



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

**PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL
DISEÑO DE UNA PLANTA DE
REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL**

Autor: Alberto Escobar Rico

Director: Luis Manuel Mochón Castro

Madrid

Junio 2016

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

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

El autor D. ALBERTO ESCOBAR RICO DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión

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

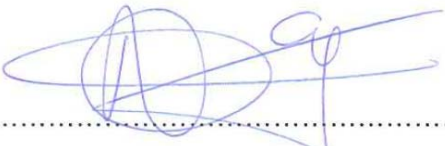
6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

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

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a...17... de.....JUNIO..... de...2016....

ACEPTA

Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título **PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico2015-2016..... es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada

de otros documentos está debidamente referenciada.




Fdo.: Alberto Escobar Rico

Fecha: 17/06/2016

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Luis Manuel Mochón Castro

Fecha: 17/06/2016

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fdo.: José Ignacio Linares Hurtado

Fecha: 17/06/2016



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

**PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL
DISEÑO DE UNA PLANTA DE
REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL**

Autor: Alberto Escobar Rico

Director: Luis Manuel Mochón Castro

Madrid

Junio 2016

PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL

Autor: Escobar Rico, Alberto

Director: Mochón Castro, Luis Manuel

Entidad Colaboradora: ICAI-Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

El presente proyecto tiene como objetivo el estudio de una planta de regasificación de gas natural, la definición de la instalación y la justificación de los cálculos de los diferentes equipos destinados para la producción de gas natural proveniente del gas natural licuado, situado en Bélgica.

Para ello se considerarán dos fluidos de trabajo, GNL (gas natural licuado) procedente de los buques metaneros y BOG (boil-off gas) resultante de la evaporación del GNL. Se estudiarán ambos fluidos en las situaciones más desfavorables. Estas situaciones se identificarán mediante la ayuda de tablas de densidad y viscosidad.

Cabe destacar que quedarán fuera del alcance de dicho proyecto la instalación eléctrica y monitorización del proceso.

Pero sí se realizará un estudio acerca del consumo energético llevado a cabo por los intercambiadores de calor del proceso. Dado que procede de una fuente de calor externa a la planta, se considerará el diseño de una red MER (redes de intercambiadores con máximo ahorro energético) con el objetivo de reducir los costes asociados a esta aportación de calor. También se tendrá en cuenta las emisiones de CO₂.

Metodología y resultados

Como primer paso se realizará un estudio de los equipos requeridos para el proceso. Se identificarán las distintas corrientes involucradas en el proceso de producción del gas natural, así como sus condiciones de trabajo, condiciones de proceso y demás dispositivos que hacen posible el correcto procedimiento de la planta.

El proceso comienza desde la descarga del GNL procedente de un buque metanero al tanque de almacenamiento hasta su producción y envío a red de distribución. A dicha red de distribución será enviado tanto el gas natural generado en la estación de vaporización como el BOG generado en el proceso de almacenamiento del tanque e impulsado por los compresores.

El proceso constará de un tanque encargado de almacenar el GNL, un conjunto encargado de separar el GNL del BOG (formado por un separador y su correspondiente intercambiador de calor situado aguas arriba del mismo), un recondensador que actuará como licuador y una estación de vaporización sumergida encargada de producir el gas natural enviado a distribución. El movimiento del GNL a través del proceso será llevado a cabo por las bombas, dejando a los compresores la misión de impulsar el BOG.

Se identificarán los datos de partida, datos que aparecerán en los anexos a la memoria. Se anotarán las condiciones exteriores (temperatura y humedad).

Se tomarán los coeficientes de transmisión que aparecen en la hoja de datos de partida así como también los parámetros de operación más importantes que permitan el correcto funcionamiento de los equipos a su máxima eficiencia.

Obtenidos todos estos datos, se comenzará a calcular el resto de parámetros necesarios para el proceso, desde la impulsión del GNL desde el tanque hasta su envío a distribución. Conforme se vayan obteniendo los cálculos, se irán diseñando en paralelo los planos llamados P&ID, los cuales mostrarán los equipos, líneas, válvulas, instrumentos y demás elementos involucrados en el proceso. Dichos planos contendrán información relevante de los equipos (características y parámetros fundamentales), tuberías (diámetro, servicio y aislamiento), válvulas e instrumentos.

Se establecerá la velocidad máxima a la que deberá circular el fluido por la red de tuberías. Se establecerán depósitos (y recirculaciones de caudal) en puntos clave de la planta para conseguir el abastecimiento de caudal a todos los sistemas de manera constante evitando fluctuaciones que ocasionen incidencias en la producción, pudiendo ocasionar problemas en el suministro de gas natural al cliente. Los equipos, a excepción del tanque y los sistemas de vaporización, serán seleccionados mediante catálogos de fabricante. La manera oficial de hacerlo será la redacción de una requisición para cada equipo en la cual aparecen los parámetros que definen a dicho equipo.

Conocidos todos los parámetros de operación, se desarrollarán los listados de líneas, equipos, válvulas e instrumentos. Dichos documentos permitirán el control de todos los dispositivos, así como también desempeñarán la función de mostrar los parámetros más representativos resumidos en un documento. Dichos listados servirán como guía para montaje de la instalación, como inventario de materiales para los operarios en planta y guía para monitorizar el proceso.

La segunda parte del proyecto está basada en el estudio del máximo ahorro energético posible. Esto se conseguirá disminuyendo la cantidad de calor externo requerido por los intercambiadores de calor. Para ello se desarrollará un procedimiento capaz de aumentar al máximo nivel posible el calor intercambiado entre las distintas corrientes del proceso. Dicho procedimiento se denomina Pinch Analysis. Los ahorros económicos justificarán dicha elección, creando una red de intercambiadores denominada MER (maximum energy recovery).

Los resultados del Pinch Analysis serán empleados para sustituir la caldera de fuel-oil existente (encargada de aportar ese calor externo al proceso) por una nueva tecnología capaz de emplear un combustible más económico y menos contaminante respecto a sus emisiones de CO₂.

Finalmente se seleccionarán, con la ayuda de catálogos de fabricantes, los modelos exactos de los equipos con el fin de conseguir todas las características necesarias y el precio unitario de cada elemento con el fin de calcular el presupuesto del proyecto.

Se estimará el presupuesto total de la instalación, partiendo del precio unitario y número de unidades de esas características que se van a emplear. El presupuesto resultante será de 76.144.351,45 €.

Finalmente se redactará un pliego de condiciones, el cual fijará las pautas que se han de cumplir en el desarrollo de la obra, así como también el respectivo control de calidad de la misma, entrega de materiales y demás aspectos técnicos y temas relacionados con las relaciones entre el ofertante, el contratista y la Dirección Facultativa.

Madrid, a 17 de junio de 2016.

GAS NATURAL REGASIFICATION FACILITY

Author: Escobar Rico, Alberto

Director: Mochón Castro, Luis Manuel

Collaborating Organization: ICAI-Universidad Pontificia Comillas

PROJECT SUMMARY

This project aims to study and design a natural gas regasification plant, its installation definition and the calculation of the different equipment involved in the natural gas production process from liquid natural gas. The facility is located at Belgium.

Two different working fluids will be considered, LNG (Liquid Natural Gas) from the jetty and BOG (Boil-Off Gas), resulting from the evaporation of the LNG due to heat exchange and fluid motion. Both fluids will be considered in the most unfavorable working conditions related to the fluid viscosity and density table identification. Monitoring and electrical installations will be out of the scope of this project.

The energy duty consumption carried out by the heat exchangers will be undertaken during the process performance. The heat required by the process operating conditions comes from a light fuel-oil boiler located close to the regasification plant facilities. This heat becomes costly for the process, so this external heat supplied by the boiler will be reduced. In order to achieve that purpose, a MER (Maximum Energy Recovery) heat exchangers network will be designed.

Methodology and results

The first step is to establish and to identify the different equipment required by the process. Different currents involved in the operation will be identified, as well as the environment conditions, process parameters and other devices that make the right performance possible.

The process starts with the LNG downloaded to the storage tank from the ships, which arrive at the jetty place. The last step of the process is the production of natural gas (and the BOG from compressors) and sending to the distribution network.

The process consists on a tank in charge of the storage of the LNG, a set in charge of the separation of BOG and LNG (this set consists on a heat exchanger and a separator device downstream the previous heat exchanger), a recondenser (which will make all the fluid in liquid phase) and a submerged vaporize station in charge of producing natural gas from the recondenser. The motion of the LNG along the process will be undertaken by pumps while the BOG motion will be undertaken by the compressors.

Initial data will be identified and shown in the memory annexes as well as the environmental conditions (temperature and humidity of the ambient).

Heat transmission coefficients are shown in the initial data sheet as well as the core parameters that will allow the appropriate performance of the selected equipment at their maximum efficiency.

After the data mentioned above statement, the rest of the operating parameters will be calculated, starting with the initial impulsion by the LNG storage pumps and ending with the natural gas production at the vaporization system. During the calculation process, the corresponding P&IDs (Process and Instrumentation Diagram) will be designed. This kind of document shows all the equipment, lines and the rest of devices (including valves and instruments) involved in the process. These drawings will contain relevant information related to the equipment (features and main parameters), piping (diameter and the corresponding isolation), valves and instruments (which will act through the valves).

The maximum fluid speed through the lines admissible will be established according to the minimum pressure drop and the maximum equipment efficiency performance. Vessels and recirculation lines will be implemented in order to guarantee the continuous and appropriate performance avoiding fluctuations that could cause potential incidents during the process. These incidents can cause problems in the natural gas supply to the customer. All the equipment, apart from the storage tank and the vaporization system, will be selected with the different manufacturers' catalogue. The official procedure consists on the technical requisition document where all the equipment parameters will be present and given to the manufacturer.

After the calculations and P&IDs design, the equipment, line, instrumentation and valves lists will be develop. Those documents will allow to have an inventory list of all devices implemented in the process showing the main parameters summarized in a document. These lists will be useful as a guideline during the installation and precomissioning by the operators.

The second part of the project will consists on the study of potential energy savings. This state will be achieved by decreasing the duty of external heat required by the heat exchangers during the process operation. For this purpose, the Pinch Analysis method will be used in order to increase the heat exchange between the different streams involved. Economic savings will be the motivation of this method of implementation, which will modify the existing network.

Pinch Analysis results will be used in order to replace the existing heat source (light fuel-oil boiler) by a new technology capable of using a cheaper fuel and reducing the CO₂ emissions.

The final budget of the installation, based on the unit price and number of units of these characteristics will be estimated. The resulting budget will be 76.144.351,45 €.

Finally, a conditions specification will be made, which shall determine the conditions that may be reached in the work development, as well as the respective quality control, the delivering of materials and other aspects and issues related to the relationship between the bidder, the contractor and the management.

Madrid, June 17th 2016.



Índice de Contenidos

PARTE I. MEMORIA DESCRIPTIVA	25
1. OBJETO Y CONTENIDO DEL PROYECTO	27
2. NORMATIVA	29
3. MERCADO DE GAS NATURAL	36
3.1. Situación mundial.....	36
3.2. Estado de la cuestión	36
3.3. Producción y consumo de gas natural	37
3.4. Cadena de valor del gas natural	41
3.5. Producción de residuos e impacto ambiental.....	42
3.6. Evolución previsible de los equipos y procesos	42
4. HISTORIA DEL GAS NATURAL LICUADO (GNL).....	44
5. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA	45
5.1. Densidad y temperatura de ebullición del gas natural	45
5.2. Funcionamiento del proceso.....	45
5.3. Mínimo Técnico	48
6. CONDICIONES DEL ENTORNO	49
7. COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL.....	49
8. DISEÑO DEL TANQUE CRIOGÉNICO DE ALMACENAMIENTO	51
8.1. Funcionalidad y condiciones de partida.....	51
8.2. Cargas externas	53
8.3. Nivel del líquido.....	54
8.4. Cálculo de la altura y el radio del tanque interior.....	55
8.5. Cálculo de la cúpula del techo del tanque	56
8.6. Dimensionado Tubería de descarga a Tanque	56
8.7. Otras consideraciones	57
8.8. Características de los materiales del tanque	58
8.9. Generación de BOG dentro del tanque.....	59
9. BOMBAS CRIOGÉNICAS SUMERGIDAS DE GNL	60
9.1. Bombas in-tank 110-BA/BB/BC/BD/BE/BF.....	60
10. SEPARACIÓN BOG-GNL.....	61



11.	RECONDENSADOR	66
12.	COMPRESORES DE BOG	69
12.1.	Introducción	69
12.2.	Cálculo parámetros compresor	72
13.	SISTEMA DE VAPORIZACIÓN	73
13.1.	Introducción y selección de sistema	73
13.2.	Cálculo de los parámetros del vaporizador	75
13.3.	Análisis de la combustión del sistema.....	77
13.4.	Cálculo del compresor de aire.....	78
14.	SISTEMA DE ANTORCHA.....	79
14.1.	Introducción	79
14.2.	Tipos de antorcha.....	80
14.3.	Elementos Principales	81
14.4.	Sistema de seguridad	83
14.5.	Diseño Antorcha.....	84
15.	APORTES TÉRMICOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES EXTERNAS.....	90
16.	VÁLVULAS.....	91
17.	TUBERÍAS.....	94
17.1.	Introducción y dimensionamiento	94
17.2.	Especificación técnica.....	95
18.	SISTEMA DE INERTIZACIÓN	98
19.	EQUIPOS.....	99
19.1.	Especificación Técnica de Equipos	99
20.	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	101
20.1.	Costes de Instalación.....	101
20.2.	Análisis de viabilidad	101
21.	REDISEÑO DE LA PLANTA MEDIANTE AHORRO ENERGÉTICO	103
21.1.	Introducción al Pinch analysis	103
21.2.	Objetivo	104
21.3.	Selección de las corrientes	106
21.4.	Selección del gradiente mínimo de temperaturas.....	106



21.5. Obtención de las curvas compuestas.....	107
21.6. Potenciales ahorros de energía.....	112
21.7. Diseño de la red MER.....	112
21.8. Análisis económico de la nueva red MER.....	115
22. CALDERA DE FUEL-OIL.....	116
23. OTRAS TECNOLOGÍAS.....	117
23.1. Selección de la Tecnología.....	117
23.2. Selección de la Tecnología Óptima.....	135
24. BIBLIOGRAFÍA.....	139
PARTE II. BASE DE CÁLCULOS Y ANEXOS.....	141
1. CÁLCULO DE EQUIPOS Y OTROS COMPONENTES.....	143
1.1. Dimensionamiento del tanque 100-TA.....	143
1.2. Bombas Sumergidas 110-BA/BB/BC/BD/BE.....	145
1.3. Bomba Sumergida 110-BF.....	146
1.4. Intercambiador de calor 120-IC.....	147
1.5. Diseño del Separador 120-SE.....	148
1.6. Diseño de las bombas del Separador 120-SA/SB/SC/SD.....	149
1.7. Diseño Recondensador.....	150
1.8. Bombas Recondensador 120-RA/RB/RC/RD/RE.....	151
1.9. Compresores de BOG 120-CA/CB Modo HP.....	152
1.10. Compresores de BOG 120-CA/CB Modo LP.....	154
1.11. Compresor de BOG 120-CC.....	156
1.12. Sistema de Vaporización.....	157
1.13. Sistema de Antorcha.....	160
1.14. Aportaciones de calor externo.....	162
1.15. Listado de líneas.....	167
1.16. Listado de equipos.....	175
1.17. Listado de válvulas.....	179
1.18. Listado de Instrumentos.....	185
1.19. Pinch Análisis.....	191
1.20. Red MER.....	195



1.21.	Ciclo Combinado.....	199
1.22.	Selección de la Tecnología de aporte de calor externo a la planta.....	201
1.23.	Análisis de sensibilidad: variación de impuestos CO ₂	205
2.	ANEXOS A LA MEMORIA.....	209
2.1.	Propiedades del metano	209
2.2.	Tablas de vapor húmedo del agua (temperatura)	214
2.3.	Tablas del vapor húmedo del agua (presión).....	217
2.4.	Entalpías de formación y absolutas para la combustión.....	219
2.5.	Diagrama de Mollier del agua	220
2.6.	Gráfica de la presión de vapor del metano	221
2.7.	Catálogo bombas del tanque	222
2.8.	Velocidad máxima en el separador	225
2.9.	Capacidad del separador	226
2.10.	Eficiencia compresor de aire	226
2.11.	Catálogo recondensador	227
2.12.	Pérdidas de carga en codos.....	230
2.13.	Pérdidas de carga en válvulas	230
2.14.	Especificación compresores BOG	231
2.15.	Catálogo compresores de BOG	232
2.16.	Coeficientes de transmisión	233
2.17.	Catálogo Intercambiadores	234
2.18.	Catálogo intercambiador 120-IC	236
2.19.	Catálogo quemadores	238
PARTE III. ESTADO DE MEDICIONES. PLANOS.....		241
PARTE IV. PLIEGO DE CONDICIONES		271
1.	DISPOSICIONES GENERALES	273
1.1.	Contenido y ámbito de aplicación.....	273
1.2.	Concurso.....	273
1.3.	Documentación complementaria.....	276
1.4.	Programación de los trabajos.....	277
1.5.	Documentación técnica.....	278



1.6.	Planos de coordinación y montaje	280
1.7.	Seguridad en el trabajo	280
2.	MATERIALES	281
2.1.	Muestra de materiales	281
2.2.	Aceptación de los materiales	281
2.3.	Calidad de los materiales en general	282
2.4.	Calidad del acero	282
2.5.	Resto de materiales.....	282
3.	NORMAS DE CÁLCULO	282
3.1.	Normativa.....	282
4.	DISPOSICIONES GENERALES DE LAS OBRAS	283
4.1.	Replanteo de la obra	283
4.2.	Plazos de ejecución	283
4.3.	Mano de obra	283
4.4.	Reformas en el proyecto	285
4.5.	Contradicciones, omisiones o errores en los documentos	285
4.6.	Trabajos defectuosos o no autorizados	286
4.7.	Suspensión de las obras	286
4.8.	Seguros	288
5.	ENSAYOS, PRUEBAS Y PROTECCIONES	289
5.1.	Ensayos en taller	289
5.2.	Presentación en taller	289
5.3.	Protección contra la corrosión	289
6.	FABRICACIÓN, MONTAJE, RECEPCIÓN Y GARANTÍAS	290
6.1.	Inspección fabril	290
6.2.	Montaje e inspección	290
6.3.	Controles	291
6.4.	Prueba hidráulica en el taller	292
6.5.	Acta de fin de montaje	292
6.6.	Ajustes, ensayos y servicio experimental.....	292
6.7.	Recepción provisional	292



6.8.	Documentos y periodo de garantía.....	293
6.9.	Recepción definitiva	294
7.	ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE, SEGUROS Y ADUANAS.....	295
7.1.	Almacenamiento	295
7.2.	Transporte	295
7.3.	Seguros.....	296
7.4.	Aduanas.....	296
8.	ORGANIZACIÓN DE LAS OBRAS	296
8.1.	Dirección de las obras y representación del adjudicatario	296
8.2.	Terrenos necesarios para la ejecución de la obra.....	297
8.3.	Instalaciones auxiliares	298
8.4.	Desarrollo de las obras.....	299
8.5.	Suministros auxiliares.....	300
8.6.	Riesgo de la obra	300
8.7.	Relación entre la propiedad y los diversos contratistas	301
8.8.	Subcontratación de obras	302
8.9.	Personal de montaje	303
8.10.	Jornada laboral.....	303
8.11.	Coordinación con otros oficios.....	303
8.12.	Seguros y asistencia médica.....	304
9.	CONDICIONES DE PAGO Y LEGISLACIÓN	304
9.1.	Definición de precios.....	304
9.2.	Prestaciones accesorias y trabajos por administración	305
9.3.	Trabajos no previstos	306
9.4.	Revisión de precios.....	307
9.5.	Condiciones de pago	308
9.6.	Penalidades	308
9.7.	Indemnización a favor del Adjudicatario	309
9.8.	Ceso a aplazamiento de los trabajos. Rescisión del contrato	309
9.9.	Legislación	311
10.	CIMENTACIÓN Y ESTRUCTURAS	312



10.1.	Obras de hormigón.....	312
10.2.	Hormigón.....	313
10.3.	Cemento	314
10.4.	Agua.....	314
10.5.	Áridos	314
10.6.	Dosificación	314
10.7.	Aditivos.....	314
10.8.	Armaduras	315
10.9.	Morteros y adhesivos.....	315
10.10.	Suministro	315
10.11.	Puesta en marcha.....	316
10.12.	Control.....	317
10.13.	Recepción de piezas y conjuntos.....	317
10.14.	Mediciones	317
10.15.	Documentación a entregar	317
10.16.	Estructuras	317
11.	DOCUMENTACIÓN FINAL	318
12.	PROYECTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	319
13.	DIRECCIÓN TÉCNICA DE LA PUESTA EN MARCHA.....	320
14.	CONTROL DE CALIDAD	321
15.	SOFTWARE DE MANTENIMIENTO	322
16.	CRITERIOS DE MEDICIÓN DE LAS INSTALACIONES	325
17.	CERTIFICACIONES	326
PARTE V. PRESUPUESTO.....		327
1.	PRESUPUESTO DEL TANQUE EDALMACENAMIENTO 100-TA	329
1.1.	Costes unitarios.....	329
1.2.	Duración de la obra	329
1.3.	Materiales	330
1.4.	Coste total	330
2.	SISTEMA DE COMPRESORES 110-CA/CB Y 120-CC.....	331
3.	SEPARADOR 120-SE	331



4.	BOMBAS DE GNL	331
5.	RECONDENSADOR 120-RE.....	332
6.	INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	332
7.	ESTACIÓN DE VAPORIZACIÓN	333
8.	SISTEMA DE ANTORCHA.....	334
9.	TUBERÍAS.....	335
10.	VÁLVULAS.....	336
11.	PRESUPUESTO TOTAL.....	337
12.	COSTES VARIABLES.....	337
13.	COSTES FIJOS	338
14.	COSTES TOTALES	338
15.	INGRESOS ANUALES	339
16.	ANÁLISIS DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS Y FLUJOS DE CAJA.....	339



Índice de Figuras

Figura 1. Reservas mundiales de gas natural en 2015. Cortesía de CIA factbook figures.	37
Figura 2. Producción mundial de gas. Cortesía de Comunidad Medioambiental.	38
Figura 3. Ratio de las reservas/producción mundiales de gas natural hasta 2009. Cortesía de Sedigas.	39
Figura 4. Evolución del consumo de combustibles. Cortesía de Instituto Argentino de la Energía.	39
Figura 5. Comparación de costes de transporte de gas natural dependiendo de su estado. Cortesía de Gas Natural.	40
Figura 6. Historial y previsiones futuras de la demanda de combustibles. Cortesía de Energy Outlook.	40
Figura 7. Cadena de valor del gas natural. Cortesía de la Universidad de Houston, “Sistemas de seguridad y protección de GNL”, 2003.	41
Figura 8. Almacenamiento de gas natural en cavernas lixiviadas de sales. Cortesía de Comunidad Medioambiental.	43
Figura 9. Terminal de GNL en Japón. Cortesía de www.nuestromar.org	44
Figura 10. Diagrama de flujo del proceso.	46
Figura 11. (Izquierda) Tanques de almacenamiento criogénico de GNL. Cortesía de Balzola. (Derecha) Sección de un tanque de almacenamiento de GNL. Cortesía de Energy world.	51
Figura 12. Componentes del tanque de almacenamiento de GNL. Cortesía de Irradia.	52
Figura 13. Dimensionado del tanque de almacenamiento criogénico.	55
Figura 14. Esquema del dimensionado de la cúpula del tanque.	56
Figura 15. Bomba criogénica sumergible. Cortesía de Flowserve.	60
Figura 16. Bomba criogénica seleccionada. Cortesía de Nikkiso.	61
Figura 17. Esquema de un intercambiador de calor. Cortesía de Slideshare.	62
Figura 18. Esquema para el cálculo de la temperatura logarítmica media.	63
Figura 19. Separador de GNL. Cortesía de Grupo Sistafi.	63
Figura 20. Esquema de un Separador. Cortesía de New Gas Systems.	65
Figura 21. Relicador de gas natural licuado (GNL). Cortesía de Gas Processing News.	67
Figura 22. Esquema de un relicador. Cortesía de Gas Processing News.	68
Figura 23. Compresor centrífugo. Cortesía de Direct Industry.	69
Figura 24. Monograma para la selección del tipo de compresores. Cortesía de IHI.	69
Figura 25. Sección de un compresor. Apuntes Universidad Pontificia Comillas.	70
Figura 26. Partes de un compresor centrífugo. Cortesía de LOIDI.	71
Figura 27. Vaporizador de agua de mar. Cortesía de Sefic.	74
Figura 28. Esquema de un vaporizador de combustión sumergida. Cortesía de Comunidad Medioambiental.	74
Figura 29. Compresor de aire recíprocante. Cortesía de IHI.	78
Figura 30. Antorcha. Cortesía de Petronor.	79



Figura 31. Distintos tipos de sistemas de antorcha verticales. De izquierda a derecha: autoportante, soportada con vientos y Derrick. Cortesía de Repsol.	81
Figura 32. Partes de una Antorcha. Cortesía de Repsol.	82
Figura 33. Componentes de un quemador. Cortesía de Repsol.	83
Figura 34. KO Drum. Cortesía de ARMK S.A.	83
Figura 35. Elevación de la línea central del penacho de contaminantes. Cortesía de Universidad Pontificia Comillas.	88
Figura 36. Esquema válvula de bola. Cortesía de Direct Industry.	92
Figura 37. Válvula de mariposa. Cortesía de Direct Industry.	92
Figura 38. Válvula antirretorno. Cortesía de Direct Industry.	93
Figura 39. Válvula reguladora. Cortesía de Quiminet.	94
Figura 40. Atemperador en línea. Cortesía de Equirepsa.	97
Figura 41. Atemperador de tipo Venturi. Cortesía de Equirepsa.	98
Figura 42. Diagrama de la extracción del nitrógeno. Cortesía de Pefipresa.	98
Figura 43. Diagrama típico de una conexión de nitrógeno.	99
Figura 44. Curva compuesta caliente (roja) y fría (azul).	104
Figura 45. Ejemplo de Grand Composite Curve.	105
Figura 46. Identificación de los rangos de temperaturas.	107
Figura 47. Curva compuesta de las corrientes frías.	108
Figura 48. Curva compuesta de las corrientes calientes.	108
Figura 49. Método Gráfico para la obtención del Pinch Point.	109
Figura 50. Ejemplo teórico del método cascada.	110
Figura 51. Ejemplo de GCC. Cortesía de Universidad Tecnológica de Chalmers.	112
Figura 52. Ilustración gráfica de las tres reglas de oro.	113
Figura 53. Caldera de fuel-oil (izq.) y Quemador de fuel-oil (dcha.). Cortesía de Direct Industry.	116
Figura 54. Curva monótona de carga (izq.) y Curva de demanda continua (dcha.). Cortesía de Universidad Tecnológica de Chalmers.	118
Figura 55. Integración de una caldera en el proceso. Cortesía de Universidad Tecnológica de Chalmers.	119
Figura 56. Diagrama de flujo del funcionamiento de una caldera.	120
Figura 57. Tipos de combas de calor más empleados. Cortesía de la Universidad Tecnológica de Chalmers.	121
Figura 58. Integración de la bomba de calor. Cortesía de la Universidad Tecnológica de Chalmers.	122
Figura 59. Diagrama de flujo del funcionamiento de una bomba de calor.	122
Figura 60. Reducción emisiones de CO2 en función del COP. Cortesía de la Universidad Tecnológica de Chalmers.	124
Figura 61. Integración de una bomba de calor. Cortesía de Research Gate.	124
Figura 62. Ciclo combinado. Cortesía de Thermal Hydraulics.	125



Figura 63. Grand Composite Curve. Cortesía de Universidad Tecnológica de Chalmers.....	126
Figura 64. Esquema de la integración del ciclo combinado en un proceso.....	127
Figura 65. Integración de la turbina de gas.....	128
Figura 66. Esquema del ciclo combinado a estudiar.....	129
Figura 67. Curvas T-Q entre el ciclo de gas y el ciclo de vapor. Cortesía de Universidad Pontificia de Comillas.....	132
Figura 68. Diagrama energético del ciclo combinado (CHP).....	134
Figura 69. Curvas de costes para cada tecnología.....	138



Índice de Tablas

Tabla 1. Comparativa de las emisiones de gas natural, carbón y petróleo. Cortesía de Comunidad Medioambiental.	42
Tabla 2. Composición genérica de GNL.....	50
Tabla 3. Casos a estudio según la composición del gas.	50
Tabla 4. Datos del hormigón.	58
Tabla 5. Normativa según el material empleado.	58
Tabla 6. Niveles de Radiación Admisible.....	85
Tabla 7. Valores del diámetro de la boquilla en función de la emisividad.....	86
Tabla 8. Número mínimo de pilotos en función del diámetro de boquilla.	86
Tabla 9. Determinación de la estabilidad atmosférica.....	89
Tabla 10. Parámetros del ábaco de Pasquill.	90
Tabla 11. Espesores de aislamiento de tuberías.	96
Tabla 12. Balance de ganancias-pérdidas anuales de la planta.	102
Tabla 13. Selección de las corrientes a estudio.	106
Tabla 14. Valores típicos del gradiente mínimo de temperatura.	107
Tabla 15. Cálculo teórico de la cascada térmica.	110
Tabla 16. Parámetros para el cálculo de las emisiones de una bomba de calor.	123
Tabla 17. Rango de valores del COP dependiendo de la tecnología.....	123
Tabla 18. Comparación distintas tecnologías.....	136
Tabla 19. Costes anuales de las diferentes tecnologías.....	137
Tabla 20. Costes anuales de las diferentes tecnologías.....	138



PARTE I. MEMORIA DESCRIPTIVA





1. OBJETO Y CONTENIDO DEL PROYECTO

La finalidad del presente proyecto es el diseño y desarrollo de las soluciones propuestas para la realización de los equipos e instalaciones de una planta de regasificación de gas natural en un emplazamiento determinado. Para ello se establecerán las condiciones técnicas y legales a las que se deberán ajustar dichas instalaciones.

Se dimensionarán los equipos involucrados en el proceso de regasificación teniendo en cuenta la producción estable de gas natural enviado a distribución para su venta y consumo, así como también la descarga continua de buques metaneros en el tanque de gas natural licuado (GNL).

Se realizará un presupuesto detallado del contenido de los distintos sistemas involucrados en el proceso, así como el valor en la realización del trabajo de instalación de las mismas.

También se definirán las características de los equipos, componentes y materiales que constituyen las instalaciones a emplear.

Se deberá ajustar a la normativa de plantas de gas natural API, al Código Técnico de la Edificación (CTE) y a las directivas emitidas por la comunidad europea para estos equipos (CE).

El proyecto estará constituido por las siguientes partes:

Memoria Descriptiva

Se realizará una descripción de los equipos, planta donde estará instalada y operativa dicha instalación según normativa. Se mostrará el funcionamiento de la instalación y de los equipos que la componen. Se especificarán los parámetros de partida y se expondrán el procedimiento llevado a cabo en la realización de los cálculos pertinentes. Hojas de cálculo podrán ser encontradas en los Anexos.

Pliegos de Condiciones

Contendrán las especificaciones técnicas de todos los elementos de la planta y las características de todos los equipos que la conforman, así como la correcta forma de montaje de dichos equipos.

El criterio de aceptación y rechazo de equipos y materiales estará basado en el Protocolo de Control de Calidad y Pruebas y Directivas de la Comunidad Europea para equipos a presión. También incluirá la aceptación o rechazo del montaje de los equipos (control de ejecución) y el conjunto de directrices que deberán ser cumplidas por el equipo de instalación a la hora de realizar la puesta en marcha y pruebas de equipos (control de puesta en marcha y pruebas).

Se incluirá un pliego de condiciones generales que contendrá las condiciones contractuales y administrativas del presente proyecto.



Mediciones y presupuesto

Estado de mediciones donde se detallarán el número de unidades de cada partida agrupadas según las zonas definidas en el proyecto. Se realizará un presupuesto valorado de la instalación.

Planos

Se realizarán unos planos indicativos del recorrido de los diferentes equipos y sistemas, comprendiendo planos de las diferentes etapas del proceso, esquema de principios y detalles constructivos y de operación.

En los distintos documentos del proyecto se aportará la justificación y cumplimiento de toda la normativa correspondiente. Los datos técnicos relativos a equipos consumidores de energía y sus potencias estarán reflejados en las “Fichas Técnicas” adjuntas.

Esquema de principios, diagrama de flujo y plano de posicionamiento estarán reflejados en el apartado “Planos” del presente proyecto.

Datos técnicos referidos a materiales estarán reflejados tanto en “Planos” como en la partida de presupuestos.



2. NORMATIVA

- RD 1630/1980, de 18 de Julio, sobre fabricación y uso de elementos resistentes para suelos y cubiertas.
- Orden del 31 de Mayo de 1985, por la que se aprueba el Pliego General de Condiciones para la Recepción de Yesos y Escayolas en las Obras de Construcción RY- 85. BOE de 10-06-85.
- RD 2532/1985, del 18 de Diciembre, por el que se declaran de obligado cumplimiento las especificaciones técnicas de chimeneas modulares metálicas y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía.
- RD 2699/1985, del 27 de Diciembre, por el que se declaran de obligado cumplimiento las especificaciones técnicas de los perfiles extruidos de aluminio, sus aleaciones y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía.
- RD 2702/1985, del 18 de Diciembre, por el que se homologan los alambres trefilados lisos y corrugados empleados en la fabricación de mallas electro soldadas y viguetas semirresistentes de hormigón armado (viguetas en celosía) por el Ministerio de Industria y Energía.
- RD 1312/1986, del 25 de Abril, por el que se declara obligatoria la Homologación de los Yesos y Escayolas para la Construcción, así como el cumplimiento de las especificaciones técnicas de los prefabricados y productos afines de yesos y escayolas y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía.
- Orden del 27 de Julio de 1988, por la que se aprueba el Pliego General de Condiciones para la Recepción de los Ladrillos Cerámicos en las Obras de Construcción RL-88.
- Orden del 4 de Julio de 1990, por la que se aprueba el Pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de bloques de hormigón en las obras de construcción RB-90. (BOE 165, de 11-07-90).
- Orden del 18 de Diciembre de 1992, por la que se aprueba la Instrucción para la recepción de cables en obras de estabilización de suelos (RCA-92).
- RD 1039/1991, del 28 de Junio, por el que se aprueba la Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-91). BOE 158, de 03-07-91.
- RD 805/1993, del 28 de Mayo, por el que se aprueba la Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón pretensado (EP-93).
- RD 2608/1996, del 20 de Diciembre, por el que se aprueba la Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-96).



- RD 779/1997, del 30 de Mayo, por el que se aprueba la Instrucción para la recepción de cementos (RC-97).
- RD Ley 1/1998, del 27 de Febrero, sobre infraestructuras comunes en los edificios para el acceso a los servicios de telecomunicación (Antenas Colectivas).
- RD 2661/1998, del 11 de Diciembre, que aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).
- Resolución de 5 de Marzo de 2001, de la Dirección General de Política Tecnológica, por la que se informa de la aprobación de guías del Documento de Idoneidad Técnica Europeo (guías dite), en desarrollo del RD 1630/1992, de 29 de diciembre. BOE 89, de 13-04-01.
- Resolución del 20 de Noviembre de 2001, de la Secretaría General Técnica, por la que se reconoce la marca "Q-LGAI" para cementos a los efectos de la Instrucción de Hormigón Estructural. BOE 298, de 13-12-01.
- RD 642/2002, del 5 de Julio, por el que se aprueba la Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE).
- RD 1797/2003, del 26 de Diciembre, por el que se aprueba la Instrucción para la recepción de cementos (RC-03). BOE 14, de 16-01-04. C.E. 63, de 13-03-04.
- Resolución del 16 de Marzo de 2004, de la Dirección General de Política Tecnológica, por la que se modifican y amplían los anexos I, II y III de la Orden CTE/2276/2002, del 4 de septiembre, por la que se establece la entrada en vigor del mercado CE relativo a determinados productos de construcción conforme al Documento de Idoneidad Técnica Europeo. BOE 83, de 06-04-04.
- RD 312/2005, del 18 de marzo, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego. BOE 79, de 02-04-05.
- RD 223/2008, del 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- RD 1454/2005, del 2 de diciembre, por el que se modifican determinadas disposiciones relativas al sector eléctrico.
- RD 842/2002, del 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para baja tensión. Sólo incluye el Real Decreto.



- RD 842/2002, del 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para baja tensión. Suplemento con Reglamento Electrotécnico para baja tensión y las instrucciones técnicas complementarias (ITC) BT 01 a BT 51.
- Orden del 6 de julio de 1984 por la que se aprueban las instrucciones técnicas complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
- RD 3275/1982, del 12 de noviembre, sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad.
- RD 604/2006, del 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, del 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- RD 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.
- RD 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- RD 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.
- RD 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- RD 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- RD 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- RD 780/1998, de 30 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención.
- RD 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.



- RD 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- RD 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- RD 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- RD 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
- RD 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización.
- RD 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso-lumbares, para los trabajadores.
- RD 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- RD 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- RD 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales y Normativa de Desarrollo.
- RD 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.
- Orden de 9 de marzo de 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- RD 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- Ley 46/1999, de 13 de diciembre, de modificación de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.



- RD Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- RD 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI e VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.
- Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.
- RD Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- RD 509/2007, de 20 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desenvolvimiento y ejecución de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- RD 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- UNI ENV 13670-1. Ejecución de estructuras de hormigón.
- ENE 206-.1. Hormigón. Parte 1: Especificaciones, prestaciones y conformidad.
- CEN EN 1992-1-1. Eurocódigo 2: Proyectos de estructuras de hormigón. Parte 1-1. Reglas generales y reglas para edificación.
- CEN EN 288. Especificaciones y aprobación de los procedimientos de soldadura de materiales metálicos.
- CEN EN-ISO 15620. Soldeo. Soldeo por fricción de materiales metálicos.
- CEN EN 287-1. Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros.
- CEN EN 719 Coordinación del soldeo. Tareas y responsabilidades.
- CEN EN 10080. Acero para el armado de hormigón. Acero soldable para armaduras de hormigón armado. Parte 1-6.



- CEN EN 1008. Agua de amasado para hormigón. Especificaciones para la toma de muestras, los ensayos y la evaluación de aptitud al uso del agua, incluyendo las aguas recuperadas de procesos en la industria del hormigón, como agua de amasado para hormigón.
- CEN EN 12390-3. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas.
- CEN EN 12620. Áridos para hormigón.
- ISO 6934. Acero para el posteo del hormigón.
- NS 3473. Estructuras de hormigón – Leyes de diseño.
- NS 3576-3. Acero para el refuerzo del hormigón. Dimensiones y propiedades. Parte 3: barras corrugadas B500C.
- Instrucción española de hormigón estructural. (EHE) (http://www.mfom.es/cph/norma_ehe.html).
- UNI EN 932-3. Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 3: Procedimiento y terminología para la descripción petrográfica simplificada.
- UNI 8981-8. Durabilidad de las obras y de los elementos prefabricados de hormigón – Instrucciones para prevenir la reacción álcali-sílice.
- UNI 8520-22. Áridos para preparados del hormigón. Determinaciones de la reactividad potencial del árido en presencia de álcalis.
- Directrices para la aprobación técnica europea de los equipos de postesado de estructuras ETAG 013 (<http://www.eota.be>).
- CEN WS-09. Requerimientos para la instalación de los equipos para el postesado de estructuras y cualificación de la empresa especialista y su personal.
- ACI 305R-99. Hormigonado en tiempo caluroso.
- ASTM C330. Especificación estándar para áridos ligeros para hormigón estructural.
- BS 4449:1997. Barras de acero al carbono para el refuerzo del hormigón.
- BS 7777-3:1993. Tanques cilíndricos verticales de fondo plano para almacenamiento a baja temperatura.
- ASME PTC: Pruebas en bombas.



- ASME B31: Diseño mecánico y materiales.
- ASME sección VII: Diseño de intercambiadores.
- ASTM A 216 WCB: Material y fabricación de válvulas.
- BS 3274: Diseño mecánico, fabricación, materiales de construcción y pruebas de intercambiadores de calor.
- DIN 1944: Test de bombas centrífugas.
- DIN 24293: Datos y construcción de bombas centrífugas.
- DIN 24295: Unidades de bombeo de líquidos y métodos de seguridad.
- DIN 24260: Bombas para la impulsión de líquidos: bombas centrífugas.
- NFPA 59A: Standard para la Producción, Almacenamiento y Manipulación de Gas Natural Licuado.
- API 620: Diseño y Construcción de Grandes Tanques Soldados de Baja Presión.



3. MERCADO DE GAS NATURAL

3.1. Situación mundial

Los sectores energéticos constituyen por sí mismos una parte muy importante de la actividad económica. No obstante, su mayor relevancia reside en que suponen servicios imprescindibles para la vida diaria de los ciudadanos y en que incorporan un valor estratégico innegable al resto de los sectores de la economía. No hay duda de que la energía debe constituir un elemento dinamizador del resto de la economía y nunca llegar a convertirse en obstáculo para su crecimiento. Por ello, el suministro energético en condiciones óptimas de seguridad, calidad, protección del medio ambiente y precio es un objetivo irrenunciable en la definición de una política energética.

En el año 2008, la economía mundial experimentó cambios muy importantes que interrumpieron el mayor período de crecimiento desde la década de los sesenta. Las turbulencias financieras que estaban presentes desde mediados de 2007 dieron lugar a finales de 2008 a una profunda crisis financiera global dando paso a una situación de recesión económica generalizada. Las debilidades experimentadas a finales de 2007 se prolongaron durante 2008 y dieron lugar a una sustancial reducción del crecimiento de la economía mundial.

3.2. Estado de la cuestión

El gas natural es un conocido combustible y fuente de energía no renovable compuesto por una mezcla de hidrocarburos localizados en los yacimientos de petróleo, ya sea disuelto o mezclado con el mismo, o en depósitos de carbón. Este combustible está compuesto principalmente por metano aunque la cantidad de éste varía según el yacimiento donde se encuentre. Las cantidades más comunes de metano en gas natural pueden superar el 90 o 95%. Además tiene un elevado poder energético, del orden de 9,000 a 12,000 kcal/m³ en condiciones normales y dependiendo de la composición de hidrocarburos del gas natural. En cuanto a su comparación con el petróleo, el gas natural es mucho menos contaminante y mil metros cúbicos de este gas equivalen a novecientos kilos de petróleo.

El gas natural es una fuente de energía versátil con un amplio conjunto de ámbitos en los que puede ser empleado como en la producción de calefacción (sobre todo en aplicaciones domésticas para la generación de calor) y la generación de electricidad (fundamentalmente en turbinas de gas), aunque también es comúnmente empleado como carburante en transporte.

3.3. Producción y consumo de gas natural

Las reservas mundiales de gas natural son muy importantes y las estimaciones de su dimensión se encuentran en continuo crecimiento a medida que las nuevas tecnologías de exploración, perforación y nuevas técnicas de explotación son descubiertas. Las reservas de gas natural son abundantes y se encuentran mejor repartidas que los yacimientos de petróleo, siendo una fuente de energía más accesible para un mayor número de países. Pero se ha de destacar que las mayores reservas de gas natural se encuentran en países calificados como “conflictivos” dificultando su transporte a través de los gaseoductos.

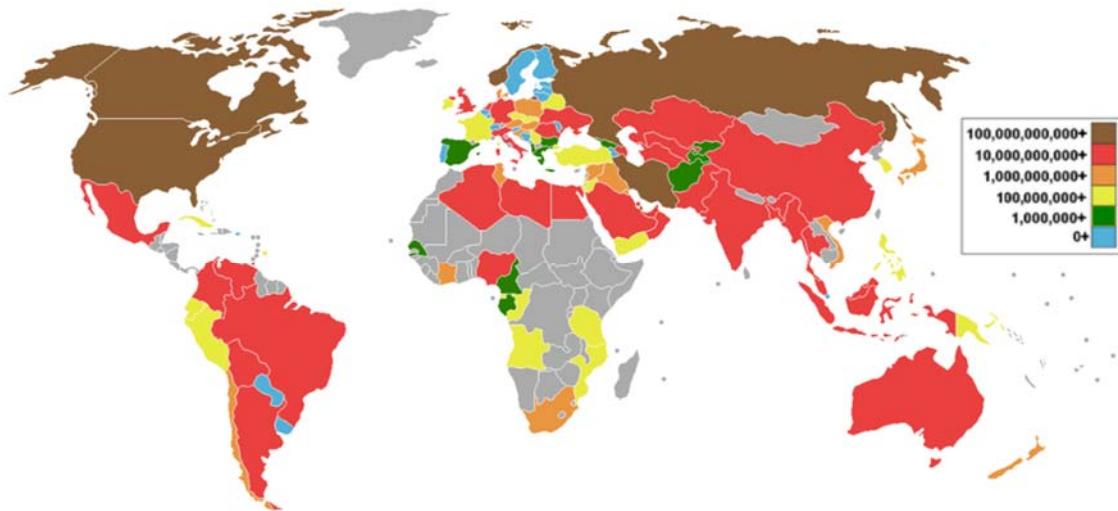


Figura 1. Reservas mundiales de gas natural en 2015. Cortesía de CIA factbook figures.

Además se estima que aún queda una cantidad significativa de gas natural que está por ser descubierto. Las mayores reservas mundiales se encuentran en Oriente Medio con el 41% del total mundial y junto con la antigua Unión Soviética, que representa el 30% de las reservas mundiales, alcanza una cifra ligeramente inferior a las tres cuartas partes de las reservas mundiales de gas natural. La producción de gas sigue incrementándose con el paso de los años. Los máximos productores de gas han sido Rusia, Estados Unidos, Canadá y Arabia Saudí junto con Argelia.

