 o posterior), o formato DXF (ASCII).

Los textos estarán generados en estilo Romans.shx o en su defecto en TXT.SHX. En caso de tener ficheros asociados , de referencias, etc, se adjuntarán en dicho CD de forma que sean cargables y ejecutables desde el fichero principal.

d) Copia de Planos en poliéster debidamente enrollados y en cartuchos adecuados. (Todos los planos indicados en el Documento III)

13. IMPACTO MEDIO AMBIENTAL

El objetivo final es alcanzar los objetivos medio ambientales requeridos por ENAGAS.

Al efecto:

13.1. Medidas Preventivas

El material de desbroce se llevará a vertedero público oficial, siendo de cuenta y carga del Contratista el transporte y abono de las tasas correspondientes.

Si una parte fuera reutilizable para la posterior restitución se acopiará en capas, regándolo para mantener el tempero hasta ser colocado en las instalaciones medio ambientales exigidas en el Proyecto, estando estos costes contemplados como p.p. de las unidades correspondientes del Contrato.

13.2. Instalaciones provisionales

Se cumplirá con las exigencias de ornato y limpieza, de estas instalaciones, bien estén en lugar de expropiación de la Propiedad, del Contratista o en terrenos públicos, exigidos para cualquier instalación fija, incluido su desmantelamiento cuando proceda.

Si se realiza algún camino de acceso, y con los correspondientes permisos, se mantendrá en seguras condiciones de uso en todo momento, y señalizado.

13.3 Ocupaciones

El Contratista solo puede ocupar el área indicada y comprada por la Propiedad.

Cualquier daño ocasional fuera de la ocupación será de su completa responsabilidad, estando obligado el Contratista a la restitución a su estado original o a la descompactación sin cargo alguno para la Propiedad.

13.4. Voladuras

En estas instalaciones concentradas quedan expresamente prohibidas las voladuras aunque sean controladas.

13.5. Combustibles y aceites

La maniobrabilidad de estos materiales será en el mayor cuidado para evitar ningún derrame.

En cualquier cambio de aceite, se recuperará el usado en contenedores para su envío a las plantas de reciclado.

13.6 Materiales sólidos sobrantes

Los materiales sólidos sobrantes serán trasladados según su composición y separados en:

- Chatarra. Enviándose a las plantas correspondientes.
- Papel de envolver, cartón, etc. se formarán pacas para su envío a la planta de reciclado.
- Trapos aceitados y otros derivados. Serán embalados para su envío a plantas de tratamiento específicas.
- Plásticos, botellas y similares. Se recogerán en contenedor para su envío a la planta de reciclado.
- Restos de comida y otros orgánicos. Serán recogidos en los cubos de basura municipales.

Todas las operaciones indicadas en este apartado serán realizadas a su costo y cargo por el Contratista, estando repercutido su importe como p.p. en los precios del Contrato.

CAPITULO 4º: CONDICIONES DE LOS MATERIALES

1. TUBERÍA PARA LINEA

Tubería de acero al carbono fabricada según Especificación de API 5L for Line Pipe de 31 de Mayo de 1988 y de acuerdo con los requisitos indicados en el Reglamento de Redes y Acometidas de Combustibles Gaseosos aprobado por Orden del Ministerio de Industria de 18 de

Noviembre de 1974, modificado por las Ordenes del Ministerio de Industria y Energía de 26 de Octubre de 1.983 y 6 de Julio de 1984, así como las Instrucciones Complementarias ITC-MIG 5.1. “Canalizaciones de transporte y distribución de gas en alta presión B”, ITC-MIG 5.2. “Canalizaciones de transporte y distribución de gas en alta presión “A” e ITC-MIG 6.1. “Acometidas de gas en alta presión”, aprobadas en la Orden de 26 de Octubre de 1983 y modificadas por la Orden del 6 de Julio de 1984.

Serán aplicables de forma general las especificaciones de ENAGAS E-M-600, E-M-611 y E-M-613

Tubería de acero sin soldadura del tipo API ESPEC. 5L y con soldadura longitudinal y/o helicoidal.

Se suministrará en largos dobles de fabricación con los extremos biselados para soldar a 30° (+5-0°), talón de 1,59 mm (\pm 0,79 mm) en clase negra, con certificados de ensayos y control de calidad en fábrica.

La calidad del acero será API 5L Gr. B (241 N/mm² de límite elástico mínimo garantizado, carga de rotura de 420 N/mm²) y el alargamiento será superior al indicado en la norma adoptada.

La tubería a utilizar en el proyecto será:

Presión de diseño 80 bar			Presión de diseño 16 bar		
Diámetro Nominal (Pulgadas)	Material	CE 3 ^a espesor	Diámetro Nominal (Pulgadas)	Material	CE 3 ^a Espesor
4"	GrB	6,0 mm	4"	GrB	6,0 mm
3"	GrB	5,5 mm	3"	GrB	5,5 mm
2"	GrB	5,5 mm	2"	GrB	5,5 mm
1 ½"	GrB	5,1 mm	1 ½"	GrB	5,1 mm

Tabla 1. Dimensiones de tuberías a utilizar en la E.R.M. G-160

Las curvas de radio inferior a 40 veces el diámetro de la conducción, se realizarán mediante codos, si la línea no es supervisible interiormente, y mediante curvas en frío para el Gasoducto que si es supervisible.

La tubería será entregada por la Propiedad con revestimiento externo de polietileno, aplicado por extrusión de acuerdo con las características que se indican:

Diámetro Nominal	Espesor Del Revestim.	Espesor del Revest. reforzado	Doble Revestimiento
<Ø 6"	1,8 mm	2,5 mm	3,6 mm

Tabla 2. Características del revestimiento de polietileno

2. BRIDAS Y ACCESORIOS

Las uniones serán preferentemente soldadas y sólo en casos excepcionales serán de tipo roscado.

Se minimizarán las uniones roscadas en la zona de gas.

De forma general será de aplicación la especificación de ENAGAS E-M-701 Accesorios de Acero al Carbono para Soldar a Tope.

Las bridas serán en ASTM-A-105 para $DN \leq 10''$ 150# y 600#.

Las bridas ciegas serán RF en A-105.

Los accesorios BW serán ASTM-A-234 WPB para $DN \leq 10''$ y 600#.

Todos los espesores estarán de acuerdo con el rating 600# para la presión de diseño de 80 bar relativos y con el rating 150# para la presión de diseño de 16 bar.

Cualquier excepción debida a componentes suministrados formando parte de un equipo paquete (calderas, intercambiadores, etc.) deberá contar con la aprobación previa de ENAGAS.

3. VÁLVULAS Y ESPECIFICACIONES

3.1. Válvulas que vehiculan gas

Todas las válvulas que vehiculan gas en las zonas de alta o baja presión de las líneas se dividirán en tres tipos:

- Válvulas de bola
- Válvulas de aguja
- Válvulas de mariposa

Excepto que por razones de su diámetro o presión de operación queden excluidas, su diseño, fabricación y la certificación de su conformidad estarán de acuerdo con la Directiva PE.

3.1.1. Válvulas de bola

De forma general las válvulas de ajustarán a la Especificación API 6D y a las de ENAGAS E-M-801 “Válvulas de bola en acero al Carbono”.

Las válvulas de bola $DN \geq 2''$ hasta $3''$ serán de accionamiento por palanca, siendo para $DN \geq 4''$ por RE o AN de acuerdo a lo que se indique en los planos.

Las válvulas de bola de diámetro inferior a $1 \frac{1}{2}''$, se ajustarán a la Especificación B.S.5351 para 600# paso reducido y fire safe, con extremos SW. El accionamiento será con palanca, material del cuerpo ASTM A-105, bola AISI 304 o alternativamente según fabricante y asientos de teflón.

Una válvula de paso reducido siempre podrá ser sustituida por paso total, si hubiese problemas de acopio o plazo.

La válvula de aislamiento del by-pass de contrastación será de mariposa en vez de bola de paso total.

3.1.2. Válvulas de aguja

Serán de diámetros de 1/2", 3/4" y 1" para RATING 600#, diseñadas para un intervalo de temperatura de servicio de -10 a +70 °C.

Instalación aérea, con purga incorporada, espesor del cuerpo según ANSI B16.34.

Los extremos son SW según ANSI B.16.34.

El diseño del vástago podrá ser del tipo "back-seat", anti-expulsión o de una sola pieza, según su aplicación.

Accionamiento manual por volante.

El material del cuerpo y del vástago serán los indicados en la Norma ANSI B16.34.

Otros materiales son:

Obturador: Forjado AISI 316

Empaquetadura: PTFE

Prensaestopas: Estándar Fabricante

Tuerca Prensaestopas: Estándar Fabricante

Sometidas a las pruebas indicadas en la Especificación EM-805.

Requieren certificación tipo 3.1 de materiales.

3.1.3. Válvulas de mariposa

Serán de diámetro $\geq 2''$ para Rating 150#, diseñadas para una temperatura de servicio de -10 a $+70$ °C.

Son de instalación aérea, de dimensiones del tipo Face to Face Gate valve, indicadas en la Norma ANSI.B16.10.

El espesor del cuerpo es el indicado en la Norma ANSI.B16.34.

Tipo de asientos estandar del fabricante y diseño del vástago de una sola pieza.

Cuentan con dispositivo antiestático formado por lenteja, vástago y cuerpo.

El accionamiento se realiza mediante un reductor de engranajes.

Los materiales son:

Cuerpo: Según ASME B.16.34

Vástago: AISI 316

Disco: AISI 316

Tornillería: ASTM A-193 Gr B7/194 Gr 2H

Empaquetadura: GRAFOIL

Asiento blando: NYLON/VITON/PTFE

Juntas: VITON

Se probarán todas las válvulas, siendo los procedimientos conformes con ASME B16.34.

Requieren certificación tipo 3.1 de materiales y Fire Safe.