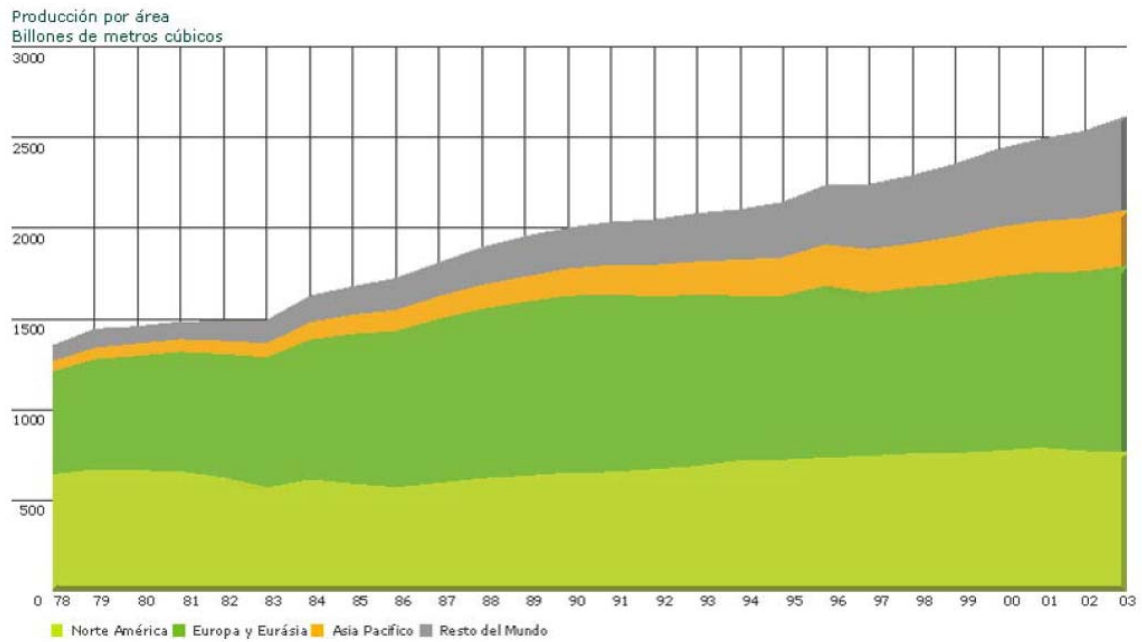


Figura 2. Producción mundial de gas. Cortesía de Comunidad Medioambiental.

Debido a las mejoras tecnológicas mencionadas anteriormente, la proporción de reservas de gas natural en el planeta se ha duplicado en los últimos veinticinco años, alcanzando un pico en el año 2008 con 181 trillones de metros cúbicos. Además, el ratio de reservas/producción de gas natural ha ido aumentando con el paso de los años y actualmente se encuentra en torno a los 60 años. Aunque se está produciendo un decremento de reservas en los países más desarrollados, con unos cálculos de 12 años de vida para este gas.

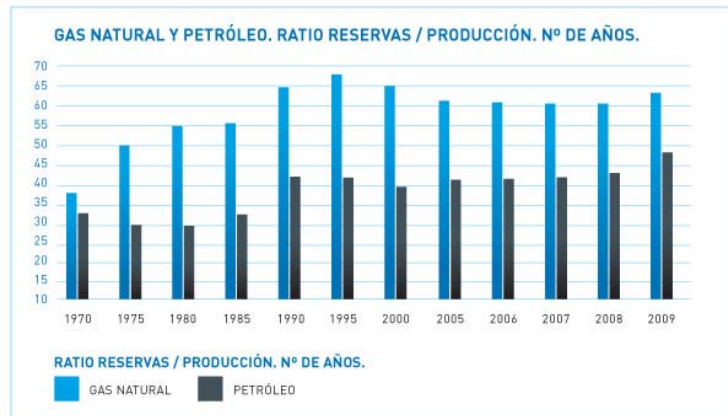


Figura 3. Ratio de las reservas/producción mundiales de gas natural hasta 2009. Cortesía de Sedigas.

En la actualidad los principales mercados regionales son América del Norte, Europa Occidental y los países que conformaban la antigua Unión Soviética, pero pueden encontrarse mercados emergentes como Latinoamérica y los países asiáticos de la zona del Pacífico. Esta aparición de nuevos mercados, debido al auge que está sufriendo el uso de este combustible, se debe a que el gas natural es la energía fósil menos contaminante y su rendimiento energético es superior al de cualquier otra fuente combustible. Al igual que el petróleo, el consumo de gas natural en los últimos años se ha incrementado, experimentando una tendencia de crecimiento ascendente para los años futuros.

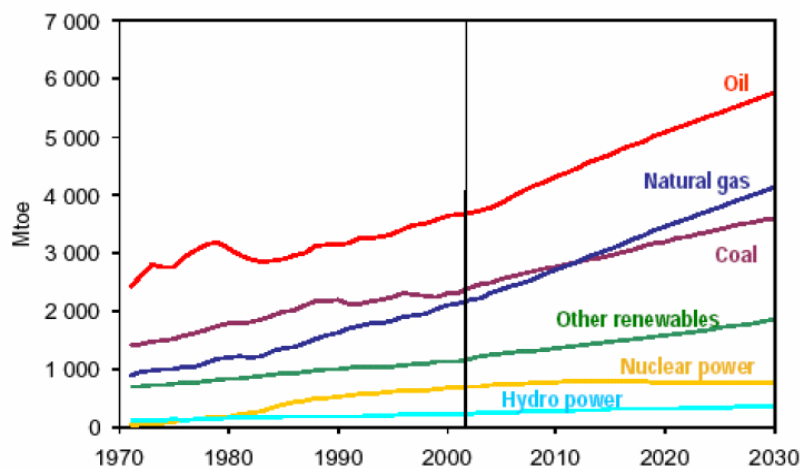


Figura 4. Evolución del consumo de combustibles. Cortesía de Instituto Argentino de la Energía.

El consumo de gas natural fue, junto con el de petróleo, el que más crecimiento experimentó en las últimas 3 décadas y se espera que ese crecimiento continúe. La proporción del mercado a corto plazo sobre el total comercializado de GNL aumentó considerablemente en la última década, ya que actualmente constituye el 10% del mercado total mientras que a comienzos de la década de los 90 era sólo de 1,4%. Según estimaciones de la EIA (Energy Information Administration), el mercado de GNL, que actualmente representa cerca del 30% del mercado de gas intercambiado entre países, pasaría al 50% en el 2030. Otro factor que influye en este crecimiento del GNL es que los costes de transporte de GNL (a través de buques y camiones) son mucho más económicos que en gaseoducto a partir de una determinada distancia, tal y como se muestra en la siguiente figura.

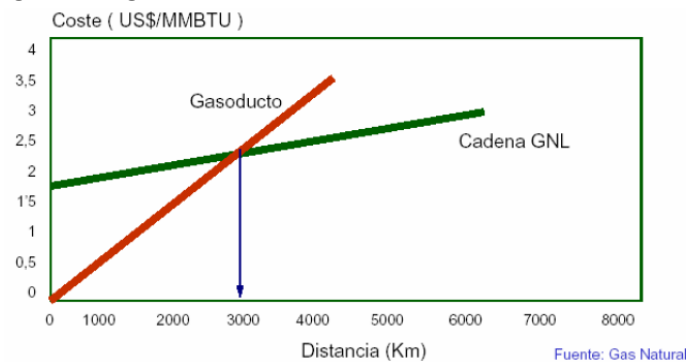


Figura 5. Comparación de costes de transporte de gas natural dependiendo de su estado. Cortesía de Gas Natural.

En cuanto a las previsiones futuras para el consumo del gas natural, el carbón (combustible más contaminante) será sustituido por otros combustibles entre los que se encuentra el gas natural (debido a sus bajas emisiones de CO₂ y su precio más accesible). La siguiente figura muestra las previsiones futuras de consumo de distintos combustibles.

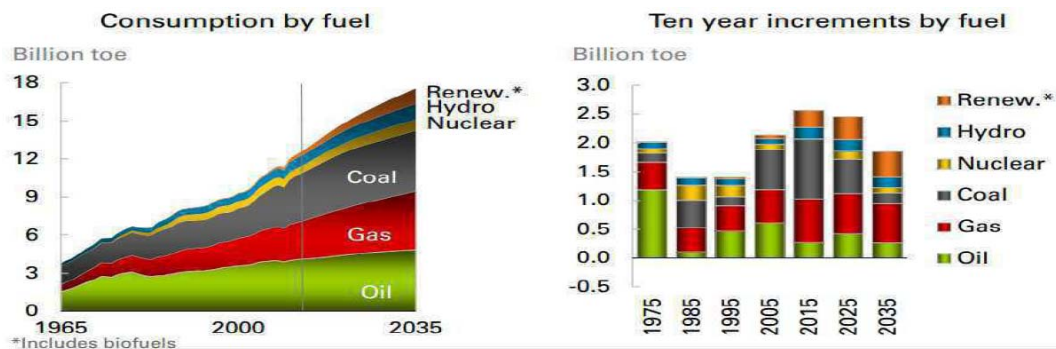


Figura 6. Historial y previsiones futuras de la demanda de combustibles. Cortesía de Energy Outlook.

3.4. Cadena de valor del gas natural

El gas natural es transportado en estado líquido dando a conocer lo que se conoce como gas natural licuado (GNL), ya que facilita su transporte y almacenamiento al ocupar un volumen 600 veces menor en estado gaseoso que en estado líquido. La *Figura 4* muestra las etapas de las que se compone la cadena de valor del gas natural.

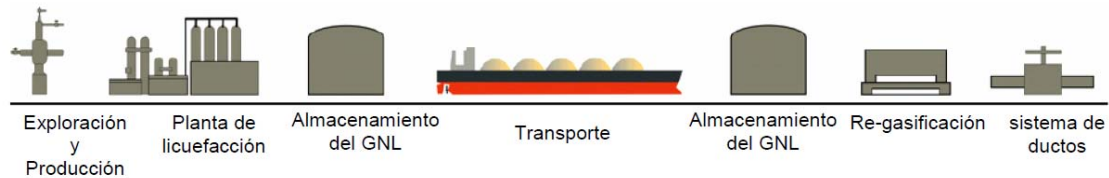


Figura 7. Cadena de valor del gas natural. Cortesía de la Universidad de Houston, "Sistemas de seguridad y protección de GNL", 2003.

Es común encontrar el gas natural (en estado gaseoso) en los yacimientos de petróleo, de los cuales es extraído y enviado a una planta de licuefacción. La planta de licuefacción será la encargada de enfriar el gas hasta convertirlo en estado líquido (gas natural licuado, GNL) mediante el intercambio de calor con un fluido refrigerante, reduciendo su volumen para ser almacenado posteriormente en un tanque criogénico. El GNL aguarda en dicho tanque de almacenamiento hasta la llegada del buque metanero, encargado de transportar el gas natural a otro nuevo tanque para ser re-gasificado. Estos metaneros son capaces de transportar entre 18,000 y 267,000 m³. El transporte se realiza en embarcaciones de casco doble aisladas para prevenir fugas o rupturas. Estos buques son construidos especialmente para un proyecto específico y deben cumplir con los estándares de la Organización Marítima Internacional. El GNL se almacena en contenedores especiales en los que se mantiene a presión atmosférica y -160°C de temperatura.

El GNL es transportado a una planta de regasificación, la cual está formada por un embarcadero donde se realizará la descarga, un tanque criogénico de almacenamientos, una estación de regasificación y una red de conductos que hará posible el transporte y distribución del combustible a lo largo de la planta. El sistema de almacenamiento consta de uno o más tanques diseñados para contener el GNL a -160°C, similares a los tanques de las terminales de licuefacción, los cuales pueden ser subterráneos o estar localizados sobre la superficie.

Dentro de estos tanques se generarán gases que deberán ser evacuados para evitar un aumento de presión dentro del tanque de almacenamiento. Los encargados de la evacuación de dichos gases (denominado BOG) serán los compresores, que lo recircularán a un condensador. Será en este último equipo donde se mezcle con el GNL procedente del tanque para luego, una vez obtenido todo el gas natural en estado líquido, ser enviado a los vaporizadores. A la salida de estos vaporizadores, el gas natural (ya en estado gaseoso) es enviado a la red de conductos para su distribución.

3.5. Producción de residuos e impacto ambiental

El gas natural es el combustible fósil más limpio debido a las siguientes razones:

- El proceso de licuefacción al que es sometido.
- Las moléculas de gas natural son más ligeras que las moléculas de petróleo.
- Menores emisiones de CO₂ que el petróleo al ser quemado, reduciendo a su vez el efecto invernadero.
- Tiene una combustión más fácil, lo cual implica la reducción en las emisiones de monóxido de carbono (CO).
- Produce muy bajos efectos en la lluvia ácida debido a su bajo nivel de óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x).
- Los restos sólidos de la combustión son despreciables debido a que no contiene partículas sólidas.

En comparación con la gasolina o el gasoil, el empleo de gas natural en automóviles reduce las emisiones de CO entre un 90-97%, reduciendo a su vez la emisión del dióxido de carbono (CO₂) en un 15%.

La *Tabla 1* muestra una comparativa entre gas natural, carbón y petróleo en cuanto a sus respectivas emisiones.

Comparativa de las emisiones en Libras por 10 ⁹ Btn			
Contaminantes	Gas Natural	Petróleo	Carbón
CO ₂	117,000	164,000	208,000
CO	40	33	208
NO _x	92	448	457
SO _x	1	1,122	2,591
Partículas	7	84	2744
Mercurio	0	0	0.01

Tabla 1. Comparativa de las emisiones de gas natural, carbón y petróleo. Cortesía de Comunidad Medioambiental.

3.6. Evolución previsible de los equipos y procesos

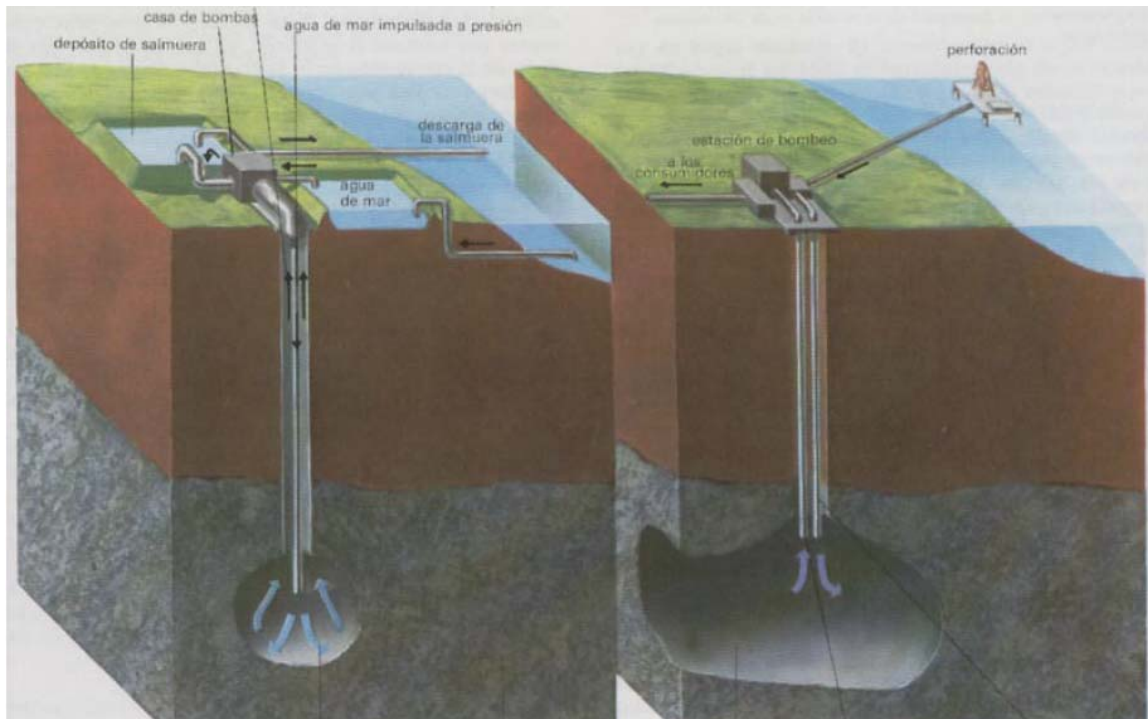
Actualmente la tecnología correspondiente al gas natural está experimentando unos fuertes avances en dos vertientes:

- Mejoras en las técnicas de extracción. Como es el caso del fracking, que consiste en fracturar la roca inyectando una mezcla de CO₂ en estado líquido y de arena, facilitando

así la salida del gas. Otro ejemplo es la perforación con tubería continua (coiting tuve), la cual introduce una mezcla de fluidos y arena en la roca.

- Conversión del gas natural en un combustible líquido facilitando su transporte. Destaca el Fisher-Tropsch, proceso que consiste en la producción de diésel sintético. Pero la técnica más prometedora es la de recogida de CO₂ resultante del uso del gas natural en pilas de combustible, evitando lanzar el dióxido de carbono a la atmósfera.

También se puede reseñar el almacenamiento de gas natural (en cantidades masivas) empleando depósitos subterráneos como puede ser la recarga de yacimientos agotados, el almacenamiento en acuíferos (inyectando gas a presión), almacenamiento en cavernas de sal vaciadas por lixiviación o minas abandonadas.



*Figura 8. Almacenamiento de gas natural en cavernas lixiviadas de sales.
Cortesía de Comunidad Medioambiental.*

Gracias a estas nuevas tecnologías existen más de 500 almacenes subterráneos de gas natural, de los cuales la gran mayoría (unos 410) se encuentran en Estados Unidos, 60 almacenes en la Unión Europea y 21 en Rusia, con una capacidad total de 240,000 millones de m³ (de los cuales 106,000 m³ se encuentran en territorio norteamericano).

4. HISTORIA DEL GAS NATURAL LICUADO (GNL)

La licuefacción del gas natural se remonta al siglo XIX, cuando el químico y físico inglés Michael Faraday experimentó con el licuado de diferentes tipos de gases, incluyendo el gas natural. El ingeniero alemán Karl Von Linde construyó la primera máquina de refrigeración a compresión en Múnich en 1873 y la primera planta de GNL (Gas Natural Licuado) fue construida en el Oeste de Virginia en 1912, pero no comenzó a funcionar hasta 1917.

La primera planta comercial de licuefacción fue construida en Cleveland, Ohio, en 1941 donde el GNL fue almacenado en tanques a presión atmosférica. La licuefacción del gas natural elevó la posibilidad de su transporte a lugares lejanos. En Enero de 1959, el primer tanque de GNL del mundo, el Pionero Metano (un tanquero de la Segunda Guerra Mundial reconstruido cargando cinco tanques prismáticos de aluminio, de 7,000 barriles de capacidad con soportes de madera y aislamiento de madera contrachapada y uretano) llevó una carga de GNL del Lake Charles, en Louisiana a La Isla Canvey, en el Reino Unido. Esto demostró que grandes cantidades de gas natural licuado podían ser transportadas de manera segura a través de los mares.



Figura 9. Terminal de GNL en Japón. Cortesía de www.nuestromar.org.

Durante de los siguientes 14 meses, siete cargas adicionales fueron entregadas con solo problemas menores. Continuando la exitosa función del Pionero Metano, el Consejo Británico de Gas procedió a implementar un proyecto comercial para importar GNL de Venezuela a la Isla de Canvey. No obstante, antes de que los tratos comerciales pudieran ser terminados, largas cantidades de gas natural fueron descubiertas encontrándose solo a la mitad de la distancia de Inglaterra a Venezuela. Con el arranque de 260 millones de pies cúbicos por día, el Reino Unido llegó a ser el primer importador de GNL mundial y Argelia el primer exportador. Argelia se ha convertido desde entonces en un proveedor de GNL muy importante mundialmente.

Después del éxito cosechado en el Reino Unido, plantas adicionales de licuefacción y terminales de importación fueron construidos en regiones del Atlántico tanto como el Pacífico. Cuatro terminales marítimas fueron construidas en los EE.UU entre 1971 y 1980 situadas en el Lake Charles (manejado por CMS Energy), Everett, Massachusetts (manejado por Tractebel a través del subsidiario Distrigas), La Isla Elba, Georgia (manejado por El Paso Energy), y Cove Point, Maryland (manejado por la Dominion Energy). Después de llegar a la cima de volumen de 253 millones de pies cúbicos en 1979, lo cual representó un 1.3% de la demanda de gas de los EE.UU, las importaciones de GNL disminuyeron debido a un exceso de gas desarrollado en América del



Norte y conflictos de precio con Argelia, único proveedor de GNL para los EE.UU en ese momento. Los terminales de recepción de la Isla Elba y Cove Point, fueron posteriormente cerrados en 1980 y los terminales de Lake Charles y Everett sufrieron por la poca utilización.

Las primeras exportaciones de GNL de los EE.UU hacia Asia se llevaron a cabo en 1969, cuando el GNL fue enviado a Japón. El GNL de Alaska es derivado del gas natural que es producido por Marathon y ConocoPhillips de los campos en las porciones más al sur del estado de Alaska, licuado en la planta de GNL de la Península de Kenai (una de las plantas de operaciones de GNL más antiguas del mundo) y enviado a Japón. El Mercado de GNL en Europa y Asia, continuó creciendo rápidamente desde ese momento.

En 1999, la primera planta de licuefacción de la Cuenca Atlántica en el hemisferio occidental comenzó su funcionamiento. Este evento, junto con el aumento en la demanda por el gas natural en los EE.UU (particularmente para la generación de electricidad) y el aumento en los precios del gas natural, reanudaron el interés por el GNL en el mercado estadounidense. Como resultado, los dos terminales de recepción previamente cerrados están siendo reactivados. El terminal en la Isla Elba fue reactivado en el 2001. En Octubre del 2002, la Comisión Federal Reguladora de Energía le dio su aprobación a Dominion Resources para re-abrir las instalaciones de GNL en Cove Point en el 2003.

5. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA

5.1. Densidad y temperatura de ebullición del gas natural

La densidad del gas natural depende de la composición pero se encuentra entre 430 kg/m^3 y 470 kg/m^3 aunque en algunos casos puede llegar hasta 520 kg/m^3 . La densidad es también función de la temperatura del líquido con un gradiente de aproximadamente $-1,35 \text{ kg m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

En lo que se refiere a la temperatura de ebullición del GNL, depende de la composición y está normalmente comprendida entre -166°C y -157°C a presión atmosférica. La variación de temperatura de ebullición en función de la presión de vapor es de aproximadamente $1,25 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C/Pa}$.

5.2. Funcionamiento del proceso

El gas natural está compuesto principalmente de metano (CH_4) y es transportado a la planta, mediante buques metaneros, en estado líquido. Antes de su descarga al metanero, el gas natural es sometido a un proceso de licuefacción, es decir, es enfriado hasta su punto de condensación (dando lugar a lo que se conoce como gas natural licuado GNL) para cambiar su estado físico y poder ser transportado y almacenado en estado líquido. Cabe mencionar que el volumen ocupado por el gas natural en estado líquido es de 600 veces menor que en estado gaseoso. Por ello, el GNL aumenta la capacidad de almacenamiento y transporte de dicho combustible.

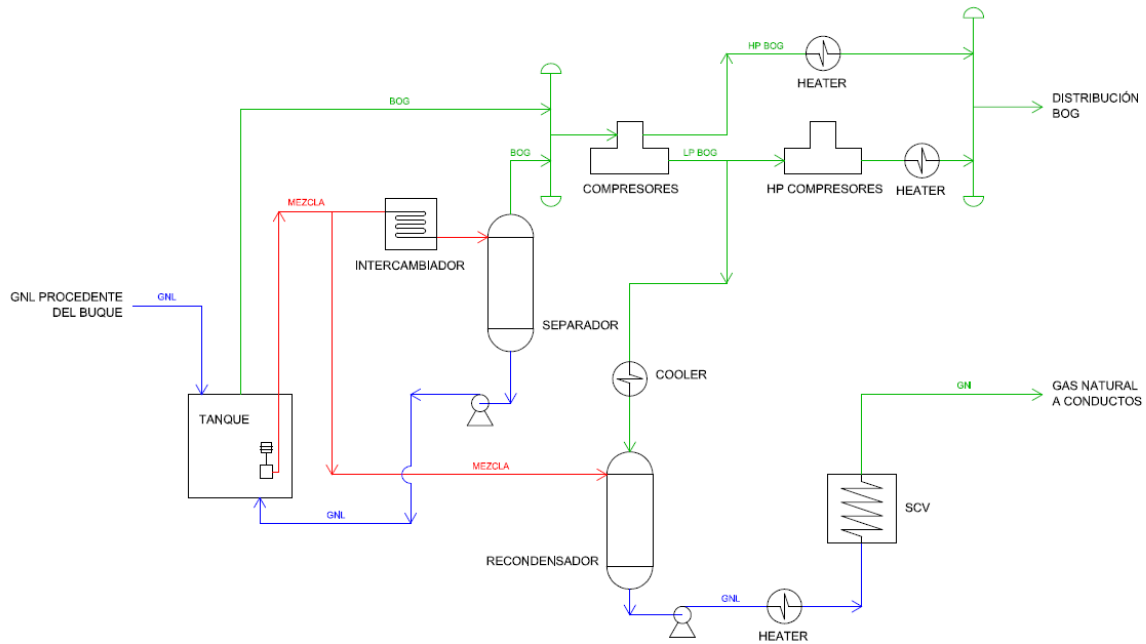


Figura 10. Diagrama de flujo del proceso.

Una vez el buque metanero se encuentre en el embarcadero, se inicia el proceso de descarga de manera que el GNL es transferido a un tanque de almacenamiento criogénico (con una capacidad de 180,000 m³) mediante unas bombas instaladas en la embarcación. Para conservar al gas en su estado líquido, dicho tanque conservará el GNL a una temperatura de -160°C y a una presión de 110 mbarg. Durante esta descarga, se genera una gran cantidad de gas en el tanque de almacenamiento debido a los siguientes motivos:

- El mayor aspecto a tener en cuenta es la temperatura ambiente que incide constantemente sobre la estructura del casco y que se transmite a las membranas aislantes. La temperatura exterior varía desde los -10°C hasta los 50°C, así que por muy eficiente que sea el aislante, el calor acaba incidiendo sobre el GNL, disminuyendo la temperatura del mismo unos 20°C. Es así por lo que se genera gran cantidad de vapores dentro del depósito. La producción de gases evaporados se puede manipular de diversas maneras con el fin de aprovecharlo en el mismo buque y hacer más eficiente su transporte. Los usos más comunes son:
 - Como combustible para calderas.
 - Como combustible para motores.
 - Para alimentar turbinas de gas y quemarlo en las unidades de combustión de gas.
 - Se vuelve a licuar y se recircula al tanque.
- Vaporización del GNL debido al intercambio de calor con el exterior durante el proceso de descarga entre el buque y el tanque de almacenamiento. Dicho intercambio se produce a través de las paredes y techo del tanque.
- Aunque la temperatura de almacenamiento es muy baja, no solo se encuentra GNL en el interior del tanque. Existe un equilibrio entre el GNL y el gas producido por la diferencia de temperaturas. Al iniciarse el proceso de descarga, el nuevo gas natural procedente del



buque desplaza el gas ya existente en el interior del tanque que se encontraba en equilibrio con el GNL. A la generación de ese nuevo gas ocasionado por el desequilibrio de GNL y gas existente en el interior del tanque se la conoce como efecto pistón.

Para una mayor comprensión del proceso, se tomarán dos circuitos diferentes dependiendo del estado en el que se encuentre el gas natural (gas o líquido):

Por un lado se encuentra el circuito de gas generado en el interior del tanque de almacenamiento. Este gas generado en exceso se denomina **BOG** (Boil-Off Gas) y tiene que ser evacuado del tanque para mantener la presión de diseño dentro del mismo, siendo extraído por los compresores. Previamente, el BOG pasará por un separador para separar el líquido del gas. Esto es necesario para evitar la llegada de las gotas de GNL a los compresores, lo que provocaría una avería de dichos equipos. Además se instalará un intercambiador de calor previo para aumentar la cantidad de BOG que llega al separador, aumentando la eficiencia de este equipo.

La estación de compresión está formada por cuatro compresores que succionan el BOG del tanque a 110 mbarg. Estos equipos pueden trabajar a alta y baja presión, pero nunca en ambos modos de forma simultánea. Dependiendo del modo de funcionamiento, el BOG será empleado para distintas funciones:

- Modo de Alta Presión (HP): El BOG es enviado directamente a un colector, precalentado previamente por un intercambiador, para su distribución a servicios. La presión de salida es de 85 bar(a).
- Modo de Baja Presión (LP): El BOG es comprimido hasta una presión de 4.8 bar(a) y:
 - Una parte es enviado a una estación de compresión (formada por dos compresores) para que salga a alta presión. Dicha corriente es precalentada y enviada al colector para su distribución.
 - La parte restante es enviada al re-condensador. En este equipo se mezclará con el GNL, procedente del tanque de almacenamiento, para conseguir recuperar esa parte de BOG a gas natural licuado y ser enviado a la estación de vaporización.

Por otro lado está la corriente del **GNL**. Dicho gas natural en estado líquido (aunque en realidad existe una pequeña proporción de BOG) es impulsado por unas bombas sumergidas, situadas dentro del tanque, y es enviado al separador. Este equipo desempeñará la función de separar la parte del BOG que acompaña al GNL proveniente del tanque. Por la parte superior del equipo saldrá el BOG, que es enviado a compresión, y por la parte inferior sale el GNL cien por cien en estado líquido. Este último será recirculado al tanque. Aguas arriba del separador se implementará un intercambiador de calor GNL-aire de tal manera que el GNL será precalentado antes de llegar al separador para aumentar la eficiencia de dicha separación. Dicho intercambiador de calor impulsará el aire mediante el uso de ventiladores.



El GNL procedente del separador es impulsado por las bombas a la estación de vaporización. Es aquí donde el GNL pasará a estado gaseoso y será enviado a la red de conductos para su distribución y servicios.

Tal y como se puede apreciar en la *Figura 8*, se implementarán intercambiadores de calor en la línea de BOG a baja presión (que es enviado al separador) y en la línea de GNL justo antes del vaporizador. Esta solución no es muy común en la práctica pero fue requisito del cliente debido a su experiencia en este tipo de plantas.

- Se instalará un **cooler** en la línea de gas aguas arriba del re-condensador con el objetivo de mejorar la eficiencia de éste equipo enfriando el gas justo a la entrada del mismo.
- Por el mismo motivo, el cliente exigió situar un **heater** en la línea de GNL aguas arriba de las bombas del re-condensador con el objetivo de precalentar el fluido antes de llegar al vaporizador, mejorando la eficiencia de este equipo.

Por último, se implementará un sistema de antorcha por motivos de seguridad de proceso.

5.3. Mínimo Técnico

El mínimo técnico se corresponde con el nivel de producción mínimo necesario que permite recuperar el BOG generado durante el proceso de almacenamiento, al tiempo al que se mantiene en frío todas los equipos encargados del almacenamiento de GNL, garantizando la completa disponibilidad de los equipos cumpliendo con las condiciones de seguridad de funcionamiento estable según normativa.

El mínimo técnico de una planta de regasificación está sometido a los siguientes condicionantes:

- Características del Terminal.
 - Número de tanques de almacenamiento y características de cada uno de ellos.
 - Área de descarga de los colectores.
 - Capacidad de emisión, implementación y actualización de los equipos y número de cargaderos en cisternas.
- Características del cargamento de GNL.
 - Calidad del GNL y permanencia del mismo a bordo de los metaneros.
 - Temperatura y presión de los barcos antes y durante la operación de descarga.
- Programación de descargas.
 - Control y estabilidad del GNL dentro de los buques.
 - Realizar operaciones de descarga sin quemar nada en antorcha.
 - Acondicionamiento de las presiones de los tanques después de la descarga.



- Rotación de los tanques
 - Alternar la producción de los tanques para homogeneizar el GNL evitando el envejecimiento del mismo.
- Adecuación de los equipos a los requerimientos de la programación
 - Paradas y arranques del bombeo primario y secundario.
- Mantenimiento mínimo del flujo continuo del sistema de bombeo
 - Mantener el caudal de recirculación de los equipos por encima de su mínimo técnico.
- Limitación de la temperatura del GNL de salida del re-condensador
 - Mantener el caudal suficiente de GNL para evitar la cavitación de las bombas.
- Criterios de Seguridad Medioambiental y de autoconsumo
 - No quemar BOG en antorcha.
 - No ventear BOG.

La operación por debajo del mínimo técnico conlleva un riesgo en el proceso porque ocasionaría un incremento de presión en el tanque situando a ésta por encima de los parámetros aceptables de seguridad y crearía un riesgo de estratificación dentro del tanque. A su vez, quemar BOG en antorcha conlleva un aumento en los costes de operación (aumenta los gastos de equipos en mantenimiento fuera del rango normal de trabajo) y también ocasiona el aumento de las emisiones de CO₂.

6. CONDICIONES DEL ENTORNO

La planta de regasificación estará situada en una zona de clima continental con una temperatura máxima de 37.1°C y una mínima de -12°C. La temperatura media será de 18°C y una humedad relativa del 80%. La planta tendrá acceso portuario por donde descargarán los buques, razón por la que la humedad es tan elevada.

7. COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL

El gas natural es un hidrocarburo que puede encontrarse en yacimientos, acompañado o no de petróleo. Si el gas natural se encuentra acompañado de petróleo se denomina gas asociado. En caso de que se encuentre solo el gas natural, se denomina gas libre. Sus componentes variarían según el yacimiento pero en general posee la siguiente composición:




Composición Gas Natural		
<p><i>Proyecto: Planta de Regasificación de GNL.</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 17 junio 2016</i></p> 		
Componente	Composición [%]	Estado Natural
Metano (CH ₄)	95.08	Gas
Etano (C ₂ H ₆)	2.14	Gas
Propano (C ₃ H ₈)	0.29	Gas Licuable
Butano (C ₄ H ₁₀)	0.11	Gas Licuable
Pentano (C ₅ H ₁₂)	0.04	Líquido
Hexano (C ₆ H ₁₄)	0.01	Líquido
Nitrógeno (N ₂)	1.94	Gas
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0.39	Gas

Tabla 2. Composición genérica de GNL.

Dado que la planta puede recibir GNL de diferentes yacimientos con diferentes composiciones, se seleccionarán tres posibles composiciones de gas natural a la hora de hacer los cálculos:


Casos Según composición		<p><i>Proyecto: Planta de Regasificación de GNL.</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 17 junio 2016</i></p> 		
Componente	Unidades	GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Metano (CH ₄)	% mol	95	90	80
Nitrógeno (N ₂)	% mol	5	10	20
Peso Molecular	Kg/kmol	16.54	17.24	18.44
Viscosidad	Pa.s	1.2E-3	1.4E-3	1.7E-3
Densidad	Kg/m ³	431	439	452

Tabla 3. Casos a estudio según la composición del gas.

8. DISEÑO DEL TANQUE CRIOGENICO DE ALMACENAMIENTO

8.1. Funcionalidad y condiciones de partida

El tanque de almacenamiento criogénico será el encargado de almacenar el gas natural en estado líquido a una temperatura inferior a -160°C . A través de unas tuberías, éste equipo conecta directamente con el embarcadero, donde el GNL será descargado por los barcos metaneros. En el interior de este equipo se encontrará una mezcla de GNL en equilibrio con el BOG (creado de la evaporización del GNL) siendo éste último extraído del tanque por motivos de seguridad y para impedir que aumente la presión en el interior del tanque. Se trata de un tanque de contención total de GNL.

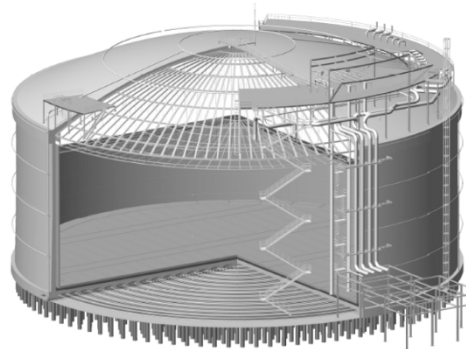


Figura 11. (Izquierda) Tanques de almacenamiento criogénico de GNL. Cortesía de Balzola. (Derecha) Sección de un tanque de almacenamiento de GNL. Cortesía de Energy world.

Se realiza una excavación (de unos 1.2 metros de profundidad) en el lugar donde se construirá el tanque de almacenamiento con el fin de que parte de este equipo se encuentre bajo tierra. A su vez, dicho tanque estará formado por:

- Un tanque interior compuesto de una capa de 3.5 mm de espesor de acero al 9%Ni en donde es almacenado el GNL. Este material dota al tanque de una resistencia frente a bajas temperaturas de hasta -180°C . Es la única parte del equipo que está en contacto directo con el fluido de operación. En el interior del tanque irán instaladas unas bombas sumergidas, que serán las encargadas de impulsar el GNL hacia el separador.
- Un tanque exterior compuesto de una capa de acero de 3.5 mm de espesor y recubierto por una capa de hormigón de 0.9 metros. Esta capa de hormigón será la que se encuentre en contacto directo con el exterior del tanque.

Entre ambos tanques se encontrará una capa de perlita extendida que actuará como aislante térmico para conservar el GNL a -160°C en el interior del equipo de almacenamiento. Dicho espacio de aislamiento será purgado con nitrógeno líquido y de manera continua para evitar la entrada de aire desde el exterior. También dispondrá de unos aisladores sísmicos situados en la base del recipiente para prevenirlo de cualquier incidencia de este tipo.

Las funciones que debe cumplir un tanque de almacenamiento de gas natural son:

- Retención del líquido.
- Estanqueidad del gas.
- Aislamiento térmico.
- Asegurar la seguridad del entorno

La alimentación de gas natural al tanque se realizará por la parte superior del mismo en donde las tuberías, tanto de GNL como de BOG, accederán al equipo y lo conectarán por un lado con el resto del proceso de regasificación y por otro con el embarcadero en donde descargan los buques metaneros.

Se incluirá la estructura que soportará las cargas del equipo (debidas al peso y al viento principalmente) y la escalera que proveerá un acceso por parte de los operarios a las partes importantes del tanque.

Todas las conexiones de tuberías e instrumentación se deberán realizar a través del techo del depósito.

La *figura 12* muestra un esquema de las diferentes partes de un tanque de almacenamiento de GNL típico con el fin de mostrar las diferentes capas del equipo.

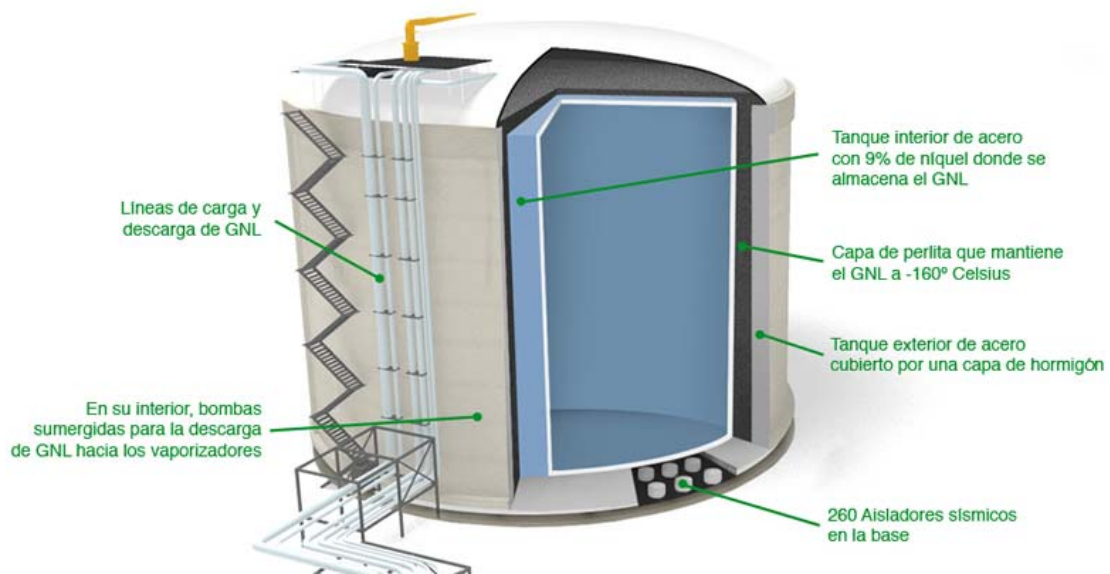


Figura 12. Componentes del tanque de almacenamiento de GNL. Cortesía de Irradia.

El primer paso para el diseño del tanque de almacenamiento es establecer unos datos de partida, ya sea bien requisito del cliente o propias suposiciones basadas en la experiencia en otras plantas de este tipo. A continuación se muestran las condiciones de partida:



- El cliente plantea una capacidad útil del tanque de 150,000 m³.
- El producto almacenado será GNL con una densidad nominal de 455 kg/m³ y una densidad máxima de 500 kg/m³.
- Temperatura de diseño y de operación de -163°C y -160°C respectivamente.
- Presión de diseño del tanque exterior a 180 mbar.
- Presión de operación del tanque de 110 mbar.
- Presión de servicio del gas de 60 mbar.
- Depresión máxima admisible de -4 mbar.
- Se exige una evaporación media de GNL en el tanque de 0.07% al día.
- 0.15% en peso por día del total del líquido.
- Relación volumen de BOG/GNL de 590 [m³/m³].
- Para los cálculos de intercambio de calor del tanque con el exterior, se tomará una temperatura ambiente de 18°C.
- Espesor de perlita (aislante) de 0.2 metros.
- Dado que existen muchos tipos de buques metaneros con sus correspondientes capacidades de transporte, se estimarán dos situaciones en referencia al caudal de llenado del tanque procedente del embarcadero:
 - 13,000 m³/h para buques con una capacidad de almacenamiento máxima de 160,000 m³/h.
 - 18,500 m³/h para buques con una capacidad de almacenamiento máxima de 240,000 m³/h. Este caudal será el que se escoja como caudal nominal de diseño para la planta.

Al tanque llegarán dos tuberías de GNL procedentes de los buques, ambas penetrando a través del techo. Una de esas tuberías descargará en el fondo del tanque y la otra lo hará por encima del nivel máximo de líquido. El objetivo es el de remover la mezcla del producto almacenado, evitando la formación de estratos (envejecimiento) de líquido de distinta densidad que aparecen con el tiempo.

8.2. Cargas externas

No solo es importante calcular los parámetros de operación relacionado con el GNL. También se debe calcular los esfuerzos a los que puede estar sometido el tanque debido a su propio peso o a condiciones externas. Para este propósito, se dividirá en tres partes:

Techo:

- Una carga correspondiente al propio peso del tanque de 50 kg/m².
- Carga por nieve (según el Reglamento Español de Construcción) de 25 kg/m².
- Carga concentrada debido a condiciones de operación de 270 kg/m² (dato suministrado por el cliente).

Pared Externa:

- Se tendrá en cuenta una carga de viento de 160 km/h, es decir, 44 m/s. Esta carga se transformará a una carga distribuida (aplicando la normativa UNE MV-101) :
 - De 123.43 kg/m² ($q=v^2/16$) para superficie plana.



- De 96.3 kg/m^2 ($0.78 \cdot 123.43$) para superficie curva.

8.3. Nivel del líquido

El volumen de GNL que es almacenado será proporcional tanto a la altura como al diámetro del tanque. Se ha de tener en cuenta que al aumentar el diámetro, el perímetro del tanque aumentará en πD , ocasionando unos mayores costes en relación con el acero al 9%Ni. A su vez, es necesario mantener una distancia de seguridad con el resto de equipos y estructuras ajenas al tanque, por lo que el diámetro no puede ser aumentado aleatoriamente. Un excesivo aumento del diámetro también implicaría un mayor refuerzo en la placa de cimentación aumentando su espesor para aportar una mayor rigidez a la estructura.

Por requisito del cliente, dada su experiencia en este sector, se establecerá una relación entre altura y diámetro del tanque interior de $r_i = 0.7H_t$ donde:

- r_i representa el radio del tanque interior en contacto con el GNL.
- H_t es la altura total del tanque interior.

Se deberá tener en cuenta que en el interior del tanque se encuentran seis bombas sumergidas encargadas de bombear el GNL hacia el separador. El fabricante de las bombas establece como requisito una altura mínima del líquido de 1.7 m. Por seguridad, se pondrá como mínimo nivel de líquido un metro por encima de la altura mínima recomendada por el fabricante de las bombas, resultando una altura de talón de 2.6 m.

Para la parte superior del tanque, se deberá dejar una altura libre de líquido en caso de que se pueda crear una ola producida por un seísmo. Por normativa se calculará de la siguiente manera:

- Según la norma NCSE-02, para un volumen de $150,000 \text{ m}^3$ se deberá dejar una altura de 40 centímetros.
- El sistema de válvulas asegurará que no se dispondrá de un sobrellenado superior a 8 centímetros. Según normativa, se le aplicará un coeficiente de seguridad de 1.5, resultando una altura adicional de sobrellenado de 12 centímetros.
- La alarma por exceso de GNL se situará 25 centímetros por debajo de las medidas anteriores. Una pre-alarma será instalada otros 15 centímetros por debajo de la alarma anterior.

Finalmente, la altura adicional resultante es de 92 centímetros.

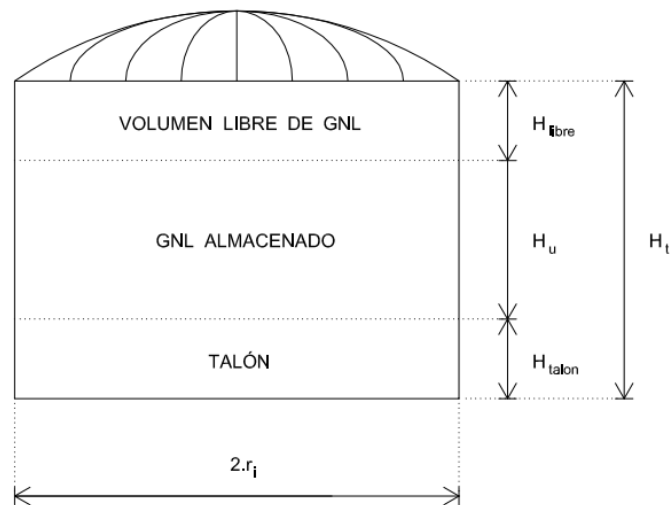


Figura 13. Dimensionado del tanque de almacenamiento criogénico.

8.4. Cálculo de la altura y el radio del tanque interior

Tras los datos de partida y aplicación de normativa expuestos anteriormente, se aplicarán las siguientes tres ecuaciones:

$$\text{Volumen útil} = 150000 = \pi * r_i^2 * H_u$$

$$r_i = 0.7 * H_t$$

$$H_t = H_u + \text{altura talón} + \text{altura adicional}$$

Finalmente se obtiene una dimensión final del tanque interior de 47.21 metros de alto por 33.05 metros de radio. Pero estas medidas no tienen en cuenta la contracción del material debido a las temperaturas a las que va a estar sometido el tanque durante el proceso. Dicha contracción se tendrá en cuenta con la siguiente fórmula:

$$\Delta L = \alpha * L * \Delta T$$

Donde:

- $\alpha \equiv$ coeficiente de dilatación lineal del material; $9.2 * 10^{-6} [^{\circ}\text{C}^{-1}]$ acero 9%Ni
- $L \equiv$ es la longitud de la circunferencia del tanque ($2 * \pi * r_i$) [m]
- $\Delta T \equiv$ gradiente de temperatura entre temp. ambiente (25°C) y la de operación

Ese incremento de longitud provoca una disminución del radio interior (r_i) resultando un valor final de 33 metros. Una vez obtenido este radio, se vuelve a calcular la altura útil y la altura total del tanque, resultando ésta última de 47.13 metros.

8.5. Cálculo de la cúpula del techo del tanque

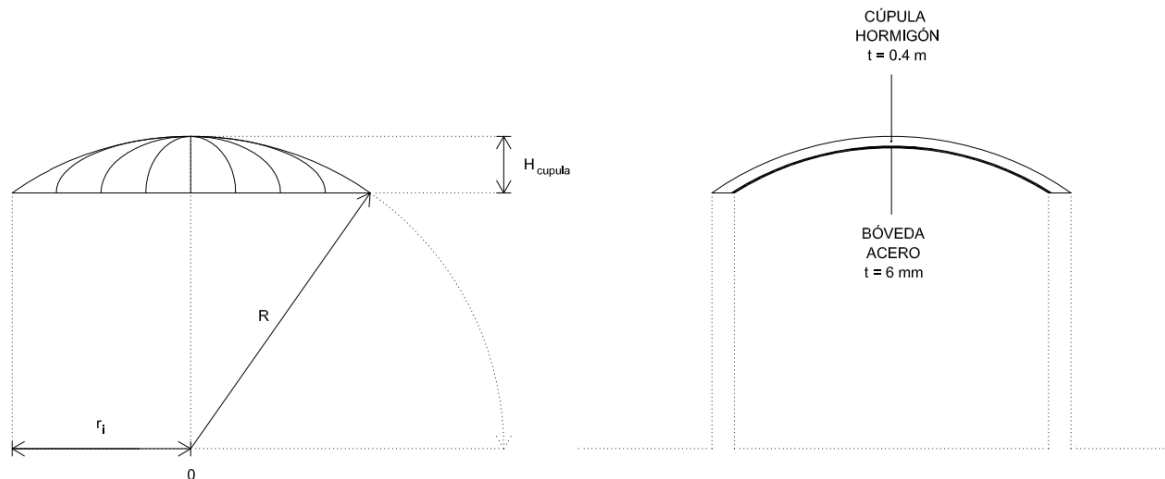


Figura 14. Esquema del dimensionado de la cúpula del tanque.

El techo del depósito consistirá en una cúpula esférica cuyo radio se corresponde con el radio del tanque interior ya calculado (33 m). El ángulo de ataque seleccionado será de 30° , dado que para el hormigón dicho ángulo es el que ofrece mayor resistencia. Por lo tanto:

$$R = \frac{r_i}{\text{sen } 30^\circ} = 66 \text{ m}$$

Finalmente, la altura de la bóveda será:

$$R^2 + r_i^2 = (R - H_{\text{cúpula}})^2 ; H_{\text{cúpula}} = 7.8 \text{ m}$$

Los espesores, tanto del aislante como del hormigón, son los expuestos en la *figura 13* y resultan de la aplicación de la normativa debido a las medidas de la cúpula previamente obtenidas.

8.6. Dimensionado Tubería de descarga a Tanque

Tal y como se comentó en los datos de partida para el diseño del tanque, el atracadero está preparado para recibir tanto buques de gran tamaño como otros de tamaño más reducido. En cuanto al diseño de tuberías, se dimensionará para el caso en el que exista el mayor caudal de descarga posible, es decir, $18,500 \text{ m}^3/\text{h}$. Por requisito del cliente y para evitar excesivas turbulencias de flujo de GNL durante la descarga, se fijará una velocidad máxima del fluido de 8 m/s . Con esta medida también se reducirán las pérdidas de carga, el ruido y la posibilidad de cavitación durante el desarrollo de la misma.



Para el cálculo del diámetro de la tubería de descarga se empleará la siguiente fórmula:

$$Q = v * A = v * \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 * Q}{3600 * v * \pi}}$$

Para un caudal (Q) de 18500 m³/h y una velocidad (v) de 8m/s, se obtiene un diámetro de 36".

8.7. Otras consideraciones

Para la evacuación del BOG (vapor generado por el GNL) se empleará una tubería que conectará a través del techo del tanque. La determinación del volumen de vapor generado tendrá en cuenta la temperatura ambiente y la presión atmosférica en la planta. Se asumirá que el BOG está compuesto únicamente por metano y que la temperatura de la parte superior de la losa en contacto con la base del tanque es de 7°C, siendo éste el caso más desfavorable.

Esos 7°C se deben al sistema de calefacción radiante que se instala justo debajo del tanque para evitar la congelación de esa zona debida a las temperaturas criogénicas en las que se opera en el equipo. De esta manera, la temperatura del terreno justo debajo del tanque siempre permanecerá por encima de los 0°C.

Espesores de acero al 9%Ni, aislante y hormigón serán calculados por normativa según las dimensiones del tanque obtenidas anteriormente.

Por último, se mostrará una lista de los equipos, tuberías y demás componentes que deberán ser implementados por condiciones de operación y seguridad:

- Bombas criogénicas sumergidas con sus correspondientes mecanismos de elevación necesarios para su mantenimiento, pozos donde irán instaladas y demás elementos auxiliares como por ejemplo válvulas e instrumentación.
- Tuberías de llenado de los tanques, de recirculación de GNL, de alimentación a bombas secundarias, de circulación del BOG hacia compresores y demás necesarias para aire de instrumentación y suministro de nitrógeno. Todas ellas irán provistas de válvulas de corte, de control y necesarios by-pass, así como del aislamiento requerido según la temperatura de funcionamiento de la tubería en cuestión.
- Estructuras y soportes de tuberías, plataformas, escaleras, raíles y pasarelas.
- Válvulas de protección de tarado (sobrepresión) y de vacío.
- Instrumentación para la medición de presión, temperatura y nivel de GNL.
- Sistema de detección y control de fuegos.
- Sistema de calentamiento en la base del tanque, para evitar el congelamiento del terreno, tal y como se mencionó anteriormente.
- Cableado necesario para los motores de las bombas sumergidas así como también para la instrumentación y el sistema de calentamiento, incluyendo bandejas y las pertinentes conexiones.

El almacenamiento debe asegurar una tasa estable de producción de gas natural frente a las discontinuidades de carga y descarga del tanque. La permanencia del GNL en el interior del tanque varía según los requisitos de la planta y almacenaje. Normalmente en Europa y Estados

Unidos se trata de varios días, mientras que en Japón puede ser de hasta un mes de almacenamiento. Se realizará una prueba hidráulica para comprobar la consistencia del tanque.

8.8. Características de los materiales del tanque

8.8.1. Hormigón pretensado

La tabla 4 muestra los datos característicos del hormigón. Cabe destacar que la compresión admisible es el resultado de dividir la resistencia del muro del hormigón entre el factor de seguridad de diseño (según normativa).


Datos Hormigón Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 junio 2016		Proyecto: Diseño de Planta Regasificación de Gas Natural		
CONDIONES HORMIGÓN				
Resistencia muros [kg/cm ²]		300		
Resistencia cúpula [kg/cm ²]		200		
Factor Seguridad		1,6		
Compresión. admisible [kg/cm ²]		187,5		
Coef. Contracción térmica [K ⁻¹]		0,8x10 ⁻⁵ (Temp. amb.)		
Coef. Contracción térmica [K ⁻¹]		0,64x10 ⁻⁵ (-160°C)		

Tabla 4. Datos del hormigón.

8.8.2. Materiales metálicos

La tabla 5 muestra la normativa aplicada para cada material del tanque.


Normativa Materiales Metálicos Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 junio 2016		Proyecto: Diseño de Planta Regasificación de Gas Natural		
MATERIALES EMPLEADO SEGÚN NORMATIVA				
Material		Norma		Apéndice
Chapa de acero al 9%Ni		ASTM		A553
Acero inoxidable		ASTM		A353
Chapa de aluminio		ASTM		B209
Acero al Carbono		API 620		Q
Tuberías criogénicas		API 620		Q

Tabla 5. Normativa según el material empleado.



8.9. Generación de BOG dentro del tanque

Como ya se explicó en el apartado de *Funcionamiento de la Planta*, parte del GNL pasará a ser BOG, gas natural en estado gaseoso, durante el proceso de descarga hacia el tanque (ya sea por desplazamiento del gas o por el intercambio de calor que se produce en las tuberías) y durante el proceso de almacenamiento del GNL en el depósito criogénico.

Primero, se calculará la **cantidad de gas desplazada** durante la descarga del metanero hacia el tanque. Para ello se partirán de las siguientes condiciones iniciales:

- Máxima descarga al tanque, es decir, máxima capacidad del tanque de 150000 m³.
- Densidad de 1.81 kg/m³.
- Caudal de la bomba primaria de 2200 m³/h.
- Cantidad de GNL desplazado en el interior del tanque que se convierte en BOG del 2% (según normativa).
- El gasto másico de BOG desplazado será el resultado de multiplicar la densidad del BOG por el volumen/hora desplazado (volumen procedente del metanero menos el impulsado por las bombas) y por el porcentaje de conversión.

A continuación se calculará el gasto másico **de gas generado en el interior del tanque**. Para obtener el calor latente del gas natural, se aproximará al calor latente del metano a -160°C y 110 mbar. Esta aproximación es correcta porque el metano será el componente mayoritario del gas natural, en torno al 90% en la mayoría de los casos. Se partirán de los siguientes datos:

- Evaporación media de GNL al día del 0.15% en peso.
- Un calor latente a -160°C (λ) de 511 kJ/kg.

El gasto másico se obtendrá mediante la multiplicación del calor latente, le evaporación diaria y el volumen del tanque.

A continuación se calculará la cantidad de **BOG generado en el buque metanero** durante el transporte del GNL a la planta. Para ello se tendrá en cuenta los siguientes parámetros:

- Volumen del barco, como caso más desfavorable de 250000 m³.
- Un calor latente a -160°C (λ) de 511 kJ/kg.
- Evaporación media de GNL al día del 0.15% en peso.
- Un calor latente a -160°C (λ) de 511 kJ/kg.

El gasto másico se obtendrá mediante la multiplicación del calor latente, le evaporación diaria y el volumen del tanque.

Por último se calculará la generación de BOG debido al intercambio de calor a través de tuberías. Se considerará:

- Ganancia de calor en tuberías de 30 W/m² según normativa.
 - Ganancia de calor en codos de 70 kW/codo, teniendo 4 codos a lo largo de la línea de descarga.
-

- Diámetro de descarga de 36", con una longitud de 1320 metros.

Finalmente, y sumando todas estas generaciones, se obtiene un caudal de BOG de 4084.46 m³/h.

9. BOMBAS CRIOGÉNICAS SUMERGIDAS DE GNL

9.1. Bombas in-tank 110-BA/BB/BC/BD/BE/BF

Son bombas sumergidas criogénicas instaladas en el fondo del tanque de almacenamiento de GNL cuya misión es suministrar caudal y presión del fluido al re-condensador a una presión aproximadamente de 9 bar. Dicha presión es el resultado del cálculo de las pérdidas de carga a lo largo del conjunto de líneas de GNL involucradas entre el tanque de almacenamiento y el re-condensador y el intercambiador.

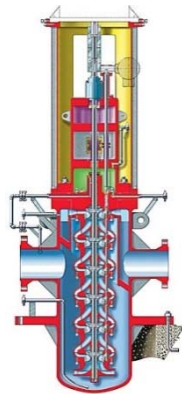


Figura 15. Bomba criogénica sumergible. Cortesía de Flowserve.

El GNL es un buen medio dieléctrico y es empleado como lubricante de las bombas al mismo tiempo, haciendo posible sumergir la bomba junto al motor en el mismo depósito. Se trata de seis bombas verticales completamente sumergidas en el fluido de operación. Para el diseño de las mismas se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se establecerá un nivel mínimo del tanque de 1700 mm, es decir, un NPSH_r = 1.7 m proporcionado por el tanquista (se exige un 3% de la altura del tanque). Como factor de seguridad, se empleará un margen de seguridad para el NPSH disponible de 0.3 metros, resultando éste último con un valor de 2 metros.
- Dicho límite dará un caudal de 2200 m³/h para cada bomba.
- De las seis bombas, cuatro estarán funcionando a caudal nominal (2200 m³/h), una quinta trabajará a un caudal menor (630 m³/h) con el objetivo de mantener un nivel de estabilidad de producción de gas natural y una sexta se encontrará parada y actuará como equipo de reserva.
- El fluido de trabajo será GNL.

Con estos parámetros, se seleccionarán las bombas vía fabricante. Los parámetros finales se encuentran en los anexos.

Estas bombas tendrán las siguientes condiciones de operación para garantizar el correcto funcionamiento de la planta:

- Las bombas 110-BA/BB/BC/BD/BE estarán diseñadas para un caudal nominal de 2200 m³/h (de las cuales estarán operando a dicho caudal excepto la 110-BE que será empleada como bomba de reserva).
- La bomba 110-BF estará diseñada para un caudal nominal de 630 m³/h (normativa) y será la encargada de variar su producción para mantener una alimentación estable de GNL a los diferentes equipos.
- Todas las bombas estarán provistas de un sistema by-pass.

Como principal fabricante de bombas criogénicas que operan con GNL se elegirá a Nikkiso.



Figura 16. Bomba criogénica seleccionada. Cortesía de Nikkiso.

Las bombas estarán certificadas según la norma ISO 9001 (norma de la gestión de la calidad) y la norma ISO 14001 (norma de gestión ambiental).

Las fuerzas radiales se equilibrarán mediante el difusor simétrico y la eliminación de la inestabilidad hidráulica. Además la bomba contará con un cabezal de succión positiva mínima.

10. SEPARACIÓN BOG-GNL

Para la separación del BOG frente al GNL se empleará un **separador líquido-gas**, que es un recipiente que dispone de un mecanismo sencillo (estático o rotatorio) que favorece la separación de los líquidos por gravedad. Aguas arriba de este equipo se instalará un intercambiador de calor por el que el fluido procedente del tanque será precalentado (en su intercambio con el aire) con el objetivo de generar una pequeña cantidad de gas en dicha corriente de GNL para mejorar la eficiencia del separador. La diferencia de temperaturas en este intercambiador será de cinco grados centígrados, intercambio para crear la suficiente cantidad de gas que mejore la eficiencia del separador.

Los intercambiadores de calor criogénicos constituyen el núcleo de una planta de licuefacción de gas natural. Dicho intercambiador estará dotado de un ventilador que impulsará el aire. El GNL realizará su recorrido por medio de tubos formando un serpentín. La corriente de aire hará de corriente caliente, la cual transferirá calor a la corriente fría (que en este caso es el GNL).

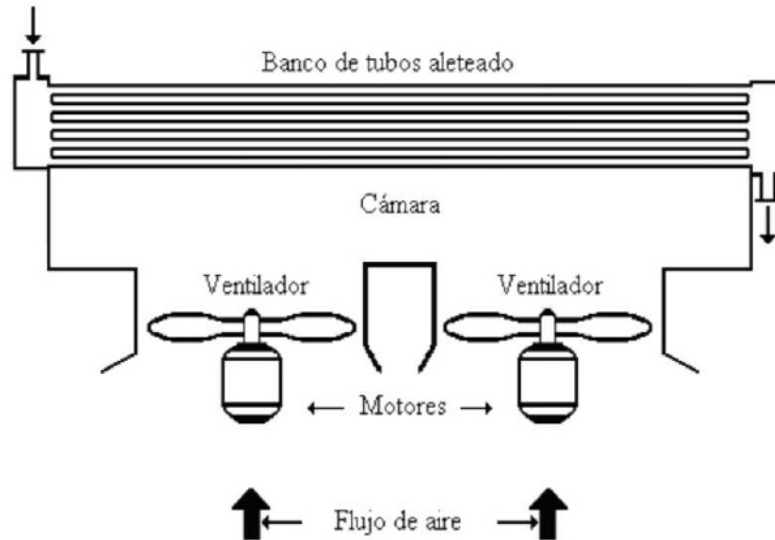


Figura 17. Esquema de un intercambiador de calor. Cortesía de Slideshare.

Paras los cálculos del intercambiador se tomarán las siguientes suposiciones:

- Una diferencia de temperaturas del GNL de -5°C .
- Transmitancia térmica de 0.047 kW/m.K

Se calculará el calor intercambiado con la siguiente ecuación:

$$Q = \dot{m} * C * (T_{salida} - T_{entrada})$$

Previamente, se habrá calculado la pérdida de calor durante el transporte del GNL por medio de la tubería cumpliendo la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{per} = 2 * \pi * K_{tub} * L_{tub} * \left(\frac{\ln(T_{amb} - T_{GNL})}{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)} \right)$$

Donde R_{ext} y R_{int} corresponden a los radios exterior e interior de la tubería. Finalmente se empleará la ecuación de intercambio de calor (empleada en el intercambiador) para calcular la temperatura a la que llega el GNL al equipo:

$$T_{120-IC} = T_{tanque} + \frac{\dot{Q}_{per}}{\dot{m}_{GNL} * C_p}$$

Una vez calculado el calor intercambiado, se calculará el área de intercambio del mismo. Para ello, será necesario calcular el incremento de temperatura logarítmica media:



Figura 18. Esquema para el cálculo de la temperatura logarítmica media.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad ; \quad \Delta T_1 = T_{sal. aire} - T_{ent. GNL} \quad ; \quad \Delta T_2 = T_{ent. aire} - T_{sal. GNL}$$

Y finalmente el área de intercambio será:

$$A = \frac{Q}{U * \Delta T_{lm}}$$

El intercambiador de calor estará dotado de unas aletas que disiparán el calor. Dadas las condiciones de operación llevadas a cabo en el intercambiador, se generará un 30% de BOG en el caudal proveniente del tanque durante todo el recorrido y su intercambio de calor con el aire.



Figura 19. Separador de GNL. Cortesía de Grupo Sistafi.

Este tipo de separadores se usan para separar gotas de líquido que pueden ser arrastradas en una corriente de gas. Suelen ser utilizados como medida de protección antes de una etapa de



compresión, para impedir que entre líquido en los compresores, o para una corriente en donde no interesa que exista líquido debido a problemas de transporte y/o almacenamiento.

Se empleará un separador vertical por gravedad. Es el mecanismo de separación que más se utiliza debido a que el equipo requerido es muy simple. Estas partículas de líquido descienden por la acción de la gravedad y se aceleran hasta que la fuerza de arrastre se balancea con la fuerza gravitacional. Después de este suceso, las partículas continúan cayendo a una velocidad constante conocida como velocidad de asentamiento o velocidad terminal. Dicha velocidad de asentamiento marcará la velocidad máxima que debe llevar la corriente de gas para que la separación sea eficiente.

Etapas del separador:

- Sección Primaria: La corriente de fluidos llega al separador a alta velocidad ocasionando una turbulencia entre la fase gaseosa y la fase líquida. Para reducir el impulso de la corriente (debido a su alta velocidad de llegada) y disminuir la turbulencia, se utilizará un elemento giratorio que inducirá una fuerza centrífuga al flujo separando los volúmenes de líquido del gas. Dicha separación se consigue porque el líquido es más pesado que el gas, y éste sale a mayor velocidad del elemento giratorio.
- Sección Secundaria: El principio más importante de la separación en esta sección es la decantación del líquido por gravedad desde la corriente de gas, una vez reducida su velocidad. La eficiencia en esta sección depende de las propiedades del gas y del líquido, del tamaño de las partículas y del grado de turbulencia del gas. El grado de turbulencia debe ser reducido al mínimo. En esta etapa se terminarán de separar las gotas de GNL que no lo hicieron con la fuerza centrífuga por gravedad, ya que la corriente de gas se eleva a la parte superior del equipo cayendo dichas gotas al fondo del separador.
- Sección de Extracción: Aquí se separan las minúsculas partículas del líquido que aún contiene el gas haciendo pasar la corriente por el extracto de neblina. Será en este extractor donde el gas encuentre una serie de obstáculos con los que chocará, dejando adheridas las gotas de GNL que aún contiene. En dicha etapa las pequeñas gotas de líquido se separan de la corriente de gas en forma de grandes gotas (coalescencia), que finalmente caen a la zona de recepción de líquido.

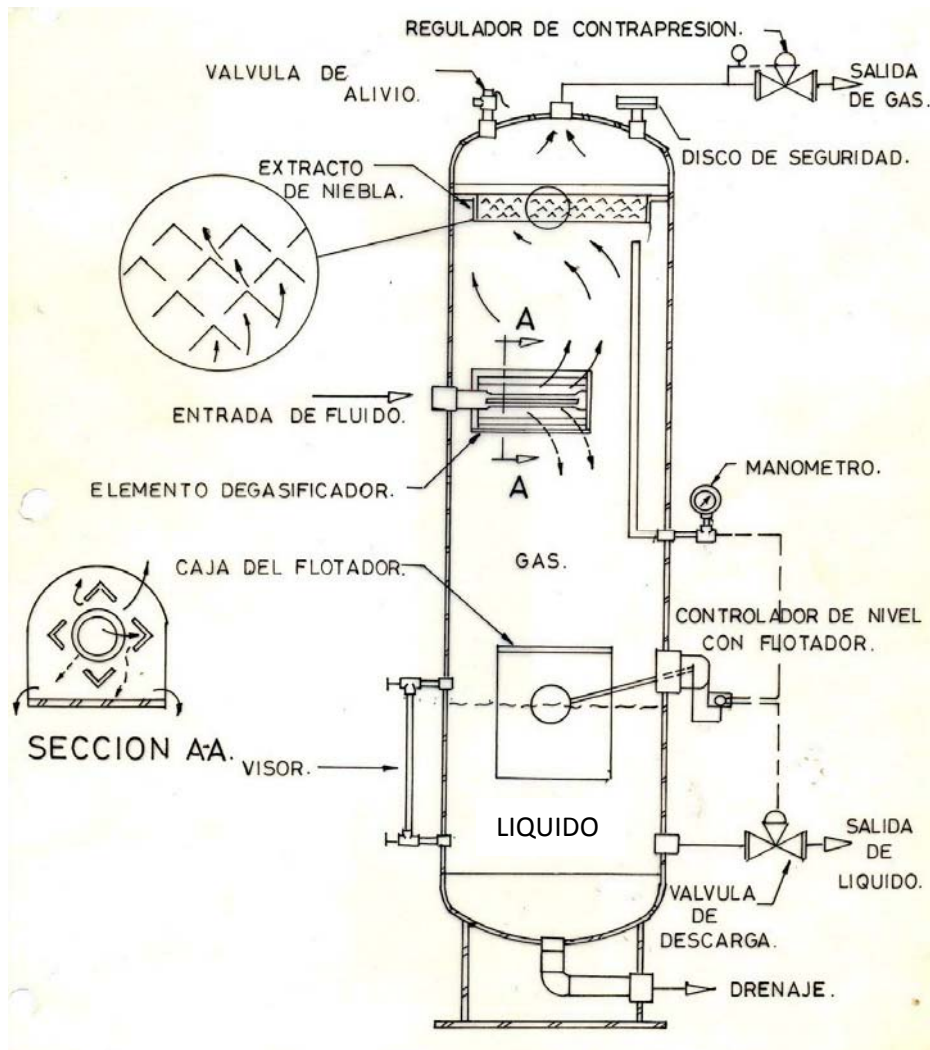


Figura 20. Esquema de un Separador. Cortesía de New Gas Systems.

La sección de acumulación de líquido estará separada del resto del separador por una placa cuya función es tratar de mantener la superficie del líquido lo menos turbulenta posible facilitando la liberación del gas.

El extractor de neblina será de tipo veleta, el cual está formado por una serie de placas paralelas que componen un laberinto. Cada una de las placas contará con varias bolsas para retener el líquido que se adhiere cuando el gas choca con estas paredes. Resulta muy eficiente para separar partículas de líquido mayores de 1 micra. La eficiencia de un extractor de neblina de este tipo, aumenta al colocar las placas de metal más juntas o al instalar más bolsas para retener el líquido, pero un exceso en este dimensionamiento ocasionaría mayores pérdidas de carga. Dado que el separador cuenta con un tubo de drenaje de líquido, se debe vigilar que la caída de presión a través del extractor no sea mayor que la correspondiente a la columna hidrostática.



La velocidad con la que dicha corriente debe pasar por el separador para garantizar la completa separación se calculará con la siguiente ecuación:

$$v = k * \sqrt{\frac{(\rho_{GNL} - \rho_{BOG})}{\rho_{BOG}}}$$

Donde:

- $k \equiv$ coef. que depende de la gravedad y viscosidad del fluido. Se tomará 0.35
- $\rho_{GNL} \equiv$ densidad del gas natural licuado [kg/m^3]
- $\rho_{BOG} \equiv$ densidad del BOG [kg/m^3]

Esta velocidad, que resulta de 5.64 m/s, será la exigida a los compresores, que serán los que extraigan la corriente de gas del separador. Se la conoce como velocidad crítica, velocidad que deberá tener el vapor para asegurar la perfecta separación del propio gas del líquido.

Aguas abajo del separador estarán instaladas cuatro bombas (tres funcionando normalmente y una de reserva), que serán las encargadas de recircular el GNL al tanque de almacenamiento.

El diámetro del separador será calculado de la siguiente manera:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

Donde Q es el caudal de entrada en el separador en m^3/h .

11. RECONDENSADOR

También llamado re-condensador, es un equipo a presión con la misión de convertir todo el BOG procedente de los compresores en GNL para ser enviado posteriormente a la estación de vaporización. Esta transformación del BOG en GNL se consigue mediante el intercambio de calor a contra corriente entre dichos fluidos, aprovechando el GNL subenfriado procedente del tanque de almacenamiento. En el interior del equipo se instala un lecho de relleno desordenado que permitirá el contacto necesario entre ambas corrientes efectuándose así el cambio de fase con un rendimiento del 100%, es decir, todo el BOG se convierte en GNL desapareciendo cualquier vestigio de gas a la salida del relicuador.



Figura 21. Relicador de gas natural licuado (GNL). Cortesía de Gas Processing News.

La variable de diseño será la presión de fondo del propio equipo. El criterio a seguir es que dicha presión debe estar, al menos, 1 bar por encima del valor de presión de burbuja (presión de saturación) de la corriente del fondo. Mediante este criterio, la aspiración de las bombas no alcanzará nunca la presión de vapor evitando la cavitación y garantizando que siempre aspiran líquido. La **presión de saturación** dependerá de la temperatura a la que se encuentre el GNL en el re-condensador. Para ello es necesario calcular a qué temperatura llega a este equipo partiendo de una temperatura de -160°C procedente del tanque. Las pérdidas térmicas a lo largo de la tubería siguen la siguiente ecuación:

$$Q = 2 * \pi * k * L * \frac{\ln(T_{ext} - T_{int})}{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}$$

- $Q \equiv$ calor transferido con el exterior [kW]
- $k \equiv$ coeficiente de transmisión de calor $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}} \cdot \text{K}\right]$
- $L \equiv$ longitud de la tubería [m]
- $T_{ext} \equiv$ temperatura exterior [$^{\circ}\text{C}$]
- $T_{int} \equiv$ temperatura del fluido [$^{\circ}\text{C}$]
- $r_{int} \equiv$ radio interior de la tubería [m]
- $r_{ext} \equiv$ radio exterior de la tubería [m]

Una vez calculado las pérdidas térmicas a lo largo de la tubería, se procederá a calcular la temperatura del GNL en el momento en el que llega al tanque.

Obtenida esa temperatura, la presión de saturación será obtenida empleando la gráfica que se puede encontrar en los anexos. Para este caso en concreto, debido al aislante implementado en las tuberías y al gran caudal que transportan, las pérdidas térmicas resultan despreciables. Finalmente, resulta una presión de 9 bar, luego la presión del tanque será de 10 bar.

Es muy común que el relicuador realice dos funciones al mismo tiempo:

- Relicuar el boil-off gas. Para ello se introducirá una corriente de BOG y otra de GNL (procedente del tanque), ambas por la parte superior del equipo, con el objetivo de producir un intercambio de calor entre ambos fluidos convirtiendo todo el gas en estado líquido.
- Actuar como depósito pulmón para la aspiración de las bombas secundarias (las que impulsarán el resultante GNL a vaporizadores). Para ello deberá ir dotado de una columna interna donde se ubica el relleno que transforma el BOG en GNL y también deberá tener un recipiente exterior para almacenar el GNL y mantener un nivel constante.

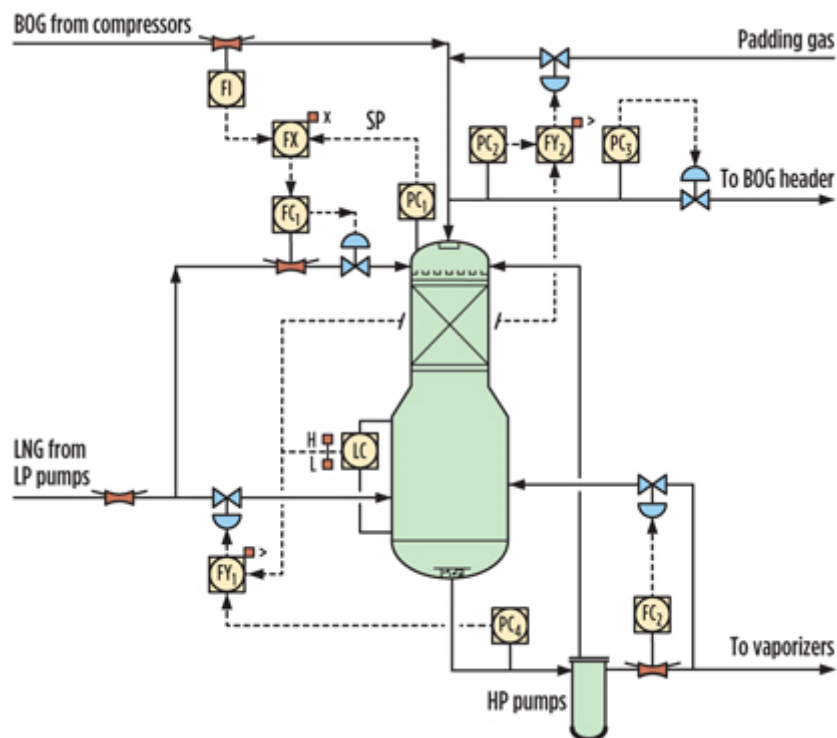


Figura 22. Esquema de un relicuador. Cortesía de Gas Processing News.

A la salida del re-condensador se tendrá GNL como líquido saturado. Tal y como se puede ver en la figura anterior, por la parte inferior del recipiente entrará el GNL, procedente del tanque, y por la parte superior entrará el BOG procedente de compresores. Si el caudal de boil-off gas es muy reducido, se introducirá el GNL por la parte superior del recipiente, para mejorar la eficiencia del equipo. Se realizará una recirculación de GNL aguas abajo de las bombas secundarias con el motivo de suministrar el fluido líquido al re-condensador en caso de que el caudal de GNL procedente del tanque sea escaso. Asumiendo una eficiencia del equipo del 100%, las bombas asociadas al re-condensador deberán estar diseñadas para impulsar un caudal de GNL.

12. COMPRESORES DE BOG

12.1. Introducción

Los compresores son máquinas rotativas capaces de comprimir un gas e impulsarlo de un punto a otro dentro de un determinado proceso. Este tipo de equipos son comúnmente empleados en turbinas de gas, circuitos refrigerantes, circuitos neumáticos para el funcionamiento de sistemas de seguridad, válvulas, y otro tipo de sistemas.

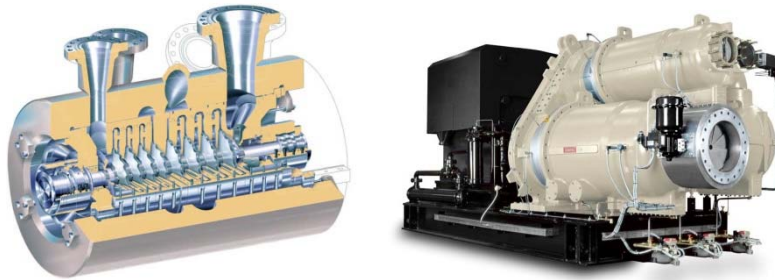


Figura 23. Compresor centrífugo. Cortesía de Direct Industry.

La elección del tipo de compresor estará basada en el siguiente monograma:

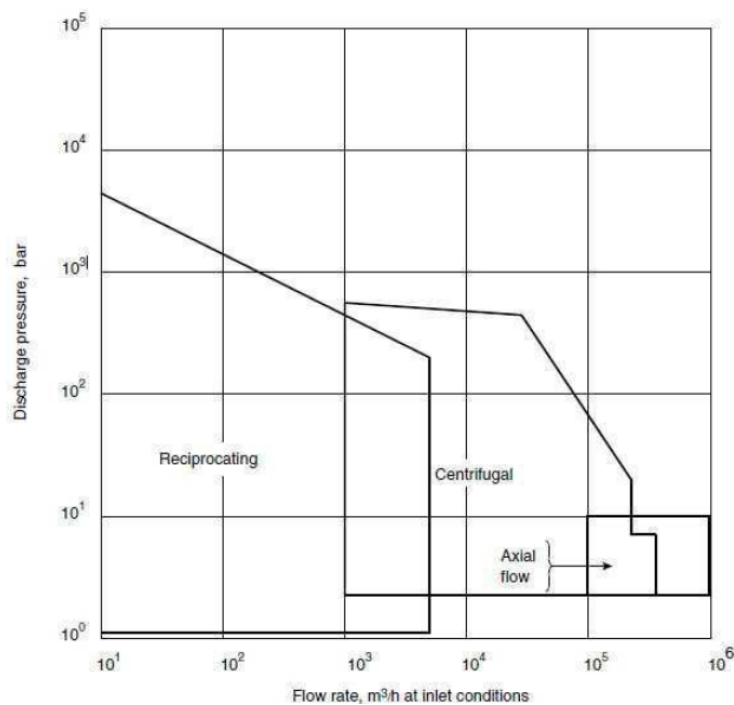


Figura 24. Monograma para la selección del tipo de compresores. Cortesía de IHI.

Para este caso en particular, se empleará un compresor centrífugo. Este tipo de compresores se encargan de aumentar la energía cinética del BOG elevando su velocidad tangencial. Dicho gas entra por la tobera de admisión y para pasar posteriormente por el rodete que comprimirá el

gas y generará el flujo turbulento. Este rodete o impulsor estará rodeado de un difusor cuya misión es reducir la velocidad del gas a la salida del rodete.

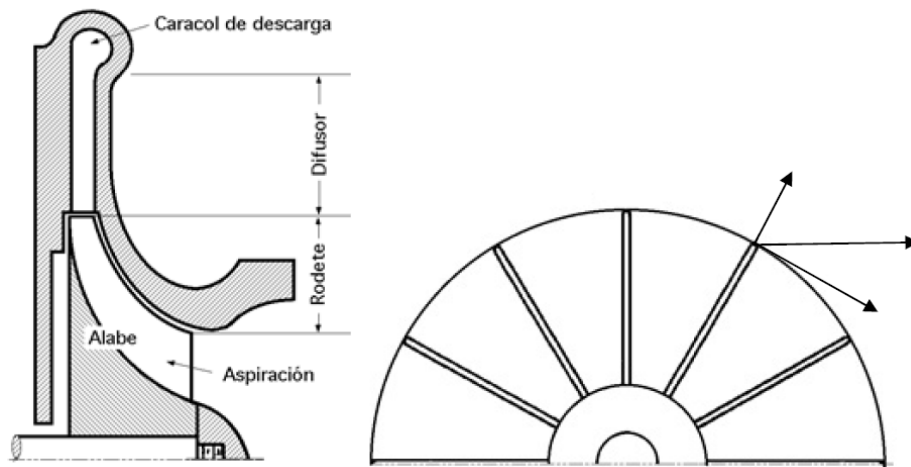


Figura 25. Sección de un compresor. Apuntes Universidad Pontificia Comillas.

El equipo estará dotado de un sello mecánico para prevenir el escape del gas. Para este tipo de compresor centrífugo se empleará un sellado de tipo laberíntico, el cual está compuesto de numerosas ranuras rectas que se ajustan en torno al eje del equipo haciendo pasar al fluido por un largo y difícil camino para poder escapar. Deberá existir una pequeña holgura entre los bordes del laberinto y la superficie sobre la cual deslizan para permitir el correcto funcionamiento del eje.

El rodete poseerá los álabes de entrada guiados para facilitar la dirección de entrada del flujo requerida. Dicha inclinación afectará a los parámetros del compresor y sobre todo a su línea de auge.

Los compresores estarán formados por dos etapas separadas las unas de las otras por un diafragma. El diafragma es un componente estacionario del equipo que controlará la velocidad y dirección del gas.

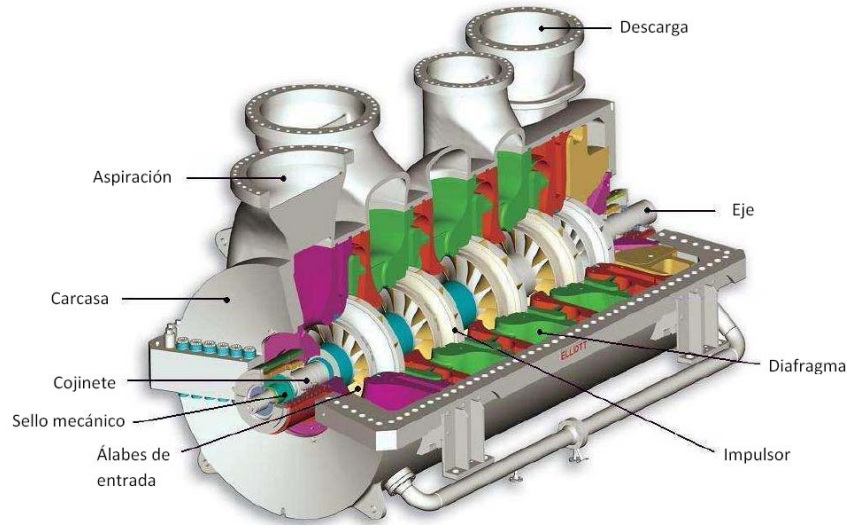


Figura 26. Partes de un compresor centrífugo. Cortesía de LOIDI.

Dicho compresor tendrá incorporado un manómetro y un termopar para controlar y monitorizar constantemente la presión durante el proceso.

También llevará instalado un intercooler para refrigerar al gas durante el proceso de compresión. Dado que se tratará de una potencia superior a 30 kW, se necesitará un sistema cerrado de agua que actuará como refrigerante. Dicho sistema ayudará a prolongar la vida útil del equipo.

Se diseñará un circuito de lubricación de aceite para asegurar el correcto funcionamiento de todas las partes del compresor.

Se implementarán dos compresores (uno funcionando de forma continua y uno de reserva) capaces de trabajar a alta y baja presión (nunca al mismo tiempo). Las siguientes características de los compresores son enumeradas:

- **Modo alta presión (HP).** Una capacidad máxima de 17 ton/h y un rango de temperaturas de entrada que oscila entre -70°C y -160°C . La presión de salida será de 85 bar.
- **Modo baja presión (LP).** Una capacidad máxima de 13 ton/h y una presión de descarga de 4.8 bar.

Ambos modos tienen una capacidad de control de 5 escalones (0/25/50/75/100%).

Se realizará una parada del compresor cada vez que se quiera cambiar el modo de funcionamiento del mismo, es decir, baja o alta presión (nunca trabajará a ambos modos a la vez ni podrá cambiar de modo sin realizar la parada previa requerida). Válvulas de descarga y drenaje serán abiertas para la correcta despresurización del equipo. La operación de cambio de modo será llevada a cabo por parte del operario de manera manual.



Todos los compresores se instalarán bajo un edificio exclusivamente diseñado para el resguardo y cobijo de dichos equipos frente a adversidades climatológicas.

Se mostrará en plano el sistema de lubricación y refrigeración, pero dichas tuberías no serán incluidas en el listado de líneas ya que el fabricante entrega el compresor como un paquete en el que lleva incluido estos sistemas.

12.2. Cálculo parámetros compresor

Para el cálculo de los compresores, se tendrán las siguientes condiciones iniciales:

- Temperatura de entrada de -155°C .
- Presión de succión de 1.1 bar, ya que el BOG es recogido por un colector a esa presión.
- Factor de compresibilidad Z de 0.966
- Caudal de $6539 \text{ m}^3/\text{h}$

Se calculará el rendimiento politrópico nominal para un caudal de $6539/2 \text{ m}^3/\text{h}$ según el anexo, resultando dicho rendimiento del 76%.

Se calculará el índice politrópico con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{1}{1 - \frac{\gamma - 1}{\gamma * \eta_{pol}}}$$

Donde:

$n \equiv \text{índice politrópico}$

$\eta_{pol} \equiv \text{rendimiento politrópico}$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

A continuación se mostrará como ejemplo las ecuaciones a seguir para calcular los parámetros del compresor para cada etapa. Los resultados finales de todas las etapas se encontrarán en los anexos.

Una vez calculado el índice politrópico, se calculará la temperatura de salida:

$$T_2 = T_1 * \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

Donde:

$T_2 \equiv \text{Temperatura a la salida del compresor } [^{\circ}\text{C}]$



$T_1 \equiv$ Temperatura a la entrada del compresor [$^{\circ}\text{C}$]

$P_2 \equiv$ Presión a la salida del compresor [bar]

$P_1 \equiv$ Presión a la entrada del compresor [bar]

La potencia del compresor será calculada de la siguiente manera:

$$W = \dot{m}_{BOG} * C_p * (T_{salida} - T_{entrada})$$

La potencia en el eje del compresor será el resultado de dividir la potencia anteriormente calculada por el rendimiento del mismo. Para calcular la potencia del motor asociado al equipo, será necesario dividir la potencia en el eje entre el rendimiento de transmisión motor-compresor.

13. SISTEMA DE VAPORIZACIÓN

13.1. Introducción y selección de sistema

El sistema de vaporización puede ser considerado como el sistema más importante de toda la planta de regasificación, ya que es el lugar donde el GNL será transformado en estado gaseoso para ser enviado a distribución. Cabe recordar que el BOG mandado a compresores y a distribución también es comercializado y empleado como combustible, pero su uso se debe a que es inevitable mantener el 100% del gas natural en estado líquido durante todo el proceso (y solo parte de ese gas puede ser relicuado). Asumiendo este hecho, el circuito de BOG es una manera de aprovechar dicho GNL evaporado durante la operación.

El vaporizador de GNL es un intercambiador de calor que transforma el GNL de estado líquido a estado gaseoso por medio de un aporte de calor. El gas natural sale del vaporizador listo para ser enviado a red nacional de transporte y consumo. La regasificación se realiza a alta presión (entre 40 y 80 bar) debido a la elevada presión a la que se encuentra la red de distribución. Además se necesita menos consumo de energía a la hora de elevar la presión a un líquido que a un gas.

Hay varios tipos de vaporizadores aunque los más comunes son los vaporizadores de agua de mar y los de combustión sumergida.

Los **vaporizadores de agua de mar** son empleados cuando la temperatura del agua se encuentra a temperaturas mayores de 18°C . El GNL procedente de las bombas entra en un colector horizontal situado en una parte inferior del intercambiador y es distribuido a través de tubos verticales en circulación ascendente dotados de aletas de aluminio. Por la parte exterior de estos tubos se encuentran unos paneles por donde cae por gravedad el agua de mar, introducida por la parte superior del vaporizador. Si el agua se encuentra en torno a un rango de $18-21^{\circ}\text{C}$, todo el GNL se habrá vaporizado en los primeros dos metros de tubería. En los metros restantes de tubería el gas alcanzará una temperatura superior a los 0°C . Un colector horizontal de gas situado en la parte superior recogerá el gas natural y lo enviará a la estación de regulación y medida.

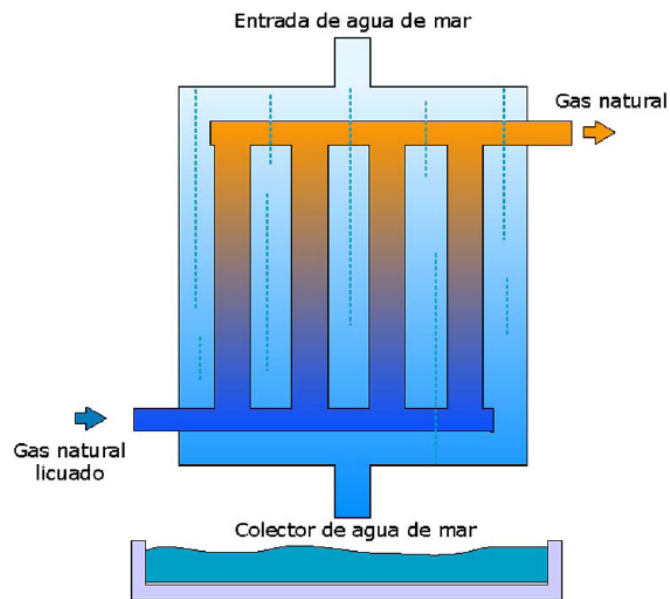


Figura 27. Vaporizador de agua de mar. Cortesía de Sefic.

El otro modelo más empleado es el **vaporizador de combustión sumergida**, el cual incluye una cámara de combustión asociada al proceso. Este modelo se compone de una cuba de agua que contiene un serpentín por donde circula el GNL (igual que en el caso anterior) pero con la diferencia de que el agua es calentada por medio de un quemador sumergido y colocado en la parte inferior de la cuba. Este aporte de calor mediante la combustión hace a este tipo de vaporizador el más adecuado cuando la temperatura del agua sea inferior a las 18°C. El combustible empleado en el quemador será una parte del caudal de gas evaporado (para este proyecto se empleará el 2%).

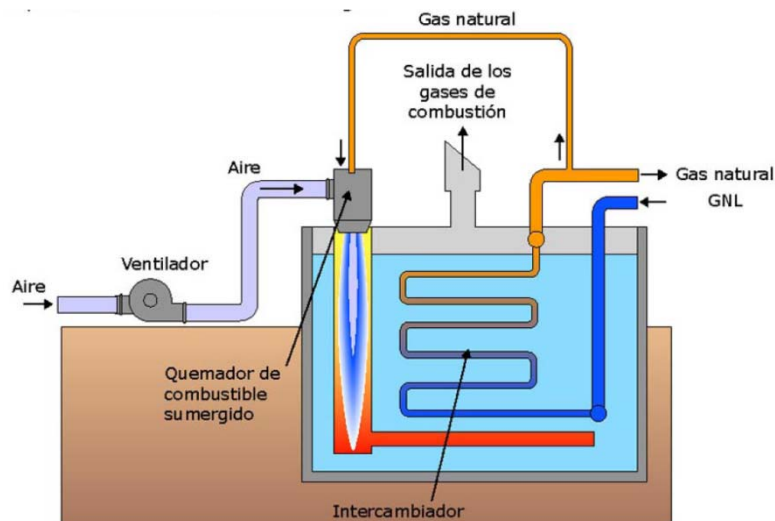


Figura 28. Esquema de un vaporizador de combustión sumergida. Cortesía de Comunidad Medioambiental.



Para este caso, no es necesario calcular el gasto másico de agua necesario. El propio equipo estará dotado de unos controladores de nivel de agua para mantener un nivel constante de agua en el interior del vaporizador.

El calentamiento del baño se produce por contacto directo del agua con los gases de la combustión consiguiendo un rendimiento energético muy elevado. Además, el coeficiente de transmisión de calor en el lado exterior del serpentín es muy alto por la agitación que provoca en el agua el paso de los gases de combustión llegando a valores entre 2 y 3 veces superiores a los que se consigue en los vaporizadores de agua de mar.

Se deberán realizar los cálculos para el circuito de aire, impulsado por un compresor que hará llegar el aire a la presión requerida por el quemador.