3.2. Válvulas para agua

Válvulas de compuerta. Cuerpo de acero al carbono (ASTM-A-216 Gr WCB para las fundidas y ASTM-A-105 para forjadas). Bridas DIN PN-16 para las mayores de 1" y NPT para las menores, diseño de husillo exterior ascendente y empaquetadura de teflón.

Será posible el cambio de empaquetadura con válvula abierta.

3.3. Válvulas para instrumentación

Válvulas de acero forjado ASTM-A-105, con extremos para soldar a enchufe o para soldar según ANSI B-16.11 del tipo de punzón, con salida de purga incorporada.

4. JUNTAS AISLANTES

Serán de tipo monoblock, para una presión de trabajo en 600# (80 bar) y 150#(16 bar). Los extremos de las juntas serán biselados 30° (+5 – 0°) según ANSI B31.8, para soldar a la tubería de la línea.

Tensión de aislamiento 2,5 KV.

Resistencia eléctrica > 5 Mohm, después del ensayo hidráulico.

Las características de las juntas estarán de acuerdo con la EV-121 de ENAGAS.

Se instalarán en:

- Los colectores de entrada y salida de las E.R.M. y E.M.
- En la conexión de la boquilla de inyección de odorización a gasoducto.

Las juntas aislantes serán suministradas por la Propiedad.

5. REVESTIMIENTO DE LA TUBERÍA

5.1. Características del revestimiento de P.E. sobre tuberías, realizado en fábrica

Será de aplicación con carácter general la especificación de ENAGAS E-V-202. Rev. 1 (Revestimiento de la tubería en fábrica mediante Polietileno Extruído)

El revestimiento será realizado en caliente, con P.E. por extrusión y el orden de aplicación será:

- Limpieza de la tubería.
- Calentamiento.
- Aplicación de capa adhesiva y
- Simultáneamente, aplicación del polietileno por extrusión continua.

Esta secuencia será aplicada sobre toda la longitud de tubería que se revista.

La Propiedad entregará así revestida la tubería en sus almacenes, con los extremos libres de revestimiento en una longitud de 100 mm.

Las fases principales del recubrimiento de tubería, se describen a continuación.

5.1.1. Limpieza de la tubería

Se hará mediante chorreado de la superficie de acabado y se cumplirá con las normas S.S. SIS 05 5900-1967. La calidad será en grado Sa 2-1/2.

5.1.2. Imprimación

La recomendada por el fabricante, que cumplirá con la norma 175 N-DIN 30670.

5.1.3. Material de protección

Se utilizará material P.E. con densidad, comprendida entre 0,929 y 0,937 gr/ml e índice de caudal de colada 0,2 – 0,3 gr/10 min. (190 °C - 2,16 Kg/cm² según ASTM-D-1238 ó 73150 R/292).

La densidad del compuesto negro final (PE más negro de humo) será entre 0,929 y 0,937 gr/ml.

Adherencia (fuerza mínima para producir el desprendimiento) ≥ 175 N por 50 mm.

Siendo D el DN de la tubería, se medirá el tiempo para despegar la

banda (50 mm de ancho) que será al menos de $\geq 0,4 \times D$ min.

Alargamiento $\geq 200\%$

Resistencia eléctrica específica $\geq 10^8$ Ohm·m²

Resistencia a impresión $\geq 0,3$ mm

Temperatura de operación ≥ 65 °C

Temperatura de aplicación ≥ 220 °C

Rigidez dieléctrica ≥ 25 kV/mm

Buena estabilidad física, química, gran resistencia a microorganismos y bajo índice de absorción de agua.

5.2. Revestimiento con cinta de polietileno

El revestimiento de las zonas deterioradas de la tubería revestida en fábrica, de las uniones soldadas y de los codos, etc. se podrá realizar en frío, con cinta de polietileno y el orden de aplicación será limpieza a grado ST-2, imprimación, a continuación la o las cintas de protección y, por último, la cinta de protección mecánica cuando sea necesaria, todo ello de acuerdo a la especificación EV-201. Esta secuencia se aplicará sobre toda la longitud de tubería y accesorios que se revista. En el caso de reparar desperfectos en el revestimiento de fábrica, se descubrirá el acero y se limpiará de polvo el revestimiento, antes de la aplicación de la imprimación.

5.2.1. Imprimación

La recomendada por el fabricante de la cinta.

5.2.2. Cintas de protección

a) Cinta de aplicación en frío de tres capas, la portante de polietileno estabilizado de media densidad y las exteriores de caucho butílico, autovulcanizable de anchura variable, y con las siguientes características técnicas:

Espesor de la capa de soporte polietileno	0,25 mm
---	---------

Espesor de las capas adherentes	0,5 mm
---------------------------------	--------

Espesor total	0,75 mm
Peso	0,95 kg/m ²
Resistencia a la tracción (ASTM D 1000)	> 4,0 kg/cm
Alargamiento a la rotura (ASTM D 638)	400 %
Resistencia al desgarre (Metal-Primer-Cinta):	
a 10 mm/min (DIN 30672)	> 1,5 kg/cm
a 300 mm/min (ASTM D 100)	> 3,0 kg/cm
Resistencia al desgarre (Cinta-Cinta)	
(DIN 30672)	> 2,5 kg/cm
Contenido de humedad (DIN 30672)	< 0,1 %
Absorción de agua ASTM después de 30 días	0,4 %
Rigidez dieléctrica (DIN 53481)	> 30 kV/mm
Resistencia eléctrica (ASTM D 257)	> 10 ¹⁵ Ohm·cm
Temperatura máxima de aplicación	+ 50 °C
Temperatura en servicio continuo	-60 °C a +50 °C
Buena estabilidad física y química y	

Alta resistencia a hongos y bacterias.

El ancho de la cinta será el correspondiente a cada diámetro de tubería, según standard del fabricante.

b) Cinta de aplicación en frío de dos capas, la soporte de polietileno de media densidad y otra adherente y elástica a base de caucho butílico.

Se aplicará sobre imprimación, según la recomendación del fabricante.

Características técnicas:

Espesor capa soporte de polietileno	0,3 mm
Espesor capa adherente	0,2 mm
Espesor total	0,5 mm
Peso	0,56 kg/m ²
Resistencia a la tracción (ASTM D 1000)	> 5,0 kg/cm
Alargamiento a la rotura (ASTM D 638)	> 400 %

Resistencia al desgarre (Metal-Primer-Cinta):

a 10 mm/min (DIN 30672)	> 1,5 kg/cm
a 300 mm/min (ASTM D 1000)	> 3,0 kg/cm

Resistencia al desgarre (Cinta-Cinta)

(DIN 30672)	> 0,4 kg/cm
Contenido de humedad (DIN 30672)	< 0,1 %
Absorción de agua (ASTM D 570)	
después de 30 días	< 0,4 %
Rigidez dieléctrica (DIN 53481)	> 40 kV/mm
Resistencia eléctrica (ASTM D 257)	> 10 ¹⁵ Ohm·cm
Temperatura máxima de aplicación	+ 60 °C
Temperatura en servicio continuo	-60 °C a +65 °C
Buena estabilidad física y química y	
Alta resistencia a hongos y bacterias.	

El ancho de la cinta será el correspondiente a cada diámetro de tubería, según standard del fabricante.

5.3. Revestimiento con bandas o manguitos termorretráctiles

Las uniones o piezas soldadas, se podrán revestir con materiales termorretráctiles, a base de polietileno de baja densidad extruido, forrado interiormente con adhesivo de polímero, de aplicación en caliente, si la Propiedad aprueba el material y el procedimiento. Las características se encuentran incluidas en el apartado de especificaciones en EV-201. Revestimiento externo mediante materiales termorretráctiles.

5.4. Protecciones adicionales

La tubería revestida según los puntos anteriores, podrá recibir una protección adicional contra las acciones externas del terreno, utilizándose los materiales que se indican a continuación, según los casos.

1) Cinta de protección mecánica

Cinta de polietileno, estabilizado, sin adhesivos, para protección mecánica adicional de los revestimientos anticorrosivos.

Características técnicas:

Espesor total	0,4 mm
Peso	0,4 kg/m ²
Densidad	0,94 g/cm ³
Resistencia a la tracción (ASTM D 1000)	> 10 kg/cm
Alargamiento a la rotura (ASTM D 638)	> 600 %
Temperatura máxima de aplicación	+ 75 °C
Temperatura en servicio continua	-60 °C a +85 °C

El ancho será el indicado por el fabricante, según el diámetro de la tubería.

2) Protección anti-roca

MATERIAL:

Geotextil (tejido no tejido) construidos por Fibras sintéticas de poliéster o polipropileno al 100% o mezcla de ambos a 50%, unidas por punzonamiento.

- Color: Blanco
- Espesor mínimo: 6 mm
- Peso $> 900 \text{ gramos/m}^2 \pm 5\%$
- Alargamiento $> 65\%$ a la carga máxima
- Resistencia a la tracción según DIN 53587 parte 2 (100 mm doblado en forma de tubo) y velocidad de separación de las mordazas de 100 mm/minuto.
- Valores de resistencia s/transversal $> 400 \text{ Kg/10 cm} \pm 10\%$
- Valores de resistencia s/longitudinal $> 325 \text{ Kg/10 cm} \pm 10\%$
- Resistencia al impacto (punzonamiento dinámico). Según DIN 30.672
- Valor de energía de Impacto = 45 Julios

- Profundidad máxima de huella sobre polietileno extruído, con interposición de la protección antirroca = 0,6 mm
- Control de aislamiento sin manta sobre huella 30 KV sin fallos
- Procedimiento de prueba de impacto: (S/DIN 30.672). Caída del percutor sobre la probeta formada por tubo $\varnothing \geq 4''$ revestido de polietileno extrusionado (densidad 0,92, 0,94) de un espesor igual o mayor a 2 mm, interposición de la protección antirroca cubriendo el tubo, para que el percutor impacte sobre la lámina o manta de protección.
- Temperatura de ensayos = 23 °C
- Modo de fijación: Termosodable con soplete (llama de butano o propano T = 150 °C)
- Otras características del material: Resistencia buena a : Ácidos, Bases, Oxidantes, Hidrocarburos aromáticos, Alcoholes, Soluciones Salinas.

5.5. Suministro

Los materiales necesarios para el revestimiento de uniones soldadas, accesorios, tubería desnuda, reparaciones de revestimiento, etc., serán suministrados por el Contratista, previa aprobación de los mismos y del procedimiento de ejecución por la Dirección Facultativa.

6. MATERIAL DE APORTACIÓN PARA SOLDADURA

Deberá corresponder a los tipos aceptados por ENAGAS, listados en la Especificación EV-004 Rev.1.

El material de aportación estará de acuerdo con las especificaciones AWS correspondientes.

La selección del material de aportación se realizará en el proceso de homologación de procedimientos de soldadura, conjuntamente con la tubería a utilizar, donde se confirmarán las cualidades y dimensiones y se seleccionará la marca comercial y tipo.

La Propiedad, previamente a los ensayos citados, decidirá los procedimientos y electrodos más apropiados a utilizar, mediante la presentación por el Contratista de propuestas de procedimiento.

La compra de materiales de aporte se realizará según las directrices dadas en SFA-5.01, indicándose en el pedido la calificación de lotes y el nivel de ensayos requerido para todos los diámetros.

La certificación será conforme con las especificaciones AWS correspondientes y EV-004 Rev. 1 de ENAGAS.

Por cada lote de electrodos a emplear y suministrar por el Contratista, se presentarán certificados de composición, características mecánicas, colada y fecha de fabricación.

La Propiedad podrá exigir durante la realización de la obra por cada tipo de electrodos, al menos dos ensayos de calidad de los mismos, de acuerdo con la Norma UNE, siendo los materiales, personal y operaciones a cargo del Contratista.

El Contratista deberá disponer de los medios adecuados para el buen manejo y conservación de todo el material, evitando el deterioro de revestimientos, absorción de humedad, etc.

No será permitido el uso de electrodos que se hayan mojado por cualquier circunstancia.

El material de aportación será suministro del Contratista, encontrándose valorados dentro de las unidades del cuadro de precios unitarios en donde se precise su utilización.

Previamente al empleo de cualquier material de aporte, éste deberá ser aprobado por el Director Facultativo en base a su correcta certificación, identificación y proceso de soldadura para el que se destina.

7. CONTROL NO DESTRUCTIVO

El alcance de los ensayos no destructivos a realizar en obra, así como los requisitos aplicables a los procedimientos, personal, equipos, parámetros, etc., están recogidos en la especificación EV-004 Rev. 1 de ENAGAS que serán de obligado cumplimiento en la construcción.

Los equipos deberán proceder de un suministrador de garantía debidamente aprobado por el Director Facultativo.

Previamente a su utilización se dispondrá de los certificados, curvas y datos característicos que amparen el uso y características del sistema radiológico.

El Contratista proporcionará al Director Facultativo las curvas de energía de radiación-tiempo en caso de utilización de isótopos.

Los equipos podrán ser exteriores a la conducción o interiores.

El Contratista deberá entregar las placas conforme avance el trabajo al Director Facultativo, debidamente clasificadas y almacenadas.

Antes de realizar ninguna radiografía de producción, el Contratista presentará procedimiento o procedimientos radiográficos, para su homologación en campo en base a los materiales, diámetros, espesores, tipo de fuente, etc., presentes en obra siguiendo la Norma API 1104 y complementadas con ASME Sección V.

Una vez se hayan realizado los ensayos previos, toma de placas, etc., el Director Facultativo aprobará o rechazará el procedimiento propuesto. En caso afirmativo se indicará cuales son las características mínimas que se han cumplido en la homologación y que habrán de mantenerse en el desarrollo de los trabajos durante el transcurso de las obras.

Si alguna de las características no se mantiene o se degrada, los trabajos de radiografía y soldadura se pararán, sin sobre-costo alguno para la Propiedad hasta que las condiciones radiológicas y calidad de placas sean las aceptadas en la homologación del procedimiento aprobado.

La aprobación de un determinado procedimiento en base a materiales, Normas API 1104, ASME Sección V, variantes exigidas por la Propiedad o el Director Facultativo no significará ningún extra costo, ni cargo para la Propiedad.

La aprobación y homologación de procedimientos, con los equipos, materiales, etc., así como el suministro de todos los materiales y equipos necesarios para llevar a cabo los procedimientos aprobados, serán por cuenta del Contratista, así como su ejecución, estando valorado dentro de los precios de las unidades correspondientes del cuadro de precios unitarios.

La toma de placas radiográficas será realizada a cargo del Contratista por entidad acreditada y a propuesta de tres.

El examen y calificación de las placas será efectuado para la Propiedad a través de entidad cualificada, de acuerdo con lo indicado en la Especificación General de Soldadura EV-004 Rev. 1.

Las placas radiográficas analizadas y calificadas serán propiedad de ENAGAS.

8. CAJAS PARA TOMA DE POTENCIAL

8.1. Caja o cofre

Será de envolvente metálica, constituida por caja de fundición de aluminio, de adecuado espesor y resistencia mecánica para situación exterior.

En el interior y sobre el fondo, se dispondrá de regruesos con roscado interior que no perforará el fondo, sobre los cuales se fijará la placa de montaje en Celisol o material similar.

Las cajas tendrán las siguientes dimensiones interiores mínimas:

- Para toma de potencial de línea: 100 x 100 x 65 mm
- Para toma de potencial en juntas aislantes: 320 x 320 x 145 mm

El espesor de las paredes de la caja será tal que permita la sujeción con cinco hilos de rosca como mínimo o 4 milímetros mínimo.

La caja será adecuada para intemperie por lo cual su grado de protección será:

- IP-54 (DIN 40050)
- IP-559 (UNE-20-324)

El cierre se efectuará mediante una tapa del mismo material que la caja, abatible mediante pasadores de acero inoxidable, montados sobre orejetas que harán de bisagra.

La tapa llevará embutida la junta de goma de una sola pieza continua y soldada.

Los tornillos de cierre serán de acero inoxidable o cadmiados, con cabeza triangular y atornillarán sobre casquillos de acero inoxidable embutidos en la caja.

La caja llevará patillas orientables de acero galvanizado en caliente, que permitirá su fijación a la placa del tubo portante, mediante tornillos de acero galvanizado o cadmiados.

La caja se instalará verticalmente, de modo que la puerta abra a derecha.

La base inferior de la caja será provista con taladro roscado para la entrada de la reducción del tubo portacables y de soporte con rosca Pg de:

1" para toma de potencial de línea

1-1/2" para toma de potencial en junta aislante

Los taladros llevarán incorporados prensaestopas cadmiados o de bronce con doble cierre.

La caja se suministrará pintada con martelé gris plata.

8.2. Placa de montaje

Sobre la caja irá la placa de Celisol o material de características dieléctricas y resistentes similares, colocada sobre el fondo de la misma y fijada mediante tornillos de acero cromado.

8.3. Bornas de conexión

Sobre la placa de montaje, se instalarán bornas de conexión en número igual al de los cables a embornar más una reserva, constituidas por:

- Espárrago roscado de latón en M-7, arandelas, tuercas y contratuercas del mismo material.

8.4. Terminales

Para la conexión de cables procedentes de las tomas de potencial, se utilizarán terminales de cobre para fijar por presión, en diámetro adecuado al de cable.

9. TUBO PROTECTOR DE CABLES Y PORTANTE DE CAJAS

9.1. De acero

Para la protección del cable en la instalación de tomas de potencial, se utilizará tubería de acero galvanizado de las siguientes características y dimensiones:

Ø 1-1/2" en tomas de potencial de línea

Ø 2" en tomas de potencial de juntas aislantes

El material será de acero al carbono de acuerdo con ASTM-A-106 Gr. A o B y con un acabado por galvanización en baño, el cual contendrá un mínimo del 98% en peso de Zinc.

El recubrimiento mínimo del tubo no será inferior a 400 gr de Zinc por m², entendiéndose por superficie del material galvanizado la suma de las superficies interior y exterior del tubo.

La uniformidad del recubrimiento galvanizado se determinará mediante el ensayo de inmersión en una solución de sulfato de cobre, según UNE-7-183.

En cuanto a ensayos de calidad de galvanizado, se tendrán en cuenta las normas UNE-37-505-75 y UNE-37-501.

No serán utilizados aquellos tubos con defectos superficiales visibles con gotas u otras imperfecciones acusadas.

9.2. Vaina protectora del sistema de telemando

La vaina protectora del sistema de telemando se instalará acompañando a la conducción de acuerdo con la Especificación de ENAGAS ET.130.

10. CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Los conductores a utilizar en las tomas de potencial, serán de cobre electrolítico, recocido, de resistividad 1/58 Ω/mm²/m a 20 °C.

Serán flexibles y aptos para una tensión de servicio de 1000 V. (R.V 0,6/1 kV).

Los hilos de cobre llevarán una capa de aislamiento de polietileno reticulado y una cubierta exterior de mezcla de PVC especial, en color negro para servicio en intemperie.

Los aislantes utilizados serán resistentes a las altas temperaturas, agua, ozono, agentes químicos, aceites minerales y al envejecimiento.

La cubierta exterior de los cables tendrá las características adecuadas para evitar la propagación de la llama.

Los cables serán fabricados y ensayados de acuerdo con las Normas I.E.C.

La sección del conductor unipolar a utilizar para la conexión de la toma de potencial será de 1 x 6 mm² para T.P. y 1 x 10 mm² para T.P.E.