A la presión de operación de 75 bar a la que trabajará el vaporizador, el GNL empieza a vaporizarse a -50°C . En la primera parte del circuito, el GNL aumenta su calor sensible desde -160°C hasta la temperatura de vaporización.

En el tramo del intercambiador en que se produce la vaporización del GNL la temperatura no se mantiene constante, sino que tanto la fracción de GNL todavía no evaporada como la de gas vaporizado siguen aumentando. Esto es debido a que la fase gas formada aumenta su calor sensible, proceso promovido por el aún elevado salto térmico entre ambos lados del intercambiador (la pared externa con agua de mar está a unos 10°C), con lo que aumenta la presión interior y se modifica el equilibrio a una temperatura superior.

La selección del modelo de sistema de vaporización depende de las condiciones ambientales (temperatura del agua de mar), las limitaciones por regulaciones y normativa, consideraciones operativas de presión, localización en planta, análisis económico y las condiciones finales de distintos tipos de emisiones, tales como los gases de combustión en el caso del vaporizador de combustión sumergida o la temperatura de descarga del agua de mar en el vaporizador de agua de mar.

13.2. Cálculo de los parámetros del vaporizador

Se diseñará el sistema de vaporización acorde con la normativa EN 1160 y EN 1473.

Se estudiarán los tres casos (GNL ligero, diseño y pesado) como se ha hecho en otros equipos. Se partirá de los siguientes datos:

- Temperatura de entrada de -130°C procedente de las bombas del re-condensador.
- Caudal total de $7018\text{ m}^3/\text{h}$. Se instalarán 3 estaciones de vaporización, luego se tendrá un caudal por estación de $1754.5\text{ m}^3/\text{h}$.
- Según normativa, la temperatura de salida del gas natural debe ser de 0°C . Como factor de dimensionamiento, se considerará una temperatura de salida de 5°C .



Para el cálculo del calor requerido se tendrá en cuenta el cambio de fase (de líquido a gas) que se produce durante el intercambio de calor. El calor total intercambiado tendrá en cuenta el calor de vaporización del GNL y el calentamiento del gas hasta la salida del equipo.

$$Q_{total} = Q_{vap} + Q_{cal}$$

Donde el calor de vaporización [kW] será el resultado de multiplicar el gasto másico de GNL [kg/s] por el calor latente de vaporización [kJ/kg]:

$$Q_{vap} = \dot{m}_{GNL} * \lambda_{vap}$$

El resto de calor (denominado calor de calentamiento [kW]) aportado después del cambio de fase será el resultado de multiplicar el gasto másico de gas natural ya vaporizado (se considerará el mismo que de GNL) por el calor específico a presión constante C_p [kJ/kg.K] y por la diferencia de temperaturas [°C].

$$Q_{cal} = \dot{m}_{GN} * C_p * \Delta T$$

A continuación se calculará el área de intercambio siguiendo la siguiente ecuación:

$$Q_{total} = U * A * \Delta T_{lm}$$

'U' es el coeficiente de transmisión térmica, que será considerado de 17.6 kW/m².K

La temperatura media logarítmica se calculará de igual manera que en el resto de intercambiadores:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$\Delta T_1 = T_{sal.agua} - T_{ent.GNL}$$

$$\Delta T_2 = T_{ent.agua} - T_{sal.GNL}$$

Para este tipo de vaporizador, la temperatura de entrada y salida del agua será la misma, 10°C.

A continuación se calculará el número de tubos necesarios para este vaporizador. Se realizarán las siguientes consideraciones:

- Diámetro de los tubos de 4" con un espesor de 0.9 milímetros.
- Longitud (l) por paso de 6 metros.

Se calculará el área superficial de los tubos:

$$A_{tub} = \pi * d_{interior} * l$$



Y finalmente el número de tubos será el cociente entre el área de intercambio total entre el área por tubo.

13.3. Análisis de la combustión del sistema

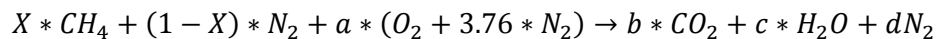
La combustión es una reacción química de oxidación en la que se desprende una gran cantidad de energía en forma de calor. El combustible empleado será parte del gas natural previamente gasificado en el sistema de vaporización. Parte de esa corriente será enviada al quemador actuando como combustible de la reacción de combustión. Como comburente se empleará el aire, cogido del ambiente mediante un circuito de compresor y conductos.

Se tratará de una combustión completa con el gas natural como combustible y el aire como comburente. Se considerará que el aire contiene un mol de oxígeno (O_2) y 3.76 moles de nitrógeno (N_2). La fracción molar del gas natural cambiará para los tres casos de estudio que se han considerado para el diseño de los equipos del presente proyecto. Que se trate de una combustión completa implica que habrá un exceso de aire (λ) en el comburente.

Se partirá de los siguientes datos:

- Entalpía de formación del metano h_f° de -74850 kJ/kmol.
- Condiciones a la entrada del aire: 1 bar y 18°C.
- Condiciones entrada combustible: 75 bar y 5°C.
- Combustión completa con aire como comburente
- Temperatura de combustión adiabática de 1000°C.

El primer paso será calcular los coeficientes para una combustión estequiométrica:



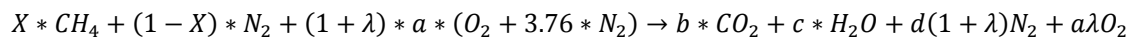
$$C: X = b$$

$$H: 4X = 2c$$

$$O: 2a = 2b + c$$

$$N: 2 * (1 - X) + 2 * 3.76 * a = 2 * d$$

A continuación se planteará la formulación de la combustión completa:



Conocida la temperatura de combustión adiabática, se planteará la siguiente ecuación de equilibrio (entre productos y reactivos) para calcular el exceso de oxígeno:

$$\sum_p n_p \bar{h}_p = \sum_r n_r \bar{h}_r$$

Donde:

$n \equiv$ número de moles

$h \equiv$ entalpía, $= \bar{h}_f^p + C_p * \Delta T$

$$b * [\bar{h}_{fCO_2}^o + \bar{C}_{pCO_2} * (1000 - 25)] + c * [\bar{h}_{fH_2O}^o + \bar{C}_{pH_2O} * (1000 - 25)] + d * (1 + \lambda) * \bar{C}_{pN_2} * (1000 - 25) + \lambda * a * \bar{C}_{pO_2} * (1000 - 25) =$$

$$= X * [\bar{h}_{fCH_4}^o + \bar{C}_{pCH_4} * (5 - 25)] + (1 - X) * \bar{C}_{pN_2} * (5 - 25) + a * (1 + \lambda) * [\bar{C}_{pO_2} * (T_{aire} - 25) + 3.76 * \bar{C}_{pN_2} * (T_{aire} - 25)]$$

Cabe recordar que aquellos compuestos que solo estén formados por sí mismos (N₂ y O₂) tendrán una entalpía de formación nula. Se tomará como temperatura del aire la temperatura ambiente de 12°C. El gasto másico de aire impulsado por el compresor será calculado mediante la relación aire combustible. Dicho parámetro será el resultado de dividir los kilos de aire (número de moles en la reacción completa multiplicados por el peso molecular) entra los kilos de combustible (calculados de la misma manera que el aire).

$$AC = \frac{m_a}{m_c} = \frac{(1 + \lambda) * a * (PM_{O_2} + 3.76 * PM_{N_2})}{X * PM_{CH_4} + (1 - X) * PM_{N_2}}$$

Finalmente el gasto másico de aire será:

$$\dot{m}_a = AC * \dot{m}_c$$

13.4. Cálculo del compresor de aire

Se tratará de un compresor recíprocante (de pistón) para comprimir el aire hasta los 50 bar deseados. La compresión del aire se obtiene por desplazamiento debido al movimiento lineal y secuencial de un pistón dentro de un cilindro. De esta manera se reducirá el volumen de la cámara (cilindro) donde se deposita el aire incrementando la presión del fluido hasta alcanzar la de descarga. El cilindro estará provisto de válvulas que operarán automáticamente por diferenciales de presión (como por ejemplo válvulas de admisión). Estará formado por cuatro cilindros y dos etapas y tendrá asociado un circuito de lubricación por aceite.

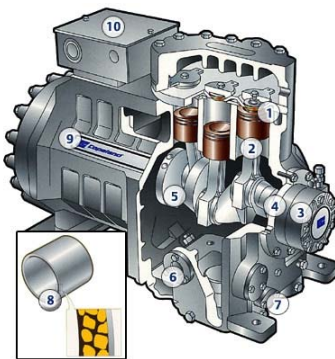


Figura 29. Compresor de aire recíprocante. Cortesía de IHI.

Se escogió este tipo de compresor por los siguientes motivos:

- Los compresores de este tipo ofrecen una alta eficiencia con un coste de potencia bajo.
- Tienen poca sensibilidad a la hora de experimentar cambios en la composición de los gases de operación (es resistente frente a variaciones en la composición del aire).
- Enfriamiento encamisado haciendo innecesaria la instalación de un circuito de refrigeración.
- Alcanzan altas presiones.

Datos de partida:

- Condiciones de entrada (ambiente) a 1 bar y 12°C.
- Presión de salida de 50 bar.
- Aire como gas perfecto (gamma 1.33 y C_p de 1.03 kJ/kg.K)

Se calculará la temperatura de salida del aire:

$$T_2 = T_1 * \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

La potencia del compresor será calculada de la siguiente manera:

$$W = \dot{m}_{BOG} * C_p * (T_{salida} - T_{entrada})$$

14. SISTEMA DE ANTORCHA

14.1. Introducción

Es un sistema encargado del quemado de un fluido combustible por cualquier motivo que pueda ocasionar una situación de riesgo durante la operación de la planta. La legislación actual, en atención a consideraciones medioambientales y de seguridad, obliga a la instalación de dispositivos de inertización de gases (antorchas) en aquellas plantas que generan, almacenan o manipulan gases. Estos equipos son muy típicos en refinerías y plantas de regasificación.



Figura 30. Antorcha. Cortesía de Petronor.



Cuando el sistema de compresión y recondensación no sean capaces de absorber todo el gas natural evaporizado (BOG), se dispone de una antorcha de seguridad diseñada para procesar todo el excedente de gas natural, evitando así su emisión directa a la atmósfera. Las líneas que alimenten a la antorcha serán aquellas diseñadas para realizar la función de venteo del proceso. Normalmente están cerradas por una válvula de tarado que a determinada presión se abre enviando el fluido a la antorcha para su combustión. Dicho sistema tendrá las siguientes características:

- La antorcha deberá tener estabilidad y un anclaje firme. La altura de la misma deberá ser aquella que permita el quemado de los gases a una distancia segura, evitando cualquier situación de peligro. En su base deberá tener un depósito de purga con cierre hidráulico para evitar arrastres de líquidos y retornos de llama, y en su extremo superior un mechero piloto de funcionamiento continuo para mantener la llama encendida en todo momento. Asimismo, llevará un sistema que asegure una presión positiva en el interior del tubo con el objetivo de impedir la entrada de aire del ambiente dando lugar a la creación de una posible atmósfera explosiva.
- El sistema de antorcha recogerá la mayor cantidad posible de emisiones de gases de proceso evacuados por los sistemas de alivio de presión y evacuación. Para su diseño se supondrá una evacuación inminente por fallo en un equipo que afecte al consumo de BOG.
- El sistema de antorcha deberá tener un separador de líquidos próximo a la unidad con el objetivo de retener los arrastres que se produzcan. Las pendientes deberán ser como mínimo del 0,5 % hacia este depósito.
- La altura de la antorcha será función de la cantidad máxima de gases a quemar y de la altura máxima de llama para la que esté prevista.
- El diseño del quemador de la antorcha se hará de modo que la combustión de los gases sea total y la emisión de humos la menor posible para el caso de quemar la concentración de gases más desfavorable

Los fluidos son reunidos en el colector de la antorcha y conducidos a la misma. Este sistema funcionará las 24 horas del día y con una vida útil de varios años sin tener la necesidad de realizar una parada para su mantenimiento. Se encontrará siempre disponible para quemar los gases de venteo de la planta aunque haya una parada o interrupción de la misma durante su normal funcionamiento.

14.2. Tipos de antorcha

Este sistema realizará las siguientes funciones:

- Tratamiento de Gases de Inertización: reducir a nivel de suelo las concentraciones de sustancias peligrosas.
 - Medida de Seguridad: proporcionar seguridad en la gestión, transporte y operación de sustancias inflamables.
 - Medida Medioambiental: reducir los compuestos volátiles orgánicos así como las emisiones de hidrocarburos.
-

Dentro de los diferentes sistemas de antorcha que se puedan diseñar, se diferenciarán los siguientes tipos:

- **Antorchas verticales.** Conducen verticalmente el gas hasta el punto de descarga, que se encuentra en una posición elevada en relación con el nivel del suelo. Dependiendo de cómo esté soportada la antorcha, se distinguirá entre autoportante, soportada con vientos y Derrick.

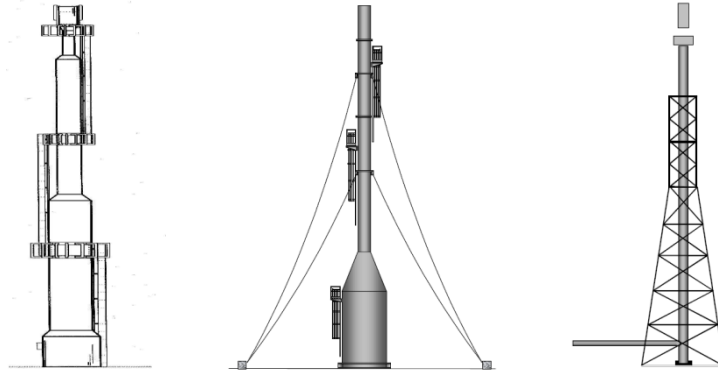


Figura 31. Distintos tipos de sistemas de antorcha verticales. De izquierda a derecha: autoportante, soportada con vientos y Derrick. Cortesía de Repsol.

- **Antorchas horizontales,** que se encuentran enterradas en el suelo.
- **Antorchas de llama oculta,** útiles para estaciones de depuración de agua residual.

14.3. Elementos Principales

El **quemador** será de acero inoxidable y será el encargado de crear una caída de presión con el fin de garantizar una descarga segura de gases. Mezclará combustible y aire para proporcionar una ignición continua y una combustión estable.

El **fuste** consistirá en una tubería que transportará los gases de liberación desde el sello hidráulico hasta el final del sistema. Estará soportado por una estructura que le dará rigidez y equilibrio. Se recomienda la instalación de escaleras y plataformas alrededor del mismo para facilitar el acceso en planta.

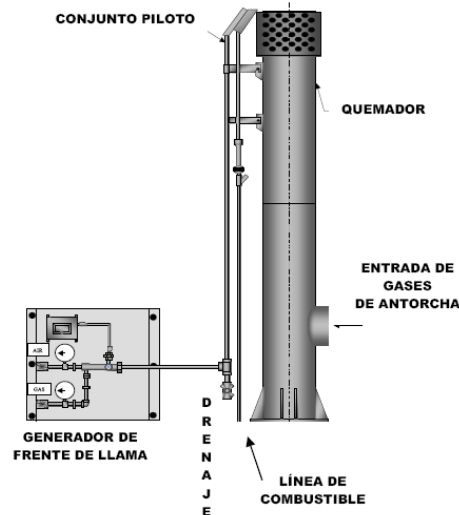


Figura 32. Partes de una Antorcha. Cortesía de Repsol.

El **piloto** es el encargado de encender la antorcha de una manera estable y segura. Estará adosado al cuerpo del quemador estará permanentemente encendido. En caso de fallo del piloto, los hidrocarburos podrían ser enviados directamente a atmósfera sin haber sido quemados previamente provocando un posible envío de gases tóxicos al ambiente, creación de una nube de vapores explosiva, problemas de olor y efectos negativos para la salud. El piloto deberá resultar muy fiable ya que no será accesible durante operación para su recambio o mantenimiento.

El número de pilotos requerido dependerá del diámetro del quemador. Para antorchas pequeñas, un único piloto de 47,478 kJ/h encenderá de manera fiable los gases de la antorcha. Se deberá tener en cuenta que un fallo del piloto conlleva un fallo completo del sistema de encendido de la antorcha. Según aumente el diámetro del quemador aumentará el número de pilotos requerido para un encendido fiable del sistema de antorcha. Es recomendable que, aunque el número mínimo de quemadores requerido sea uno, se instalen al menos dos quemadores para garantizar una mayor fiabilidad al sistema de encendido.

Los pilotos se dividen en dos grandes grupos dependiendo de la manera en la que se consiga la mezcla entre el combustible y el aire: auto-aspirantes, y de aire comprimido. Ambos tipos generalmente se componen de un orificio para dosificar el combustible, un mezclador en el que se mezclan el aire y el combustible, la tubería que conecta el mezclador con el quemador del piloto, y dicho quemador, que es donde se estabiliza la llama. La única diferencia existente es el diseño de mezclador. En un piloto auto-aspirante el mezclador es un Venturi, y el orificio del combustible se usa tanto como dosificador como medio por el que se crea un chorro de combustible que aspira aire hacia el Venturi.

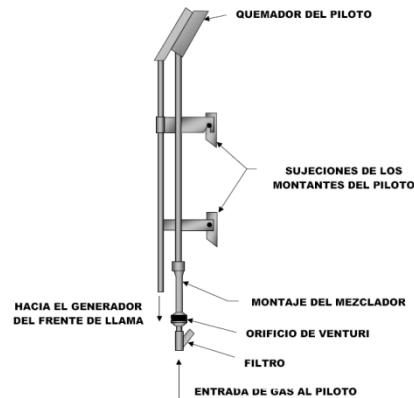


Figura 33. Componentes de un quemador. Cortesía de Repsol.

14.4. Sistema de seguridad

Los sistemas de seguridad en una antorcha tienen la función de evitar la intrusión de oxígeno en el interior de la antorcha y aguas arriba de la misma, impidiendo así fenómenos de retroceso de llama y riesgos de explosión por presencia de dos de los elementos del triángulo de fuego, combustible y comburente (elementos que componen el triángulo necesario para el encendido y funcionamiento de la llama).

14.4.1. Gas de Purga y sellos economizadores

Para evitar el anteriormente citado retroceso de llama, se realizará una correcta purga para evitar la infiltración de aire aguas arriba del quemador. Para evitar esto último, el sistema en su operación normal debe estar continuamente purgado. Se dispondrá de un sello dinámico con un desviador para forzar el sentido de circulación del aire hacia el exterior, evitándose así su inmisión en la antorcha.

14.4.2. Knock-out Drum

Es un depósito donde se depositan los condensados acondicionando el gas previamente a su entrada a la antorcha. Tiene por función separar el líquido del gas en la antorcha, y mantiene una cantidad específica de líquido que puede ser aliviada durante una situación de emergencia.



Figura 34. KO Drum. Cortesía de ARMK S.A.



14.4.3. Sistema Antirretorno

El Sistema Antirretorno de Llama es un sistema de prevención del retorno de llama hacia el interior del quemador, mediante la inyección de una corriente de vapor hacia el interior del mismo, que desplaza así la llama hacia el exterior del cuerpo de dicho quemador.

Es frecuente en el caso de combustibles con posible presencia de Hidrogeno. La detección del retroceso de llama, puede lograrse alojando un sensor de temperatura adecuado en el interior del quemador.

14.5. Diseño Antorcha

Se partirán de las siguientes condiciones:

- Viscosidad, densidad y peso molecular del gas dependiendo de su composición.
- Condiciones ambientales de presión a la entrada.
- Debido a pérdidas de calor a lo largo de las tuberías, se considerará una temperatura de entrada del gas a antorcha de -106°C .
- Velocidad del viento mediada a 10 metros de altura (por normativa) de 14 m/s.
- La emisividad y transmisividad del medio fueron parámetros dados por el cliente.

Para el diseño del sistema de antorcha, se tendrá en cuenta la radiación térmica y el caudal de gases enviado a este equipo. Para la elección de su emplazamiento, se deberá seleccionar un punto a nivel de suelo alejado del fuste, de tal manera que es necesario definir un área estéril. Dicha área será vallada para evitar el acceso del personal de planta, salvo para mantenimiento estando la antorcha fuera de servicio. Esto se debe a que en dicha área existirá un nivel alto de radiación que resulta dañina para la salud del ser humano.



Dado que el personal que entre en esa área deberá llevar una vestimenta adecuada, la radiación admisible soportada por ese operario estará determinada por la siguiente tabla (para el presente proyecto se escogerá la última fila):

Nivel de diseño Admisible (K), en $\frac{kW}{m^2}$	Condiciones
15,77	Estructuras y zonas donde no es probable que estén los operarios realizando ningún servicio, y donde haya disponible un refugio o protección del calor, por ejemplo, detrás de un equipo.
9,46	Zonas a las que tengan acceso las personas, por ejemplo, en el suelo debajo de la antorcha, o en una plataforma de servicio de una torre cercana. La exposición debe estar limitada a unos cuantos segundos, suficientes únicamente para escapar.
6,31	Zonas donde puede requerirse una acción de emergencia de duración inferior a 1 minuto, por parte de personal sin protección pero con ropa adecuada.
4,73	Zonas donde puede requerirse una acción de emergencia de varios minutos de duración, por parte de personal sin protección pero con ropa adecuada.
1,58	Situaciones donde el personal con ropa adecuada puede estar expuesto de manera continuada.

Tabla 6. Niveles de Radiación Admisible.

La cantidad de calor liberada para el caso más desfavorable se calcula con la siguiente expresión:

$$\dot{Q} = \dot{m} * PCI$$

Tras la liberación de calor, se calculará la longitud de la llama:

$$L = 0.00636 * (\dot{Q} * 1000)^{0.444}$$

Donde la longitud es en metros y el calor en kW.

La Ecuación de Hajek y Ludwig puede ser usada para determinar la distancia mínima, L, requerida desde el centro de la llama de la antorcha y un punto de exposición donde la radiación térmica debe limitarse.

$$L^2 = \frac{\tau * f * Q}{4 * \pi * K}$$

Donde:

$\tau \equiv$ transmisividad del medio

$f \equiv$ fracción de calor radiado

$Q \equiv$ calor liberado

$$K \equiv \text{radiación admisible en } kW/m^2$$

El diámetro de la boquilla de la antorcha dependerá del gas a quemar y del factor de emisividad, tal y como se muestra en la siguiente tabla:


Proyecto: Planta de Regasificación de GNL. Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 junio 2016			
			
Valores del diámetro en función de la emisividad	Tipo de Gas	Diámetro Boquilla	Emisividad
Hidrógeno		1.6"	0.11
		8"	0.15
Metano		<1.6"	0.16
		3.3"	0.15
Gas Natural		8"	0.19
		16"	0.23

Tabla 7. Valores del diámetro de la boquilla en función de la emisividad.

Para el presente proyecto se escogerá un diámetro de boquilla de 8 pulgadas. Conocido este parámetro, se puede calcular el número mínimo de pilotos, según la siguiente tabla:


Proyecto: Planta de Gas Natural Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 junio 2016	
	
Datos Hormigón	Datos
Diámetro Boquilla [pulg]	Nº Mínimo de Pilotos
1-10	1
12-24	2
30-60	3
>60	4

Tabla 8. Número mínimo de pilotos en función del diámetro de boquilla.

Aunque se debería instalar 1 piloto (lo que corresponde al diámetro de boquilla según la tabla anterior), finalmente se escogerán dos pilotos por medidas de seguridad. La altura de la antorcha vendrá dada por la siguiente expresión:

$$\nabla p = (\rho_a - \rho_g) * g * h$$

Donde:

$$\nabla p \equiv \text{tiro de la antorcha en } N/m^2$$

$$\rho_a \equiv \text{densidad del aire en } kg/m^3$$

$$\rho_g \equiv \text{densidad del gas en } kg/m^3$$



$g \equiv$ gravedad en m/s^2

$h \equiv$ altura de la columna de la antorcha en metros

Para el cálculo del Knock-Out Drum, se tomará una capacidad de $5000 m^3$ y se considerará que el diámetro es la mitad que la altura del depósito.

14.5.1. Velocidad a la salida del quemador

Para ello será necesario el cálculo del número de Match:

$$N^{\circ} Match = 3.23 * 10^{-5} * \left(\frac{\dot{m}}{101.3 kPa * 0.905^2} \right) * \left(\frac{1 * T [K]}{1.4 * 16.3 kg/kmol} \right)^{0.5}$$

Y la velocidad del sonido será:

$$U_s = 91.2 * \sqrt{\frac{(C_p/C_v) * T[K]}{Peso Molecular}}$$

Por lo tanto, la velocidad de salida del quemador seguirá la siguiente expresión:

$$U_j = N^{\circ} Match * U_s$$

14.5.2. Cálculo del ruido

La mayor fuente de ruido en un sistema de antorcha proviene de la combustión generada en el quemador. Una fórmula general para hallar el ruido [L_w] debido a la combustión de un gas en un quemador será la siguiente:

$$L_w = 10 * \log_{10} * (35 * 10^9 * \Delta P * \dot{m}) - 16$$

Donde:

$L_w \equiv$ nivel de potencia acústica generada en el quemador [dB]

$\Delta P \equiv$ pérdida de carga en la descarga a quemador [mbar]

$\dot{m} \equiv$ gasto másico [kg/s]

14.5.3. Cálculo de la dispersión de contaminantes atmosféricos

Los sistemas de antorcha son considerados, por la legislación medioambiental, como una técnica efectiva en la destrucción de todo tipo de hidrocarburos. Concretamente, el documento de referencia U.S. EPA AP-42, indica que una antorcha en operación estacionaria, y que tenga una eficiencia en la combustión del 98 % o superior, emitirá por debajo de las siguientes tasas máximas de contaminantes:

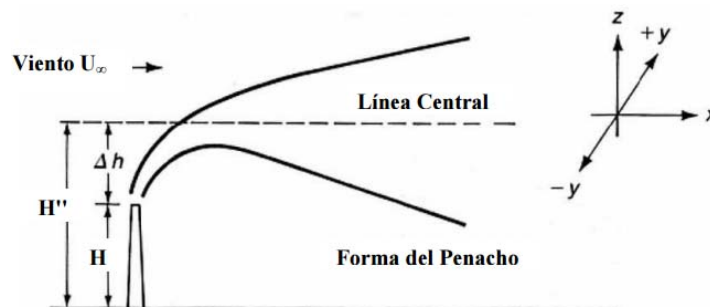
- Hidrocarburos No Quemados (UHC) = 0,0602 g/MJ.
- Monóxido de Carbono (CO) = 0,1592 g/MJ.
- Óxidos de Nitrógeno (NOX) = 0,0293 g/MJ.

Donde g/MJ equivale a los gramos de contaminante emitidos a la atmósfera por cada MJ de gas quemado de antorcha.

Para el presente proyecto se escogerá una eficiencia en la combustión del 98%. Esto es debido a que el gas natural se trata de un hidrocarburo de estructura molecular sencilla y fácilmente miscible con el aire, y que no requiere para su combustión en antorcha apoyos para supresión de humos vía aire o vapor.

Será importante hacer un análisis de la dispersión de los gases liberados por la antorcha porque durante el funcionamiento de una antorcha se liberan, en la dirección y sentido a favor del viento, sustancias contaminantes que podrían ser un peligro para la salud del personal de planta y de la posible vecindad residente en los alrededores.

La liberación de los gases se trata de un tipo de emisión continua sin depender del tiempo. Dicha emisión formará lo que se conoce como penacho. Los contaminantes liberados a suficiente altura desde la superficie terrestre pueden dispersarse en la atmósfera antes de llegar al suelo. Las antorchas más altas dispersan mejor los contaminantes que las más bajas, debido a que el penacho tiene que viajar a través de una capa atmosférica más profunda antes de llegar al nivel del suelo. A medida que el penacho viaja, se extiende y se dispersa.



*Figura 35. Elevación de la línea central del penacho de contaminantes.
Cortesía de Universidad Pontificia Comillas.*

La estabilidad atmosférica viene representada por un código alfabético mostrado a continuación:

- A = extremadamente inestable.
- B = inestabilidad moderada.
- C = ligeramente inestable.
- D = neutra.
- E = ligeramente estable.
- F = moderadamente estable.



Dicha estabilidad será determinada según la velocidad del viento, como es mostrado en la siguiente tabla:

Velocidad del viento (m/s) (a)	Insolación solar durante el día			Condiciones nocturnas. Índice de nubosidad (e)	
	Intensa (b)	Moderada (c)	Baja (d)	Nublado ≥4/8	Claro ≤3/8
< 2	A	A-B (f)	B	E	F
2 a 3	A-B (f)	B	C	E	F
3 a 5	B	B-C (f)	C	D	E
5 a 6	C	C-D (f)	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Tabla 9. Determinación de la estabilidad atmosférica.

Para el presente proyecto se estableció una velocidad del viento de 14 m/s, una insolación solar durante el día de clase moderada y un índice de nubosidad en condiciones nocturnas mayor de 4/8. Finalmente, la estabilidad resultantes es del **tipo D**.

La concentración de contaminantes, en función de las coordenadas, vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2 * \pi * U_z * \sigma_y * \sigma_z} * e^{\left(\frac{-y^2}{2*\sigma_y^2}\right)} * \left[e^{\left(\frac{-(z-H'')^2}{2*\sigma_z^2}\right)} + e^{\left(\frac{-(z+H'')^2}{2*\sigma_z^2}\right)} \right]$$

Donde:

C (x, y, z) = concentración lateral. Es una función de las coordenadas x, y, z, (µg/m³).

Q = coeficiente de emisiones, (µg/s).

σ_y(x) y σ_z(x) = parámetros de dispersión horizontal y vertical, (m). Son funciones de la distancia x, y de la estabilidad de la atmósfera. Representan una medida de la dispersión del penacho en las direcciones y y z respectivamente (ver anexos).

U_z = velocidad del viento en la altura de la antorcha, (m/s).

y = distancia horizontal desde la línea central del flujo, (m). z = distancia vertical desde el nivel del terreno, (m).

H'' = altura efectiva, (m). H'' = H + Δh, donde H = altura física de la fuente emisora (la antorcha), y Δh = elevación del penacho.



La emisión siempre permanecerá por debajo de las siguientes tasas máximas de contaminantes.

Se escogerán tres distancias distintas para ver la concentración que llega a las distintas distancias seleccionadas (concentración que llega al suelo a x kilómetros de la antorcha). Se estudian las concentraciones para unas distancias de 3, 5 y 10 km, según normativa.

Se emplearán los ábacos de Pasquill, partiendo de una estabilidad atmosférica de **tipo D**, para calcular los siguientes parámetros:

Parámetros del ábaco de Pasquill	Proyecto: Planta de Regasificación de GNL. Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 junio 2016	UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI ICADE COMILLAS MADRID
Distancias	σ_z [m]	σ_y [m]
X = 3 km	62	186
X = 5 km	83	292
X = 10 km	124	536

Tabla 10. Parámetros del ábaco de Pasquill.

Se calcularán las concentraciones empleando las ecuaciones mencionadas anteriormente. Todos estos valores de concentración de contaminantes, se encuentran por debajo de los límites establecidos por la EPA en su *National Ambient Air Quality Standards*.

15. APORTES TÉRMICOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES EXTERNAS

En todos los procesos se necesitan unos aportes térmicos para poder alcanzar las temperaturas que requeridas durante la operación de la planta.

Para el cálculo de dichos intercambiadores (heaters) se tendrán las siguientes condiciones de partida:

- Temperaturas de entrada y salida del BOG.
- Caudal
- Densidad del gas.
- Calor específico a presión constante [kJ/kg.K]
- Temperatura de entrada de los gases procedentes de la caldera de 220°C.
- Reducción de temperatura de los gases de 12.3°C

A continuación se calculará el área de intercambio siguiendo la siguiente ecuación:

$$Q_{total} = U * A * \Delta T_{lm}$$



La temperatura media logarítmica se calculará de igual manera que en el resto de intercambiadores:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

Se calculará el área superficial de los tubos:

$$A_{tub} = \pi * d_{interior} * l$$

Y finalmente el número de tubos será el cociente entre el área de intercambio total entre el área por tubo.

Cabe añadir que para el caso del precalentador 130-HC (aguas arriba del sistema de vaporización), se dividirá la corriente de GNL en dos, para aumentar el intercambio de calor en dicho equipo.

16. VÁLVULAS

Una válvula es un dispositivo mecánico que permite el paso de un fluido en un solo sentido, pero que lo impide en el sentido contrario. Dicho de otro modo, una válvula es el mecanismo encargado de permitir el paso de un fluido pero no le permite regresar. Las válvulas tienen múltiples aplicaciones en la industria, aunque principalmente se les emplea para regular un flujo. Este flujo puede ser tanto de un líquido como del llamado flujo eléctrico. Al ser colocadas en puntos determinados de las tuberías se tiene control tanto de la velocidad del flujo como de la cantidad del fluido que circula por la tubería. Dependiendo de cada necesidad, existen diferentes tipos de válvulas, como las válvulas de bola, las válvulas mariposa, las válvulas de compuerta, entre otras.

Se emplearán distintos tipos de válvulas:

Válvula de bola o válvula de esfera, es un mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada. Se abre mediante el giro del eje unido a la esfera o *bola* perforada, de tal forma que permite el paso del fluido cuando está alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula. Cuando la válvula está cerrada, el agujero estará perpendicular a la entrada y a la salida. La posición de la manilla de actuación indica el estado de la válvula (abierta o cerrada).

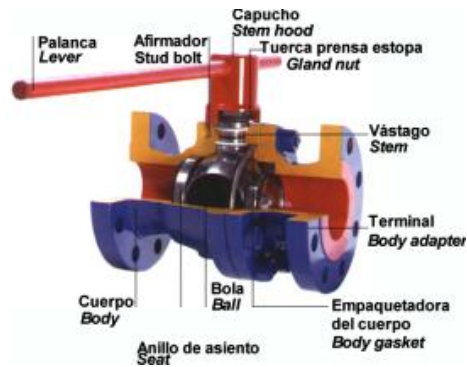


Figura 36. Esquema válvula de bola. Cortesía de Direct Industry.

Este tipo de válvulas no ofrecen una regulación precisa al ser de $\frac{1}{4}$ de vuelta. Su ventaja es que la bola perforada permite la circulación directa en la posición abierta con una pérdida de carga bastante más reducida que las de asiento, y corta el paso cuando se gira la maneta 90° y cierra el conducto. Las válvulas de bola manuales pueden cerrarse rápidamente, lo que puede producir un golpe de ariete. Por ello y para evitar la acción humana pueden estar equipadas con un *servomotor* ya sea neumático, hidráulico o motorizado. Atendiendo al número de conexiones que posee la válvula, puede ser de dos o tres vías.

Válvula de mariposa es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa, denominada «mariposa», que gira sobre un eje. Al disminuir el área de paso, aumenta la pérdida de carga local en la válvula, reduciendo el flujo. La no linealidad entre el ángulo girado y el área de paso hace que este tipo de válvula no sea recomendable para regulación de presión o caudal, siendo preferible su empleo en situaciones de corte o apertura total del flujo.



Figura 37. Válvula de mariposa. Cortesía de Direct Industry.

Se pueden distinguir básicamente dos tipos de válvulas de mariposa:

- Válvulas de mariposa de eje centrado.
- Válvulas de mariposa de eje descentrado.

Las de eje centrado tienen el cuerpo totalmente recubierto de un elastómero, normalmente EPDM y tienen la ventaja que éste está protegido ante la posible corrosión del fluido vehiculado, además de ser bidireccionales. Las de eje descentrado se utilizan sobre todo en industria petroquímica puesto que para servicios de agua convencionales no están recomendadas. Sin embargo pueden hacer cierres con seguridad fuego (metal-metal) o utilizarse en servicios de regasificación (-200 °C), estas necesidades con las de eje centrado no se pueden cubrir.

Válvula antirretorno, también llamada válvula de retención, tienen por objetivo cerrar por completo el paso de un fluido en circulación -bien sea gaseoso o líquido- en un sentido y dejar paso libre en el contrario. Tiene la ventaja de un recorrido mínimo del disco u obturador a la posición de apertura total.

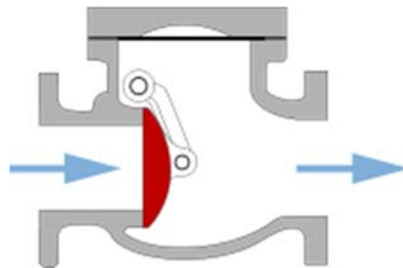


Figura 38. Válvula antirretorno. Cortesía de Direct Industry.

Se utilizan cuando se pretende mantener a presión una tubería en servicio y poner en descarga la alimentación. El flujo del fluido que se dirige desde el orificio de entrada hacia el de utilización tiene el paso libre, mientras que en el sentido opuesto se encuentra bloqueado. También se las suele llamar válvulas unidireccionales. Las válvulas antirretorno son ampliamente utilizadas en tuberías conectadas a sistemas de bombeo para evitar golpes de ariete, principalmente en la línea de descarga de la bomba.

Válvula reguladora. Cuando se trabaja con bombas de alta presión es necesario tener un control de dicha presión. Si en algún momento excede los límites, las bombas pueden sobresaturarse y provocar un accidente. Por el contrario, si no reciben la presión necesaria, no pueden bombear adecuadamente. Aquí es donde se utilizan las bombas reguladoras. Como su nombre lo indica, estas bombas se encargan de regular la presión que recibirán las bombas de manera que no haya ni exceso ni falta de presión.



Figura 39. Válvula reguladora. Cortesía de Quiminet.

Las válvulas reguladoras permiten variar la productividad de las bombas al manipular la presión desde el mínimo hasta el máximo nivel. Al mismo tiempo, las válvulas reguladoras actúan como mecanismo de seguridad, ya que no permiten que se exceda el nivel de presión que elige la persona que las está operando, con lo que se reduce el riesgo de accidentes.

17. TUBERÍAS

17.1. Introducción y dimensionamiento

Las tuberías son el medio de transporte del fluido a lo largo de la planta. Se emplearán tuberías para transportar los diferentes fluidos (GNL, BOG, nitrógeno, aire, aceite de lubricación y agua). Aunque no se incluyó en el presente proyecto, este tipo de plantas suelen estar dotadas de un sistema de agua glicolada para evitar la formación de hielo en las paredes exteriores de las tuberías (debido a temperaturas de operación de hasta -160°C). También es típico hacer pasar el cableado por el exterior de las tuberías para precalentar dichas superficies y evitar la formación del hielo. Esta formación de hielo deberá ser evitada a toda costa, ya que se trata de motivos de seguridad en prevención de accidentes de los operarios y personal presente en planta.

El dimensionamiento de las tuberías vendrá dado por el diámetro y la longitud. Ésta última se obtendrá mediante los planos isométricos de planta. El cálculo del diámetro vendrá determinado por el caudal y velocidad del fluido que pase por ese tramo. El caudal vendrá determinado por los requisitos de operación del proceso y la velocidad se tomará:

- Se tomará 8 m/s para todas las tuberías que no contengan boil-off gas como fluido de trabajo. Estos 8 m/s vienen determinados por normativa, velocidad máxima a la cual no se generan turbulencias ni remolinos que puedan aumentar las pérdidas de carga.



- Para las tuberías involucradas en el transporte del BOG, se tomará una velocidad máxima de 5.34 m/s. dicha velocidad es la máxima permitida por el separador para que su operación sea a máxima eficiencia.

El cálculo del diámetro de la línea (D) vendrá determinado por la siguiente ecuación que incluye el caudal (Q [m³/h]) y la velocidad del fluido (v [m/s]):

$$Q = v * Area = v * \frac{\pi * D^2}{4}$$

Las tuberías estarán sometidas a un periodo de test que emplearán como fluido el aire o el agua (normalmente el aire a ser posible). Dichos test tienen como objetivo la localización de cualquier fuga a lo largo de la línea para su posterior reparación.

Se elaborará una lista de líneas en formato A3 en la cual vendrán indicadas el tipo de fluido, velocidad temperatura y presión de diseño, test, número de línea y pérdidas de carga a lo largo de la misma (debido a la propia línea, codos y válvulas).

Se desarrollará una especificación de tuberías en la que se mostrará el criterio de numeración de las mismas, aislamientos y sus respectivos espesores.

17.2. Especificación técnica

La presente especificación tiene el objetivo de establecer un procedimiento estándar para la correcta enumeración y dimensionamiento de todas las líneas del proceso. Se explicará la nomenclatura que aparece en los planos adjuntos a este proyecto.

17.2.1. Nomenclatura

En todos los planos, las líneas son nombradas con la siguiente etiqueta:

AA-XXXX-YY-ZZ-BB

1. **AA**: Estas letras serán las encargadas de mostrar el servicio que realiza la línea. Puede ser:
 - P, referido a línea de proceso. Transportará GNL o BOG.
 - V, línea de venteo que conduce a antorcha.
 - N, línea de nitrógeno para realizar la purga de mantenimiento.
 - SL, sistema de lubricación de aceite para compresores y bombas.
 - CW, sistema de refrigeración de agua para los compresores.
 - IA, líneas de aire comprimido para instrumentación.
 - DR, líneas de drenaje del tanque de almacenamiento por niveles elevados de fluido.
2. **XXXX**: indica el número de la línea. Es elegido por el realizador de los planos y no se atiende a ningún orden en concreto quedando a decisión del que diseña los planos.
3. **YY**: indica el diámetro de la línea, que será expresado en pulgadas. Consultar listado de líneas para localizar cada diámetro (también disponible en planos).



- 4. **ZZ:** indica el material del que está hecha la línea. Para este proyecto todas las líneas mostrarán 'SS', indicativo de acero inoxidable.
- 5. **BB:** indica el tipo de aislamiento, aplicable según normativa.
 - C3,** aislamiento para el fluido que circula por el interior de la tubería mantenga su temperatura criogénica.
 - C4,** aislamiento exterior por protección del operario frente temperaturas criogénicas.
 - H3,** aislamiento para el fluido que circula por el interior de la tubería mantenga su temperatura caliente.
 - H4,** aislamiento exterior por protección del operario frente a temperaturas elevadas.

Cada aislamiento anteriormente explicado llevará asociado un determinado espesor del mismo dependiendo del diámetro de la tubería. Se adjuntan las siguientes tablas que indican el espesor correspondiente al aislamiento y al diámetro de la tubería (según normativa).

Espesores según aislamiento [mm]		Proyecto: Planta de Regasificación de GNL. Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 junio 2016			
Diámetro	C3	C4	H3	H4	
2"	50	50	40	60	
4"	80	50	40	60	
6"	120	50	40	60	
8"	130	50	75	60	
10"	140	50	80	60	
12"	160	50	85	60	
18"	170	50	95	60	
20"	180	50	100	60	
24"	190	50	110	60	
36"	210	50	130	60	

Tabla 11. Espesores de aislamiento de tuberías.

17.2.2. Proceso de enfriamiento (cool-down).

El **proceso de enfriamiento o cool-down**, es un procedimiento para la puesta en marcha de las plantas de regasificación que empleen líneas criogénicas. Se suelen usar fluidos en estado gaseoso capaces de enfriar las tuberías hasta poder alcanzar las temperaturas de operación justo antes de comenzar el proceso normal de la planta.

Como paso previo a esta operación, se necesitará realizar tanto un inertizado como un secado de todas las líneas. Para el presente proyecto, ambas opciones se podrán realizar al mismo tiempo ya que se empleará nitrógeno en estado gaseoso. El nitrógeno es el fluido utilizado en los procesos de inertización y dado que se requiere un secado (realizado por un fluido en estado gaseoso), el nitrógeno realizará la inertización de las líneas en estado gaseoso. De esta manera se llevará a cabo esta preparación para el proceso de enfriamiento.

Una vez concluido el proceso simultáneo de inertización y secado, se realizará el cool-down por todas las líneas involucradas en el transporte del fluido (gas natural) en condiciones criogénicas.

Debido a condiciones de operación y normativa, se requiere alcanzar una temperatura (en el interior de las tuberías) durante el proceso de enfriamiento de -140°C . Dado que se trata de una temperatura muy baja, no se emplearán los fluidos que son comúnmente usados para este tipo de operaciones, si no que se empleará el gas natural en estado gaseoso. Esto quiere decir que el GNL será vaporizado previamente para luego ser enviado a las tuberías.

La circulación del GNL vaporizado se llevará a cabo mediante los compresores de BOG y empleando correctamente el sistema de válvulas, haciendo posible la llegada del fluido a todas las líneas que requieran el proceso de enfriamiento. Dado que los compresores aumentarán la temperatura del fluido (aumentan la presión para su circulación y por consiguiente su temperatura) se instalará un atemperador a la salida de los mismos. Dicho atemperador disminuirá la temperatura del GNL vaporizado elevada previamente a su paso por los compresores, haciendo posible alcanzar los -140°C requeridos para esta operación.

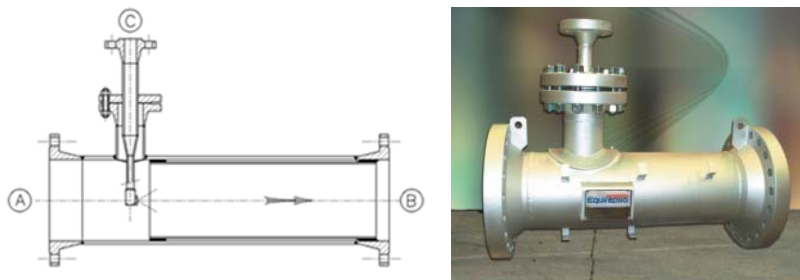


Figura 40. Atemperador en línea. Cortesía de Equirepsa.

Los atemperadores o desrecalentadores se usan para **reducir la temperatura de una línea de vapor** inyectando agua u otro refrigerante (en este caso se empleará gas natural en estado líquido). Son equipos muy habituales en instalaciones de vapor para ajustar los balances de vapor. La regulación se hace con una válvula de control en la línea de GNL utilizando la señal de la temperatura en la descarga. Se pueden instalar en cualquier posición y no hay necesidad de instalar un separador de gotas. Además, el **mantenimiento es mínimo** ya que solo es necesario reemplazar la tobera. Su principio de funcionamiento es sencillo, se trata de rociar con GNL la corriente de gas natural vaporizado para disminuir su temperatura.

Hay dos tipos de atemperadores:

- En línea (como el de la figura anterior). Son empleados cuando la presión del líquido es mayor que la del gas.
- De tipo Venturi, cuando la presión del gas es mayor que la del líquido.

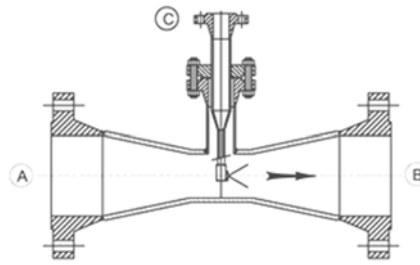


Figura 41. Atemperador de tipo Venturi. Cortesía de Equirepsa.

18. SISTEMA DE INERTIZACIÓN

El sistema de inertización se basa en la inyección de nitrógeno en las líneas de proceso como en los equipos con el objetivo de reducir la cantidad de oxígeno disponible para evitar una posible combustión. Este sistema es empleado como medida de seguridad y es válido para todos aquellos fluidos combustibles. Al introducir nitrógeno, éste se mezcla con el aire existente reduciendo la cantidad de oxígeno en el interior de las líneas y de los equipos. A partir de un valor determinado, la combustión no será posible.

La disminución del nivel de oxígeno se realiza mediante una inyección controlada de nitrógeno, extraído de la propia atmósfera mediante la acción de un compresor, que inyecta aire conduciéndolo a través de diferentes filtros dentro del mismo sistema de membrana. Una vez el nitrógeno se haya ajustado a la riqueza requerida (95-99%), se inyecta en el área a proteger hasta alcanzar el rango requerido para su correcta protección.

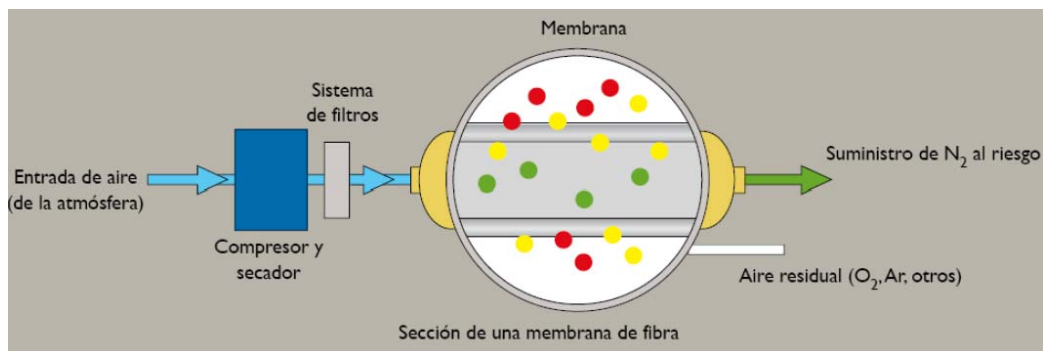


Figura 42. Diagrama de la extracción del nitrógeno. Cortesía de Pefipresa.

Una vez inertizado el sistema, se permite la entrada de oxígeno (aire fresco por ejemplo) hasta que la concentración del mismo sea la deseada para comenzar la puesta en marcha. Por normativa, el sistema de inyección de nitrógeno deberá ir dotado en paralelo de un sistema de detección de incendios de alta sensibilidad.

Para el presente proyecto se empelará dicho sistema de Inertización como primer proceso de cool-down para el enfriamiento d líneas y preparación de puesta en marcha. Por motivo de seguridad hacia los operarios en planta, las líneas de nitrógeno deberán ir señalizadas con una pintura distinta al resto de líneas de proceso, lubricación y agua para enfriamientos.

Las conexiones de manguera estarán situadas con el objetivo de permitir una facilidad en la maniobrabilidad de las mangueras así como también una mayor flexibilidad en la inyección de nitrógeno en diferentes zonas de la planta. Para la conexión de manguera se empleará el siguiente esquema típico requerido para este caso:

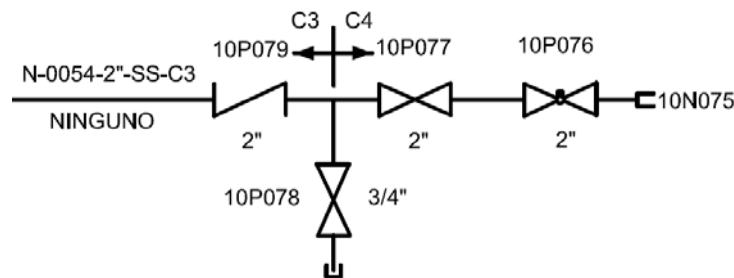


Figura 43. Diagrama típico de una conexión de nitrógeno.

19. EQUIPOS

Para este apartado se elaborará una lista de equipos que contendrá todos aquellos implicados en el proceso. Se elaborará una especificación técnica que aclarará la lista anteriormente mencionada.

19.1. Especificación Técnica de Equipos

Todo equipo o recipiente que realice una función dentro del equipo será incluido en el presente listado. El listado contendrá los siguientes apartados:

- **Equipo.** Se detallará el nombre del equipo.
- **TAG.** Se detallará la etiqueta asignada a dicho equipo. Este sistema de etiquetamiento es útil y necesario, ya que facilita la labor de identificación de los equipos por parte tanto de los operarios situados en panta como del sistema de control y monitorización del proceso en las oficinas centrales. También facilitará la labor de identificación del equipo en situación de error y puesta en marcha. En ningún caso se podrá etiquetar varios equipos con el mismo tag.
- **P&ID.** Se trata del plano en el cual aparece el equipo. Son planos de operación, instrumentación y diseño en donde aparecen las principales características del equipo y las líneas, válvulas e instrumentos de medida involucrados. Cabrá la posibilidad de encontrar un mismo equipo en dos planos distintos (como es el caso de las bombas sumergidas).



- **Dimensiones.** Se corresponde con las dimensiones físicas del equipo, proporcionadas por el proveedor en la última fase del proyecto. Las dimensiones iniciales de la ingeniería se deben a condiciones de diseño y son las más restrictivas. La unidad de medida será el milímetro.
- **Condiciones de Diseño.** Se tratan de las condiciones máximas permitidas calculadas durante el proceso de la ingeniería (tanto de presión como de temperatura). En condiciones normales, durante operación los parámetros indicados en este apartado deberán ser siempre inferiores a dichas condiciones de diseño.
- **Caudal.** Será el flujo de fluido que pase o afecte a dicho equipo. Se empleará como unidad de medida el m³/h.
- **Potencia.** Será la potencia requerida para los equipos rotativos (bombas y compresores principalmente). La potencia en el eje será la potencia hidráulica, requerida por las condiciones de operación, dividida entre el rendimiento del equipo. La potencia del motor tendrá en cuenta el rendimiento de transmisión del eje que une el equipo rotativo con el motor que tira del mismo.
- **Aislamiento.** Vendrá determinado por las condiciones de temperatura del equipo y las líneas asociadas al mismo. Se determinará el tipo de aislamiento y su espesor correspondiente.
- **Comentarios.** Se incluirán datos importantes del equipo que son particulares del mismo:
 - Tanque: capacidad de almacenamiento.
 - Bombas y compresores: se indicará qué equipo actúa como equipo de reserva (solo estará en funcionamiento cuando alguno de los restantes se encuentre en caso de avería, reparación o mantenimiento). En el caso de los compresores se indicará el peso de los mismos (dato importante para la elaboración del edificio que albergará estos equipos).
 - Separador: este equipo tiene la condición particular de la velocidad máxima permitida para que ocurra la perfecta separación del fluido en fase líquida de la fase gaseosa. También se indicará el caudal de GNL obtenido.
 - Intercambiadores: se indicará la transferencia de calor que ocurre en el equipo (ya sea aporte de calor o enfriamiento).
 - Rencondensador: se indicará el caudal de GNL que se retorna al tanque criogénico.
 - Knock Out Drum: se indicará la capacidad de almacenamiento.



20. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL PROYECTO

20.1. Costes de Instalación

El coste de instalación de todos los equipos será la inversión inicial del proyecto.

20.2. Análisis de viabilidad

20.2.1. Costes Fijos

Para el cálculo de los costes fijos se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Coste de mantenimiento de la planta.** Se estima que dicho coste será un 0.5% de los ingresos anuales.
- **Coste de consumo eléctrico.** Serán de un 0.05% del coste de aprovisionamiento.
- **Coste de seguros.** Estimándose un 0.01% de los ingresos anuales.
- **Mano de Obra.** Se necesitará una plantilla de 40 operarios que se encuentren en planta durante la operación de la misma. Dispondrán de un salario medio de 22000 €/año

20.2.2. Costes Variables

Para el cálculo de los costes variables se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Costes de Aprovisionamiento.** Son los costes producidos por el consumo de gas natural durante la operación y funcionamiento de la planta. En este proyecto se consume gas natural en la estación de vaporización. El precio de compra de gas natural ese encuentra en 21 €/MWh.
- **Coste de transporte de GNL.** Son los costes producidos por el transporte y descarga de GNL al tanque de almacenamiento procedente de los buques metaneros. Se empleará un precio medio de transporte de 14 €/m³. El caudal nominal durante el proceso de descarga es de 18500 m³/h con una duración máxima de 8 horas. La llegada de barcos estará planificada cada 14 días, cumpliéndose esta cadencia durante todo el año.

20.2.3. Ingresos

El ingreso que tendrá dicha planta será el producido por la venta de GNL a la red de distribución. Se considerará un precio de 56.7 €/MWh.

20.2.4. Flujos de Caja

Se partirá del siguiente esquema:

Income Statement	Proyecto: Planta de Regasificación de GNL. Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 junio 2016	
BALANCE DE GANANCIAS-PÉRDIDAS ANUALES		
Concepto	Método Cálculo	
Ventas Anuales	Ejercicio de la Venta de Gas Natural	
Costes de Explotación	Costes Fijos y Variables Anuales	
EBIT	Ventas – Costes de Explotación	



Intereses	140% EBIT
EBT	EBIT – Intereses
Impuestos	34% EBT
Beneficio Neto	EBT - Intereses

Tabla 12. Balance de ganancias-pérdidas anuales de la planta.

Se considerará una inflación (i) de 3.5%, unos intereses del 10% y una vida útil de 20 años. La amortización se emplea con la finalidad de que un elemento de la instalación, una vez pase su periodo de vida útil, pueda ser repuesto. Se considerará un periodo de amortización de 20 años y será calculada de la siguiente manera:

$$Amortización/año = INV * \left(\frac{i * (1 + i)^N}{(1 + i)^N - 1} \right)$$

El flujo de caja (FC) será el resultado de sumar el beneficio neto y la dotación a la amortización. El valor acumulado se obtiene mediante la suma del beneficio neto de cada año (en el año cero se contabilizará como beneficio neto lo empleado en la inversión inicial).

20.2.4. Valoración del proyecto

El **valor actual neto (VAN)** será calculado con la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{j=1}^N \frac{FC_j}{(1 + i)^j} - INV$$

La tasa interna de (TIR) es el tipo de actualización que hace nulo el valor actual neto, es decir, la tasa de descuento para la recuperación de la inversión. Se calcula según la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{j=1}^N \frac{FC_j}{(1 + TIR)^j} - INV = 0$$

Si el tipo de actualización exigido al proyecto es menor al TIR, el proyecto será rentable, ya que eso implica que el VAN es positivo para ese tipo de actualización. El principal inconveniente del TIR es que no tiene en consideración la temporalidad de los flujos de caja.

Finalmente se obtiene un TIR de 12.1%.

El **tiempo de retorno (payback period)** es el tiempo requerido una vez iniciado el proyecto para recuperar el desembolso inicial. Se calcula acumulando los flujos netos de caja hasta que su suma coincida con el desembolso inicial. Se obtendrá con la siguiente expresión:

$$Payback = (\text{último periodo con } FC < 0) + \frac{|\text{último } FC < 0|}{FC \text{ del año siguiente}}$$



21. REDISEÑO DE LA PLANTA MEDIANTE AHORRO ENERGÉTICO

El siguiente apartado se ha sugerido como una propuesta personal de mejora de la planta. Este tipo de instalaciones requieren grandes cantidades de aportación de calor procedente de una fuente exterior al proceso. Esto se traduce en grandes costes de operación. El objetivo será reducir dichos costes mediante la recuperación de calor por medio de intercambiadores. Para ello se empleará lo que se denomina tecnología de análisis del Pinch Point.

21.1. Introducción al Pinch analysis

El término *Pinch Technology* fue introducido por Linnhoff y Vredeveld en 1970 con el objetivo de introducir unos nuevos métodos termodinámicos para garantizar los niveles mínimos de empleo de energía en el diseño de redes de intercambiadores de calor. El conjunto de algoritmos y herramientas para conseguir dicho objetivo es conocido como *Pinch Analysis*. En la actualidad hay una serie de programas de software (como PinchExpress, SuperTarget, y Aspen Pinch) que han demostrado ser útiles en la aplicación de esta metodología con bastante velocidad y eficacia en plantas industriales muy complejas. Para el presente proyecto no se pudo disponer de ninguna de esas licencias, pero sí se llevó a cabo la aplicación de esta metodología de forma manual aplicando los algoritmos que serán explicados posteriormente.

Esta tecnología aplica los dos principios de la termodinámica:

- El **primer principio** para calcular los cambios de entalpía debido al intercambio de calor producido.
- El **segundo principio** determina el sentido del flujo de calor. Esto prohíbe el cruce de temperaturas entre la corriente caliente y corriente fría (la temperatura de salida de la corriente caliente no podrá ser nunca inferior a la temperatura de salida de la corriente fría).

Destacando el segundo punto, para esta metodología será necesario establecer una diferencia de temperaturas mínima en cada intercambiador. Dicha diferencia de temperaturas se conoce como gradiente mínimo de temperaturas o *driving force* (ΔT_{min}).

El número de corrientes frías y calientes que se puede usar en este análisis es infinito. Para ello, será necesario distinguir dos tipos de corrientes:

- Corriente caliente: aquella que va a ser enfriada a su paso por el intercambiador (temperatura a la entrada del equipo mayor que a la salida).
- Corriente fría: aquella que va a ser calentada a su paso por el intercambiador (temperatura a la salida del equipo mayor que a la entrada).

La metodología Pinch tiene las siguientes ventajas:

- Es una metodología sistemática para el diseño integrado de plantas de proceso.
- Identifica el mínimo consumo de energía necesario.
- Permite considerar diferentes opciones de diseño.
- Considera al mismo tiempo el coste de energía y de capital.
- Se puede aplicar en plantas de proceso nuevas o ya existentes.

21.2. Objetivo

El objetivo de esta metodología será identificar los costes en energía de la red de intercambiadores de calor existente, identificar el calor aportado por fuentes externas y rediseñar dicha red para reducir ese consumo procedente del exterior. En otras palabras, el máximo objetivo es la consecución de la reducción de los costes de operación mediante una mejor integración del calor de proceso (maximizar la recuperación de calor a lo largo de la red de intercambiadores).

Los pasos a seguir serán:

1. Selección de las corrientes a estudio. En esta metodología se seleccionarán las corrientes que entren en juego en los intercambiadores de calor (heaters y coolers). Serán tanto las corrientes de proceso como las corrientes que vengan de las fuentes de calor involucradas en el mismo.
2. Selección de un gradiente mínimo de temperaturas. Normalmente se escogen del rango de 10°C o 20°C. Cuando se trabaja con múltiples corrientes, la metodología Pinch propone la creación de una curva compuesta que combina todas las corrientes a enfriar (curva caliente), y una curva compuesta que combina todas las corrientes a calentar (curva fría). Estas dos curvas compuestas se pueden manejar de la misma forma para determinar el Pinch Point.

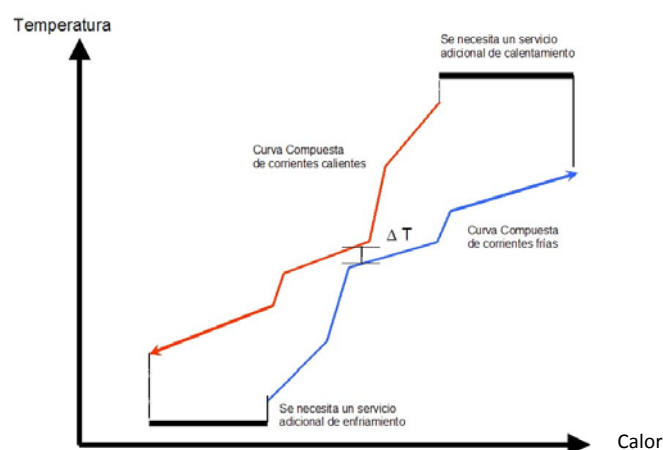
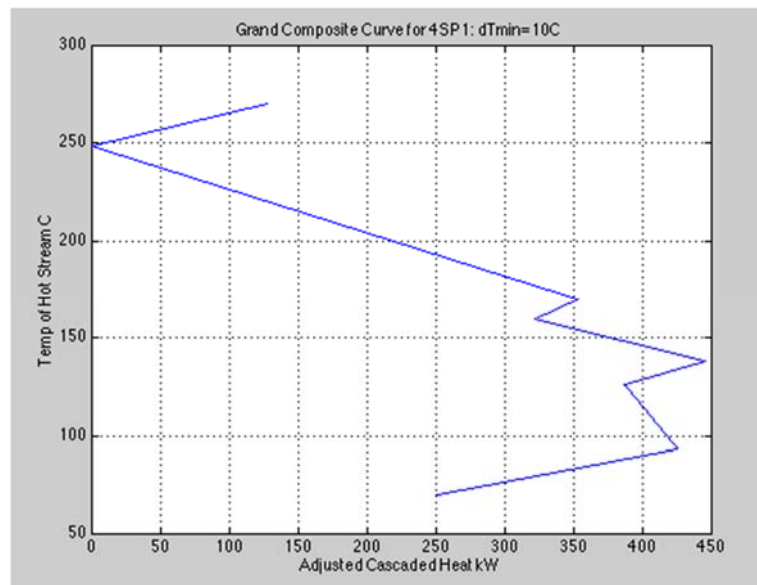


Figura 44. Curva compuesta caliente (roja) y fría (azul).

Cabe destacar que para determinar el Pinch Point (Temperatura y calor en la gráfica anterior) se empleará otro método (en paralelo al método gráfico mostrado en la figura anterior) más analítico. Dicho método se llama Método de la Cascada y será explicado más adelante.

3. Una vez determinado el Pinch Point, se calcularán las demandas mínimas de fuente de calor y enfriamiento externas (tal y como se muestra en la figura anterior),
4. El resultado anterior se comparará con la demanda de aporte de calor exterior del proceso en la actualidad y se obtendrá el ahorro potencial para este caso.
5. Se analizarán los costes de redistribución de tuberías, implantación de nuevos intercambiadores o la ampliación del área de intercambio de los mismos.

La integración de un proceso de aportación de calor también será estudiado en el presente proyecto. Para ello, será de ayuda la elaboración de una gráfica conocida como Grand Composite Curve (que será obtenida al aplicar el Método de la Cascada). Un ejemplo de dicha gráfica se muestra en la figura 45.



*Figura 45. Ejemplo de Grand Composite Curve.
Cortesía de Universidad Tecnológica de Chalmers.*

Para finalizar esta propuesta, se realizará una comparación de distintas tecnologías con el objetivo de seleccionar la más adecuada (en términos económicos) para operar como fuente de calor externa al proceso. Se estudiarán tres tipos de tecnologías; caldera de fuel-oil (ya existente), caldera de gas natural (aprovechando parte de la producción de la planta. Se considerará la instalación de nuevos quemadores capaces de realizar la combustión con gas natural), turbina de gas y un ciclo combinado. Para ello se tendrá en cuenta los distintos costes:



- Inversión inicial.
- Costes variables por unidad de potencia (costes de operación).
- Coste por emisiones de CO₂.

También se realizará un análisis de sensibilidad para ver qué tecnología sería la más apropiada en caso de que las tasas por emisión de CO₂ cambien en los próximos años.

21.3. Selección de las corrientes

El primer paso será seleccionar las corrientes que van a intervenir en este estudio. En la siguiente tabla se especifican las corrientes seleccionadas.

Selección de las corrientes Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016			PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO PLANTA DE REGASIFICACIÓN				
Corriente	Tipo	Equipo	T. Entrada [°C]	T. Salida [°C]	C _p [kJ/kg.K]	Gasto másico [kg/s]	CP [kW/K]
1	Fría	130-HA	178,62	180	2,16	0,16	0,35
2	Fría	130-HB	178,62	180	2,16	0,16	0,35
3	Fría	130-HC	-158	-155	0,03	162,8	4,88
4	Caliente	130-CR	-87,06	-160	6,4	0,16	1,024
5	Fría	120-IC	-160	-155	2,46	1022,02	2514,1692

Tabla 13. Selección de las corrientes a estudio.

Se definirá CP como el producto del gasto másico por el calor específico a presión constante. Para este estudio (y como se suele hacer en esta metodología) se empleará la linealización del calor específico C_p. Esto quiere decir que se empleará un calor específico constante que no dependerá de las variaciones de temperatura del fluido. El error acumulado por esta hipótesis no se espera que sea elevado ya que las variaciones de temperatura en los intercambiadores no son muy altas.

21.4. Selección del gradiente mínimo de temperaturas

El diseño de cualquier equipo de transferencia de calor debe siempre cumplir la segunda ley de la termodinámica que prohíbe cualquier cruce de temperaturas entre la corriente fría y caliente i.e. debe permitirse la fuerza mínima de transferencia de calor para un diseño viable del intercambiador de calor. Así, la temperatura de la corriente caliente y fría en cualquier punto del intercambiador debe tener siempre una mínima diferencia de temperatura (ΔT_{MIN}). Este valor de ΔT_{MIN} representa el cuello de botella en la recuperación de calor.

En términos matemáticos, en cualquier punto del intercambiador:

$$\text{Temperatura de la corriente caliente} - \text{Temperatura de la corriente fría} = \Delta T_{min}$$

La elección del valor de este gradiente mínimo de temperatura tendrá fuertes implicaciones para el capital y costes de operación. Actualmente se encuentran tabulados algunos valores recomendados por Linnhoff dependiendo de la aplicación:

Sector Industrial	Valores de ΔT_{MIN} [°C]
Refinería de Petróleo	20 – 40
Petroquímica	10 – 20
Química	10 – 20
Procesos a Baja Temperatura	3 - 5

Tabla 14. Valores típicos del gradiente mínimo de temperatura.

Se escogerá un gradiente mínimo de temperatura de **5 K**.

21.5. Obtención de las curvas compuestas

Se realizará una curva compuesta para las corrientes calientes (resultado de la composición de todas las corrientes calientes) y otra para las corrientes frías (resultado de la composición de todas las corrientes frías).

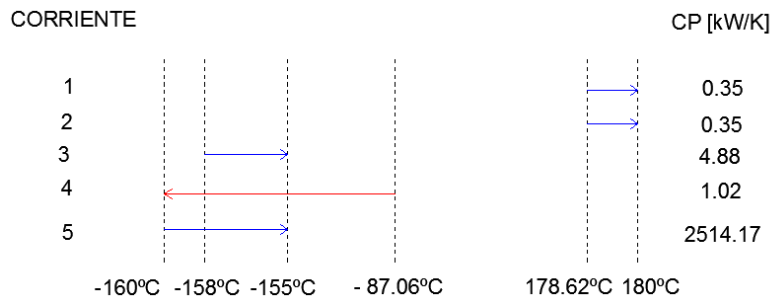


Figura 46. Identificación de los rangos de temperaturas.

21.5.1. Método gráfico

Se dividirán las temperaturas en rangos, tal y como muestra la figura anterior, de tal manera que el CP será la suma de todos los CP de las corrientes implicadas en ese rango de temperaturas. Dado que los ejes de la curva compuesta son temperatura y calor, para calcular éste último se aplicará la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = CP * (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})$$

Se representarán las curvas compuestas para las corrientes frías y calientes, tal y como se muestran en la siguiente gráfica.

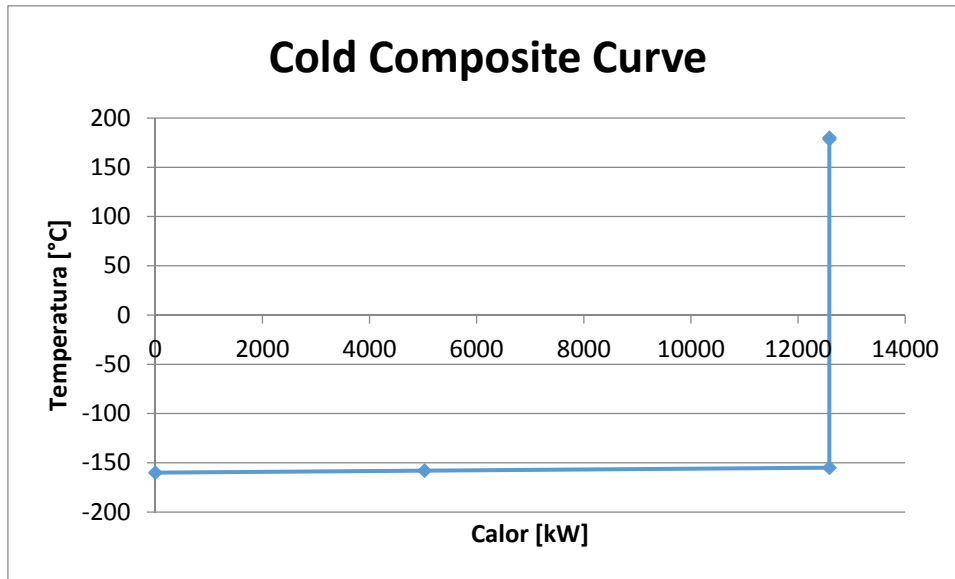


Figura 47. Curva compuesta de las corrientes frías.

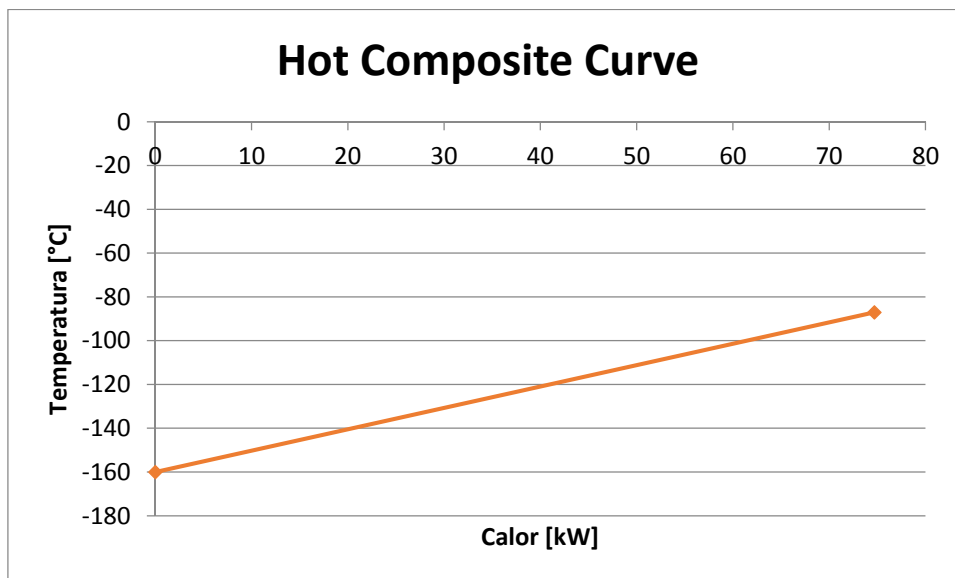


Figura 48. Curva compuesta de las corrientes calientes.

Para la obtención del Pinch Point mediante la inclusión de ambas curvas en una misma gráfica, se realizará el siguiente procedimiento:

Primero se dibujará la curva compuesta de las corrientes calientes empezando en $Q=0$ kW.

- Acto seguido se representará la curva compuesta de las corrientes frías empezando en $Q=0$ kW.
- Se identificará el punto en el que ambas curvas estarán más próximas. Se desplazará la curva compuesta de las corrientes frías hasta que la mínima distancia vertical entre

ambas gráficas sea la correspondiente al gradiente mínimo de temperaturas. Cabe destacar que el desplazamiento de las curvas solo puede ser de manera horizontal.

- La demanda mínima de aporte de calor externo ($Q_{H,min}$) y la demanda mínima de enfriamiento ($Q_{C,min}$) serán obtenidas directamente tal y como muestra la siguiente figura.

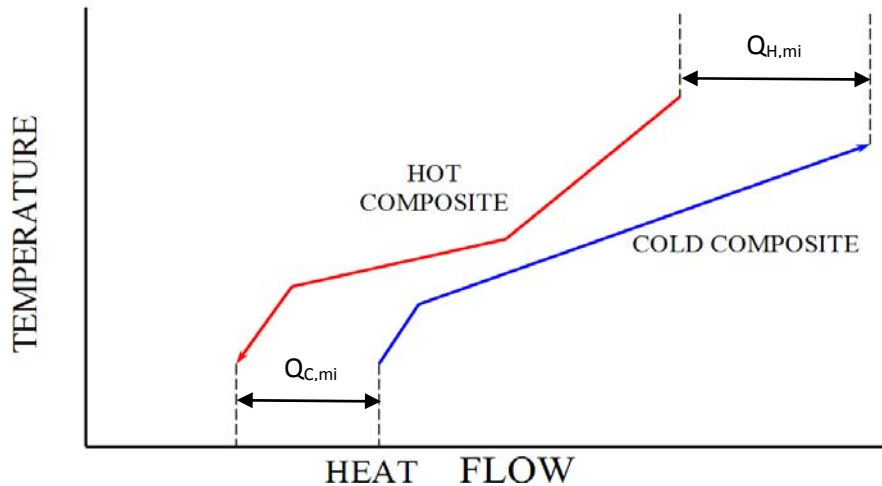


Figura 49. Método Gráfico para la obtención del Pinch Point.

21.5.2. Método de la Cascada

Es un método analítico que emplea algoritmos para calcular la demanda mínima de calor exterior, la temperatura del Pinch Point y permitirá realizar la gráfica GCC (Grand Composite Curve) que será útil a la hora de evaluar la aportación de calor del exterior. Cabe destacar que se trata de un método más exacto que el método gráfico y para el presente proyecto será la mejor opción. El primer paso es calcular el intervalo de temperaturas para cada temperatura de todas las corrientes. Este término se le conoce como intervalo de temperaturas o *shifted temperatures*. Para su consecución, se aplicará las siguientes ecuaciones, dependiendo del tipo de corriente que se trate:

$$T_{caliente}^{shift} = T_{caliente} - \frac{\Delta T_{min}}{2}$$

$$T_{fría}^{shift} = T_{fría} + \frac{\Delta T_{min}}{2}$$

En estos intervalos, al sumar o restar la mitad del gradiente mínimo se provoca que la diferencia de temperaturas mínima en el intercambiador sea cero. Este es un requisito importante para poder realizar la curva GCC.

El siguiente paso será realizar el cálculo del intervalo de temperaturas. Para ello se ha de rellenar la siguiente tabla:



Intervalo Temp.	$\sum CP_{caliente} - \sum CP_{fría}$	$\Delta H = (\sum CP_{caliente} - \sum CP_{fría}) * \Delta T$
T ₁ - T ₂	CP ₁₂	ΔH ₁₂
T ₃ - T ₄	CP ₃₄	ΔH ₃₄

Tabla 15. Cálculo teórico de la cascada térmica.

Los CP serán el resultado de restar el sumatorio de CP de las corrientes calientes involucradas en ese intervalo de temperaturas del sumatorio de los CP de las corrientes frías involucradas en ese intervalo de temperaturas. A continuación se construirá la cascada de la siguiente manera:

- Los cuadrados contendrán los ΔH calculados en la tabla anterior. Estos calores se irán sumando conforme se vaya construyendo dicha pirámide. Se partirá de cero como valor inicial. La pirámide se construye en orden descendente, desde el intervalo con mayor temperatura hasta el más pequeño.
- Del resultado de suma, el número negativo con mayor valor absoluto será la demanda mínima de calor que necesita el proceso. El intervalo donde haya sido identificado dicho valor será la temperatura del Pinch Point. Para calcular la demanda de enfriamiento mínima, se deberá volver a construir la misma cascada partiendo como valor inicial la demanda mínima de aporte de calor calculada en la cascada anterior. Esto se hace así porque, debido al orden descendente de la cascada desde temperaturas mayores a menores, la transferencia de calor de una temperatura mayor a una menor nunca puede ser negativa (aplicando los principios termodinámicos).

Un ejemplo teórico de la construcción de la pirámide se muestra a continuación. La pirámide empleada para los cálculos se encuentra en los anexos.

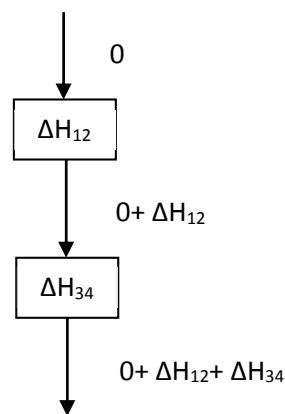


Figura 50. Ejemplo teórico del método cascada.



La obtención de las demandas mínimas de calor y enfriamiento serán calculadas en la segunda cascada. El primer flujo de calor de la segunda cascada (número negativo de mayor valor absoluto) será la demanda mínima de aportación de calor por una fuente externa. El último flujo de calor de la segunda cascada será la demanda mínima de enfriamiento requerido por el proceso.

Como se puede apreciar en los anexos, en este caso la demanda mínima de enfriamiento de una fuente exterior es cero. Esto se debe a que solo existe una corriente caliente en el proceso (la corriente 4) frente a las otras cuatro corrientes frías. Por ello, la corriente caliente quedará satisfecha mediante el intercambio de calor con el resto de corrientes frías (término que en adelante se le llamará *ticked-off* para referirse a la satisfacción de las necesidades de la corriente caliente).

La demanda mínima de calor procedente de una fuente externa al proceso será de unos 12.5 MW, suma total del calor requerido por las corrientes frías para alcanzar las temperaturas de proceso requeridas.

La temperatura del Pinch Point resultó ser de -162.5°C, pero dicha temperatura es un intervalo (recordar que para la construcción de la cascada se emplearon temperaturas shifted, sumando o restando la mitad del gradiente mínimo de temperaturas seleccionado para este análisis). Las corrientes frías tendrán una temperatura Pinch y las corrientes calientes tendrán otra. El valor de la temperatura del Pinch Point para las corrientes calientes será mayor que la temperatura del Pinch Point para las corrientes frías. Concretamente la diferencia entre ambas temperaturas será el gradiente mínimo de temperaturas.

$$T_{pinch}^{caliente} = T_{pinch}^{shift} + \frac{\Delta T_{min}}{2}$$

$$T_{pinch}^{fría} = T_{pinch}^{shift} - \frac{\Delta T_{min}}{2}$$

Este método de la cascada permite representar una curva conocida como la GCC (Grand Composite Curve), que se muestra a continuación. Las temperaturas que representan esta curva son aquellas denominadas como *shifted temperaturas*, distintas a las temperaturas reales del proyecto.

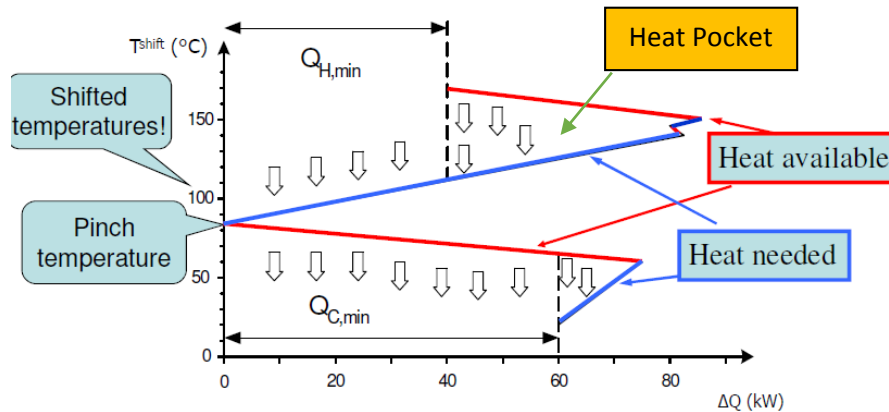


Figura 51. Ejemplo de GCC. Cortesía de Universidad Tecnológica de Chalmers.

Las flechas verticales en sentido descendente que se muestran en la figura anterior representan la transferencia de calor a lo largo de la GCC. Las líneas de color azul representan la necesidad de calor mientras que las líneas de color rojo muestran el exceso de calor disponible para calentar a las líneas azules.

El *Heat Pocket*, marcado en la figura anterior, muestra el calor que puede ser aportado a las corrientes frías procedente de las corrientes calientes, en otras palabras, el calor proporcionado a las corrientes frías debido al intercambio de calor sin tener que acudir a fuentes externas al proceso.

21.6. Potenciales ahorros de energía

Se calculará el calor necesario, aportado por una fuente externa, para las corrientes frías del proceso según opera actualmente. Para ello se sumará el intercambio de calor de las corrientes que atraviesan los equipos 130-HA/HB/HC y 120-IC. A este calor se le restará la demanda mínima calculada con el método de la cascada y de esta manera se calculará el ahorro energético máximo posible para este proyecto.

A su vez, esta red también tiene el objetivo de emplear el mínimo número de equipos necesario (intercambiadores de calor) para realizar ese ahorro energético pretendido.

21.7. Diseño de la red MER

Una red MER (Maximum Energy Recovery) es una red de intercambiadores de calor en la que se añadirán los mínimos heaters y coolers necesarios, aprovechando el intercambio de calor entre las distintas corrientes para favorecer la máxima recuperación de energía posible.

El Pinch Point dividirá la red de intercambiadores en dos partes, **por encima del Pinch** (above the Pinch) y **por debajo del Pinch** (below the Pinch). Temperaturas por encima del Pinch Point habrá un déficit de calor y para temperaturas por debajo del Pinch Point habrá un exceso de calor que podrá ser aprovechado para calentar las corrientes frías.

21.7.1. Prerrequisitos

Se deberá conocer el mínimo gradiente de temperaturas y la temperatura del Pinch Point, tanto para las corrientes calientes como para las corrientes frías. Por consiguiente también se conocerán las demandas mínimas de calor y enfriamiento del proceso.

Se deberá conocer las temperaturas requeridas para cada corriente, así como también su gasto másico y el calor específico de cada una.

Se aplicará lo que se conoce como las reglas de oro, que son las siguientes:

- No transferir calor a través del Pinch Point.
- No enfriar por encima de la temperatura del Pinch Point.
- No calentar por debajo de la temperatura del Pinch Point.

La siguiente figura muestra gráficamente estas reglas de oro.

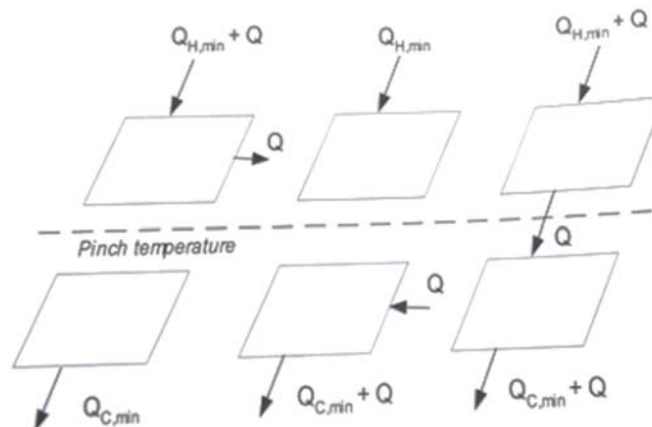


Figura 52. Ilustración gráfica de las tres reglas de oro.
Cortesía de Universidad Tecnológica de Chalmers.

Aplicando estas reglas de oro se puede deducir que no se podrá instalar heaters por debajo del Pinch Point ni instalar coolers por encima del Pinch Point.

21.7.2. Red MER

Se emplearán intercambiadores de calor, heaters y coolers según sea necesario para que todas las corrientes alcancen sus temperaturas de requisición según el proceso. Para ello se emplearán los siguientes principios:

- Aplicar las tres reglas de oro mencionadas anteriormente.
- Descomponer el problema en dos subredes, por encima y debajo del Pinch Point.
- El diseño de cada subred comenzará a partir del Pinch Point donde el gradiente de temperaturas es el mínimo establecido al principio del análisis. Los intercambiadores



que sean implementados entre las corrientes deberán cumplir las siguientes condiciones:

$$\text{Por Encima del Pinch: } CP_{fría} \geq CP_{caliente}$$

$$\text{Por Debajo del Pinch: } CP_{caliente} \geq CP_{fría}$$

- **Por Encima del Pinch**, donde existe un déficit de calor, el principal objetivo es enfriar las corrientes calientes sin usar el enfriamiento proveniente de una fuente externa. Así se maximizará el uso del calor presente en el proceso. Debido a los condicionantes creados por el gradiente mínimo de temperaturas, cada corriente fría podrá solo enfriar una corriente caliente. Esto es válido para temperaturas cercanas a la del Pinch Point.
- **Por Debajo del Pinch**, donde existe un exceso de calor, el principal objetivo es calentar las corrientes frías sin usar calor procedente de una fuente externa al proceso. Así se maximizarán el empleo de los recursos existente en el proceso. Debido a los condicionantes creados por el gradiente mínimo de temperaturas, cada corriente caliente podrá solo calentar una corriente fría. Esto es válido para temperaturas cercanas a la del Pinch Point.
- En caso de no poder cumplir los tres puntos anteriores, se procederá a dividir la corriente en dos o más ramas. Este hecho incrementará el número de corrientes calientes o frías al mismo tiempo que el valor del CP es reducido. Es necesario destacar que la división de las corrientes no afectará al número de intercambiadores empleados para diseñar la red MER.
- Cuando todas las corrientes hayan sido empleadas para el intercambio de calor, se instalarán unidades externas de calentamiento y enfriamiento para completar los requisitos de cada corriente (solo en caso de que no hayan podido ser satisfechos mediante intercambiadores de calor).
- Cuando se instale un intercambiador de calor entre dos corrientes, se maximizará dicho intercambio para minimizar el número de equipos a instalar en la red. Esto quiere decir que cuando se instale un intercambiador entre dos corrientes, al menos una corriente deberá alcanzar la temperatura requerida por el proceso. A esto se le denomina la **Tick-Off Rule**.

Como se puede apreciar en los anexos, no hay ninguna corriente por debajo del Pinch Point. Esto hecho es muy típico en las redes en las que la demanda mínima de enfriamiento es nula.

Aplicando los criterios anteriores, en los anexos se muestra la red MER obtenida y su proceso de construcción. Cabe destacar que para todos estos casos se supondrá que no hay pérdidas de presión ni de calor dentro del intercambiador de calor.

Finalmente, la demanda de calor que se necesita para esta red es de 12.5 MW. No es casualidad que esta demanda coincida con la demanda mínima calculada en el método de la cascada realizado en los apartados anteriores. Esto se debe a que una red MER se corresponde con



aquella que realiza el máximo intercambio de calor posible entre las corrientes implicadas, provocando que la demanda de calor procedente de una fuente externa al proceso coincida con la demanda mínima calculada en el Pinch análisis. Por ello se puede decir que se ha obtenido una red MER en la que se realiza la máxima recuperación de calor posible.

En los planos se encontrará el nuevo diagrama de flujo del proceso.

21.8. Análisis económico de la nueva red MER

Los nuevos costes de esta red MER serán los siguientes:

- Instalación de los intercambiadores. Coste Intercambiador = $74800 + 3536 \times A^{0.8}$ donde A es el área de intercambio en m^2 .
- Coste de la aportación de calor de 0.01 €/kW.h.
- Coeficiente de transferencia de calor $U = 1.5 \text{ kW}/m^2.K$.
- Se estimará un tiempo de operación anual de 6000 horas.
- Se escogerá un periodo de retorno (payback) de dos años. Para este tipo de redes con menos de 6 corrientes implicadas, el periodo de retorno oscila entre 1 y 3 años.

Se calculará el área de intercambio de cada equipo siguiendo la siguiente ecuación (ya empleada en el diseño de los heaters y coolers):

$$\dot{Q} = U * A * \Delta T_{lm}$$

Una vez obtenida el área de transferencia, se calculará el coste de instalación de los nuevos intercambiadores empleados en la nueva red MER aplicando la ecuación mencionada anteriormente.

A continuación se calculan los costes asociados a la aportación de calor procedente de la fuente externa (caldera de fuel-oil) empleando la ecuación mencionada anteriormente.

$$\text{Costes Energía} = 0.01 * \text{Horas Operación} * \text{Calor Aportado}$$

Los costes anuales totales (TAC) serán calculados mediante la siguiente expresión:

$$TAC = \frac{\text{Costes Intercambiadores}}{\text{Payback}} + \text{Costes Aportación Calor Externa}$$

A continuación se calcularán los costes del proceso sin implementar la red MER. Para ello se empleará la ecuación del coste de aportación del calor mencionada anteriormente.

$$\text{Costes Energía} = 0.01 * \text{Horas Operación} * \text{Calor Aportado}$$

Se obtiene un ahorro energético de 995000 euros.

22. CALDERA DE FUEL-OIL

Una caldera es un dispositivo donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en calor o energía útil a través de un fluido en fase líquida o vapor. Normalmente el fluido sale como vapor y es producido por la transferencia de calor a presión constante. Dado que es un recipiente a presión, suelen estar construidas de acero laminado como los tanques de gas. Los principales usos de la caldera son:

- **Esterilización** para el instrumental médico de los hospitales, comedores del sector industrial para esterilizar cubiertos.
- **Calentamiento de otros fluidos**, como el petróleo.
- **Generación de electricidad**, a través de un ciclo de Rankine.

El fuel-oil empleado como combustible en la caldera proviene del residuo producido del crudo después de haberse destilado para producir productos más ligeros como queroseno, diésel o gasoil. Es el combustible más pesado de los que se pueden destilar a presión atmosférica y está compuesto por moléculas con más de 20 átomos de carbono. Su aspecto es de color negro y también se usa como combustible para plantas de energía eléctrica y hornos.



Figura 53. Caldera de fuel-oil (izq.) y Quemador de fuel-oil (dcha.). Cortesía de Direct Industry.

El fuel-oil se clasifica en seis clases dependiendo de su punto de ebullición (que varía de los 175 a los 600 °C), composición (la longitud de la cadena de carbono varía de 9 a 70 átomos) y empleo (los más pesados deben calentarse para que fluyan). A los fuel-oil de clases 1, 2 y 3 se les denomina fueloil destilado, fueloil diésel, fueloil ligeros o simplemente gasóleo.

Gasóleo hace referencia al proceso de destilación. El crudo se calienta, se gasifica y luego se condensa.

- Los de **clase 1** son similares al queroseno.
- Los de **clase 2** son empleados como combustible para motores diésel (maquinaria y vehículos ligeros hasta camiones de gran tonelaje).



- Los de **clase 3** son combustibles destilados que no se emplean con mucha frecuencia.
- Los de **clase 4** son mezclas de fuel-oil destilado con residuos. Pueden ser clasificados como diésel destilado o fuel-oil residual.
- Los de **clase 5** y **clase 6** son conocidos como fueloil residuales o fueloil pesados. Son los remanentes del crudo después de que la gasolina y los fuel-oil ligeros hayan sido extraídos a través de la destilación.

23. OTRAS TECNOLOGÍAS

Como ya se mencionó anteriormente, el calor aportado a los heaters proviene de una caldera de fuel-oil ligero que actúa de fuente externa de aportación de calor. Este tipo de calderas están siendo cada vez menos usadas ya que existen combustibles más económicos en términos de precio de compra y cantidad de emisiones de CO₂. Por ello, para el presente proyecto se realizará una propuesta de cambio a otra tecnología diferente. Dicho estudio estará basado en términos económicos compuestos por la inversión inicial a la hora de instalar esa nueva tecnología, costes de producción (ya sean costes de consumo de combustible o consumo eléctrico) y costes por emisiones de CO₂.