11. PASAMUROS

Este apartado trata sobre los sistemas de entrada de cables o tuberías de campo a edificios, así como los cables o tuberías, que conexionan cada una de las salas que existen en una E.R.M., como pueden ser: sala de control, sala de calderas, sala de gas, etc.

No se aplicará, salvo que ENAGAS indique lo contrario, al paso de cables o tuberías entre plantas o paredes internas de los edificios en los que no se requiera una estanqueidad o protección especiales para: agua,

humo y gas, fuego y explosión, roedores, etc. Véanse los pasamuros según especificación EO-701.

11.1. Marcos prefabricados con bloques a compresión

Será el sistema a emplear por defecto en nuevas instalaciones o nueva entradas de cables o tuberías que se realicen en instalaciones existentes. Será tipo Hawke o modelo similar aprobado por ENAGAS.

Los marcos serán de acero con tornillo de compresión, ejecutados de una sola pieza en las instalaciones nuevas y con lateral desmontable en instalaciones existentes.

El espacio entre la brida o ala del marco y el muro se rellenará de silicona intumescente.

El número de dimensiones y marcos a instalar en cada entrada de cables debe contemplar al menos un 50 % de reservas en cada nuevo marco.

Es recomendable que el primer dimensionamiento de los pasamuros se realice con un porcentaje de reservas mayor de modo que a medida que aparezcan nuevos policables y cables durante el desarrollo del proyecto no se reduzca sensiblemente el espacio destinado a reservas.

Para amortizar la instalación de este tipo de dispositivos, se usará siempre que el espacio lo permita, el marco normalizado del fabricante que genere reservas superiores al 50 %.

El sistema de fijación a la pared será el siguiente:

- 1) Encastrado en el muro en el caso de nuevas instalaciones.
- 2) Atornillado a la pared en paredes existentes.

Se recomienda siempre que sea posible la primera ejecución encastrada en lo posible para dar una mayor robustez mecánica al marco, requerida especialmente cuando se añaden nuevos cables y se ejerzan tensiones al pasar los mismos por los orificios de reserva.

Los cables o tuberías se instalarán mediante bloques de fijación con varios anillos de contacto de distinto color para cada alimentación de cable o tubería. Cada fila de bloques tendrá una placa de retención.

Las reservas se rellenarán con bloques ciegos. Se empezará siempre a rellenar cada marco por la parte inferior con las reservas en la parte superior procurando que los cables o tuberías de mayor diámetro se encuentren debajo de los cables o tuberías de menor diámetro.

El conjunto contará con una empaquetadura y placa de presión. Con cada nuevo marco o conjunto de marcos destinado a una misma sala se incluirá en el suministro una herramienta de compresión y otra de extracción.

Todos los accesorios (silicona intumescente, lubricante, etc.) serán suministrados con cada pedido en cantidad adecuada al 100 % de la capacidad total de cables de suministro.

11.2 Pasamuros circular con bloques de compresión

Será el sistema a emplear en instalaciones ya existentes donde el paso de cables o tuberías se realiza mediante tubos metálicos de protección. Será de tipo Hawke o modelo similar aprobado por ENAGAS.

Los pasamuros circulares serán de acero con tornillo de compresión, ejecución en abierto.

El número y dimensiones de marcos a instalar en cada entrada de cables se definirán de acuerdo con ENAGAS.

En los tubos de protección reservas, sin cables ni tuberías, se instalarán pasamuros circulares en ejecución cerrada y taponados con bloques ciegos.

Los cables o tuberías se instalarán mediante bloques de fijación con varios anillos de contacto de distinto color para cada dimensión de cable o tubería.

En cada pasamuros circular con existencia de paso de cables, las reservas se rellenarán con bloques ciegos.

El conjunto, para cada pasamuros circular, contará con anillos de compresión.

Todos los accesorios (silicona intumescente, lubricante, etc.) serán suministrados con cada pedido en cantidad adecuada al 100 % de la capacidad total de cables del suministro.

12. INTERRUPTOR ANTIDEFLAGRANTE Y OTROS

ACCESORIOS

12.1. Interruptor antideflagrante

Será de caja metálica de fundición del tipo Eexd-IIBT1, con interruptor 63A-500 V, similar al tipo METRON EJB-23R.

El interruptor se colocará sobre soporte y/o muro de hormigón o ladrillo.

12.2. Tubo protector de cable

Será de Ø 3/4" con rosca Pg y prensa doble para conexión al interruptor.

El tubo de acero galvanizado, cuyas características de acabado se indican en apartados anteriores.

12.3 Placa de sujeción y señalización

Serán de las dimensiones indicadas en el dibujo tipo, construidas en acero galvanizado, al igual que las abrazaderas de unión.

12.4 Cables de tierra

Serán de cobre, aislados con PVC tipo R.V. 0,6/1 kV.

12.5. Ánodos de Zinc

Serán utilizados para la puesta a tierra de interruptores y cajas de toma de potencial, en la dimensiones, especificaciones y sistema de montaje indicados en la especificación correspondiente.

13. CONEXIÓN CABLE-TUBERÍA

La conexión del cable se hará por medio de soldadura aluminotérmica sobre tubería sin gas ni presión y antes de las pruebas hidráulicas, con la calidad necesaria para garantizar una conexión segura tanto desde el punto de vista eléctrico como mecánico. Se realizará de acuerdo con lo indicado en la Especificación EE-302.

Cualquier soldadura de cable-tubería, con la tubería en servicio, requerirá el permiso de ENAGAS para su ejecución, siendo realizada con la especificación C-207 para presión de diseño ≤ 16 bar y la EV-007 para la presión de diseño > 16 bar, con materiales controlados con especificación.

El revestimiento afectado por la operación de soldadura será restituido de forma que se conserven las mismas características de aislamiento que en el revestimiento original, siendo preferible la utilización de accesorios de revestimiento Handy Cap.

14. CINTA DE SEÑALIZACIÓN

Será perforada en material plástico a suministrar por la Propiedad, de acuerdo con la especificación EV-105.

El ancho de banda será de: 25 cm para Redes de Distribución y 40 cm para Gasoductos.

15. PINTURA PARA PARTES AEREAS

Serán de aplicación estos materiales (pinturas de protección) para aquellas partes aéreas a proteger contra el ambiente externo, tales como, respiraderos, hitos de señalización, válvulas, tuberías aéreas, etc., o para realizar una señalización de distinción sobre otros elementos, como tomas de potencial, etc.

La preparación de las superficies, aplicación y código de colores estará de acuerdo con lo indicado en los planos y en EV-201-Rev.3.

16. AGUA

La que se emplee para el amasado de conglomerantes hidráulicos deberá cumplir con las condiciones de la EHE Instrucción de Hormigón Estructural.

Un agua tipo tendrá estas características:

- Acidez PH > 5
- Sustancias solubles: Menos de quince gramos por litro (15 gr/l) según Norma UNE 7130.
- Sulfatos expresados en SO₄: Menos de un gramo por litro (1gr/l) según ensayo de Norma UNE 7131.

- Cloruros expresados en ClNa: Menos de un gramo por litro (1 gr/l) según Norma UNE 7178.
- Grasas y aceites de cualquier clase: Menos de quince gramos por litro (15 gr/l).
- Carencia absoluta de azúcares o carbohidratos según ensayo de Norma UNE 7132.
- Ion Cloruro en concentración inferior a quinientos (< 500) partes por millón, si el agua se va a emplear para amasar cemento aluminoso, ensayo según Norma UNE 7178.

La calidad del agua para la realización de las pruebas hidráulicas será la que se indique en el Capítulo de Especificaciones, dentro de la Especificación General de Pruebas Hidráulicas en Conducciones de Transporte y Distribución de Gas (C-206) y en general para 7 días de duración de una prueba de presión, siendo igualmente válida la calidad recomendada en el Reglamento de Recipientes a Presión.

17. CONGLOMERANTES HIDRÁULICOS

Cumplirán con las condiciones señaladas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos. Se comprobarán, en el caso de que así se juzgue necesario, mediante las pruebas y ensayos allí descritos.

El cemento a emplear será para H-25 CEM-I-MR y para H-20 CEM IV/B.MR, y su acopio en obra se hará con las debidas precauciones para impedir su alteración.

El Director Facultativo aprobará estas condiciones de almacenamiento en lugar seco, cubierto y sin influencia por los agentes atmosféricos externos, de acuerdo con el artículo correspondiente de la norma EHE.

Se rechazará todo cemento que no presente buenas condiciones en el momento de su empleo, aunque hubiera sido bueno su almacenamiento y las alteraciones hubieran sido producidas por otras causas ajenas al propio almacenamiento.

18. ÁRIDOS PARA HORMIGONES Y MORTEROS

18.1. Áridos para hormigones y morteros

Pueden proceder de graveras naturales o por trituración de rocas o de otros materiales inertes suficientemente duros y cumplirán con lo prescrito en el Artículo correspondiente de la Norma EHE.

En todo caso, el material de que proceda el árido ha de tener, al menos, las cualidades que se exijan al hormigón, reuniendo, además, resistencia y durabilidad suficiente frente a los agentes y condiciones a que ha de ser sometida la obra.

Los áridos no contendrán sustancias nocivas, sulfatos, materia orgánica o material inerte en proporciones superiores a las que señala la Norma EHE. Se entiende como árido fino el que pasa por el tamiz número cinco

UNE 7050. Este árido carecerá de elementos que puedan reaccionar perjudicialmente con los álcalis que contenga el cemento y no tendrá sustancias perjudiciales en proporciones mayores de las siguientes:

- Uno por ciento de arcilla.
- Cinco por ciento de finos pasantes por el tamiz 0,080 UNE 7050.
- 0,5 por ciento de material de peso específico inferior a dos, retenido en el tamiz 0,063 UNE 7050.

El árido fino no presentará una pérdida de peso superior al diez por ciento, cuando se le someta a cinco ciclos de tratamiento con sulfato sódico ni superior al quince si se efectúa la misma prueba con sulfato magnésico.