Se estudiarán los casos de una caldera operando con fuel-oil (caso actual), una caldera operando con gas natural (aprovechando parte de la regasificación), otra caldera operando con biomasa, una bomba de calor, una turbina de gas y un ciclo combinado. Tanto para el ciclo combinado como para la turbina de gas, el combustible a emplear será el gas natural, debido a que se quiere aprovechar la producción del mismo y a que se trata de un combustible con menos emisiones de CO₂. Dado que la planta necesita electricidad, dicha electricidad será generada en una planta externa que trabaja con carbón.

Con la ayuda de la curva GCC se mostrará la integración de dicha tecnología en el proceso.

23.1. Selección de la Tecnología

La selección de la tecnología se basará en el factor económico. Dicho factor económico dependerá de:

- Costes Fijos. Serán los costes de inversión e instalación de la tecnología. En caso de la caldera de fuel-oil, no se requerirá ninguna inversión ya que ya se encuentra en planta y funcionando.
- Costes Variables. Son los costes de operación de esa tecnología. Depende del coste del combustible y de las emisiones de CO₂ del mismo.

$$CV = \text{Coste Combustible} + (\text{Emisiones CO}_2 * \text{Impuesto de Emisiones})$$

La demanda jugará un papel muy importante en la selección de la tecnología. Para este tipo de estudios es típico usar lo que se denomina como curva de demanda continua (formada a partir de la curva monótona de carga).

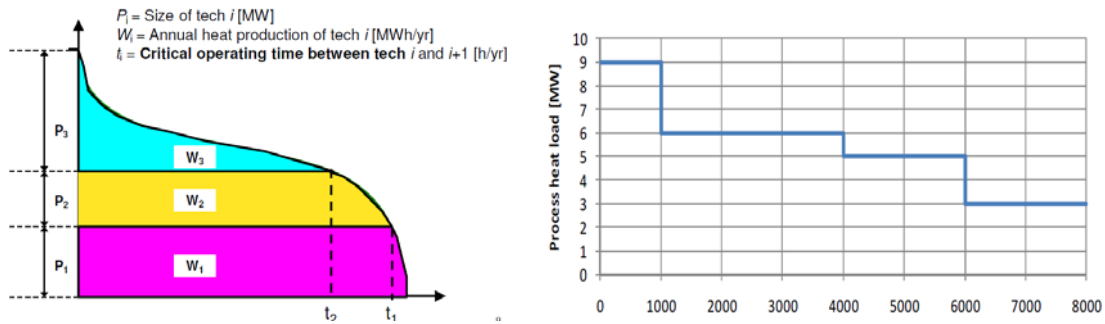


Figura 54. Curva monótona de carga (izq.) y Curva de demanda continua (dcha.).
Cortesía de Universidad Tecnológica de Chalmers.

Para el presente proyecto se tomará como demanda continua la demanda mínima de aportación de calor calculada en el *Pinch Analysis* y corroborado en el apartado donde se creó la red MER de intercambiadores de calor. Para seleccionar qué tecnología emplear, se representarán las curvas de costes de cada tecnología. Estas curvas tendrán como punto de origen el coste de inversión de cada tecnología y como pendiente load sus correspondientes costes variables. Aquella que presente un menor coste de producción para la demanda establecida será la tecnología seleccionada.

23.1.1. Calderas

Se va a estudiar la caldera con tres tipos de combustibles; fuel-oil (empleado actualmente), biomasa y gas natural.

La **caldera de fuel-oil ligero** es la que está operando actualmente. Este tipo de calderas están desapareciendo en favor de otras con combustibles más económicos y menos contaminantes. La inversión inicial de dicha caldera será nula ya que ya está instalada y funcionando. Los únicos costes que dicha caldera tendrá asociados serán los de operación (precio del combustible y de las emisiones de CO₂).

La **caldera de gas natural** empleará dicho combustible a la salida de los compresores de Boil-off gas. Parte de ese combustible será mandado a dicha caldea en lugar de ser mandada a red de distribución. El gas natural es un combustible con menos emisiones y a un precio más bajo que el fuel-oil. Ya que la estructura de la caldera de fuel-oil será conservada (reduce costes de inversión inicial), será necesario sustituir los quemadores por otros que puedan trabajar con gas natural. Por ello, los costes asociados a esta tecnología serán costes de instalación (coste fijo debido a la necesidad de instalar nuevos quemadores) y costes de operación debidos al consumo de gas natural (aunque no se compre el gas natural a ningún proveedor, ese gas enviado a la caldera no es vendido a ningún cliente, resultando esto un coste de oportunidad) y a los impuestos por emisión de CO₂.

La **caldera de biomasa** emplea dicho combustible para la generación de vapor. La biomasa es un recurso energético ecológico que comprende a todos aquellos que sean de naturaleza

orgánica y con origen biológico. Se genera en los ecosistemas naturales o como resultado de la actividad humana. Dicho combustible resulta ser una fuente inagotable con muy poca contaminación para el medio ambiente (no contribuye al agujero de la capa de ozono). Es una fuente de energía renovable que ayuda a la limpieza de montes y residuos de industrias (hay calderas que se alimentan con ramas y hojas caídas de los árboles). Sus costes serán los de instalación (adaptación de nuevos quemadores principalmente) y costes de operación (bajo coste del combustible y pocas emisiones de CO_2).

A continuación se muestra un ejemplo de la curva GCC en la integración de una caldera en el proceso

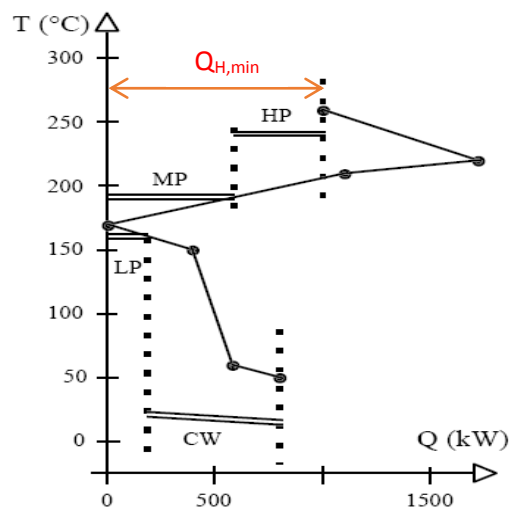


Figura 55. Integración de una caldera en el proceso.
Cortesía de Universidad Tecnológica de Chalmers.

La demanda mínima del proceso ($Q_{H,min}$) es cubierta por una caldera que aporta vapor a dos presiones y temperaturas distintas; HP (vapor a alta presión) y MP (vapor a media presión). Este aspecto es muy típico, ya que permite una mejor utilización de la fuente externa de calor y reduce el coste de dicha aportación maximizando el empleo del vapor MP (el vapor de media presión es más barato que el de alta presión). La cantidad máxima de MP empleado viene determinada por la temperatura a la que es suministrado por la caldera y a la curva GCC (el límite es donde cortan ambas curvas).

Por otro lado, la demanda mínima de enfriamiento es aportada por otra fuente externa CW (circuito de agua fría). Dicha fuente suele considerarse como coste cero y puede ser empleado para calentar el agua y ser enviada a una red que necesite de esa agua precalentada.

También cabe destacar que en la figura anterior existe una pequeña cantidad de vapor denominada LP (vapor de baja presión). Este vapor es más barato que los dos anteriores pero para este proceso, la temperatura a la cual se suministra dicho vapor es inferior a la temperatura

del Pinch Point. Por ello no puede ejercer la función de calentar el proceso. Debido a la temperatura de dicho vapor, su verdadera función en este caso es enfriar el proceso (ver que el proceso de enfriamiento es llevado a cabo por el agua y el vapor de baja presión).

Para obtener la ecuación de costes variables de la caldera se tendrá en cuenta el combustible que entra en la misma, las pérdidas dentro de la misma debido a rendimiento de la combustión y pérdidas de calor dentro de la misma.

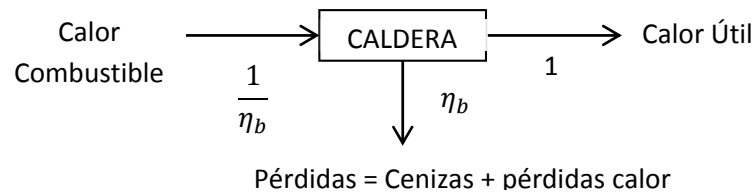


Figura 56. Diagrama de flujo del funcionamiento de una caldera.

Los costes de operación debido al consumo de combustible vendrán dados por la siguiente expresión:

$$b_b = \frac{b_{comb}}{\eta_b}$$

Siendo:

$b_b \equiv$ coste de operación la caldera [€/kW.h]

$b_{comb} \equiv$ precio del combustible [€/kW.h]

$\eta_b \equiv$ Rendimiento de la caldera

Las emisiones de CO₂ dicho equipo seguirán la siguiente ecuación:

$$c_b = \frac{c_{comb}}{\eta_b}$$

Siendo:

$c_b \equiv$ cantidad de CO₂ emitido [kg/kW.h]

$c_{comb} \equiv$ emisión de CO₂ debido al combustible empleado [kg/kW.h]

23.1.2. Bomba de Calor (HP)

Una bomba de calor (Heat Pump, HP) es una máquina térmica que, partiendo de una fuente fría o de baja temperatura, transfiere energía térmica a otra fuente de calor o de mayor temperatura. Recibe este nombre por analogía con las bombas de agua, que sirven para subir el agua desde un nivel bajo a otro más alto. Para lograrlo es necesario un aporte de trabajo, pues

de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, el calor se dirige de manera espontánea de una fuente caliente a otra fría, hasta que sus temperaturas se igualen, y no al revés. Este tipo de equipos son muy empleados en columnas de destilación.

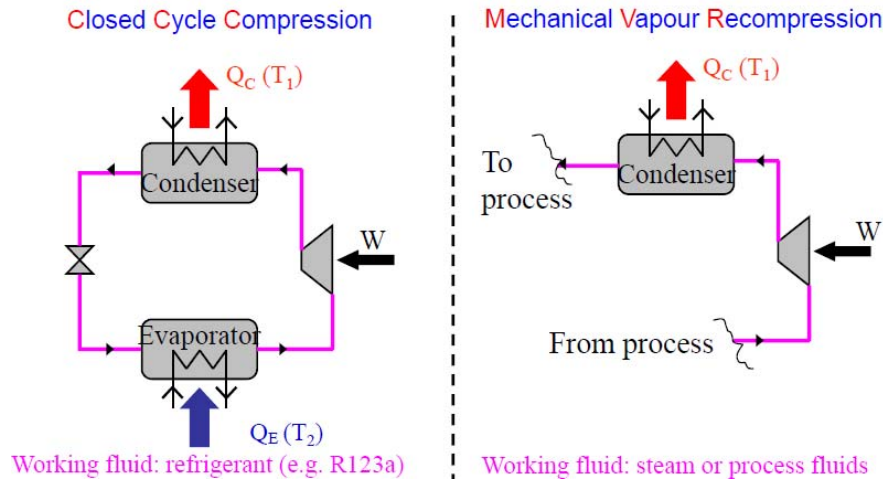


Figura 57. Tipos de bombas de calor más empleados.
Cortesía de la Universidad Tecnológica de Chalmers.

El circuito más básico está compuesto por un compresor y un condensador que entregará el calor requerido. La eficiencia de dichos equipos se mide con el COP (coefficient of performance), que sigue la siguiente ecuación:

$$COP = \frac{\text{Calor Útil Entregado}}{\text{Consumo Eléctrico Compresor}}$$

El COP depende principalmente de las temperaturas de operación. Este tipo de equipos son más eficientes (valores mayores del COP) conforme más reducido es la diferencia de temperaturas entre la entrada y salida de la bomba de calor.

Se pueden distinguir distintos tipos de bombas de calor:

- De ciclo de cerrado dirigido con motor eléctrico.
- De ciclo cerrado dirigido con motor diésel.
- Mecánica de compresión de vapor.
- Térmica de compresión de vapor.
- Ciclo de absorción.

Las ecuaciones más características de estos equipos son:

$$COP = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{Q_E - Q_C}$$

$$COP_{Carnot} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

$$\eta_{Carnot} = \frac{COP}{COP_{Carnot}}$$

La bomba de calor deberá integrarse en el proceso a la misma temperatura del Pinch Point, más comúnmente conocido como *across the Pinch*. De esta manera el equipo cogerá una temperatura que para el proceso se considera fría (temperaturas por debajo del Pinch Point) y la calentará a temperaturas por encima del Pinch Point.

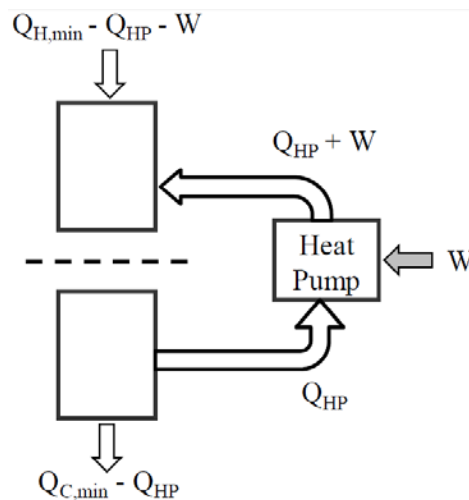


Figura 58. Integración de la bomba de calor.
Cortesía de la Universidad Tecnológica de Chalmers.

Para obtener la ecuación de costes variables de una bomba de calor, se evaluará el flujo de energías correspondiente a este tipo de equipos.

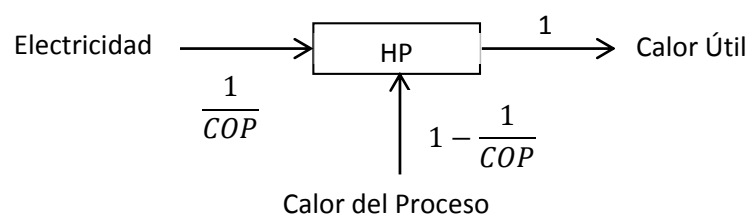


Figura 59. Diagrama de flujo del funcionamiento de una bomba de calor.

Por lo tanto, los costes variables asociados a este equipo serán aquellos asociados al coste de combustible necesario en la planta que crea la electricidad necesaria para que funcione la bomba de calor. Por ello, el precio a pagar será el precio de la electricidad convertido a unidades de combustible, es decir, el precio de la electricidad entre el COP.



$$b_{HP} = \frac{b_{el}}{COP}$$

Aunque es cierto que durante el funcionamiento de la bomba de calor no se producen emisiones directas de CO₂ procedentes del equipo en sí, sería un error no tener en cuenta dichas emisiones. Como ya se dijo anteriormente, la bomba de calor necesita consumir electricidad (para que funcione el compresor). Dicha electricidad es producida en una planta ajena al proceso que si crea emisiones de CO₂. Se debe tener en cuenta que dicha producción de electricidad puede venir de un ciclo combinado en la mayoría de los casos. Por lo tanto, las emisiones de CO₂ vendrán determinadas por las emisiones generadas en el combustible empleado para su generación ($c_{fuel,PP}$), la eficiencia eléctrica del ciclo de Rankine (η_{el}), el COP y la eficiencia en la red de distribución de la línea eléctrica (η_{distr}).

$$c_{HP} = \frac{c_{fuel,PP}}{COP * \eta_{el} * \eta_{distr}}$$

La tabla que se muestra a continuación contiene los principales valores de rendimiento eléctrico y emisiones de CO₂ por unidad de calor dependiendo del tipo de fuente de generación.

Tecnología	η_{el}	Emisiones de CO ₂ [kg CO ₂ /GJ _{fuel}]
Ciclo Combinado con Gas Natural	0.55	57
Planta de Carbón	0.43	92
Central Nuclear	0.33	0

Tabla 16. Parámetros para el cálculo de las emisiones de una bomba de calor.

La siguiente tabla muestra los diferentes valores del COP dependiendo de la tecnología.

Tecnología	COP mínimo	COP máximo
Calor Residencial	2	3.5
Plantas Industriales	3	10

Tabla 17. Rango de valores del COP dependiendo de la tecnología.

A continuación se muestra la relación entre reducción de emisiones de CO₂ en función del COP dependiendo de la tecnología empleada.

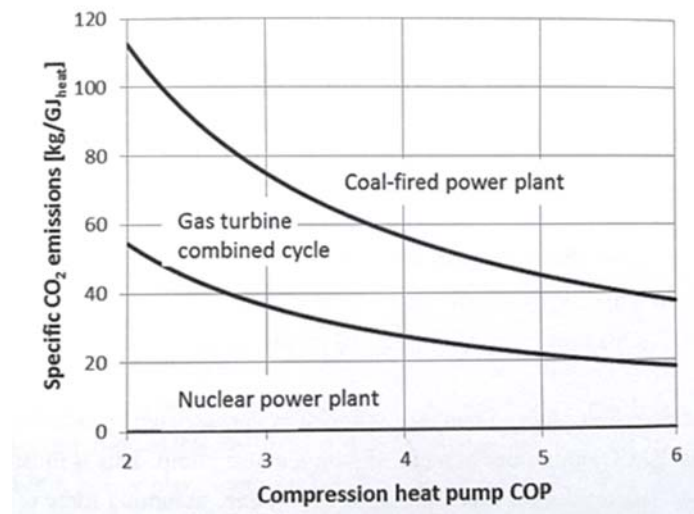


Figura 60. Reducción emisiones de CO₂ en función del COP. Cortesía de la Universidad Tecnológica de Chalmers.

Como se puede apreciar en la figura anterior, a mayores valores del COP menos emisiones de CO₂ serán generadas. Esto cobra sentido al recordar que a las bombas de calor son más eficientes a medida que aumentan los valores del COP.

Dado que son equipos que aportan calor a los procesos, se puede ver la integración de la bomba de calor apoyándose en la curva GCC.

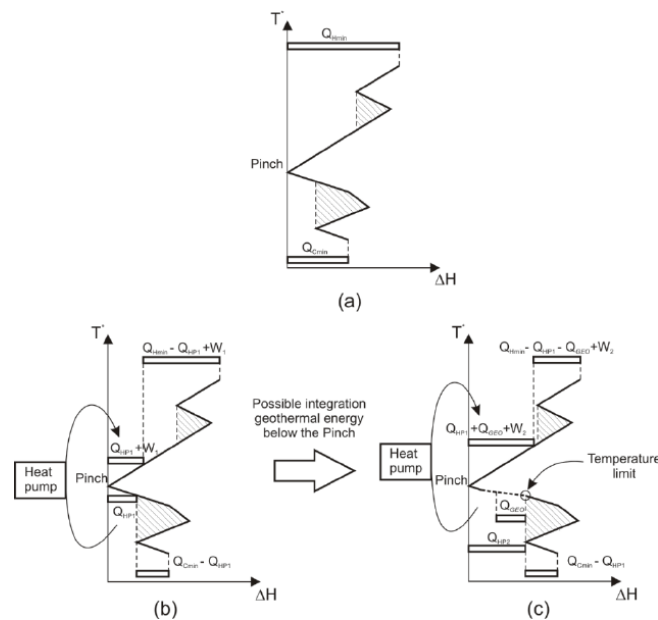


Figura 61. Integración de una bomba de calor. Cortesía de Research Gate.

23.1.3. Turbina de Gas y Ciclo Combinado

Una central de ciclo combinado es una central eléctrica en la que la energía térmica del combustible es transformada en electricidad mediante dos ciclos termodinámicos: el correspondiente a una turbina de gas mediante combustión (ciclo Brayton) y el otro ciclo de vapor (ciclo Rankine). El ciclo de Brayton transferirá el calor al ciclo de Rankine mediante una caldera de recuperación. Son procesos termodinámicos que requieren una cantidad de calor aportado por un combustible a los quemadores (o cámara de combustión).

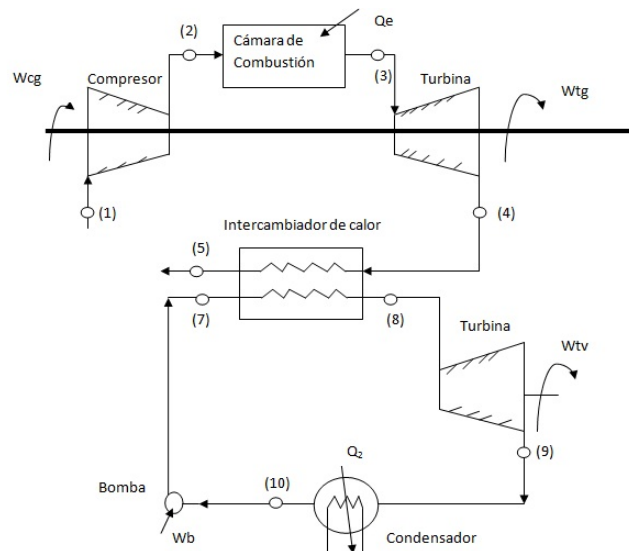


Figura 62. Ciclo combinado. Cortesía de Thermal Hydraulics.

Al generar electricidad con un motor generador o una turbina, el aprovechamiento de la energía primaria del combustible es del 25% al 35%, lo demás se pierde en forma de calor. Al cogenerar, se puede llegar a aprovechar del 70% al 85% de la energía que entrega el combustible. La mejora de la eficiencia térmica de la cogeneración se basa en el aprovechamiento del calor residual de los sistemas de refrigeración de los motores de combustión interna para la generación de electricidad. El gas natural es la energía primaria más utilizada para el funcionamiento de las centrales de cogeneración de electricidad pero el carbón actualmente se utiliza con mayor frecuencia. Con estos sistemas se mejora la eficiencia energética, consiguiendo aprovechar con el mismo combustible más energía, con lo que se consigue un ahorro de éste y también una disminución de las emisiones de CO_2 .

Para el presente proyecto se escogerá el ciclo combinado (entre turbina de gas y ciclo combinado) como tecnología a estudiar. Se descarta el ciclo de gas como alternativa debido a:

- La temperatura requerida para el proceso no es superior a los 250°C (la turbina de gas aporta calor a temperaturas muy elevadas).

- El flujo de calor aportado por el condensador del ciclo Rankine es un flujo más constante (no hay que enfriar gases como es el caso de la turbina de gas).
- Se produce una mayor cantidad de electricidad.

Como inconveniente, la inversión inicial requerida para el ciclo combinado será mayor que la de la turbina de gas, ya que éste último requiere menos equipos que el primero.

23.1.3.1. Integración del ciclo combinado

El primer paso será diseñar dicha turbina de gas. Para ello se empleará la metodología del Pinch análisis para calcular ciertos parámetros. Se debe tener en cuenta que los heaters serán los que marquen la temperatura de salida de los humos del ciclo de gas.

Tómese la GCC (Grand Composite Curve) mostrada en la figura 61 como resultado del pinch análisis del proceso.

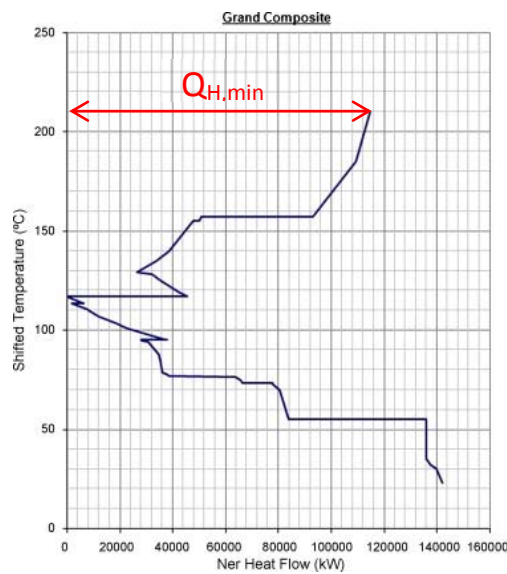


Figura 63. Grand Composite Curve. Cortesía de Universidad Tecnológica de Chalmers.

Como se puede apreciar, la temperatura del Pinch Point es de unos 125°C, punto donde la curva corta con el eje vertical de la gráfica ($Q=0$). De dicha gráfica puede ser extraída la demanda mínima de calor procedente del exterior ($Q_{H,min}=118$ MW) y la temperatura máxima del proceso ($T=210^{\circ}\text{C}$). Asíase un gradiente mínimo de temperaturas de $\Delta T_{min} = 10$ K.

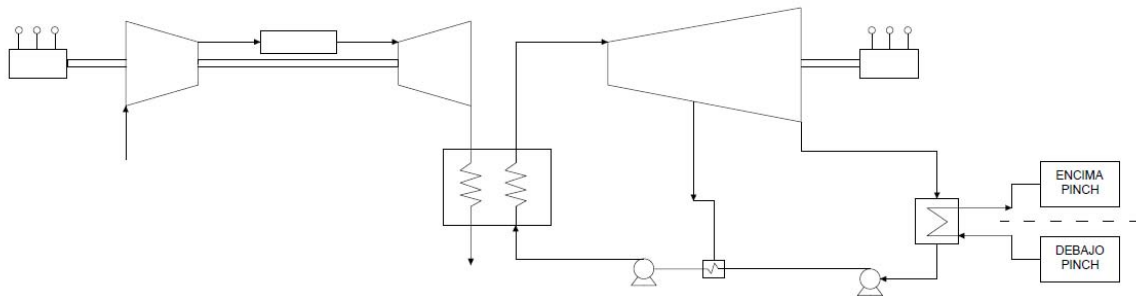


Figura 64. Esquema de la integración del ciclo combinado en un proceso.

La turbina de gas aportará (línea roja en la gráfica) los gases a una temperatura T_{TO} y deberá suministrar la cantidad de calor correspondiente con la demanda mínima requerida por el proceso. Otros parámetros a considerar para el diseño serán la temperatura de estancamiento (T_{STACK}). Dicha temperatura es aquella a la que salen los gases a su paso por la caldera de recuperación. A mayor eficiencia, más calor será intercambiado al proceso y más baja será la temperatura de estancamiento. En todo momento esta temperatura deberá estar siempre por encima de la temperatura del Pinch Point. Cabe destacar que la integración de dicha turbina será representada por una recta que va desde la temperatura de entrada de los gases al proceso hasta la temperatura de los mismos a la salida al ambiente (T_o). La pendiente de dicha recta indicará el CP (producto del gasto másico por el calor específico a presión constante) correspondiente a la turbina de gas. Como punto de partida se tomará el punto de temperatura T_{TO} y calor $Q_{H,min}$ y como punto de llegada será la temperatura T_{STACK} a calor nulo (sobre el eje vertical de la GCC).

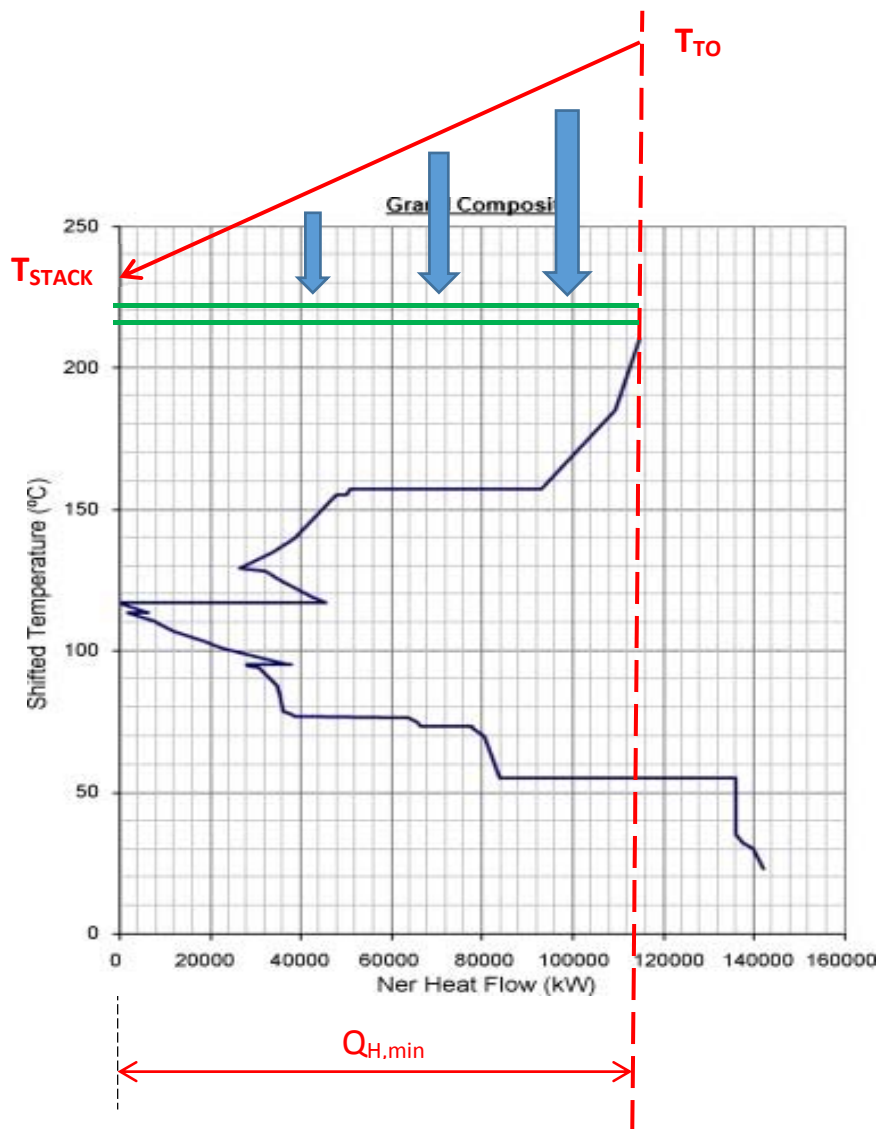


Figura 65. Integración de la turbina de gas.

Fijadas las temperaturas T_{TO} , y T_{STACK} , se podrá calcular el tamaño de la turbina de gas, es decir, su gasto másico.

$$CP = \frac{T_{TO} - T_{STACK}}{Q(T_{TO}) - Q(T_{STACK})} ; \quad \dot{m}_{TG} = \frac{CP}{C_{p \text{ gases}}}$$

La pendiente de la recta de integración marca el tamaño de la turbina de gas. Dado que dicha recta depende de la temperatura de entrada de los gases y la de estancamiento, se puede decir que el tamaño de la turbina de gas dependerá de ambas temperaturas. También se pueden

obtener las pérdidas de calor asociadas a la integración (calor residual que se encuentra a temperaturas entre la de estancamiento y la del Pinch Point).

El ciclo de vapor recibirá el calor del ciclo de gas a través de la caldera de recuperación. A su vez, el ciclo de Rankine aportará el calor necesario al proceso a través del condensador (líneas horizontales de color verde). Antes de calcular los costes variables de esta tecnología, se calcularán unos parámetros para tener una idea de la dimensión del ciclo. Se partirá del siguiente ciclo combinado típico:

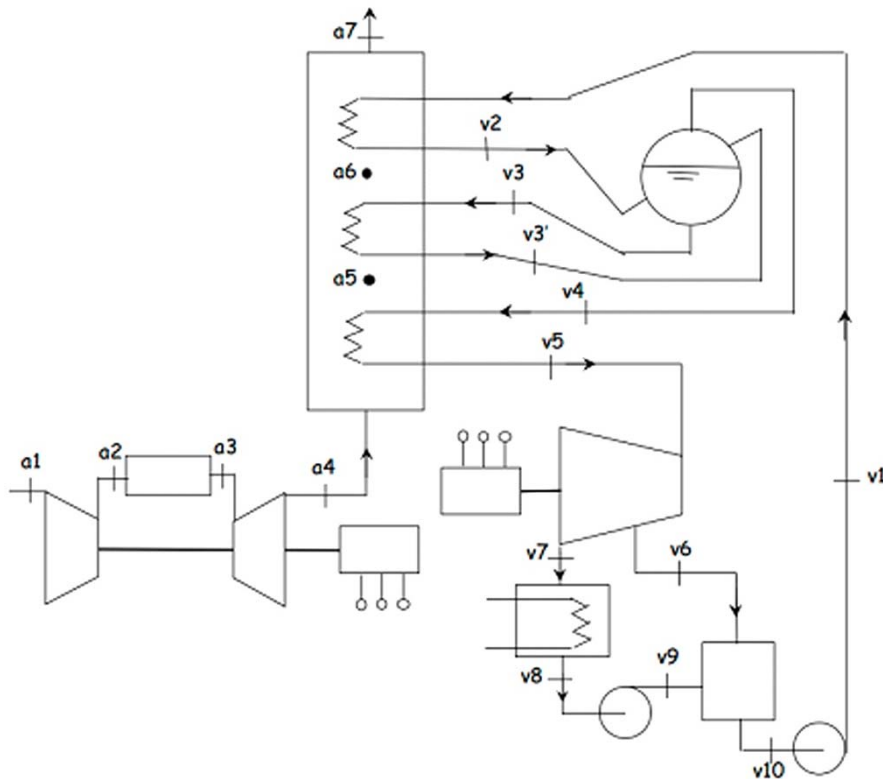


Figura 66. Esquema del ciclo combinado a estudiar.

CICLO DE GAS

- Combustible: gas natural.
- Compresor: 15°C y 1 bar. Rendimiento isentrópico del 80%.
- Turbina: Rendimiento isentrópico del 85%. La temperatura de entrada será la temperatura de combustión adiabática (sacarlo de la combustión del vaporizador).
- Aire: gas perfecto $C_p=1.1 \text{ kJ/kg.K}$; $\gamma=1.33$.
- La temperatura de entrada a la turbina será la temperatura adiabática calculada en la combustión que se produce en el quemador. Dado que se trata de la misma combustión de gas natural que la calculada en la estación de vaporización, la temperatura adiabática será de 1120°C.



CICLO DE VAPOR

- Turbina: rendimiento isentrópico de 85%.
- Rendimiento de las bombas de 100%.
- Condensador: el calor intercambiado es la suma del calor externo. Calor intercambiado condensador. $Q_{H,min}=12.51$ MW. Temperatura entrada al condensador de 220°C, temperatura salida 170°C.
- El vapor sale de la caldera a 80 bar y 520°C.
- Desgasificador: 30 bar.

CALDERA DE RECUPERACIÓN

- Punto de estricción de 20 K.
- Acercamiento en el economizador de 12 K.
- Acercamiento en el sobrecalentador de 30 K.

Suposiciones:

- El vapor saldrá del desgasificador como líquido saturado.
- El condensador intercambiará con el proceso 12.51 MW con una temperatura de entrada al mismo de 240°C y una temperatura de salida de 210°C.
- Se tratará el aire como gas perfecto.
- No hay pérdidas de presión en cámara de combustión, condensador ni desgasificador.
- Se considerará el gasto másico de los gases procedentes de la combustión despreciables frente al gasto másico de aire.

El criterio de unidades para cada variable será el siguiente:

- Temperaturas en grados centígrados.
- Entalpías en kJ/kg.
- Presiones en bar.
- Gasto másico en kg/s
- Calores específicos en kJ/kg.k.
- Trabajos y calores en kW
- Volúmenes específicos en m³/kg.

Se procederá a resolver el ciclo combinado, comenzando primero por el ciclo de vapor. Para ello se calculará el gasto másico de vapor que circula por el condensador.

$$\dot{Q}_{H,min} = \dot{m}_{w,cond} * (h_{v7} - h_{v8})$$

Siendo:

$$p_{v8} = p_{sat}(210^{\circ}C) = 15.55 \text{ bar} \quad ; \quad h_{v8} = h_f(210^{\circ}C) = 897.61 \text{ kJ/kg}$$



$$h_{v7} = h_f(240^\circ\text{C}) = 1231.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad ; \quad \dot{m}_{w,cond} = \frac{\dot{Q}_{H,min}}{(h_{v7} - h_{v8})} = 33 \text{ kg/s}$$

Las condiciones de la turbina se calcularán empleando el diagrama de Mollier.

$$h_{v5} = h(80 \text{ bar}, 520^\circ\text{C}) = 3430 \text{ kJ/kg} \quad ; \quad h_{v6s} = 2620 \text{ kJ/kg}$$

La entalpía en la extracción de la turbina se calculará despejando dicha variable de la ecuación del rendimiento isentrópico:

$$\eta_s = \frac{h_{v5} - h_{v6}}{h_{v5} - h_{v6s}} = 0.85 \Rightarrow h_{v6} = 2741.5 \text{ kJ/kg}$$

A continuación se calculará el volumen específico a la salida del condensador (partiendo de que en ese punto es líquido saturado).

$$v_{v8} = v_f(15.55 \text{ bar}) = 0.0011539 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Y se calcula la entalpía a la salida de la bomba.

$$h_{v9} - h_{v8} = v_{v8} * (p_{v9} - p_{v8}) \quad ; \quad \text{siendo } p_{v9} = 30 \text{ bar y } p_{v8} = 15.55 \text{ bar}$$

La entalpía de salida de la bomba es de 853.93 kJ/kg.

La entalpía a la salida del desgasificador será calculada mediante la hipótesis de líquido saturado en ese punto:

$$h_{v10} = h_f(30 \text{ bar}) = 1008.29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad ; \quad v_{v10} = v_f(30 \text{ bar}) = 0.0012166 \text{ m}^3/\text{kg}$$

A continuación se calculará la proporción de gasto másico que va por la rama de la extracción y por la rama del condensador. Para ello se establecerá que por la extracción que va al desgasificador circule una fracción α y por el condensador pasará $(1-\alpha)$. Se realizará el balance energético al desgasificador para calcular esta fracción másica:

$$\alpha * h_{v6} + (1 - \alpha) * h_{v9} = h_{v10} \quad ; \quad \text{obteniendo } \alpha = 0.08$$

Sabiendo el gasto másico que pasa por el condensador y la fracción que circula por cada rama, se sabrá el gasto másico total y el gasto másico que circula por la extracción intermedia de la turbina.

$$\dot{m}_w = \frac{\dot{m}_{w,cond}}{(1 + \alpha)} = 35.95 \text{ kg/s}$$

En la bomba de alta presión:

$$h_{v1} - h_{v10} = v_{v10} * (p_{v1} - p_{v10}) \quad ; \quad \text{siendo } p_{v1} = 80 \text{ bar y } p_{v10} = 30 \text{ bar}$$

La entalpía de salida de la bomba es de 1014.4 kJ/kg.

El punto v_3 es líquido saturado, luego:

$$T_{v3} = T_{sat}(80 \text{ bar}) = 295^\circ\text{C} ; \quad h_{v3} = h_f(80 \text{ bar}) = 1317.1 \text{ kJ/kg}$$

Y por lo tanto la temperatura del punto v_2 será:

$$T_{v2} = T_{v3} - EA = 283^\circ\text{C}$$

Dado que dicho punto es líquido subenfriado, la entalpía dl punto v_2 es:

$$h_{v2} \approx h_f(283^\circ\text{C}) = 1252.76 \text{ kJ/kg}$$

A continuación se emplearán las ecuaciones que proporciona la caldera de recuperación y que se corresponden con la gráfica mostrada a continuación:

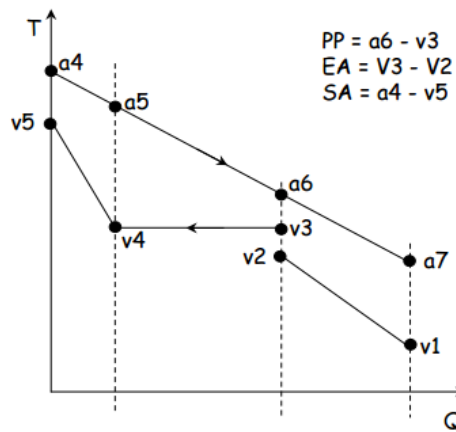


Figura 67. Curvas T-Q entre el ciclo de gas y el ciclo de vapor.
Cortesía de Universidad Pontificia de Comillas.

$$T_{a6} = PP + T_{v3} = 315^\circ\text{C}$$

$$T_{a4} = AS + T_{v5} = 550^\circ\text{C}$$

En la turbina de gas:

$$\eta_s = \frac{T_{a4} - T_{a3}}{T_{a4s} - T_{a3}} = 0.8 \quad ; \quad T_{a4s} = 449.41^\circ\text{C}$$

$$\frac{T_{a4s}}{T_3} = \left(\frac{1}{r}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad ; \quad \text{relación de compresión} \equiv r = 14.1$$



Y a continuación estudiando el compresor:

$$\frac{T_{a2s}}{T_{a1}} = r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} ; T_{a2s} = 282.31^{\circ}\text{C}$$

Y finalmente la temperatura a la salida del compresor será:

$$\eta_s = \frac{T_{a2s} - T_{a1}}{T_{a2} - T_{a1}} = 0.8 ; T_{a2} = 349^{\circ}\text{C}$$

Para calcular el gasto másico de aire necesario, se realizará un balance a la caldera de recuperación:

$$\dot{m}_a * C_p * (T_{a4} - T_{a6}) = \dot{m}_w * (h_{v5} - h_{v2}) ; \dot{m}_a = 454.2 \text{ kg/s}$$

Finalmente se analizarán las potencias térmicas y eléctricas en el ciclo combinado.

$$\text{Potencia Turbina de Gas} \equiv \dot{W}_{TG} = \dot{m}_a * C_p * (T_{a3} - T_{a4}) = 284.77 \text{ MW}$$

$$\text{Potencia Compresor} \equiv \dot{W}_C = \dot{m}_a * C_p * (T_{a2} - T_{a1}) = 117.84 \text{ MW}$$

La potencia neta aportada por el ciclo de gas (que será la electricidad obtenida en esta parte del ciclo):

$$\dot{W}_{CG} = \dot{W}_{TG} - \dot{W}_C = 117.84 \text{ MW}$$

El calor aportado en la cámara de combustión:

$$\dot{Q}_{CG} = \dot{m}_a * C_p * (T_{a3} - T_{a2}) = 385.12 \text{ MW}$$

$$\text{Rendimiento del Ciclo de Gas} \equiv \eta_{CG} = \frac{\dot{W}_{CG}}{\dot{Q}_{CG}} = 31\%$$

La potencia entregada por la turbina de vapor será:

$$\text{Potencia Turbina de Vapor} \equiv \dot{W}_{TV} = \dot{m}_w * (h_{v5} - (1 - \alpha) * h_{v7} - \alpha * h_{v6}) = 111.9 \text{ MW}$$

La potencia consumida por las bombas:

$$\dot{W}_{BV} = \dot{m}_w * (h_{v9} - (1 - \alpha) * h_{v8}) + (h_{v1} - h_{v10}) = 0.41 \text{ MW}$$

La potencia neta aportada por el ciclo de vapor (que será la electricidad obtenida en esta parte del ciclo):

$$\dot{W}_{CV} = \dot{W}_{TV} - \dot{W}_{BV} = 110.49 \text{ MW}$$

El calor aportado al ciclo de Rankine será el aportado por la caldera de recuperación:

$$\dot{Q}_{CV} = \dot{m}_w * (h_{v5} - h_{v1}) = 260.52 \text{ MW}$$

Con un rendimiento del ciclo de vapor de:

$$\eta_{CV} = \frac{\dot{W}_{CV}}{\dot{Q}_{CV}} = 42.8\%$$

El rendimiento total del ciclo será:

$$\eta_{tot} = \frac{\dot{W}_{CV} + \dot{W}_{CG}}{\dot{Q}_{CG}} = 59.6\%$$

Se calculará el power-to-heat ratio, parámetro importante que compara la electricidad obtenida en el ciclo entre el calor útil entregado al proceso.

$$\alpha_{CHP} = \frac{\text{Electricidad}}{\text{Calor Útil}} = 0.65$$

Una vez explicada la integración de un ciclo combinado en el proceso, se va a estudiar los costes variables relacionados con esta tecnología. Para ello se desarrollará el diagrama energético mostrado en la siguiente figura.

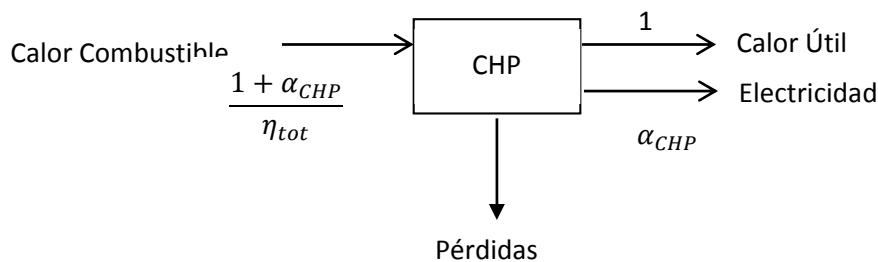


Figura 68. Diagrama energético del ciclo combinado (CHP).

Donde:

$$\text{Power to heat ratio} \equiv \alpha_{CHP} = \frac{\text{Electricidad}}{\text{Calor Útil Entregado al Proceso}} = \frac{\eta_{el,CHP}}{\eta_{tot} - \eta_{el,CHP}}$$

Siendo $\eta_{el,CHP}$ el rendimiento eléctrico del propio ciclo combinado y η_{tot} el rendimiento total del ciclo.

Basándose en el diagrama energético anterior, los costes variables de la turbina de gas dependerán del precio del combustible empleado en la cámara de combustión del ciclo de Brayton. Dado que este ciclo está capacitado para entregar electricidad, a los costes variables



del combustible se le deberá restar el precio de la electricidad que se deja de pagar por la producción de la misma durante la operación del ciclo combinado. Dado que el mercado eléctrico está muy protegido y entrar ahí es muy complicado, se considerará que dicha electricidad producida por el ciclo se empleará para alimentar a las bombas motores y demás dispositivos que requieran dicha electricidad.

$$b_{CHP} = b_{fuel,CHP} * \frac{1 + \alpha_{CHP}}{\eta_{tot}} - (\alpha_{CHP} * b_{el})$$

Para calcular las emisiones de CO₂, también se considerará que se deja de emitir todo lo relacionado con la producción de electricidad por una planta externa.

$$c_{CHP} = c_{fuel,CHP} * \frac{1 + \alpha_{CHP}}{\eta_{tot}} - \left(\alpha_{CHP} * \frac{c_{fuel,PP}}{\eta_{dist} * \eta_{el,PP}} \right)$$

Donde $\eta_{el,PP}$ es el rendimiento eléctrico de la planta de carbón donde se genera la electricidad y $c_{fuel,PP}$ son las emisiones de CO₂ correspondientes a la planta de carbón productora de esa electricidad. A continuación se muestra una lista de energías en orden decreciente de inversión inicial y en orden ascendente en cuanto a sus costes variables:

- Bomba de calor (aunque depende de los precios de la electricidad).
- Caldera de carbón.
- Caldera de gas natural de alta eficiencia.
- Caldera de gas natural de baja eficiencia.

Los ciclos combinados y turbinas de gas son difíciles de clasificar ya que dependen de los costes de combustible y los costes de la electricidad al mismo tiempo.