Se entiende por árido grueso el que queda retenido por el tamiz número cinco UNE 7050.

Este último no contendrá elementos que puedan reaccionar perjudicialmente a los álcalis del cemento, no experimentará pérdidas de peso superiores al doce o al dieciocho por ciento, cuando se someta a ciclos de tratamiento con soluciones de sulfato sódico o sulfato magnésico, respectivamente, ni poseerá una cantidad de elementos finos pasantes por el tamiz 0,080 UNE 7050 superior al uno por ciento.

Se proscriben los áridos en lajas o alargados. Al menos el 85% en peso del árido total será de dimensión menor que las dos siguientes:

- a) Los cinco sextos de la distancia libre horizontal entre armaduras.
- b) La cuarta parte de la anchura, espesor o dimensión mínima de la obra en que se emplee el hormigón.

En ningún caso, el tamaño del árido grueso excederá de setenta milímetros.

La composición granulométrica del árido será la que, ajustándose a lo prescrito en la Instrucción, se determine experimentalmente para satisfacer a las condiciones impuestas a los hormigones en que se empleen.

El Contratista viene obligado a disponer de los almacenes necesarios para guardar las muestras representativas de los diferentes áridos utilizados en el curso de las obras, siendo el volumen de cada una de estas muestras unos cien litros de grava y cincuenta de arena.

Los recipientes, deben llevar marcada la cantera de procedencia y la fecha de utilización, con denominación de los elementos donde fue empleado y la firma o sello de la Propiedad.

18.2. Arenas para morteros

La dosificación será la siguiente:

55 % de granos gruesos de 5 a 2,5 mm de diámetro.

5 % de granos medios de 2,5 a 1,25 mm de diámetro.

40 % de granos finos de 1,25 a 0,63 mm de diámetro.

19. ARMADURAS

Serán barras de acero en redondos corrugados AEH para armaduras, en dimensiones según se indique en planos y a usar normalmente, B-500-S.

Cumplirán las armaduras en todo lo indicado en la Instrucción EHE y su artículo correspondiente.

Los aceros de alta adherencia llevarán marcado el sello de fábrica homologado.

No presentarán ovalizaciones, grietas, sopladuras, ni mermas de sección superiores al 5%.

El modulo de elasticidad será igual o mayor de dos millones cien mil kilogramos por centímetro cuadrado (2100000 kg/cm^2), entendiéndose por límite elástico la mínima tensión capaz de producir una deformación permanente de un 0,2 %.

El acero B-500-S tendrá límite elástico mínimo de 4100 kg/cm^2 y carga de rotura no inferior a cinco mil trescientos kilogramos por centímetro cuadrado.

En el momento de su empleo, las armaduras deberán estar limpias, exentas de materiales extraños (grasas, óxidos, proyecciones, etc.) que

puedan debilitar la adherencia. Igualmente, estarán exentas de fisuras, entallas, etc., que puedan disminuir su capacidad resistente.

Cada partida irá acompañada de su certificado de garantía del fabricante, con lo cual, la Propiedad podrá aceptar los materiales y minorar los ensayos si así procediera.

20. ENCOFRADOS

Si son de madera para la realización de moldes o encofrados, estará limpia, seca, sin nudos, vetas ni otros defectos de resistencia y rigidez adecuada para las piezas a encofrar.

Sus superficies serán regulares, sin alabeos ni oquedades y lisas, de forma que al desencofrar no se perjudique la calidad estética del hormigón.

La madera estará canteada para hacer que las juntas de encofrado sean estancas.

En cuanto al ancho de la tabla, dado el carácter de estos encofrados, son adecuadas las dimensiones comprendidas entre 10 y 20 cm.

Las aristas vivas serán evitadas, colocando listón de 3 cm para evitar el canto vivo del hormigón.

Se podrán utilizar encofrados metálicos previamente aprobados por el Director Facultativo.

Este tipo de encofrados estará en buen estado de uso, limpias sus caras y sin detriores dimensionales.

Las planchas serán planas en la superficie de contacto con el hormigón y las uniones entre las mismas conformará una junta estanca.

El costo de suministro de los encofrados será a cargo del Contratista, estando incluido el mismo en el precio de las distintas unidades del Cuadro de Precios.

21. MATERIAL DE RELLENO DE ZANJA

El material utilizado será el procedente de la excavación, siempre que reúna las siguientes calidades mínimas:

a) Para apoyo y pretapado

- La fracción que pase por el tamiz 0,080 UNE, será inferior al 35 % en peso.
- La fracción que pase por el tamiz 0,4 UNE, cumplirá con LL (límite líquido) menor que 35 o simultáneamente LL menor que 40 e IP (Índice de Plasticidad) mayor que 0,6 LL-9.
- Para el relleno de apoyo y pretapado, en los espesores que se indiquen en los planos, el tamaño máximo del material será de 5 mm (tamiz 5 UNE).

- No contendrá agentes químicos agresivos para el revestimiento.

Si el material seleccionado no se obtuviera de la excavación de las zanjas, el Contratista procederá a su localización en minas o préstamos, de los cuales presentará muestras y ensayos al Director Facultativo para su aprobación con anterioridad suficiente a su uso en obra.

b) Para relleno y compactación

- La fracción que pase por el tamiz 100 UNE, será del 100 % en peso.
- La fracción que pase por el tamiz 0,080 UNE, será inferior al 35 % en peso.
- Tendrá una resistencia mayor de 5 según ensayo CBR y no presentará hinchamiento durante el ensayo.
- Simultáneamente LL (Límite líquido) menor de 40 y IP (índice de plasticidad) mayor de 15.
- Contenido en materia orgánica < 1 %.
- Densidad máxima correspondiente al ensayo Proctor Normal no será inferior a 1750 kg/dm³.

c) Sacos para protección y cama de apoyo

- OBJETO

El presente apartado tiene por objeto definir; forma, dimensiones, material y requerimiento técnicos correspondientes a la fabricación de sacos a utilizar en la construcción de protecciones (ataguías) o cama de apoyo de la tubería en las obras de Gasoductos de Transporte, Ramales, y Redes de Distribución.

- DEFINICIONES Y REQUERIMIENTOS:

- Dimensiones del saco: 80 x 50 cm.
- Material: Geotextil o tejido no tejido, formado por fibras sintéticas 100 % poliéster o polipropileno o mezcla de ambos, unidos mediante cosido con hilo de fibra sintética o unido por punzonamiento.
- Peso: 270 ± 5 % gramos/m²
- Color: Blanco
- Resistencia a la tracción:

S/DIN-53587/2 = s/transversal: 80 kg \pm 10 %

s/longitudinal: 40 kg \pm 10 %

S/NF-G-07001 = s/transversal: 35 kg \pm 10 %

s/longitudinal: 16 kg \pm 10 %

- Elongación a carga máxima: $> 60 \text{ }^\circ$ -

S/DIN-53587/2

- Permeabilidad $l/m^2/seg$: 150

S/NF-G-38016 – a 10 cm.c.d.a.

- Prueba de impacto:

Proceso: Llenado del saco con 50 kg de arena.

Atado del saco en el límite de la parte llena sin provocar asentamientos en el llenado.

Caída libre del saco lleno y atado, desde una altura de 4 m sobre una superficie dura (pavimento o losa de hormigón)

- Valoración de la prueba de impacto: Inspección visual del saco. Se considera satisfactorio el resultado, cuando el tejido no presente ninguna señal de desgarro, apertura de la trama, ni descosido de las costuras.

Previamente a su utilización, el material y el saco conformado deben ser homologados para lo cual deberán realizarse con resultados satisfactorios las pruebas recogidas en el presente apartado.

22. LIGANTES PARA PAVIMENTOS

Serán de calidad aceptable según las normas de los Organismos responsables de los pavimentos.

En todo caso, serán aplicadas complementariamente, las disposiciones aplicables del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes del Ministerio de Obras Públicas, en los apartados siguientes:

- Alquitrane de hulla MB-16
- Betunes asfálticos MB-17
- Betunes asfálticos fluidificados MB-22
- Emulsiones asfálticas directas MB-28
- Tratamientos superficiales – Artículo 532 del PG-3 (1975)

Los ligantes para reparaciones de pavimentos serán suministrados por el Contratista.

23. TAPAS DE FUNDICIÓN PARA REGISTROS

Serán de fundición de segunda fusión, sin nódulos, grietas o pelos, y procederán de fábricas de reconocida solvencia.

Los cercos tendrán suficiente superficie para asegurar buena adherencia con el hormigón de anclaje.

Las tapas y cercos de registro a situar bajo calzada serán del tipo extra reforzado.

Todas las tapas deberán llevar grabado en relieve el nombre de la Propiedad.

24. PERFILES LAMINADOS PARA ESTRUCTURAS

METÁLICAS

Los aceros a emplear serán de calidad indicada para este tipo de construcciones en NBE-EA-95 Estructuras de Acero en la Edificación.

Se comprobará antes de su manipulación en taller que no presenten los perfiles, defectos, hojas ni entallas, ni grietas, no desalineaciones, ni sopladuras, ni mermas de sección superiores al 5% (cinco por ciento).

Los tornillos, tuercas y arandelas empleadas se fabricarán con aceros de similar calidad a los que constituyen el material base de la estructura.

Los perfiles laminados, para estructuras, serán suministrados donde sean necesarios, por el Contratista dentro de las unidades y Cuadro de Precios de las mismas.

25. MATERIAL GRANULAR PARA PAVIMENTOS

Se utilizará grava procedente de piedra de machaqueo, formando una base granular continua compactada, hasta conseguir que su densidad sea el 85 % de la del árido empleado. El tamaño máximo no será superior a 80 mm (tamiz UNE 80) o a 1/2 del espesor de la base.