23.2. Selección de la Tecnología Óptima

Para ello se aplicarán las ecuaciones de costes fijos y variables explicadas para las diferentes tecnologías a estudiar. Cabe destacar que se estudiarán las siguientes tecnologías:

- **Caldera de fuel-oil ligero:**
 - Rendimiento (η_b) del 75%
 - Emisiones de CO₂ del fuel-oil: 281 kg/MWh_{fuel}.
 - Precio del fuel-oil: 31.1 €/MWh_{fuel}.
- **Caldera de Gas Natural**
 - Rendimiento (η_b) del 83%.
 - Inversión inicial: 130,000 €.
 - Emisiones de CO₂ del fuel-oil: 202 kg/MWh_{fuel}.
 - Precio del gas natural: 27.78 €/MWh_{fuel}
- **Caldera de Biomasa**
 - Rendimiento (η_b) del 92%.

- Inversión inicial: 162,000 €.
- Emisiones de CO₂ del fuel-oil: 0 kg/MWh_{fuel}.
- Precio del fuel-oil: 16.34 €/MWh_{fuel}
- **Bomba de calor**
 - Inversión inicial: 98,600 €.
 - COP = 2.9.
 - Emisiones de CO₂ (caldera de carbón externa): 900 kg/MWh_{el}
 - Precio compra de la electricidad: 66.67 €/MWh_{el}.
- **Ciclo Combinado**
 - Inversión inicial: 280,000 €.
 - Power-to-heat ratio $\alpha_{\text{CHP}} = 0.62$.
 - Precio del gas natural: 27.78 €/MWh_{fuel}
 - Rendimiento total: $\eta_{\text{tot}} = 59.55\%$.
 - Rendimiento distribución $\eta_{\text{dist}} = 95\%$.
 - Emisiones de CO₂ del fuel-oil: 202 kg/MWh_{fuel}.
 - Para este caso, se deberá calcular el rendimiento eléctrico con la fórmula que relaciona dicho rendimiento con el rendimiento total y con el α_{CHP} .

Se calcularán los costes fijos y variables de cada tecnología aplicando las ecuaciones anteriormente explicadas. Para las emisiones se supondrá un impuesto por emisión de CO₂ de 8 céntimos de euro por kilo de dióxido de carbono. Como demanda, se tomará la demanda mínima de aporte de calor externo calculado en el estudio del Pinch Análisis (12.51 MW). Las horas de operación anuales son 8760 horas.

La siguiente tabla muestra los resultados de dicho estudio.

Costes Variables Combustible Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016		PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO PLANTA DE REGASIFICACIÓN			UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI ICADE COMILLAS MADRID
Tecnología	Coste Fijos [€]	Coste comb [€/MWh]	Emisiones CO ₂ [kg/MWh]	Coste Emisiones [€/MWh]	Emisiones CO ₂ [ton]
Caldera Fuel-Oil	0	41.47	374.67	29.97	41065.58
Caldera GN	130,000	33.47	243.37	19.47	26675.11
Caldera Biomasa	383,200	17.76	0	0	0
Bomba Calor	98,600	22.99	384.33	30.75	42124.51
Ciclo Combinado	510,230	34.24	-436.85	-34.95	-47880.71

Tabla 18. Comparación distintas tecnologías.



Siendo t el número de horas de operación. Los costes totales anuales de cada tecnología resultarán de multiplicar la ecuación de costes por la demanda de calor.

Las emisiones en el ciclo combinado resultan negativas. Esto se debe a que esa cantidad anual de toneladas de CO₂ deja de ser producida debido a que el propio ciclo genera electricidad. Si no fuera así, se deberían indicar las emisiones procedentes de la planta de carbón encargada de suministrar la electricidad necesaria (como ocurre en el caso de la bomba de calor).

A continuación se dibuja la gráfica de costes frente a horas de operación para ver qué tecnología es la más adecuada. Las rectas que representan cada tecnología representan la siguiente ecuación:

$$COSTES\ TOTALES = (C.\ Fijos + C.\ Variables * t) * Q_{H,min}$$

La tabla 18 muestra los costes anuales de cada tecnología, teniendo en cuenta la inversión inicial, las emisiones de CO₂ y los costes de combustible.

COSTES ANUALES		
Tecnología	Costes Totales	Ahorro [%]
Caldera Fuel-Oil	7.830.227,32 €	-
Caldera Gas Natural	7.429.064,27 €	5
Caldera Biomasa	6.741.453,13 €	14
Bomba de Calor	7.123.446,25 €	9
Ciclo Combinado	6.306.595,45 €	19

Tabla 19. Costes anuales de las diferentes tecnologías.

Se puede comprobar que la tecnología más óptima para la demanda de calor exigida por el proceso es el ciclo combinado. El resultado es lo esperado ya que gracias a la producción de electricidad de dicha ciclo, se ahorran muchas toneladas de CO₂, lo cual tiene un impacto muy fuerte en los costes anuales para dicha tecnología. A continuación se muestra la gráfica con las diferentes tecnologías.

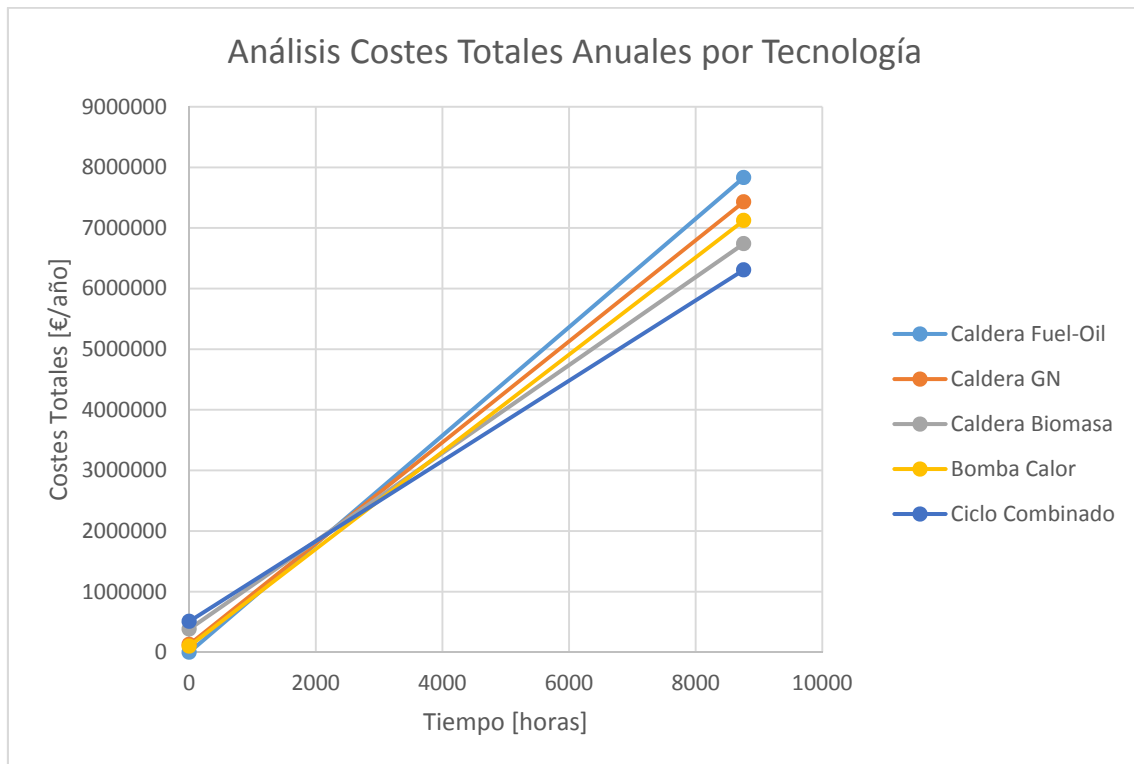


Figura 69. Curvas de costes para cada tecnología.

Como se puede apreciar, para más de la mitad del año se considera al ciclo combinado como la tecnología con menos coste de operación.

Conforme los impuestos por emisión de CO₂ se incrementen, el ciclo combinado destacará cada vez más como tecnología más eficiente y económica. Para ello se propuso un estudio de sensibilidad para ver qué ocurriría en caso de que se aumentasen los impuestos de las emisiones de CO₂. Se propone un ascenso en el precio de dichos impuestos hasta alcanzar los 0.1€

COSTES ANUALES		
Tecnología	Costes Totales	Ahorro [%]
Caldera Fuel-Oil	8.651.538,96 €	-
Caldera Gas Natural	7.962.566,45 €	8
Caldera Biomasa	6.741.453,13 €	22
Bomba de Calor	7.965.936,53 €	8
Ciclo Combinado	5.348.981,32 €	38

Tabla 20. Costes anuales de las diferentes tecnologías.



24. BIBLIOGRAFÍA

- Kemp, I.C. (2006). *Pinch Analysis and Process Integration: A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, 2nd edition*. Includes spreadsheet software. Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-8260-4. (1st edition: Linnhoff et al, 1982).
- ATLAS COPCO: "Air & Industrial Gas Compressors. A complete offering up to 500 bar."
- ATLAS COPCO: "GT and T series" <http://pdf.directindustry.com/pdf/atlas-copco-compressors-usa/gt-and-t-series-process-engineered-centrifugal-compressors/20545-126249.html>
- ANDERSON, Thomas N.; EHRHARDT, Mark E.; FOGLESONG, Robret E.; BOLTON, Tom; JONES, David y RICHARDSON, Andy J.(2009): "Shipboard reliquefaction for large LNG carriers".
- BBG(2013): Página Web <http://www.bbg.es/home.aspx>
- BOE (2011): " Resolución de 22 de septiembre de 2011, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se modifica el protocolo de detalle PD-01 «medición» de las normas de gestión técnica del sistema gasista." <http://www.boe.es/boe/dias/2011/10/03/pdfs/BOE-A-2011-15496.pdf>
- BOE (2004): REAL DECRETO 1716/2004, de 23 de julio, por el que se regula la obligación de mantenimiento de existencias mínimas de seguridad, la diversificación de abastecimiento de gas natural y la incorporación de reservas estratégicas de productos petrolíferos. <http://www.boe.es/boe/dias/2004/08/26/pdfs/A29906-29921.pdf>
- CNE. (2011): "Información Básica sobre los sectores de la energía".
- CNE (2011): "Informe marco sobre la demanda de energía eléctrica y gas natural, y su cobertura".
- CNE. (Años 2011 y 2012): Boletín de Gestión Técnica del Sistema.
- CUADRADO MALFEITOS, Carlos. (2010): PFC. "Planta de Relicuefacción en Buques Metaneros".
- ENAGAS (2010): Entradas Mínimas Plantas de Regasificación. <http://www.enagas.es/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1146251971538&ssbinary=true>
- ENAGAS (2011): "Estadística Anual 2011".
- ENAGAS (2011 & 2012): Plan de Operación del sistema Gasista.



- ETSI MINAS (2012): Apuntes de la asignatura Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos.
- HAMWORTHY: “LNG Systems for marine application”. Ciclo Mark I.
- IBERDROLA (2013): “Precios regulado y unidades de gas”
<http://www.energiaysociedad.es/pdf/triptico-tarifas-y-unidades-gas-2013-1t.pdf>
- MATCHE: Estimación precios de equipos.
<http://www.matche.com/EquipCost/Compressor.htm>
- QUEROL, Enrique et Al: “Boil off gas (BOG) management in Spanish liquid natural gas (LNG) terminals”.
- RAMIREZ, A y LORENTE: C. “Recuperación del gas de boil-off en una terminal de regasificación de GNL. Ingeniería Química Nº 456”.
- SÁENZ DE MIERA, JUAN JOSÉ GARCÍA (2010): Diseño de instalación receptora para suministro de Gas Natural a Turbina de Cogeneración.
- SAGGAS: Página web. <http://www.saggas.com/>
- SEDIGAS (2009): “Manual de plantas de regasificación” Martínez Díaz, Ignacio.
- SEDIGAS: “Manual de transporte”
- UNICON: Tabla de productos.
<http://www.unicon.com.ve/documentos/UNICON%20petroleo%20espanol%20v1.0%20-%20ii.pdf>
- VARA, Gonzalo: Proyecto.
<http://www.contechs.org/Proyecto%20de%20Grado%20de%20Gonzalo%20y%20Vara/CABI%20TULO%204.pdf3>
- VEGA FANJUL, Eduardo. (2007): PFC. “Diseño Térmico de un tanque de almacenamiento de gas natural licuado de 150 000 m³ de capacidad nominal”.




PARTE II. BASE DE CÁLCULOS Y ANEXOS





1. CÁLCULO DE EQUIPOS Y OTROS COMPONENTES

1.1. Dimensionamiento del tanque 100-TA

Ficha Técnica: 100-TA Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO PLANTA DE REGASIFICACIÓN		
Parámetro	Unidades	Valor	
Requisitos del cliente			
Capacidad útil	m ³	150000	
Producto almacenado	-	GNL	
Densidad nominal	kg/m ³	455	
Densidad máxima	kg/m ³	500	
Temperatura de diseño	°C	[-186 ; 34]	
Temperatura de operación	°C	-160	
Presión de diseño tanque ext.	mbarg	190	
Presión de operación	mbarg	110	
Presión servicio de gas	Mbar	60	
Depresión máxima admisible	Mbar	-4	
Evaporación del GNL	%/día	0,07	
Relación volumen BOG/GNL	m ³ /m ³	590	
Temperatura ambiente	°C	18	
Caudal para buques pequeños	m ³ /h	13000	
Caudal para buques grandes	m ³ /h	18500	
Cargas externas			
Peso del tanque	kg/m ²	50	
Carga por nieve	kg/m ²	25	
Carga por proceso	kg/m ²	270	
Velocidad viento	km/h	160	
Velocidad viento	m/s	44,44	
Carga viento en superficie plana	kg/m ²	123,46	
Factor superficie curva	-	0,78	
Carga viento en superficie curva	kg/m ²	96,30	



Parámetros		
Relación r_i/H_t	-	0,7
Altura de talón		
Altura Mínima Bombas	m	1,6
Nivel de Seguridad	m	1
Altura de Talón	m	2,6
Altura adicional		
Altura por Seísmo	m	0,4
Altura por Sobrellenado	m	0,08
Factor de Seguridad	-	1,5
Altura Sobrellenado Final	m	0,12
Altura por Alarma de Máximo Nivel	m	0,25
Altura Pre-alarma	m	0,15
Altura Adicional Total	m	0,92

Parámetro	Unidades	Valor
Resultados		
Altura Total H_t	m	47,21
Radio Interior	m	33,05
Altura Útil H_u	m	43,69
Contracción		
A	-	9,20E-06
Longitud L	m	207,64
Temperatura Ambiente	°C	25
Temperatura Interior	°C	-160
ΔT	°C	185
Contracción ΔL	m	0,35
Parámetros finales		
Nueva Longitud L	m	207,29
Nuevo Radio r_i	m	33
Nueva H_t	m	47,13
Nueva H_u	m	43,87
Parámetro Cúpula		
Ángulo de Ataque	°	30
Radio Esfera	m	60
Altura Bóveda	m	7,79



CÁLCULO TUBERÍAS		
Tubería procedente atracadero		
Nº unidades	-	2
Velocidad	m/s	8
Caudal Diseño	m ³ /h	18500
Diámetro	m	0,90
Diámetro	pulgadas	35,60
Diámetro Elegido	pulgadas	36

1.2. Bombas Sumergidas 110-BA/BB/BC/BD/BE

Ficha Técnica: 110-BA/BB/BC/BD/BE Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016		PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL			
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado	
Parámetro	Unidades	Valor			
NPSH requerido	m	1.7	1.7	1.7	
Factor de Seg.	-	0.3	0.3	0.3	
NPSH disponible	m	2	2	2	
Caudal	m ³ /h	2200	2200	2200	
Presión Succión	bar	1.1	1.1	1.1	
Presión Descarga	bar	9	9	9	
Densidad	kg/m ³	431	439	452	
Temp. Succión	°C	-160	-160	-160	
Rendimiento	%	75.4	75.4	75.4	
Altura manométrica	m	152	152	152	
P. máx. Descarga	bar	11,2	11,2	11,2	
Velocidad	Rpm	3000	3000	3000	
Diámetro Bridas	Pulg	12	12	12	
Potencia Bomba	kW	120	120	120	
Tipo Lubricante	-	Aceite	Aceite	Aceite	
Diámetro Salida	Pulg	12	12	12	
Potencia	kW	170,00	170,00	170,00	
Frecuencia	Hz	50,00	50,00	50,00	
Nº polos	-	4	4	4	
Tipo	-	Trifásico	Trifásico	Trifásico	
Aislamiento	-	Pintura criogénica	Pintura criogénica	Pintura criogénica	
Bobinado	-	Uniforme en capas	Uniforme en capas	Uniforme en capas	
Voltaje	V	400	400	400	
Peso Equipo	kg	1840	1840	1840	
Fabricante		ACD			
Modelo		TC-55			



1.3. Bomba Sumergida 110-BF


<i>Ficha Técnica: 110-BF</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016		<i>PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL</i>			
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado	
Parámetro	Unidades	Valor			
NPSH requerido	m	1,7	1,7	1,7	
Factor de seguridad	m	0,3	0,3	0,3	
NPSH disponible	m	2	2	2	
Caudal	m ³ /h	630	630	630	
Presión Succión	bar	1,1	1,1	1,1	
Presión Descarga	bar	9	9	9	
Densidad	kg/m ³	431	439	452	
Temperatura Succión	°C	-160	-160	-160	
Rendimiento	%	76,2	76,2	76,2	
Altura manométrica	m	152	152	152	
Presión máxima descarga	bar	10,8	10,8	10,8	

SELECCIÓN		
Parámetro	Unidades	Valor
Velocidad	r.p.m.	2920
Potencia Bomba	kW	105
Tipo Lubricante	-	Aceite
Diámetro Salida	pulg	8
Potencia	kW	132,50
Frecuencia	Hz	50,00
Nº polos	-	4
Tipo	-	Trifásico
Aislamiento	-	Pintura criogénica
Bobinado	-	Uniforme en capas
Voltaje	V	400
Peso Equipo	kg	1160
Caudal	m ³ /h	630
Presión máxima descarga	bar	10,8
Fabricante	ACD	
Modelo	TC-15	

1.4. Intercambiador de calor 120-IC

Se calculan las pérdidas térmicas a lo largo de las tuberías aguas arriba del intercambiador con el objetivo de calcular la temperatura a la entrada del mismo.

Pérdidas térmicas			Parámetro	Unidades	Valor
Parámetro	Unidades	Valor	R_{int}	pulg	24
Conductiv.	W/m.K	14	R_{int}	m	0,61
Longitud	m	18	Espesor	mm	190
T_{int}	°C	-160	R_{ext}	m	0,80
T_{ext}	°C	18	Calor	kW	30,24

<p>Ficha Técnica: 110-BF Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016</p>		<p>PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL</p>				
PÉRDIDAS DE TEMPERATURA EN LA LÍNEA						
Parámetro	Unidades	Valor				
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado		
Calor específico	kJ/kg.K	2,191	2,32	2,46		
Calor	kW	30,24	30,24	30,24		
T entrada	°C	-160	-160	-160		
Caudal	m ³ /h	8140	8140	8140		
Densidad	kg/m ³	431	439	452		
Gasto másico	kg/s	974,54	992,63	1022,02		
T Entrada Intercambiador	°C	-159,99	-159,99	-159,99		
INTERCAMBIADOR DE CALOR 120-IC						
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado		
T entrada GNL	°C	-159,99	-159,99	-159,99		
T salida GNL	°C	-155	-155	-155		
T entrada aire	°C	18	18	18		
T entrada aire	°C	18	18	18		
Calor específico	kJ/kg.K	2,191	2,32	2,46		
Gasto Másico	kg/s	974,54	992,63	1022,02		
Calor Intercambiado	kW	10645,83	11484,24	12540,63		
Diámetro Tubos	pulg.	24	24	24		
Transmitancia U	kW/m.K	0,047	0,047	0,047		
ΔT_1	°C	173	173	173		
ΔT_2	°C	177,99	177,99	177,99		
ΔT_{lm}	°C	175,48	175,48	175,48		
Área	m ²	1290,78	1392,43	1520,51		
Fabricante		PROINCAR				
Modelo		LD 40 - 5 F 4				



1.5. Diseño del Separador 120-SE

Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Densidad BOG [kg/m ³]	kg/m ³	1,79	1,81	1,84
Densidad GNL [kg/m ³]	kg/m ³	431	439	450
Coefficiente K	m/s	0,35	0,35	0,35
velocidad	m/s	5,42	5,44	5,46
Caudal Mezcla	m ³ /h	8140	8140	8140
Conversión	%	30	30	30
Caudal BOG	m ³ /h	2442	2442	2442
Caudal GNL	m ³ /h	5698	5698	5698
Presión de Operación	bar	9	9	9
Fabricante	BOPP & REUTHER MESSTECHNIK			
Modelo	ZGA			
Dimensiones				
Diámetro	mm	1747		
Altura	mm	6520		
Material	SS (Acero Inoxidable)			




1.6. Diseño de las bombas del Separador 120-SA/SB/SC/SD

Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
		PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL		
Ficha Técnica: Bombas 120-SA/SB/SC/SD Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016				
Caudal total	m ³ /h	5698	5698	5698
Número Bombas op.	-	3	3	3
Caudal/bomba	m ³ /h	1899,33	1899,33	1899,33
Presión Succión	bar	1	1	1
Presión Descarga	bar	7	7	7
Densidad	kg/m ³	431	439	452
Temperatura Succión	°C	-160	-160	-160
Rendimiento	%	75,4	75,4	75,4
Altura manométrica	m	152	152	152
Presión máxima descarga	bar	11,2	11,2	11,2
Velocidad	r.p.m.	3000	3000	3000
Potencia Bomba	kW	120	120	120
Tipo Lubricante	-	Aceite	Aceite	Aceite
Diámetro Salida	pulg	12	12	12
Potencia	kW	170,00	170,00	170,00
Frecuencia	Hz	50,00	50,00	50,00
Nº polos	-	4	4	4
Tipo	-	Trifásico	Trifásico	Trifásico
Aislamiento	-	Pintura criogénica	Pintura criogénica	Pintura criogénica
Bobinado	-	Uniforme en capas	Uniforme en capas	Uniforme en capas
Voltaje	V	400	400	400
Peso Equipo	kg	1840	1840	1840
Fabricante	ACD			
Modelo	TC-34			

1.7. Diseño Recondensador

Pérdidas térmicas		
Parámetro	Unidades	Valor
k	W/m.K	14
Longitud	m	8
T _{int}	°C	-160
T _{ext}	°C	18
R _{int}	pulg.	24
R _{int}	pulg.	0,61
Espesor	mm	190
R _{ext}	m	0,80
Q	kW	13,44

Ficha Técnica: Recondensador 120-RE Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016		PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL			
Parámetro	Unidades	Valor			
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado	
Calor Específico	kJ/kg.K	2,191	2,191	2,191	
Calor	kW	13,44	13,44	13,44	
T entrada	°C	-160	-160	-160	
Caudal	m ³ /h	8140	8140	8140	
Densidad	kg/m ³	431	439	452	
Gasto másico	kg/s	974,54	992,63	1022,02	
Temperatura Entrada Recond.	°C	-159,99	-159,99	-159,99	
Presión de burbuja	bar	8	8	8	
Caudal BOG	m ³ /h	228,6			
Caudal GNL tanque	m ³ /h	6790			
Caudal GNL salida	m ³ /h	7018,6			
Fabricante	Intersam				
Modelo	27015-J				
Alto	mm	3100			
Diámetro	mm	900			



1.8. Bombas Recondensador 120-RA/RB/RC/RD/RE

Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
NPSH requerido	m	1,7	1,7	1,7
Caudal	m ³ /h	1755	1755	1755
Presión Succión	bar	1,1	1,1	1,1
Presión Descarga	bar	70	70	70
Densidad	kg/m ³	431	439	452
Temperatura Succión	°C	-160	-160	-160
Rendimiento	%	75,4	75,4	75,4
Velocidad	r.p.m.	3000	3000	3000
Diámetro Bidas	pulg.	12	12	12
Potencia Bomba	kW	230	230	230
Tipo Lubricante	-	Aceite	Aceite	Aceite
Diámetro Salida	pulg.	12	12	12
Potencia	kW	350,00	350,00	350,00
Frecuencia	Hz	50,00	50,00	50,00
Nº polos	-	4	4	4
Tipo	-	Trifásico	Trifásico	Trifásico
Aislamiento	-	Pintura criogénica	Pintura criogénica	Pintura criogénica
Bobinado	-	Uniforme en capas	Uniforme en capas	Uniforme en capas
Voltaje	V	400	400	400
Peso Equipo	kg	1300	1300	1300
Fabricante	ACD			
Modelo	TC-34			





1.9. Compresores de BOG 120-CA/CB Modo HP

Ficha Técnica: Caudales Compresores 120-CA/CB Modo HP Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL			
	Parámetro	Unidades	Valor	
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Caudal Tanque	m ³ /h	4097,73	4097,73	4097,73
Caudal Separador	m ³ /h	2442	2442	2442
Caudal Compresores	m ³ /h	6539,73	6539,73	6539,73
Gasto Másico	kg/h	11706,12	11836,91	12098,50
Gasto Másico	kg/s	3,25	3,29	3,36



Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Ficha Técnica: Compresores 120-CA/CB. Modo HP Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL			
Densidad	kg/m ³	1,79	1,81	1,85
Temperatura Entrada	°C	-155	-155	-155
Presión Entrada	bar	1,1	1,1	1,1
Presión Crítica	bar	45,99	45,99	45,99
Temperatura Crítica	°C	-82,59	-82,59	-82,59
Factor Compresión Z	-	0,966	0,966	0,966
C _p	kJ/mol.K	0,0358	0,0358	0,0358
C _v	kJ/mol.K	0,0274	0,0274	0,0274
Gamma	-	1,31	1,31	1,31
Gasto Másico	kg/h	11706,12	11836,91	12098,50
Rendimiento Politrópico	-	0,76	0,76	0,76
Índice Politrópico	-	1,45	1,45	1,45
Presión Descarga	bar	85	85	85
Temperatura Salida	K	451,62	451,62	451,62
Temperatura Salida	°C	178,62	178,62	178,62
Gasto Másico Salida	kg/h	560,09	566,35	578,87
Caudal Salida	m ³ /h	312,90	312,90	312,90
Velocidad Máx.	m/s	5,34	5,34	5,34
Rendimiento	-	85%	85%	85%
Potencia	kW	2322	2348	2399
Rendimiento Transmisión	-	72%	72%	72%
Potencia Motor	kW	3793	3836	3921
Fabricante	-	IHI		
Modelo	-	IHI RC-18H		
Longitud	mm	4500		
Altura	mm	5000		
Peso	ton	15		



1.10. Compresores de BOG 120-CA/CB Modo LP

Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Caudal Tanque	m ³ /h	4097,73	4097,73	4097,73
Caudal Separador	m ³ /h	2442	2442	2442
Caudal Compresores	m ³ /h	6539,73	6539,73	6539,73
Gasto Másico	kg/h	11706,12	11836,91	12098,50
Gasto Másico	kg/s	3,25	3,29	3,36





Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Ficha Técnica: Compresores 120-CA/CB Modo LP Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016		PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL		
Densidad	kg/m ³	1,79	1,81	1,85
Temperatura Entrada	°C	-155	-155	-155
Presión Entrada	bar	1,1	1,1	1,1
Presión Crítica	bar	45,99	45,99	45,99
Temperatura Crítica	°C	-82,59	-82,59	-82,59
Factor Compresión Z	-	0,966	0,966	0,966
C_p	kJ/mol.K	0,0358	0,0358	0,0358
C_v	kJ/mol.K	0,0274	0,0274	0,0274
Gamma	-	1,31	1,31	1,31
Gasto Másico	kg/h	11706,12	11836,91	12098,50
Rendimiento Politrópico	-	0,76	0,76	0,76
Índice Politrópico	-	1,45	1,45	1,45
Presión Descarga	bar	4,8	4,8	4,8
Temperatura Salida	K	185,96	185,96	185,96
Temperatura Salida	°C	-87,04	-87,04	-87,04
Gasto Másico Salida	kg/h	4083,98	4129,61	4220,87
Caudal Salida	m ³ /h	2281,55	2281,55	2281,55
Caudal a Comp. Sec.	m ³ /h	2053,40	2053,40	2053,40
Caudal a Recondensador	m ³ /h	228,16	228,16	228,16
Velocidad Máxima	m/s	5,34	5,34	5,34
Rendimiento	-	85%	85%	85%
Potencia	kW	165	167	171
Rendimiento Transmisión	-	72%	72%	72%
Potencia Motor	kW	270	273	279
Fabricante	-	IHI		
Modelo	-	IHI RC-18H		
Longitud	mm	4500		
Altura	mm	5000		
Peso	ton	15		



1.11. Compresor de BOG 120-CC

Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
		PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL		
Ficha Técnica: Bombas 120-CC Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016				
Densidad	kg/m ³	1,79	1,81	1,85
Temperatura Entrada	°C	-87,04	-87,04	-87,04
Presión Entrada	bar	4,8	4,8	4,8
Presión Crítica	bar	45,99	45,99	45,99
Temperatura Crítica	°C	-82,59	-82,59	-82,59
Factor Compresión Z	-	0,966	0,966	0,966
C _p	kJ/mol.K	0,0358	0,0358	0,0358
C _v	kJ/mol.K	0,0274	0,0274	0,0274
Gamma	-	1,31	1,31	1,31
Caudal Total	m ³ /h	2281,55	2281,55	2281,55
% Desvío a Condensador	-	0,6	0,6	0,6
Caudal Final	m ³ /h	912,62	912,62	912,62
Gasto Másico	kg/h	1633,59	1651,84	1688,35
Rendimiento Politrópico	-	0,76	0,76	0,76
Índice Politrópico	-	1,45	1,45	1,45
Presión Descarga	bar	85	85	85
Temperatura Salida	K	451,62	451,62	451,62
Temperatura Salida	°C	178,62	178,62	178,62
Gasto Másico Salida	kg/h	216,42	218,84	223,67
Caudal Salida	m ³ /h	120,90	120,90	120,90
Velocidad Máx.	m/s	5,34	5,34	5,34
Rendimiento	-	85%	85%	85%
Potencia Compresor	kW	303,51	306,90	313,68
Rendimiento Transmisión	-	72%	72%	72%
Potencia Motor	kW	421,54	426,24	435,66
Fabricante	IHI			
Modelo	IHI RC-18H			
Longitud	mm	4500		
Altura	mm	5000		
Peso	ton	15		



1.12. Sistema de Vaporización

1.12.1. Sistema de Combustión Sumergida

Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
		PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL		
Ficha Técnica: Vap. 130-VP Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016				
Densidad	kg/m ³	431	439	452
T. Entrada GNL	°C	-130	-130	-130
T. Salida GNL	°C	5	5	5
Presión Operación	bar	75	75	75
T. agua	°C	6	6	6
Caudal Total	m ³ /h	7018	7018	7018
Número Estaciones	-	3	3	3
Caudal/estación	m ³ /h	2339,33	2339,33	2339,33
Gasto másico	kg/s	280,07	285,27	293,72
Calor latente GNL	J/kg	2500	2500	2500
Calor vaporización	kW	5848,33	5848,33	5848,33
C _p	kJ/kg.K	2,16	2,08	1,94
Calor Calentamiento	kW	81668,47	80103,45	76924,30
Calor Total	kW	87516,80	85951,79	82772,63
Coef. transmisión U	kW/m ³ .K	17,6	17,6	17,6
T media log.	°C	27,48	27,48	27,48
Área Intercambio	m ²	180,95	177,72	171,14
Diámetro tubos	pulgadas	4	4	4
Diámetro tubos	mm	100	100	100
Espesor tuberías	mm	0,9	0,9	0,9
Diámetro interior	mm	99,1	99,1	99,1
Longitud tubos	m	6	6	6
Área superficial	m ²	3,74	3,74	3,74
Número Tubos	-	12	12	11



1.12.2. Cálculo de la combustión

Cálculo coeficientes Estequiométrica				
Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Metano	%	95%	90%	80%
Nitrógeno	%	5%	10%	20%
a	-	1,9	1,8	1,6
b	-	0,95	0,9	0,8
c	-	1,9	1,8	1,6
d	-	7,19	6,87	6,22

RELACIÓN AIRE/COMBUSTIBLE					
Compuesto	Unidades	Valor			
		GNL Ligero		GNL Diseño	
		Combustible		Aire	
		Metano	Nitrógeno	Oxígeno	Nitrógeno
Peso Molecular	kg/kmol	16	28	32	28
Nº Moles	kmol	0,95	0,05	4,24	15,93
Peso total	kg	15,20	1,40	135,58	446,07
AC	kg/kg	35,04			
		Combustible		Aire	
		Metano	Nitrógeno	Oxígeno	Nitrógeno
Peso Molecular	kg/kmol	16	28	32	28
Nº Moles	kmol	0,90	0,10	4,05	15,23
Peso total	kg	14,40	2,80	129,60	426,38
AC	kg/kg	32,32			
		Combustible		Aire	
		Metano	Nitrógeno	Oxígeno	Nitrógeno
Peso Molecular	kg/kmol	16	28	32	28
Nº Moles	kmol	0,80	0,20	3,66	13,78
Peso total	kg	12,80	5,60	117,25	385,75
AC	kg/kg	27,34			



Cálculo exceso de Aire				
Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Entalpía Form. CH ₄	kJ/kmol	-74,873%	-74,873%	-74,873%
Entalpía Form. CO ₂	kJ/kmol	-393,52%	10%	20%
Entalpía Form. H ₂ O	kJ/kmol	-241,83	-241,83	-241,83
C _p CH ₄	kJ/kmol.K	36,42	36,42	36,42
C _p H ₂ O	kJ/kmol.K	33,74	33,74	33,74
C _p O ₂	kJ/kmol.K	29,49	29,49	29,49
C _p N ₂	kJ/kmol.K	29,19	29,19	29,19
C _p CO ₂	kJ/kmol.K	29,19	29,19	29,19
T. Combustión Adiabática	°C	1000	1000	1000
Exceso de aire	-	1,23	1,25	1,29

GASTO MÁSCICO DE AIRE				
Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
AC	kg/kg	35,04	32,32	27,34
% Gas natural empleado	-	0,02	0,02	0,02
Gasto gas natural	kg/s	5,60	5,71	5,87
Gasto máscico aire	kg/s	196,27	184,42	160,58


1.12.3. Compresor de Aire

CALCULO DEL COMPRESOR AIRE				
Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Densidad	kg/m ³	1,2	1,2	1,2
Temperatura Entrada	°C	12	12	12
Presión Entrada	bar	1	1	1
C _p	kJ/kg.K	1,03	1,03	1,03
Gamma	-	1,33	1,33	1,33
Gasto Máscico	kg/s	19,60	18,40	15,50
Presión Descarga	bar	50	50	50
Temperatura salida	°C	121,30	121,30	121,30
Potencia Compresor	kW	2206,55	2071,45	1744,97
Rendimiento	-	85%	85%	85%
Rend. Transmisión	-	72%	72%	72%
Potencia Motor	kW	3605	3385	2851
Fabricante	CentralAir			
Modelo	CA-MISTRAL100-3			




1.13. Sistema de Antorcha

1.13.1. Parámetros principales

Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
				
Ficha Técnica: Antorcha 115-FL Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016		PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL		
Peso Molecular	kg/kmol	16,54	17,24	18,44
Densidad BOG	kg/m ³	0,78	0,81	0,83
Coefficiente Isentrópico γ	-	1,4	1,4	1,4
Viscosidad	cP	0,12	0,13	0,14
Temperatura gas	°C	-106	-106	-106
Factor Compres. Z	-	1	1	1
Presión Entrada	kPa	40	40	40
PCI	kWh/m ³	11,052	12,04	12,5
Caudal de diseño	m ³ /h	30000	30000	30000
Gasto Máscico	kg/h	23400	24300	24900
Velocidad viento (10 m)	m/s	14	14	14
Radiación Admisible suelo	kW/m ²	6	6	6
Presión Quemador	kPa	101,3	101,3	101,3
Altura tuberías Colector	m	3,2	3,2	3,2
Emisividad	-	0,19	0,19	0,19
Factor Transmisividad	-	1	1	1
Liberación de Calor	MW	331,56	361,2	375
Longitud Llama	m	38,60	40,10	40,77
Diámetro Antorcha	pulgadas	30	30	30
Diámetro Antorcha	mm	762	762	762
Distancia a llama	m	28,91	30,17	30,74
Diámetro de la Boquilla	pulgadas	8	8	8
Nº pilotos	-	2	2	2
Tiro Antorcha	N/m ²	130	130	130
Densidad Aire	kg/m ³	1,2	1,2	1,2
Gravedad	m ² /s	9,81	9,81	9,81
Altura Columna	m	32	34	36
Altura Total Antorcha	m	35	37	39



1.13.2. Concentraciones

Ficha Técnica: Antorcha 115-FL Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL			
Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Descarga Quemador	mbar	97	97	97
Potencia Acústica	dB	117,44	117,60	117,71
Estabilidad atmosférica	-	D	D	D
Nº Match	-	0,27	0,28	0,27
Cp/Cv	-	1,4	1,4	1,4
Velocidad Sonido	m/s	342,89	335,85	324,74
Velocidad salida quemador	m/s	93,21	92,86	88,96
PCS	kJ/kg	46197	46197	46197
ESTUDIO CONCENTRACIONES				
Conc. Máx. Hridocab. no Quem	g/MJ	0,0602	0,0602	0,0602
Concentración Máx. CO	g/MJ	0,1592	0,1592	0,1592
Concentración Máx. NO _x	g/MJ	0,0293	0,0293	0,0293
Conc. Máx. Hridocab. no Quem	g/s	18,077	18,772	19,236
Concentración Máx. CO	g/s	95,609	99,287	101,738
Concentración Máx. NO _x	g/s	8,798	9,137	9,362
Altura antorcha	m	30	30	30
Concentraciones a 3 km de distancia				
σ_z	m	62	62	62
σ_y	m	186	186	186
Concentr. Hidrocarb. No Quem.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	31,70	32,92	33,74
Concentraciones de CO.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	83,84	87,06	89,21
Concentraciones de NO _x	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	15,43	16,02	16,42
Concentraciones a 5 km de distancia				
σ_z	m	83	83	83
σ_y	m	292	292	292
Concentr. Hidrocarb. No Quem.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	15,89	16,50	16,90
Concentraciones de CO.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	44,61	46,33	47,47
Concentraciones de NO _x	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	4,80	5,08	5,28
Concentraciones a 10 km de distancia				
σ_z	m	124	124	124
σ_y	m	536	536	536
Concentr. Hidrocarb. No Quem.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,02	0,02	0,02
Concentraciones de CO.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	16,15	16,75	17,15
Concentraciones de NO _x	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,48	1,54	1,58

1.13.3. Knock Out Drum

KNOCK-OUT DRUM		
Parámetro	Unidades	Valor
Volumen	m ³	5000
Longitud	m	19
Diámetro	m	9

1.14. Aportaciones de calor externo

1.14.1. 130-HA

Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Densidad	kg/m ³	1,79	1,81	1,84
T. Entrada	°C	178,62	178,62	178,62
T. Salida	°C	180	180	180
Caudal	m ³ /h	312,9	312,9	312,9
Gasto Másico	kg/s	0,16	0,16	0,16
C _p	kJ/mol.K	0,0358	0,0358	0,0358
Peso Molecular	kg/kmol	16,54	17,24	18,44
C _p	kJ/kg.K	2,16	2,08	1,94
Calor	kW	0,465	0,451	0,428
T entrada humos	°C	220	220	220
ΔT	°C	12,3	12,3	12,3
T salida humos	°C	207,7	207,7	207,7
T media logarítmica	°C	34,25	34,25	34,25
Coef transmisión. U	kW/m ³ .K	9,4	9,4	9,4
Área transferencia	m ²	1,69	1,64	1,56
Diámetro tubo	pulgadas	2	2	2
Diámetro tubo	mm	50	50	50
Longitud tubo	m	2	2	2
Área superficial	m ²	0,63	0,63	0,63
Nº Tubos	-	3	3	2
Fabricante	WATLOW HEATING SOLUTIONS			
Modelo	SE-420-K			
Alto	mm	3000		
Largo	mm	4500		
Material	Acero Inoxidable			



1.14.2. 130-HB

Parámetro		Unidades		Valor		
				GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Ficha Técnica: 130-HB Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016		PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL				
Densidad	kg/m ³			1,79	1,81	1,84
Temperatura Entrada	°C			178,62	178,62	178,62
Temperatura Salida	°C			180	180	180
Caudal	m ³ /h			120,9	120,9	120,9
Gasto Másico	kg/s			0,06	0,06	0,06
C _p	kJ/mol.K			0,845	0,845	0,845
Peso Molecular	kg/kmol			16,54	17,24	18,44
C _p	kJ/kg.K			51,09	49,01	45,82
Calor	kW			4,238	4,112	3,908
Temp. entrada humos	°C			220	220	220
ΔT	°C			12,3	12,3	12,3
T salida humos	°C			207,7	207,7	207,7
T media logarítmica	°C			34,25	34,25	34,25
Coef transmisión U	kW/m ³ .K			9,4	9,4	9,4
Área transferencia	m ²			15,44	14,98	14,24
Diámetro tubo	pulgadas			4	4	4
Diámetro tubo	mm			100	100	100
Longitud tubo	m			2	2	2
Área superficial	m ²			1,26	1,26	1,26
Nº Tubos	-			12	12	11
Fabricante	WATLOW HEATING SOLUTIONS					
Modelo	SE-420-L					
Alto	mm	2500				
Largo	mm	4000				
Material	Acero Inoxidable					



1.14.3. 130-HC

Ficha Técnica: 130-HC Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016		PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL			
Parámetro	Unidades	Valor			
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado	
Densidad	kg/m ³	431	439	452	
T. Entrada	°C	-158	-158	-158	
T. Salida	°C	-155	-155	-155	
Caudal Total	m ³ /h	8158,93	8158,93	8158,93	
Caudal Separación	m ³ /h	1359,82	2719,64	2719,64	
Gasto Másico	kg/s	162,80	331,65	341,47	
C _p	kJ/mol.K	0,03	0,03	0,03	
Peso Molecular	kg/kmol	17,24	17,24	18,44	
C _p	kJ/kg.K	1,74	1,74	1,63	
Calor	kW	849,89	1731,33	1666,59	
T entrada humos	°C	37	37	37	
ΔT	°C	5	5	5	
T salida humos	°C	32	32	32	
T media logarítmica	°C	191,00	191,00	191,00	
Coef. transmisión U	kW/m ³ .K	38,1	38,1	38,1	
Área transferencia	m ²	4260,56	8679,28	8354,76	
Diámetro tubo	pulgadas	8	8	8	
Diámetro tubo	mm	200	200	200	
Longitud tubo	m	30	30	30	
Área superficial	m ²	37,70	37,70	37,70	
Nº Tubos	-	12	12	14	
Alto	mm	2600			
Largo	mm	4000			
Fabricante	WATLOW HEATING SOLUTIONS				
Modelo	SE-420-H				
Material	Acero Inoxidable				



1.14.4. 130-CR

Parámetro	Unidades	Valor		
		GNL Ligero	GNL Diseño	GNL Pesado
Densidad	kg/m ³	1,79	1,81	1,84
Temperatura Entrada	°C	-87,06	-87,06	-87,06
Temperatura Salida	°C	-160	-160	-160
Caudal	m ³ /h	320,00	320	320
Gasto Másico	kg/s	0,16	0,16	0,16
C _p	kJ/kg.K	6,40	6,40	6,40
Calor	kW	74,28	75,11	76,35
T entrada humos	°C	37	37	37
ΔT	°C	5	5	5
T salida humos	°C	32	32	32
T media logarítmica	°C	154,77	154,77	154,77
Coef. transmisión U	kW/m ³ .K	38,1	38,1	38,1
Área transferencia	m ²	301,73	305,10	310,16
Diámetro tubo	pulgadas	6	6	6
Diámetro tubo	mm	150	150	150
Longitud tubo	m	30	30	30
Área superficial	m ²	28,27	28,27	28,27
Nº Tubos	-	11	11	11
Alto	mm	3600		
Largo	mm	8000		
Fabricante	WATLOW HEATING SOLUTIONS			
Modelo	SE-420-H			
Material	Acero Inoxidable			







1.15. Listado de líneas

TRABAJO FINAL DE MÁSTER INGENIERÍA INDUSTRIAL

Nº Documento: PRG-ICAI-PIP-001

Revisión: A

Página 1/5



PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL

TÍTULO DOCUMENTO: LISTADO DE LÍNEAS

	REALIZADO	COMPROBADO
NOMBRE	A.E.R.	L.M.C.
FIRMA		
FECHA	17/06/2016	17/06/2016



PRG-ICAI-PIP-001 LISTADO DE LÍNEAS		
Nº Documento: PRG-ICAI-PIP-001	Revisión: A	Página 2/5

Se elaborará el presente listado de líneas con el objetivo de identificar todas las líneas pertenecientes al proceso. Dicho documento tiene como finalidad la inclusión de todas esas líneas con sus parámetros de cálculo y diseño incluidos para tener un documento de información que puede guiar al operario y la oficina de ingeniería en planta por si ocurre alguna incidencia. En todo proyecto similar al presente, el listado de líneas se considera como documento obligatorio (hito de pago en la mayoría de los contratos) que sirva de apoyo a los P&IDs. A continuación se explicará la funcionalidad de cada apartado de dicho listado:

- **Número de línea.** Se asigna un número de línea a cada unidad. El establecimiento de los límites de las líneas vienen dados por los equipos, conexiones de varias líneas en un mismo punto y válvulas de tarado o reguladoras. La asignación de dichos números suele deberse a la elaboración de las mismas siguiendo el orden del plano.
- **Servicio.** Depende tanto del fluido (gas natural, nitrógeno, agua) como el servicio que la línea aporta al proceso (proceso, venteo, inertizado). Este apartado está explicado en la especificación de tuberías.
- **Diámetro.** Es el parámetro por el que se identifica la línea. Dado que la velocidad (v en m/s) y caudal (Q en m³/h) son conocidos (más adelante se comentará el motivo), el diámetro de la tubería puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{v * \pi}}$$

Dicho parámetro es expresado en milímetros. Dado que esta medida está definida por el fabricante, se ajustará el diámetro calculado al diámetro nominal en pulgadas.

- **Plano.** Para una correcta y fácil ubicación de la línea, se mostrará el plano al cual pertenece.
- **Condiciones de diseño.** Referidas a presión y temperatura, representan el valor límite de presión y temperatura de operación que aguanta la línea. Viene determinado por el diámetro y las propiedades del material del cual están fabricadas (cálculo de esfuerzos en los soportes de las tuberías).
- **Fluido de Test.** Se refiere al tipo de fluido que se inyecta a presión tras el montaje de las líneas para detectar cualquier fuga debido a un error en la fabricación o montaje de las tuberías.
- **Aislamiento.** Muestra el aislamiento y espesor al que está sometida cada línea. Este apartado está explicado en la especificación de tuberías.
- **Caudal.** Expresado en metros cúbicos por hora, viene determinado por las condiciones de operación requeridas por los distintos equipos.
- **Velocidad.** Es la velocidad máxima admisible a la que debe circular el flujo. Aquellas líneas ligadas al separador tendrán una velocidad máxima admisible de 5.34 m/s (velocidad máxima a la que la eficiencia de separación líquido-gas deja de ser del 100%).