Para la forma de la base de macadam que va a recibir doble tratamiento superficial, se seleccionará material cuya granulometría acumulada se encuentre dentro de los siguientes valores:

Tamiz 80 UNE 100 %

Tamiz 63 UNE 90-100 %

Tamiz 40 UNE 0-10 %

Tamiz 20 UNE 0-5 %

El material será procedente de machaqueo con un coeficiente de desgaste menor de 35, según la norma MLT-149/72.

El recebo a utilizar en la formación del macadam será material natural o de machaqueo seleccionado para tal fin. La totalidad del material pasará por el tamiz 10 UNE, debiendo ser superior al 85 % la que pase por el 5 UNE. La fracción cernida por el por el tamiz 0,080 UNE estará comprendida entre el 10 y 25 % en peso. El recebo cumplirá la condición de ser no plástico y teniendo un equivalente de arena superior a 30.

26. OTROS MATERIALES PARA PROTECCIÓN CATÓDICA

Para los materiales que no se encuentren definidos en este Pliego de Condiciones de los Materiales, sus características se encontrarán en:

- Especificaciones
- En la Especificación de ENAGAS E-E-311 (Rev. 5) y E-E-312 (Rev. 2).

27. MATERIALES PARA PASOS ESPECIALES

27.1. Tubería para cruces encamisados.

Tubería de acero al carbono con soldadura longitudinal, según API 5L for Line Pipe de 31 de Mayo de 1988, en largos dobles de fabricación, con extremos biselados para soldar a $30^\circ (+5^\circ - 0^\circ)$ y con talón de 1,59 mm ($\pm 0,79$ mm) en clase negra, con certificado de fábrica.

La calidad del acero será Gr.B (241 N/mm^2 de límite elástico, 413 N/mm^2 de carga de rotura y alargamiento según norma).

Los diámetros y espesores a utilizar en el Proyecto se encuentran incluidos en los planos de los cruces especiales.

Estos espesores han sido calculados de acuerdo con la API RP1 102, para las profundidades de proyecto, añadiéndoles 3 mm como sobreespesor de corrosión y eligiendo el espesor comercial superior.

27.2. Tubería para ventilación de cruces

Serán construidas en tuberías de acero al carbono según ASTM A 106 Gr.B o API 5L Gr. B, con protección anticorrosiva de acuerdo al punto 14 de este Pliego, en $\text{Ø } 3''$ y con largos de 2 m o el que se indique en los dibujos tipo.

En la parte aérea final, será terminada con curva de 180° , fijada por soldadura, incluyendo la toma de gas en $\text{Ø } 3/4''$ con tapón roscado NPT.

No serán utilizados aquellos tubos con defectos superficiales visibles, con gotas u otras imperfecciones acusadas.

Su limpieza, anterior al pintado, consistirá en chorreado de arena hasta conseguir el grado Sa 2^{1/2} según la Norma S.I.S. 055900.

Para el recorrido enterrado de ventilaciones, estos tramos se revestirán con cintas de P.E. autoadhesivas según el siguiente proceso:

- Limpieza de superficie a ST 2,5
- Imprimación de caucho butílico
- Ampliación de cinta de P.E. –cauchos o resinas-
- Espesor mínimo del revestimiento: 0,5 mm

La ventilación formada con curva de 180° llevará rejilla cortafuegos en el extremo.

La tubería, accesorios y su fabricación serán a cargo del Contratista, incluyéndose sus costos en diversas unidades del Cuadro de Precios Unitarios.

27.3. Cierres elásticos para extremos entubados

Serán de una mezcla de goma resistente a los hidrocarburos, a los agentes atmosféricos y adaptables a terrenos ácidos o alcalinos.

Características mecánicas:

Peso específico: 1,1 a 1,2 kg/dm³ (según ASTM D-412)

Elasticidad a la rotura: mín. 25% (ASTM D-412)

Dureza SHORE a 60 °C ±5 (ASTM D-2240-64T)

Montaje:

Se fijarán a las tuberías mediante abrazaderas de ajuste y tornillos de apriete, en acero inoxidable.

Tipo:

Serán de tipo U en tamaños adecuados al Ø.

Los cierres de extremos entubados serán suministro de la Propiedad.

27.4. Anillos separadores para cruces entubados

Serán collares aislantes, fabricados según ASTM , en polietileno de alta densidad, moldeados, para tubería de acero, en medias coronas u otra forma comercial habitual.

Las características técnicas más importantes, serán:

- Capacidad dieléctrica: 450000-550000 voltios
- Resistencia a la compresión: 3200 psi

- Resistencia a la flexión: 1000 psi
- Límite elástico: 3100 – 5500 psi
- Resistencia al impacto: 4 ft Lb/in
- Capacidad de absorción de agua: 0,01 %
- Temperatura máxima de operación: +93 °C

Los anillos separadores se construirán según Especificación de ENAGAS.

La separación entre anillos será según los dibujos tipo de los pasos especiales donde se utilice.

Los anillos separadores serán suministrados por la Propiedad.

28. OTROS MATERIALES

Cualquier otro material no especificado en los artículos anteriores y que sean necesarios para las obras, serán de primera calidad y seguirán las condiciones necesarias para el buen desempeño de su misión y deberán contar con la aceptación del Director Facultativo, antes de su incorporación a las obras.

28.1. Subbases granulares

Podrá utilizarse el material indicado, en el apartado **20** del Pliego de Condiciones de los Materiales, para relleno y compactación

28.2. Bordillos

Se realizarán con encofrado visto, en las dimensiones y forma indicadas en dibujos tipo, tolerancia ± 2 mm y con hormigón en masa HM-25 con cemento CEM IV/B.MR adecuadamente vertido, vibrado, y perfectamente curados y desencofrados.

28.3. Zahorra natural

Material formado por áridos no triturados, suelos granulares o mezcla de ambos con una granulometría continua. Procederán de graveras o depósitos naturales ya contrastados. Su curva granulométrica se ceñirá al huso 50 del PG3.

Tamiz (mm)	50	25	10	5	2	4	0,08
Cernido	100	60-	40-85	30-70	15-50	0-35	0-18
Acumulado %		100					

Tabla 3. % de cernido acumulado para distintos tipos de tamices (zahorra natural)

El cernido por el tamiz UNE 80 micras será menos que los 2/3 del cernido por el tamiz 400 micras.

El material será en todos los casos , no plástico, exento de terrones de arcilla y materia vegetal, etc. y el índice CBR será superior a 20 de acuerdo con UNE NLT-111/58 y el espesor máximo de las tongadas no será superior a treinta centímetros.

La compactación de la zahorra natural no será, en ningún caso, inferior del noventa y ocho por ciento de la máxima obtenida en el ensayo del Proctor modificado.

28.4. Zahorra artificial

Material granular formado por áridos machacados, total o parcialmente cuya granulometría es de tipo continuo. El material procederá de trituración de piedra en cantera y contendrá un mínimo del setenta y cinco por ciento de rechazo por el tamiz 5 UNE.

Tamiz (mm)	40	25	10	5	2	0,40	0,08
Cernido	100	75-	45-70	30-50	16-32	6-20	0-10
Acumulado %		100					

*Tabla 4. % de cernido acumulado para distintos tipos de tamices
(zahorra artificial)*

El cernido para el tamiz UNE 80 micras será menor que los 2/3 del cernido por el tamiz UNE 400 micras.

La curva granulométrica corresponderá al huso ZA. El índice de lajas será inferior a treinta y cinco y el coeficiente de desgaste Los Ángeles inferior a treinta. El material será no plástico y su equivalente de arena EA > 30.

Las tongadas no serán de espesor superior a treinta centímetros y la compactación se llevará hasta alcanzar una densidad seca no inferior al

cien por cien de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, con humedad en el intervalo definido por dicho ensayo, con un 0,5 % en más o menos.

28.5. Endurecedor de superficie

Recubrimiento coloreado a base de agregados minerales de cuarzo – corindón que confiere a la solera una alta resistencia al impacto. Se aplicará mediante espolvoreo en seco sobre el hormigón fresco con un rendimiento de 6 kg/m² de superficie de solera.

Durante su aplicación los encargados de realizarla deberán ir provistos de guantes de gomas y gafas protectoras.

28.6. Pintura antipolvo endurecedora de superficie

Compuesto para curado de hormigón, exento de compuestos orgánicos volátiles. Agente de curado compuesto por un polímero que permite asegurar la obtención de altas resistencias al desgaste.

28.7. Material de juntas

28.7.1. Poliestireno expandido

Material suministrado en planchas para la realización de juntas. Las planchas no deberán deformarse ni romperse por el manejo ordinario a la intemperie, ni volverse quebradizas en tiempo frío, rechazándose las que parezcan deterioradas.

28.7.2.Imprimación

Poliuretano monocomponente para imprimación de preparación del soporte en sellado de juntas. El material posee gran poder de penetración, excelente adherencia y facilidad de aplicación. Esta se realizará con brocha a razón de 10 ml/m, cubriendo la superficie de los flancos de la junta, evitando impregnar el fondo de la misma. El soporte debe de estar limpio y sin cantos deteriorados, siendo la temperatura de aplicación entre 5 y 10 °C. Antes de la aplicación de la masilla deberá guardarse un tiempo de espera entre 50 y 120 minutos.

28.7.3.Masilla de sellado

Masilla elástica monocomponente a base de poliuretano. Sus propiedades principales son la buena resistencia al envejecimiento, el rápido curado, la no rigidización con el tiempo y además no se ablanda con la temperatura. La aplicación se realiza directamente sobre el soporte limpio e imprimado, mediante pistola manual o neumática, pudiéndose alisar el material con espátula.

28.8. Ladrillos

Los ladrillos serán de primera calidad para muros resistentes de fábrica de ladrillo (NBE-FL-90). Las condiciones dimensionales y de forma, así como la tolerancias, cumplirán igualmente lo establecido en la citada Norma.

Serán de tonalidad uniforme, sin eflorescencias, manchas, quemados, desconchones o mordiscos superiores al 15 % de la superficie de la cara donde estén. Tendrán timbre sonoro por percusión. Su regularidad será perfecta para obtener tendeles uniformes. Tendrán fractura de grano fino, sin coqueras ni caliches, y procederá de cerámicas solventes y acreditadas. La resistencia a compresión de los ladrillos será como mínimo:

Ladrillos macizos 100 kg/cm²

Ladrillos perforados 150 kg/cm²

Ladrillos huecos 50 kg/cm²

No absorberán más del 15 % de su peso estando 7 días sumergidos en agua y no más del 0,15 % en 24 horas. No serán heladizos.

- Tolerancia en forma según Norma 7167
- Introducidos en agua durante 24 horas no deben aumentar en peso mas del 15 %.

28.9. Viguetas prefabricadas

Las viguetas serán de hormigón armado o pretensado, pudiendo llevar en ambos casos una pieza canal de recubrimiento cerámico con espesores de tabiques no inferiores a 7 mm.

No presentarán alabeos alabeos ni fisuraciones superiores a 0,1 mm y sin contraflecha superior al 0,2 % de la luz.

Cumplirán las características señaladas en EF-96. Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado. El coeficiente de seguridad a rotura no será inferior a 2. No obstante, el fabricante deberá garantizar su fabricación y resultados por escrito, caso de que se requiera.

El fabricante deberá facilitar instrucciones adicionales para su utilización y montaje en caso de ser estas necesarias, siendo responsable de los daños que pudieran ocurrir por carencia de las instrucciones necesarias.

28.10.Macadam

Consiste en un esqueleto de piedra machacada cuyos huecos se rellenan con material fino, recebo.

El árido grueso tendrá al menos dos o tres caras fracturadas en el 75 % del material.

La piedra no deber ser friable.

El tamaño debe ser de 4 a 8 cm y la forma lo más cúbica posible, evitándose las lajas.

El macadam debe tener un Los Ángeles < 40.

Son materiales adecuados, las calizas duras, los microgranitos y algunas rocas volcánicas, etc.

Recomendaciones:

Tamaño de la malla	% en peso que pasa por la malla				
	8 cm	90-100	100	-	-
7 cm	-	90-100	100	-	-
6 cm	-	-	90-100	100	-
5 cm	0-10	-	-	90-100	100
4 cm	-	0-10	0-10	-	90-100
3 cm	0-5	-	-	0-10	-
2 cm	-	0-5	0-5	-	0-10
1 cm	-	-	-	0-5	0-5

Tabla 5. Características recomendadas de la malla

28.11.Recebo

Material para rellenar los huecos del macadam, cuyo tamaño debe ser menor de 1/6 del medio del árido grueso.

Las condiciones de plasticidad (debe tener baja proporción de arcilla) de la fracción que pasa por el tamiz 40 A.S.T.M. (0,42 mm) son:

$$L.L. \leq 25$$

$$I.P. \leq 6$$

Equivalente de arena > 30

28.12. Aislamiento

El aislamiento de fibra de vidrio con características técnicas según UNE 92102-86 tendrá las características siguientes:

- Densidad 9,5 a 12,5 kg/m³
- Conductividad térmica: 0,048 W/m·K a 2 °C

28.13. Láminas asfálticas

Las características exigibles son:

- Estancas al agua.
- Superficie uniforme y exentas de roturas, rugosidades, agujeros, grietas, etc.
- Si las láminas tienen armaduras, la unión entre placas será como si fueran láminas simples.
- Cumplirá con la especificación NBE-AB-90 Cubiertas con Materiales Bituminosos.
- La identificación y composición según UNE 104402 y 104281 (6-8).
- El aspecto y dimensión según UNE 104281 (6-2).

28.14. Bloques de cemento

Las características técnicas exigibles de acuerdo con NTE-EFB (1974):

- No presentarán grietas, ni fisuras, ni eflorescencias.
- En los bloques para cara vista no se admitirán coqueras, ni desconchones, ni desportillamientos.
- La textura de las caras destinadas a ser revestidas será lo suficientemente rugosa para permitir una buena adherencia del revestimiento.
- Las tolerancias máximas admisibles en dimensiones no superará el ± 1 %.
- La absorción de agua no será superior al 10 % en peso.
- La resistencia a compresión de los bloques macizos no será inferior a 60 kg/cm^2 y la de los bloques huecos a 40 kg/cm^2 .

28.15. Tuberías de PVC

Los tubos, piezas especiales y accesorios, deberán poseer la calidad para el servicio de aguas fluviales y residuales según UNE 53114-80 (1) y 53114-87 (2).

28.16.Carpintería de acero

Los materiales serán perfiles laminados en caliente, de eje rectilíneo, sin alabeos ni rebabas, o perfiles conformados en frío, de acero, y espesor mínimo 0,8 mm, con resistencia a la rotura no menor de 35 kg/cm² y límite elástico no menor de 24 kg/mm².

A efectos de permeabilidad al aire deberá clasificarse como A.2 según UNE 85214-80.

La estanquidad al agua mínima será E.2 según UNE 85206-81 y la resistencia al viento V.1 según UNE 85204.

Los perfiles estarán soldados formando ángulos rectos.

Llevarán burlete en el canto para ajustar el cierre, y mejorar la estanqueidad.

El conjunto tendrán protección anticorrosiva mínima de espesor de 15 micras.

ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDIDA G-
160 DE 80/16 BAR. PARA ALIMENTACIÓN
DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN EN APA

DOCUMENTO IV: PRESUPUESTO

DOCUMENTO IV: PRESUPUESTO

1. ESTADO DE MEDICIONES.....3

2. RESUMEN DE PRESUPUESTO.....31

1. ESTADO DE MEDICIONES

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCION
-------	----------	-------------

MONTAJE MECÁNICO

1. FILTRACIÓN

1	2	Filtro vertical, de cartucho, Q = 4250 m ³ (n)/h. RF Ø 2” 600# diseño según ASME VIII y código de depósitos a presión del Ministerio de Industria.
---	---	--

Importe:.....2000.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCION
-------	----------	-------------

2. CALENTAMIENTO

1	2	Caldera FERROLI o similar con potencia de 65000 Kcal/h, chimenea, aislamiento, etc.
2	1	Bomba de circulación duplex, GRUNDFOS mod. UPSD 80/120 o similar
3	2	Armario mural para control de calderas y bombas
4	2	Intercambiador de calor ARA RF Ø 2" 600# o similar de 65000 Kcal/h
5	2	Vaso expansión

Importe:.....3100-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCION
-------	----------	-------------

3. REGULACIÓN DE PRESIÓN LINEA

PRINCIPAL

1	2	Válvula de seguridad 1” ANSI 600 RF marca FIORENTINI mod. REFLUX-APERFLUX
2	2	Reguladores de presión dobles 1” ANSI 600 RF marca FIORENTINI mod. REFLUX-APERFLUX
3	2	Válvula de alivio 1” x ½“ 150# fabricante HYDRA o similar

Importe:.....2200-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCION
-------	----------	-------------

4. REGULACIÓN DE PRESIÓN LINEA

FUEL-GAS

1	2	Válvula de interceptación por exceso de presión 1" 150 # RF rearme manual, marca FIORENTINI o similar
2	2	Válvula regulación 1ª etapa 16 a 2,5 bar 1" 150# RF, marca TARTARINI o similar
3	2	Válvula regulación 1ª etapa 2,5 bar a 50 mbar 1" 150# RF, marca TARTARINI o similar
4	2	Válvula de alivio 1" fabricante HYDRA, modelo 1300 o similar

Importe:.....2050.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

5. MEDICIÓN DE CAUDAL

1	2	Contador de turbina FLUXI 2000 o similar, 3” 150# RF (G-160)
2	1	Computador de caudal Instromet modelo FC 2000 o similar, incluyendo transmisor de presión y termorresistencia PT-100
3	2	Orificio de restricción 3” AISI 316
5	1	Contador de caudal calibre G-16

Importe:.....3660.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

6. VÁLVULAS DE GAS

1	3	Válvula de bola paso reducido RF 2" 600# fabricante FIORENTINI o similar, "entrada-líneas"
2	3	Válvula bola paso reducido RF 3" 150# fabricante FIORENTINI o similar, "salida-líneas"
3	4	Válvula bola paso reducido 1/2" 150# fabricante ISO o similar "fuel a calderas"
4	1	Válvula de bola paso total conexión 3" 150# fabricante FIORENTINI o similar "by-pass"

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

6. VÁLVULAS DE GAS

5	2	Válvula de bola paso total 1" 150# "fuel a quemadores"
6	2	Válvula de bola paso reducido 1" NPT "válvu. quemadores"
7	4	Válvula de bola 3/4" "soldar 2 venteo cambiadores"- "venteo línea medida"
8	4	Válvula de bola paso total conexión 3/4" 600# fabricante ISO o similar drenaje filtros

Importe:.....2500.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

6. VÁLVULAS CIRCUITOS AGUA

1	8	Válvula compuerta DN-40 PN-16 “Entrada salida – calderas e intercambiadores”
2	2	Válvula compuerta DN-50 PN-16 “Entrada salida bombas”
3	4	Válvula bola 1/2” “Purga y drenaje de cambiadores”
4	2	Purgador aire 3/8” “Intercambiadores”
5	2	Válvula seguridad 3/4” “Intercambiadores”
6	2	Válvula seguridad 3/4” “Línea agua caliente”
7	1	Válvula compuerta 3/4” “Drenaje línea agua”

Importe:.....1050.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

6. VARIOS

1	2	Filtro “Y” DN-100, PN-16 “Agua caliente”
2	2	Junta dieléctrica S/EV-121 3” ANSI 600#
3	1	Junta dieléctrica S/EV-121 4” ANSI 150#

Importe:.....1180.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

6. INSTRUMENTACIÓN

INSTRUMENTOS DE PRESIÓN

1	16	Indicadores locales de presión Fabricante: NUOVA FIMA serie MGS o similar Presión: 0,5 % del final de escala
2	2	Indicadores locales de presión (bajo rango) Fabricante: NUOVA FIMA, modelo MN9 o similar Precisión: $\pm 1\%$ del final de escala
3	4	Manómetro de presión diferencial Fabricante: TARTARINI o similar Presión estática: 80 bar
4	2	Presostatos Fabricante: BARKSDALE, modelo: BIT-H12 o similar

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

6. INSTRUMENTACIÓN

INSTRUMENTOS DE PRESIÓN

5	2	Transmisores de presión Fabricante: BAILEY, modelo: PAP-7211 o similar
6	2	Registadores de dos plumas Fabricante: SPRIANO, modelo RGNC 12/TP o similar

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA

7	2	Termorresistencias a tres hilos Fabricante: SEDEM o similar Topo: RTD. Pt = 100 Ohmios a 0 °C Protección antideflagrante
8	2	Transmisores de temperatura Fabricante: STAHL o similar Entrada: RTD de 3 hilos Salida: 4-20 mA

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA

9	9	Indicadores locales de temperatura Fabricante: NUOVA FIMA modelo: TB896 o similar Precisión: ± 1 % del final de la escala
10	1	Termostato Fabricante: DANFOSS modelo KP o similar Con vaina de ace. inox. Ref. 208129C

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

11ARMARIO DE CONTROL

Fabricante: ISOLUT WAT, S.A.

Construcción metálica

Apto para albergar racks de 19"

Dimensiones: 800 x 700 x 2000 (h)

Este armario albergará los siguientes elementos:

1 Sistema electrónico de alarmas para 24 puntos

Fabricante: ENTRELEC o similar

1 Computador de caudal para líneas "A" y "B"

4 Indicadores analógicos

Fabricante: SACI modelo CC3C o similar

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

11

ARMARIO DE CONTROL

1	Registrador banda continua 3 plumas H&B, mod. Minicomp o similar
	Regleteros de señales de entrada y/o salida de instrumentos
1	Modulo de control de detección de gas
1	Modulo de control de detección de incendios
3	Separadores galvánicos de dos canales Fabricante: STAHL o similar Montados en chasis
6	Relés de seguridad Marca: PEPPERL FUCHS o similar

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

11

ARMARIO DE CONTROL

3

Relés de seguridad dobles

Marca: PEPPERL FUCHS o similar

Materiales diversos, como bornas, cables, canaleta, etc, necesarios para la total terminación del Armario de Control

Montaje y cableado de todos los instrumentos del Armario de Control hasta su total terminación

Importe:.....4500.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

10. DETECCIÓN DE GAS

1	1	Sistema detección de gas SIEGER/MSA o similar formado por:
----------	----------	--

2 Sensores catalítico/electrónico

2 Módulos de control con indicador

1 Módulo de salida de 4 canales

1 Rack de montaje y accesorios

Importe:.....1050.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

11. DETECCIÓN Y EXTINCIÓN

INCENDIO

1	1	Sistema detección de incendio KILSEN/CERBERUS o similar formado por:
		1 Detector iónico
		1 Detector termovelocimétrico
		1 Unidad de control
	1	Equipo de extinción de incendio formado por:
		2 Extintores tipo BC-12 de 12 dm ³
		2 Extintores tipo BC-50 de 50 dm ³

Importe:.....1150.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

12. MONTAJE Y PRUEBAS EN TALLER

- | | | |
|---|---|--|
| 1 | - | Tuberías, accesorios y bancadas para ensamblaje en taller mecánico |
| 2 | - | Tuberías y accesorios para montaje en obra |
| 3 | - | Pruebas en taller |

Importe:.....10850.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

13. SISTEMA DE ODORIZACIÓN

1	1	Unidad de inyección de odorizante “LEWA” mod. DA8 o similar incluyendo: 2 Bombas LEWA mod. MLM o similar 1 Bureta graduada 1 Depósito de reserva de 7 l. de THT 1 Filtro de carbón activo Válvulas de prueba y aislamiento, tuberías y accesorios todo ello montado en un chasis
2	1	Contador de caudal de THT LEWA mod. KMM1 o similar

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

13. SISTEMA DE ODORIZACIÓN

3	1	Controlador electrónico LEWA mod. SLK7 o similar con: Tarjeta entradas EXK7 para 5 entradas Exib Selector de bomba en funcionamiento Controlador de caudal digital mod. MDR7 o similar Caja de poliéster para montaje mural
4	1	Armario intemperie dimensiones 1500 x 850 x 1550 m incluido montaje e instalación eléctrica

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

13. SISTEMA DE ODORIZACIÓN

5	5	Mts. de cable armado VMV de 18 x 1,5 incluido tendido enterrado
6	60	Mts. de tubería 8 x 6 AISI 304 incluido montaje
7	60	Mts. cable de seguridad intrínseca 4 x 1,5 incluido tendido enterrado por canalizaciones existentes y conexionado
8	120	Mts. cable seguridad intrínseca 2 x 1,5 incluido tendido enterrado por canalizaciones existentes y conexionado

Importe:.....5300.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

14. MONTAJE EN OBRA

- | | | |
|----------|---|--|
| 1 | - | Montaje circuito agua caliente y calderas |
| 2 | - | Montaje subconjuntos líneas de regulación y medida |
| 3 | - | Montaje instrumentación |

Importe:.....4600.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

14. PRUEBAS FINALES

Supervisión calderas

Supervisión detección gas

Supervisión detección de incendios

Supervisión computador

Importe:.....3900.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

MONTAJE ELÉCTRICO

16. SUMINISTRO Y MONTAJE

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

CANALIZACIONES

1	108	Mts. de tubo PVC rígido FERGONDUR o similar Pg.21 grapado, incluso fijaciones
2	35	Mts. bandeja de 200 mm perforada metálica ESMENA o similar
3	3	Cajas de derivación antideflagrante NORTEM o similar
4	2	Cajas de registro metálicas tipo 5095 de BJC o similar con entradas roscadas tipo 5109
5	138	Mts. de cable Cu. Armado VMV 0,6/1 KV de 4 x 1,5 mm ²
6	152	Mts. de cable Cu. Armado VMV 0,6/1 KV de 3 x 2,5 mm ²

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

MONTAJE ELÉCTRICO

16. SUMINISTRO Y MONTAJE

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

CANALIZACIONES

7	20	Mts. de cable Cu. Armado VMV 0,6/1 KV de 2 x 6 mm ²
8	28	Mts. de cable Cu. Armado VMV 0,6/1 KV de 5 x 2,5 mm ²
9	37	Mts. de cable Cu. Armado VMV 0,6/1 KV de 4 x 2,5 mm ²
10	26	Mts. de cable Cu. Armado VMV 0,6/1 KV de 2 x 1,5 mm ²
11	24	Mts. de cable Cu. Armado VMV 0,6/1 KV de 5 x 1,5 mm ²
12	300	Mts. de cable Cu. apantallado para instrumentación de 2 x 1,5 mm ²
-	-	Cables de Red de tierras

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

ALUMBRADO

13	9	Luminarias antideflagrantes tipo ABB NORTEM/BARTEC o similar con lámpara incandescente de 200 W a 220 V
14	2	Luminarias fluorescentes tipo NLW 610 de PHILIPS o similar con dos equipos completos de 40 W 220 V.A.F. incluso tubos
15	2	Interruptores antideflagrantes cl. 1 Div. 1 de 15 A tipo A2/2 de NORTEM o similar
16	2	Interruptores tipo BJC Metrópoli o similar de 16 A bipolar en caja metálica
17	4	Cortafuegos tipo EYS de NORTEM o similar de 1" Ø
18	5	Idem. Idem. de 3/4" Ø

Importe:.....3050.-€

ITEM.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
-------	----------	-------------

23. OBRA CIVIL

1	1	Construcción Edificio para ERM G-160 según planos
2	1	Construcción Edificio Sala de Calderas según planos
3	0	Construcción Edificio Sala de Control. (Ya construido)

Importe:.....38000.-€

2. RESUMEN DE PRESUPUESTO**ERM G-160**

1)	FILTRACIÓN	2000.-€
2)	CALENTAMIENTO	3100.-€
3)	REGULACIÓN DE PRESIÓN LÍNEA PRINCIPAL	2200.-€
4)	REGULACIÓN DE PRESIÓN LÍNEA FUEL-GAS	2050.-€
5)	MEDICIÓN DE CAUDAL	3660.-€
6)	VÁLVULAS DE GAS	2500.-€
7)	VÁLVULAS CIRCUITOS AGUA	1570.-€

8) VARIOS	1180.-€
9) INSTRUMENTACIÓN	4500.-€
10) DETECCIÓN DE GAS	1050.-€
11) DETECCIÓN Y EXTINCIÓN INCENDIO	1150.-€
12) MONTAJE Y PRUEBAS DE TALLER	10850.-€
13) SISTEMA ODORIZACIÓN	5300.-€
14) MONTAJE EN OBRA	4600.-€
15) PRUEBAS FINALES	3900.-€

16) SUMINISTRO Y MONTAJE

INSTALACIÓN ELÉCTRICA 3050.-€

17) OBRA CIVIL. CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS 38000.-€

TOTAL ERM G-160 90140.-€

18) ESTUDIO DE SEGURIDAD

Y SALUD..... 4980.-€

TOTAL 4980.-€

TOTAL PRESUPUESTO

EJECUCIÓN MATERIAL..... 95120.-€

19% G.G. Y BI..... 18072,8.-€

TOTAL PRESUPUESTO

EJECUCIÓN POR CONTRATA 113192,8.-€

EL PRESENTE PRESUPUESTO ASCIENDE A LA CANTIDAD DE:
**CIENTO TRECE MIL CIENTO NOVENTA Y DOS
EUROS CON OCHENTA CENTIMOS.**