PRG-ICAI-PIP-001 LISTADO DE LÍNEAS		
Nº Documento: PRG-ICAI-PIP-001	Revisión: A	Página 3/5

Para el resto de líneas se escogerá una velocidad máxima de 8 m/s, ya que a velocidades mayores comienzan a generarse turbulencias en el flujo a lo largo de la línea.

- **Fluido.** Indica el fluido que circula por el interior de la línea.
- **Pérdidas de carga.** Se calculan con el objetivo de conocer la presión que debe dar la bomba o los equipos rotativos para hacer llegar el fluido a la presión requerida por el equipo que se encuentra al otro lado de la línea. Para ello se tiene en cuenta:
 - Codos y demás desviaciones en la dirección del flujo. La longitud equivalente de cada desviación dependerá del diámetro de la misma. Dicho parámetro se encuentra en las tablas de los anexos. La longitud equivalente será el resultado de multiplicar dicho parámetro por el número de desviaciones a lo largo de la línea.
 - Válvulas. El fluido a su paso por la válvula experimentará una ligera pérdida de carga a tener en cuenta. Dicha pérdida se encuentra tabulada en los anexos y el procedimiento del cálculo de la pérdida de carga resultante es el mismo que para el caso de los codos.

Finalmente se calculará la pérdida de carga total (en bar).



LISTADO DE LINEAS



Número Línea	Servicio	Diámetro [pulg]	Plano	CONDICIONES DISEÑO		Fluido Test	AISLAMIENTO		De	Hacia	Caudal [m3/h]	Fluido	Velocidad [m/s]	Diámetro [mm]	Longitud [m]	CODOS		VÁLVULAS		LONGITUD		Pérd. carga [mbar/m]	Perd. Total [mm.c.a.]	P. Carga [bar]	
				Temp. [°C]	Pr. [bar]		Tipo	Espesor [mm]								Número	Long. Eq. [m]	Número	Long. Eq. [m]	Long. Eq. Total [m]	Total [m]				
0001	P	36	PG-0002A	-163	NA	Aire	C3	210	Embarcadero	100-TA	NA	GNL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
0002	P	36	PG-0002A	-163	NA	Aire	C3	210	Embarcadero	100-TA	NA	GNL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
0003	P	12	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	160	110-BA	-	2200	GNL	8	311,87	49	3	9,1	2	5,1	37,5	86,5	6,7	579,55	5,68	
0003	P	10	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	140	110-BA	120-IC	1540	GNL	8	260,93	4	2	7,7	1	3,6	19	23	6,2	142,6	1,40	
0003	P	10	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	140	110-BA	120-RE	1540	GNL	8	260,93	6	2	7,7	1	3,6	19	25	6,2	155	1,52	
0004	P	12	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	160	110-BB	-	2200	GNL	8	311,87	49	3	9,1	2	5,1	37,5	86,5	6,7	579,55	5,68	
0004	P	10	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	140	110-BB	120-IC	1540	GNL	8	260,93	4	2	7,7	1	3,6	19	23	6,2	142,6	1,40	
0004	P	10	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	140	110-BB	120-RE	1540	GNL	8	260,93	6	2	7,7	1	3,6	19	25	6,2	155	1,52	
0005	P	12	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	160	110-BC	-	2200	GNL	8	311,87	49	3	9,1	2	5,1	37,5	86,5	6,7	579,55	5,68	
0005	P	10	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	140	110-BC	120-IC	1540	GNL	8	260,93	4	2	7,7	1	3,6	19	23	6,2	142,6	1,40	
0005	P	10	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	140	110-BC	120-RE	1540	GNL	8	260,93	6	2	7,7	1	3,6	19	25	6,2	155	1,52	
0006	P	12	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	160	110-BD	-	2200	GNL	8	311,87	49	3	9,1	2	5,1	37,5	86,5	6,7	579,55	5,68	
0006	P	10	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	140	110-BD	120-IC	1540	GNL	8	260,93	4	2	7,7	1	3,6	19	23	6,2	142,6	1,40	
0006	P	10	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	140	110-BD	120-RE	1540	GNL	8	260,93	6	2	7,7	1	3,6	19	25	6,2	155	1,52	
0007	P	12	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	160	110-BE	-	2200	GNL	8	311,87	49	3	9,1	2	5,1	37,5	86,5	6,7	579,55	5,68	
0007	P	10	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	140	110-BE	120-IC	1540	GNL	8	260,93	4	2	7,7	1	3,6	19	23	6,2	142,6	1,40	
0007	P	10	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	140	110-BE	120-RE	1540	GNL	8	260,93	6	2	7,7	1	3,6	19	25	6,2	155	1,52	
0008	P	8	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	130	110-BF	-	630	GNL	8	166,89	49	3	9,1	2	5,1	37,5	86,5	6,7	579,55	5,68	
0008	P	6	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	120	110-BF	120-IC	441	GNL	8	139,63	4	2	7,7	1	3,6	19	23	6,2	142,6	1,40	
0008	P	6	PG-0002A	-163	5	Aire	C3	120	110-BF	120-RE	441	GNL	8	139,63	6	2	7,7	1	3,6	19	25	6,2	155	1,52	
0009	P	24	PG-0002A/0004	-163	5	Aire	C3	190	-	120-RE	8141	GNL	8	599,93	12	4	11,6	2	3,6	53,6	65,6	6,9	452,64	4,44	
0010	P	24	PG-0002A/0003	-163	5	Aire	C3	190	-	120-IC	8141	GNL	8	599,93	10	4	11,6	2	3,6	53,6	63,6	6,9	438,84	4,30	
0011	P	24	PG-0002A	-163	2,2	Aire	C3	190	100-TA	120-IC	4097,73	BOG	5	538,38	12	4	9,7	2	3,6	46	58	6,2	359,6	3,52	
0012	V	12	PG-0002A	-163	2,2	Aire	NINGUNO	N.A.	100-TA	115-FL	2200,00	BOG	8	300,00	15	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
0013	N	2	PG-0002A	-163	5	Aire	NINGUNO	N.A.	10N029	100-TA	158	Nitrogeno	8	50,00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
0014	V	18	PG-0003	-163	5	Aire	C3	170	P-0002	100-TA	4097,73	BOG	8	425,63	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
0015	P	24	PG-0003	-163	10,8	Aire	C3	190	P-0010	P-0016	8141	GNL	8	599,93	6	2	11,6	3	3,6	34	40	6,9	276	2,70	
0016	P	24	PG-0003	-163	10,8	Aire	C3	190	120-IC	120-SE	8141	GNL+BOG	8	599,93	4	4	11,6	3	3,6	57,2	61,2	6,9	422,28	4,14	
0017	V	6	PG-0003	-163	2,2	Aire	NINGUNO	N.A.	120-SE	115-FL	441	BOG	8	139,63	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
0018	P	18	PG-0003	-163	10,8	Aire	C3	170	120-SE	120-COLECTOR	2241	BOG	5,34	385,26	3	2	7,7	2	4,2	23,8	26,8	6,2	166,16	1,63	
0019	P	24	PG-0003	-163	10,8	Aire	C3	190	120-COLECTOR	110-CA/CB	6338,73	BOG	8	529,37	5	2	7,7	3	4,2	21,7	26,7	6,2	165,54	1,62	
0020	N	2	PG-0003	-163	5	Aire	NINGUNO	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	Nitrogeno	8	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
0021	N	2	PG-0003	-163	5	Aire	NINGUNO	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	Nitrogeno	8	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
0022	P	24	PG-0003	-163	5	Aire	C3	190	120-IC	120-SA/SB/SC/SD	8141	GNL	8	599,93	2	3	11,6	1	5,6	40,4	42,4	6,7	284,08	2,78	
0023	P	20	PG-0003	-163	9	Aire	C3	180	120-SE	P-00024	5698	GNL	8	501,95	2	2	11,6	1	5,6	28,8	30,8	6,7	206,36	2,02	
0024	P	20	PG-0003	-163	9	Aire	C3	180	P-0023	120-SA/SB/SC/SD	5699	GNL	8	501,95	2	2	11,6	1	5,6	28,8	30,8	6,7	237,16	2,32	
0025	P	12	PG-0003	-163	9	Aire	C3	160	P-0024	120-SA	1899,67	GNL	8	289,80	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0026	P	12	PG-0003	-163	9	Aire	C3	160	P-0024	120-SB	1899,67	GNL	8	289,80	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0027	P	12	PG-0003	-163	9	Aire	C3	160	P-0024	120-SC	1899,67	GNL	8	289,80	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0028	P	12	PG-0003	-163	9	Aire	C3	160	P-0024	120-SD	1899,67	GNL	8	289,80	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0029	P	12	PG-0003	-163	18,9	Aire	C3	160	120-SA	P-0033	1899,67	GNL	8	289,80	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0030	P	12	PG-0003	-163	18,9	Aire	C3	160	120-SB	P-0033	1899,67	GNL	8	289,80	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0031	P	12	PG-0003	-163	18,9	Aire	C3	160	120-SC	P-0033	1899,67	GNL	8	289,80	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0032	P	12	PG-0003	-163	18,9	Aire	C3	160	120-SD	P-0033	1899,67	GNL	8	289,80	4	2	7,7	1	3,6	19	23	6,2	142,6	1,40	
0033	P	20	PG-0003	-163	18,9	Aire	C3	180	COLECTOR	110-TA	5699	GNL	8	501,95	4	2	7,7	1	3,6	19	23	6,2	142,6	1,40	
0034	P	4	PG-0004	120	18,9	Aire	H3	50	120-CA/CB	COOLER	228	BOG	5,34	122,89	4	2	7,7	1	3,6	19	23	6,2	142,6	1,40	
0035	P	4	PG-0004	120	18,9	Aire	H3	50	COOLER	120-RE	228	BOG	5,34	122,89	2	2	7,7	1	3,6	19	23	6,2	142,6	1,40	
0036	P	24	PG-0004	-163	18,9	Aire	C3	190	10P055	120-RE	8141	GNL	8	599,93	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0037	P	24	PG-0004	-163	18,9	Aire	C3	190	10P056	120-RE	8141	GNL	8	599,93	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0038	P	4	PG-0004	120	18,9	Aire	H3	50	P-0037	HEADER	228	BOG	5,34	122,89	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0039	P	24	PG-0004	-163	18,9	Aire	C3	190	120-RE	120-RA/RB/RC/RD/RE	7020	GNL	8	557,09	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0040	P	12	PG-0004	-163	18,9	Aire	C3	160	P-0039	120-RA	1755	GNL	8	278,55	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0041	P	12	PG-0004	-163	80	Aire	C3	160	120-RA	130-VP	1755	GNL	8	278,55	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0042	P	12	PG-0004	-163	18,9	Aire	C3	160	P-0039	120-RB	1755	GNL	8	278,55	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0043	P	12	PG-0004	-163	80	Aire	C3	160	120-RB	130-VP	1755	GNL	8	278,55	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0044	P	12	PG-0004	-163	18,9	Aire	C3	160	P-0039	120-RC	1755	GNL	8	278,55	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0045	P	12	PG-0004	-163	80	Aire	C3	160	120-RC	130-VP	1755	GNL	8	278,55	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0046	P	12	PG-0004	-163	18,9	Aire	C3	160	P-0039	120-RD	1755	GNL	8	278,55	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0047	P	12	PG-0004	-163	80	Aire	C3	160	120-RD	130-VP	1755	GNL	8	278,55	2	2	7,7	1	3,6	19	21	6,2	130,2	1,28	
0048	P																								



1.16. Listado de equipos

TRABAJO FINAL DE MÁSTER INGENIERÍA INDUSTRIAL

Nº Documento: PRG-ICAI-EQP-001

Revisión: A

Página 1/2



PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL

TÍTULO DOCUMENTO: LISTADO DE EQUIPOS

	REALIZADO	COMPROBADO
NOMBRE	A.E.R.	L.M.C.
FIRMA		
FECHA	17/06/2016	17/06/2016



Autor: Alberto Escobar Rico
Fecha: 17 de junio de 2016
Página 2/2

PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL

AUTOR	AER	
REVISADO	LMC	

UNIVERSIDAD ICAI PONTIFICIA ICADE
COMILLAS
MADRID

LISTADO DE EQUIPOS

Equipo	TAG	P&ID	Dimensiones [mm]	CONDICIONES DISEÑO		Caudal [m3/h]	POTENCIA		AISLAMIENTO		Comentarios
				Presión [bar]	Temperatura [°C]		Eje [kW]	Motor [kW]	Tipo	Espesor [mm]	
Tanque GNL	100-TA	PG-0002	Altura: 47130 Diámetro: 66000	1,19	-186/34	N.A.	N.A.	N.A.	Perlita	200	Capacidad: 150000 m3
Bombas Sumergidas GNL	110-BA/BB/ BC/BD/BE	PG-0002 PG-0008	N.A.	9	-160	2200	120	170	C3	160	Bomba de reserva: 110-BE
Bomba Sumergida GNL	110-BF	PG-0002 PG-0008	N.A.	9	-160	630	105	132,5	C3	160	
Intercambiador	120-IC	PG-0003	Longitud: 18000 Altura: 3000	10	-180	8140	N.A.	N.A.	C3	190	Duty: 12,54 MW
Separador	120-SE	PG-0003	Altura: 6520 Diámetro: 1800	10	-180	8140	N.A.	N.A.	C3	190	Velocidad GNL: 5,34 m/s Caudal GNL: 5698 m3/h
Filtro GNL	120-FS	PG-0003	Diámetro: 584	10	-163	5698	N.A.	N.A.	C3	180	
Bombas Recirculación	120-SA/SB/ SC/SD	PG-0003	N.A.	10	-160	1890	108	150	C3	160	Bomba de reserva: 120-SD
Cooler	130-CR	PG-0004	Longitud: 32000 Altura: 5000	5,8	-180	8140	N.A.	N.A.	H3	50	Duty: 77 kW
Recondensador	120-RE	PG-0004	Altura: 3100 Diámetro: 900	10	-160	8140	N.A.	N.A.	C3	190	Caudal GNL: 7020 m3/h
Filtro GNL	120-FC	PG-0004	Diámetro: 610	18,9	-163	7020	N.A.	N.A.	C3	190	
Bombas HP	130-RA/RB/ RC/RD/RE	PG-0004	N.A.	81	-160	1755	230	350	C3	160	Bomba de reserva: 130-RE
Intercambiador/ Precalentador	130-HC	PG-0005	Longitud: 7000 Altura: 2600	71	-160	7020	N.A.	N.A.	C3	130	Duty: 2 MW
Sistema Vaporización	130-VP	PG-0005	Longitud: 7000 Altura: 4500	75	-130/5	7020	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	Duty: 82 MW
Compresor Aire	140-AC	PG-0005	N.A.	50	12/122	5880	2300	3605	N.A.	N.A.	
Filtro Aire	140-FA	PG-0005	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Filtro GNL	150-FG	PG-0005	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Compresores BOG HP/LP	110-CA/CB	PG-0006	Longitud: 4500 Altura: 5000	85/4,8	178/-88	6600	2400/175	4000/280	C3	190	Compresor reserva: 110-CB Peso: 15 ton
Heater	130-HA	PG-0006	Longitud: 4500 Altura: 3000	85	200	6600	N.A.	N.A.	H3	110	Duty: 0,5 kW
Compresor Secundario	120-CC	PG-0006	Longitud: 4500 Altura: 5000	85	178	2200	315	440	H3	75	Peso: 15 ton
Heater	130-HB	PG-0006	Longitud: 4000 Altura: 2500	85	180	2200	N.A.	N.A.	H3	75	Duty: 4,3 kW
Knock-Out Drum	115-KO	PG-0009	Longitud: 19000 Diámetro: 9000	1,1	180	N.A.	N.A.	N.A.	NINGUNO	N.A.	Capacidad: 5000 m3
Sistema Antorcha	115-FL	PG-0009	Altura: 40000 Diámetro: 762	1,1	180	10000	N.A.	N.A.	NINGUNO	N.A.	
Tanque de Nitrógeno	140-NA	PG-0010	Altura: 2000 Diámetro: 700	1,1	170	N.A.	N.A.	N.A.	C3	213	Capacidad: 2000 m3
Tanque de Nitrógeno	140-NB	PG-0010	Altura: 2000 Diámetro: 700	1,1	170	N.A.	N.A.	N.A.	C3	213	Capacidad: 2000 m3



1.17. Listado de válvulas

TRABAJO FINAL DE MÁSTER INGENIERÍA INDUSTRIAL

Nº Documento: PRG-ICAI-VAV-001

Revisión: A

Página 1/3



PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL

TÍTULO DOCUMENTO: LISTADO DE VÁLVULAS

	REALIZADO	COMPROBADO
NOMBRE	A.E.R.	L.M.C.
FIRMA		
FECHA	17/06/2016	17/06/2016



Autor: Alberto Escobar Rico
 Fecha: 17 de junio de 2016
 Página 2/3

PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL

AUTOR
 REVISADO

A.E.R
 L.M.C.

LISTADO DE VÁLVULAS



Nombre	Plano	Diámetro	Tipo	Comentarios	Línea	Nombre	Plano	Diámetro	Tipo	Comentarios	Línea	Nombre	Plano	Diámetro	Tipo	Comentarios	Línea
10P001	PG-0002A	12"	Tarado	2,2 barg	V-0012	10N090	PG-0004	2"	Manguera	-	N-0057	10N179	PG-0010	2"	Manguera	-	120-IC
10P002	PG-0002A	2"	Antirretorno	-	N-0013	10P091	PG-0004	2"	Mariposa	-	N-0057	10N180	PG-0010	2"	Manguera	-	120-IC
10P003	PG-0002A	2"	Corte	-	N-0013	10P092	PG-0004	2"	Corte	-	N-0057	10N181	PG-0010	2"	Manguera	-	120-SE
10P004	PG-0002A	2"	Mariposa	-	N-0013	10N093	PG-0004	3/4"	Drenaje	-	N-0057	10N182	PG-0010	2"	Manguera	-	120-SE
10P005	PG-0002A	3/4"	Drenaje	-	N-0013	10P094	PG-0004	2"	Antirretorno	-	N-0057	10P183	PG-0010	2"	Corte	-	120-IC
10P006	PG-0002A	6"	Corte	-	P-0008	10P095	PG-0004	4"	Tarado	10,8 barg	V-0052	10P184	PG-0010	2"	Corte	-	120-IC
10P007	PG-0002A	10"	Corte	-	P-0007	10P096	PG-0004	2"	Drenaje	-	P-0039	10P185	PG-0010	2"	Corte	-	120-SE
10P008	PG-0002A	10"	Corte	-	P-0006	10P097	PG-0002A	2"	Drenaje	-	P-0010	10P186	PG-0010	2"	Corte	-	120-SE
10P009	PG-0002A	10"	Corte	-	P-0005	10P098	PG-0002A	2"	Drenaje	-	P-0009	10N187	PG-0010	2"	Manguera	-	100-TA
10P010	PG-0002A	10"	Corte	-	P-0004	10P099	PG-0005	24"	Tres Vías	-	P-0050	10N188	PG-0010	2"	Manguera	-	100-TA
10P011	PG-0002A	10"	Corte	-	P-0003	10P100	PG-0005	8"	Corte	-	P-0058	10N189	PG-0010	2"	Manguera	-	100-TA
10P012	PG-0002A	6"	Corte	-	P-0008	10P101	PG-0005	8"	Corte	-	P-0059	10N190	PG-0010	2"	Manguera	-	100-TA
10P013	PG-0002A	10"	Corte	-	P-0007	10P102	PG-0005	8"	Reguladora	-	P-0060	10P191	PG-0010	2"	Manguera	-	100-TA
10P014	PG-0002A	10"	Corte	-	P-0006	10P103	PG-0005	24"	Corte	-	P-0063	10P192	PG-0010	2"	Manguera	-	100-TA
10P015	PG-0002A	10"	Corte	-	P-0005	10P104	PG-0005	24"	Tres Vías	-	P-0064	10P193	PG-0010	2"	Manguera	-	100-TA
10P016	PG-0002A	10"	Corte	-	P-0004	10N105	PG-0005	2"	Manguera	-	N-0067	10P194	PG-0010	2"	Manguera	-	100-TA
10P017	PG-0002A	10"	Corte	-	P-0003	10P106	PG-0005	2"	Mariposa	-	N-0067	10N195	PG-0010	2"	Manguera	-	10N080
10P018	PG-0002A	24"	Corte	-	P-0009	10P107	PG-0005	2"	Corte	-	N-0067	10N196	PG-0010	2"	Manguera	-	10N080
10P019	PG-0002A	24"	Corte	-	P-0010	10P108	PG-0005	3/4"	Drenaje	-	N-0067	10N197	PG-0010	2"	Manguera	-	10N080
10P020	PG-0002A	24"	Reguladora	-	P-0002	10P109	PG-0005	2"	Antirretorno	-	N-0067	10N198	PG-0010	2"	Manguera	-	10N080
10P021	PG-0002A	24"	Corte	-	P-0002	10P110	PG-0005	20"	Tarado	81 barg	P-0064	10P199	PG-0010	2"	Manguera	-	120-SA/SB/SC/SD
10P022	PG-0002A	12"	Tres Vías	-	P-0003	10P111	PG-0005	20"	Corte	-	P-0064	10P200	PG-0010	2"	Manguera	-	120-SA/SB/SC/SD
10P023	PG-0002A	12"	Tres Vías	-	P-0004	10P112	PG-0006	24"	Corte	-	P-0069	10P201	PG-0010	2"	Manguera	-	120-SA/SB/SC/SD
10P024	PG-0002A	12"	Tres Vías	-	P-0005	10P113	PG-0006	24"	Corte	-	P-0070	10P202	PG-0010	2"	Manguera	-	120-SA/SB/SC/SD
10P025	PG-0002A	12"	Tres Vías	-	P-0006	10P114	PG-0006	24"	Reguladora	-	P-0070	10N203	PG-0010	2"	Manguera	-	120-RA
10P026	PG-0002A	12"	Tres Vías	-	P-0007	10P115	PG-0006	24"	Antirretorno	-	P-0071	10N204	PG-0010	2"	Manguera	-	120-RA
10P027	PG-0002A	8"	Tres Vías	-	P-0008	10P116	PG-0006	24"	Antirretorno	-	P-0072	10N205	PG-0010	2"	Manguera	-	120-RB
10P028	PG-0002A	4"	Reguladora	-	V-0012	10P117	PG-0006	12"	Tarado	90 barg	V-0074	10N206	PG-0010	2"	Manguera	-	120-RB
10N029	PG-0002A	2"	Manguera	-	N-0013	10P118	PG-0006	12"	Corte	-	V-0074	10N207	PG-0010	2"	Manguera	-	120-RC
10P030	PG-0003	18"	Corte	-	P-0010	10P119	PG-0006	24"	Antirretorno	-	P-0077	10N208	PG-0010	2"	Manguera	-	120-RC
10P031	PG-0003	24"	Corte	-	P-0010	10P120	PG-0006	24"	Antirretorno	-	P-0076	10N209	PG-0010	2"	Manguera	-	120-RD
10P032	PG-0003	24"	Reguladora	-	P-0014	10P121	PG-0006	24"	Tres Vías	-	P-0078	10N210	PG-0010	2"	Manguera	-	120-RD
10P033	PG-0003	24"	Corte	-	P-0015	10P122	PG-0006	12"	Tarado	90 barg	V-0083	10N211	PG-0010	2"	Manguera	-	120-RE
10P034	PG-0003	24"	Corte	-	P-0015	10P123	PG-0006	12"	Corte	-	V-0083	10N212	PG-0010	2"	Manguera	-	120-RE
10P035	PG-0003	24"	Corte	-	P-0016	10P124	PG-0006	24"	Reguladora	-	P-0073	10P213	PG-0010	2"	Corte	-	120-RA
10P036	PG-0003	24"	Corte	-	P-0016	10P125	PG-0006	12"	Reguladora	-	P-0080	10P214	PG-0010	2"	Corte	-	120-RA
10P037	PG-0003	6"	Tarado	9,2 barg	V-0017	10N126	PG-0006	2"	Manguera	-	N-0084	10P215	PG-0010	2"	Corte	-	120-RB
10P038	PG-0003	6"	Corte	-	V-0017	10P127	PG-0006	2"	Mariposa	-	N-0084	10P216	PG-0010	2"	Corte	-	120-RB
10P039	PG-0003	18"	Reguladora	-	P-0018	10P128	PG-0006	2"	Corte	-	N-0084	10P217	PG-0010	2"	Corte	-	120-RC
10N040	PG-0003	2"	Manguera	-	N-0020	10P129	PG-0006	2"	Drenaje	-	N-0084	10P218	PG-0010	2"	Corte	-	120-RC
10P041	PG-0003	2"	Mariposa	-	N-0020	10P130	PG-0006	2"	Antirretorno	-	N-0084	10P219	PG-0010	2"	Corte	-	120-RD
10P042	PG-0003	2"	Corte	-	N-0020	10N131	PG-0008	2"	Manguera	-	N-0085	10P220	PG-0010	2"	Corte	-	120-RD
10P043	PG-0003	2"	Antirretorno	-	N-0020	10P132	PG-0008	2"	Mariposa	-	N-0085	10P221	PG-0010	2"	Corte	-	120-RE
10P044	PG-0003	3/4"	Drenaje	-	N-0020	10P133	PG-0008	2"	Corte	-	N-0085	10P222	PG-0010	2"	Corte	-	120-RE
10N045	PG-0003	2"	Manguera	-	N-0021	10P134	PG-0008	3/4"	Drenaje	-	N-0085	10P223	PG-0010	6"	Corte	-	N-0108
10P046	PG-0003	3/4"	Drenaje	-	N-0021	10P135	PG-0008	2"	Antirretorno	-	N-0085	10N224	PG-0010	2"	Manguera	-	130-HC
10P047	PG-0003	2"	Mariposa	-	N-0021	10P136	PG-0008	2"	Corte	-	N-0085	10N225	PG-0010	2"	Manguera	-	130-HC
10P048	PG-0003	2"	Corte	-	N-0021	10P137	PG-0008	2"	Antirretorno	-	N-0085	10P226	PG-0010	2"	Corte	-	130-HC
10P049	PG-0003	2"	Antirretorno	-	N-0021	10N138	PG-0008	2"	Manguera	-	N-0086	10P227	PG-0010	2"	Corte	-	130-HC

Autor: Alberto Escobar Rico
 Fecha: 17 de junio de 2016
 Página 3/3

PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL

AUTOR	A.E.R	
REVISADO	L.M.C.	

UNIVERSIDAD ICAI PONTIFICIA ICADE
COMILLAS
 MADRID

LISTADO DE VÁLVULAS

Nombre	Plano	Diámetro	Tipo	Comentarios	Línea	Nombre	Plano	Diámetro	Tipo	Comentarios	Línea	Nombre	Plano	Diámetro	Tipo	Comentarios	Línea
10P050	PG-0003	24"	Corte	-	P-0022	10P139	PG-0008	2"	Corte	-	N-0086	10P228	PG-0010	3/4"	Drenaje	-	130-HC
10P051	PG-0003	24"	Corte	-	P-0022	10P140	PG-0008	3/4"	Drenaje	-	N-0086	10N229	PG-0010	2"	Manguera	-	110-CA/CB
10P052	PG-0003	24"	Corte	-	P-0022	10P141	PG-0008	2"	Antirretorno	-	N-0086	10N230	PG-0010	2"	Manguera	-	110-CA/CB
10P053	PG-0003	2"	Drenaje	-	P-0024	10P142	PG-0009	36"	Antirretorno	-	V-0087	10P231	PG-0010	2"	Corte	-	110-CA/CB
10P054	PG-0004	4"	Corte	-	P-0034	10P143	PG-0009	36"	Reguladora	-	V-0087	10P232	PG-0010	2"	Corte	-	110-CA/CB
10P055	PG-0004	24"	Corte	-	P-0009	10P144	PG-0009	36"	Corte	-	V-0088	10P233	PG-0010	4"	Antirretorno	-	N-0109
10P056	PG-0004	24"	Reguladora	-	P-0036	10P145	PG-0009	36"	Corte	-	V-0089	10P234	PG-0010	6"	Antirretorno	-	N-0110
10P057	PG-0004	24"	Reguladora	-	P-0037	10P146	PG-0009	2"	Drenaje	-	115-FL	10N235	PG-0011	2"	Manguera	-	N-0113
10P058	PG-0004	4"	Reguladora	-	P-0038	10P147	PG-0009	2"	Mariposa	-	115-FL	10P236	PG-0011	2"	Mariposa	-	N-0113
10P059	PG-0004	12"	Corte	-	P-0040	10P148	PG-0009	2"	Tres Vías	-	V-0092	10P237	PG-0011	2"	Corte	-	N-0113
10P060	PG-0004	12"	Corte	-	P-0042	10P149	PG-0009	2"	Tres Vías	-	V-0093	10P238	PG-0011	3/4"	Drenaje	-	N-0113
10P061	PG-0004	12"	Corte	-	P-0044	10P150	PG-0009	2"	Tres Vías	-	V-0094	10P239	PG-0011	2"	Antirretorno	-	N-0113
10P062	PG-0004	12"	Corte	-	P-0046	10P151	PG-0009	3/4"	Drenaje	-	V-0096	10N240	PG-0002B	2"	Manguera	-	N-0100
10P063	PG-0004	12"	Corte	-	P-0048	10P152	PG-0002A	6"	Corte	-	DR-0099	10N241	PG-0002B	2"	Manguera	-	N-0100
10N064	PG-0004	2"	Manguera	-	P-0051	10P153	PG-0002A	6"	Reguladora	-	DR-0099	10P242	PG-0002B	2"	Mariposa	-	N-0100
10P065	PG-0004	2"	Mariposa	-	P-0051	10P154	PG-0004	4"	Reguladora	-	P-0035	10P243	PG-0002B	2"	Corte	-	N-0100
10P066	PG-0004	2"	Corte	-	P-0051	10N155	PG-0010	2"	Manguera	-	110-BA	10P244	PG-0002B	3/4"	Drenaje	-	N-0100
10P067	PG-0004	2"	Antirretorno	-	P-0051	10N156	PG-0010	2"	Manguera	-	110-BA	10P245	PG-0002B	2"	Antirretorno	-	N-0100
10P068	PG-0004	3/4"	Drenaje	-	P-0051	10N157	PG-0010	2"	Manguera	-	110-BB	10N246	PG-0002B	2"	Manguera	-	N-0114
10P069	PG-0004	4"	Reguladora	-	P-0035	10N158	PG-0010	2"	Manguera	-	110-BB	10N247	PG-0002B	2"	Manguera	-	N-0114
10N070	PG-0002A	2"	Manguera	-	N-0053	10N159	PG-0010	2"	Manguera	-	110-BC	10P248	PG-0002B	2"	Mariposa	-	N-0114
10P071	PG-0002A	2"	Mariposa	-	N-0053	10N160	PG-0010	2"	Manguera	-	110-BC	10P249	PG-0002B	2"	Corte	-	N-0114
10P072	PG-0002A	2"	Corte	-	N-0053	10N161	PG-0010	2"	Manguera	-	110-BD	10P250	PG-0002B	3/4"	Drenaje	-	N-0114
10P073	PG-0002A	3/4"	Drenaje	-	N-0053	10N162	PG-0010	2"	Manguera	-	110-BD	10P251	PG-0002B	2"	Antirretorno	-	N-0114
10P074	PG-0002A	2"	Mariposa	-	N-0053	10N163	PG-0010	2"	Manguera	-	110-BE	10N252	PG-0002B	2"	Manguera	-	N-0115
10N075	PG-0002A	2"	Manguera	-	N-0054	10N164	PG-0010	2"	Manguera	-	110-BE	10N253	PG-0002B	2"	Manguera	-	N-0115
10P076	PG-0002A	2"	Mariposa	-	N-0054	10N165	PG-0010	2"	Manguera	-	110-BF	10P254	PG-0002B	2"	Mariposa	-	N-0115
10P077	PG-0002A	2"	Corte	-	N-0054	10N166	PG-0010	2"	Manguera	-	110-BF	10P255	PG-0002B	2"	Corte	-	N-0115
10P078	PG-0002A	3/4"	Drenaje	-	N-0054	10P167	PG-0010	2"	Corte	-	110-BA	10P256	PG-0002B	3/4"	Drenaje	-	N-0115
10P079	PG-0002A	2"	Antirretorno	-	N-0054	10P168	PG-0010	2"	Corte	-	110-BA	10P257	PG-0002B	2"	Antirretorno	-	N-0115
10N080	PG-0003	2"	Manguera	-	N-0055	10P169	PG-0010	2"	Corte	-	110-BB	10N258	PG-0002B	2"	Manguera	-	N-0116
10P081	PG-0003	2"	Mariposa	-	N-0055	10P170	PG-0010	2"	Corte	-	110-BB	10N259	PG-0002B	2"	Manguera	-	N-0116
10P082	PG-0003	2"	Corte	-	N-0055	10P171	PG-0010	2"	Corte	-	110-BC	10N260	PG-0002B	2"	Manguera	-	N-0117
10P083	PG-0003	3/4"	Drenaje	-	N-0055	10P172	PG-0010	2"	Corte	-	110-BC	10N261	PG-0002B	2"	Manguera	-	N-0117
10P084	PG-0003	2"	Antirretorno	-	N-0055	10P173	PG-0010	2"	Corte	-	110-BD	10N262	PG-0002B	2"	Manguera	-	N-0118
10N085	PG-0003	2"	Manguera	-	N-0056	10P174	PG-0010	2"	Corte	-	110-BD	10N263	PG-0002B	2"	Manguera	-	N-0118
10P086	PG-0003	2"	Mariposa	-	N-0056	10P175	PG-0010	2"	Corte	-	110-BE	10P264	PG-0002A	6"	Antirretorno	-	P-0099
10P087	PG-0003	2"	Corte	-	N-0056	10P176	PG-0010	2"	Corte	-	110-BE	10P265	PG-0010	8"	Tarado	9,3 barg	N-0121
10P088	PG-0003	3/4"	Drenaje	-	N-0056	10P177	PG-0010	2"	Corte	-	110-BF	10P266	PG-0010	8"	Corte	-	N-0121
10P089	PG-0003	2"	Antirretorno	-	N-0056	10P178	PG-0010	2"	Corte	-	110-BF	10P267	PG-0010	8"	Antirretorno	-	N-0121



1.18. Listado de Instrumentos

TRABAJO FINAL DE MÁSTER INGENIERÍA INDUSTRIAL

Nº Documento: PRG-ICAI-INS-001

Revisión: A

Página 1/3



PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL

TÍTULO DOCUMENTO: LISTADO DE INSTRUMENTOS

	REALIZADO	COMPROBADO
NOMBRE	A.E.R.	L.M.C.
FIRMA		
FECHA	17/06/2016	17/06/2016



Autor: Alberto Escobar Rico
 Fecha: 17 de junio de 2016
 Página 2/3

PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL

AUTOR
REVISADO

A.E.R.
L.M.C.

LISTADO DE INSTRUMENTOS



Nombre	Número	Tipo	Medida	P&ID	Linea/Equipo	Campo	Actuador		PLC	Comentarios	Nombre	Número	Tipo	Medida	P&ID	Linea/Equipo	Campo	Actuador		PLC	Comentarios	
							Actuador	Válvula										Actuador	Válvula			
LTS	001	Transmisor	Nivel	PG-0002A	100-TA	X				Límite superior del tanque	TT	028	Transmisor	Temperatura	PG-0006	P-0075	X				Temperatura HP BOG	
LAS	001	Actuador	Nivel	PG-0002A	100-TA		X	10P152		Límite superior del tanque	TC	028	Control	Temperatura	PG-0006	P-0075			X		Temperatura HP BOG	
LCS	001	Control	Nivel	PG-0002A	100-TA				X	Límite superior del tanque	QT	029	Transmisor	Caudal	PG-0006	P-0075	X					Caudal HP BOG
LTB	001	Transmisor	Nivel	PG-0002A	100-TA	X				Límite inferior del tanque	QC	029	Control	Caudal	PG-0006	P-0075			X			Caudal HP BOG
LAB	001	Actuador	Nivel	PG-0002A	100-TA		X	10P152		Límite inferior del tanque	PT	030	Transmisor	Presión	PG-0006	P-0081	X					Presión HP BOG
LCB	001	Control	Nivel	PG-0002A	100-TA				X	Límite inferior del tanque	PC	030	Control	Presión	PG-0006	P-0081			X			Presión HP BOG
QT	002	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0011	X				Caudal de BOG	TT	031	Transmisor	Temperatura	PG-0006	P-0081	X					Temperatura HP BOG
QA	002	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0011		X	10P028/10P020		Caudal de BOG	TC	031	Control	Temperatura	PG-0006	P-0081			X			Temperatura HP BOG
QC	002	Control	Caudal	PG-0002A	P-0011				X	Caudal de BOG	QT	032	Transmisor	Caudal	PG-0006	P-0081	X					Caudal HP BOG
TT	003	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0009	X				Temperatura GNL	QC	032	Control	Caudal	PG-0006	P-0081			X			Caudal HP BOG
TC	003	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0009				X	Temperatura GNL	QT	033	Transmisor	Caudal	PG-0006	P-0078	X					Caudal de gas natural
TT	004	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0010	X				Temperatura GNL	QA	033	Actuador	Caudal	PG-0006	P-0078		X	10P104			Caudal de gas natural
TC	004	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0010				X	Temperatura GNL	QC	033	Control	Caudal	PG-0006	P-0078			X			Caudal de gas natural
PT	005	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0009	X				Presión GNL	PT	034	Transmisor	Presión	PG-0009	V-0087	X					Presión
PC	005	Control	Presión	PG-0002A	P-0009				X	Presión GNL	PC	034	Control	Presión	PG-0009	V-0087			X			Presión
PT	006	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0010	X				Presión GNL	TT	035	Transmisor	Temperatura	PG-0009	V-0087	X					Temperatura
PC	006	Control	Presión	PG-0002A	P-0010				X	Presión GNL	TC	035	Control	Temperatura	PG-0009	V-0087			X			Temperatura
QT	007	Transmisor	Caudal	PG-0003	V-0017	X				Caudal de venteo	QT	036	Transmisor	Caudal	PG-0009	V-0087	X					Caudal
QA	007	Actuador	Caudal	PG-0003	V-0017		X	10P39		Caudal de venteo	QC	036	Control	Caudal	PG-0009	V-0087			X			Caudal
QC	007	Control	Caudal	PG-0003	V-0017				X	Caudal de venteo	PT	037	Transmisor	Presión	PG-0009	V-0094	X					Presión
LTS	008	Transmisor	Nivel	PG-0003	120-SE	X				Nivel superior separador	PC	037	Control	Presión	PG-0009	V-0094			X			Presión
LAS	008	Actuador	Nivel	PG-0003	120-SE		X	10P051		Nivel superior separador	TT	038	Transmisor	Temperatura	PG-0009	V-0094	X					Temperatura
LCS	008	Control	Nivel	PG-0003	120-SE				X	Nivel superior separador	TC	038	Control	Temperatura	PG-0009	V-0094			X			Temperatura
LTB	009	Transmisor	Nivel	PG-0003	120-SE	X				Nivel inferior separador	QT	039	Transmisor	Caudal	PG-0009	V-0094	X					Caudal
LAB	009	Actuador	Nivel	PG-0003	120-SE		X	10P053		Nivel inferior separador	QC	039	Control	Caudal	PG-0009	V-0094			X			Caudal
LCB	009	Control	Nivel	PG-0003	120-SE				X	Nivel inferior separador	PT	040	Transmisor	Presión	PG-0009	V-0093	X					Presión
PT	010	Transmisor	Presión	PG-0003	P-0033	X				Presión GNL	PC	040	Control	Presión	PG-0009	V-0093			X			Presión
PC	010	Control	Presión	PG-0003	P-0033				X	Presión GNL	TT	041	Transmisor	Temperatura	PG-0009	V-0093	X					Temperatura
TT	011	Transmisor	Temperatura	PG-0003	P-0033	X				Temperatura GNL	TC	041	Control	Temperatura	PG-0009	V-0093			X			Temperatura
TC	011	Control	Temperatura	PG-0003	P-0033				X	Temperatura GNL	QT	042	Transmisor	Caudal	PG-0009	V-0093	X					Caudal
QT	012	Transmisor	Caudal	PG-0003	P-0033	X				Caudal GNL	QC	042	Control	Caudal	PG-0009	V-0093			X			Caudal
QC	012	Control	Caudal	PG-0003	P-0033				X	Caudal de GNL	BT	043	Transmisor	Llama	PG-0009	V-0093	X					Presencia de llama
QT	013	Transmisor	Caudal	PG-0004	P-0034	X				Caudal de BOG	BC	043	Control	Llama	PG-0009	V-0093			X			Presencia de llama
QA	013	Actuador	Caudal	PG-0004	P-0034		X	10P056/057		Caudal de BOG	BT	044	Transmisor	Caudal	PG-0009	V-0093	X					Presencia de llama
QC	013	Control	Caudal	PG-0004	P-0034				X	Caudal de BOG	BC	044	Control	Caudal	PG-0009	V-0093			X			Presencia de llama
QT	014	Transmisor	Caudal	PG-0004	P-0038	X				Caudal de BOG	BT	045	Transmisor	Caudal	PG-0009	V-0093	X					Presencia de llama
QA	014	Actuador	Caudal	PG-0004	P-0038		X	10P069		Caudal de BOG	BC	045	Control	Caudal	PG-0009	V-0093			X			Presencia de llama
QC	014	Control	Caudal	PG-0004	P-0038				X	Caudal de BOG	TT	046	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0003	X					Temperatura GNL
QT	015	Transmisor	Caudal	PG-0004	P-0038	X				Caudal de BOG	TC	046	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0003			X			Temperatura GNL
QA	015	Actuador	Caudal	PG-0004	P-0038		X	10P058		Caudal de BOG	TA	046	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0003		X	10P022			Temperatura GNL
QC	015	Control	Caudal	PG-0004	P-0038				X	Caudal de BOG	TT	047	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0004	X					Temperatura GNL
PT	016	Transmisor	Presión	PG-0004	P-0050	X				Presión GNL	TC	047	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0004			X			Temperatura GNL
PC	016	Control	Presión	PG-0004	P-0050				X	Presión GNL	TA	047	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0004		X	10P023			Temperatura GNL
TT	017	Transmisor	Temperatura	PG-0004	P-0050	X				Temperatura GNL	TT	048	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0005	X					Temperatura GNL
TC	017	Control	Temperatura	PG-0004	P-0050				X	Temperatura GNL	TC	048	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0005			X			Temperatura GNL
QT	018	Transmisor	Caudal	PG-0004	P-0050	X				Caudal GNL	TA	048	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0005		X	10P024			Temperatura GNL
QC	018	Control	Caudal	PG-0004	P-0050				X	Caudal de GNL	TT	049	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0006	X					Temperatura GNL
QT	019	Transmisor	Caudal	PG-0005	P-0058	X				Caudal de GNL	TC	049	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0006			X			Temperatura GNL
QA	019	Actuador	Caudal	PG-0005	P-0058		X	10P099		Caudal de GNL	TA	049	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0006		X	10P025			Temperatura GNL
QC	019	Control	Caudal	PG-0005	P-0058				X	Caudal de GNL	TT	050	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0007	X					Temperatura GNL
QT	020	Transmisor	Caudal	PG-0005	P-0063	X				Caudal de gas natural	TC	050	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0007			X			Temperatura GNL
QA	020	Actuador	Caudal	PG-0005	P-0063		X	10P104		Caudal de gas natural	TA	050	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0007		X	10P026			Temperatura GNL
QC	020	Control	Caudal	PG-0005	P-0063				X	Caudal de gas natural	TT	051	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0008	X					Temperatura GNL
QT	021	Transmisor	Caudal	PG-0005	V-0090	X				Caudal de gas natural	TC	051	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0008			X			Temperatura GNL
QA	021	Actuador	Caudal	PG-0005	V-0090		X	10P104		Caudal de gas natural	TA	051	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0008		X	10P027			Temperatura GNL
QC	021	Control	Caudal	PG-0005	V-0090				X	Caudal de gas natural	PT	052	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0003	X					Presión GNL
QT	022	Transmisor	Caudal	PG-0005	P-0058/0059	X				Caudal de gas natural	PC	052	Control	Presión	PG-0002A	P-0003			X			Presión GNL
QA	022	Actuador	Caudal	PG-0005	P-0058/0059		X	10P102		Caudal de gas natural	PA	052	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0003		X	10P022			Presión GNL
QC	022	Control	Caudal	PG-0005	P-0058/0059				X	Caudal de gas natural	PT	053	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0004	X					Presión GNL
QT	023	Transmisor	Caudal	PG-0006	P-0069	X				Caudal de BOG	PC	053	Control	Presión	PG-0002A	P-0004			X			Presión GNL
QA	023	Actuador	Caudal	PG-0006	P-0069		X	10P114		Caudal de BOG	PA	053	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0004		X	10P023			Presión GNL
QC	023	Control	Caudal	PG-0006	P-0069				X	Caudal de BOG	PT	054	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0005	X					Presión GNL
PT	024	Transmisor	Presión	PG-0006	P-0077	X				Presión LP BOG	PC	054	Control	Presión	PG-0002A	P-0005			X			Presión GNL
PC	024	Control	Presión	PG-0006	P-0077				X	Presión LP BOG	PA	054	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0005		X	10P024			Presión GNL
TT	025	Transmisor	Temperatura	PG-0006	P-0077	X				Temperatura LP BOG	PT	055	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0006	X					Presión GNL
TC	025	Control	Temperatura	PG-0006	P-0077				X	Temperatura LP BOG	PC	055	Control	Presión	PG-0002A	P-0006			X			Presión GNL
QT	026	Transmisor	Caudal	PG-0006	P-0077	X				Caudal LP BOG	PA	055	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0006		X	10P025			Presión GNL
QC	026	Control	Caudal	PG-0006	P-0077				X	Caudal LP BOG	PT	056	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0007	X					Presión GNL
PT	027	Transmisor	Presión	PG-0006	P-0075	X				Presión HP BOG	PC	056	Control	Presión	PG-0002A	P-0007			X			Presión GNL
PC	027	Control	Presión	PG-0006	P-0075				X	Presión HP BOG	PA	056	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0007		X	10P026			Presión GNL

Autor: Alberto Escobar Rico
 Fecha: 17 de junio de 2016
 Página 3/3

PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL

AUTOR
 REVISADO

A.E.R.
 L.M.C.




LISTADO DE INSTRUMENTOS

Nombre	Número	Tipo	Medida	P&ID	Linea/Equipo	Campo	Actuador		PLC	Comentarios	Nombre	Número	Tipo	Medida	P&ID	Linea/Equipo	Campo	Actuador		PLC	Comentarios	
							Actuador	Válvula										Actuador	Válvula			
PT	057	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0008	X				Presión GNL	PT	073	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0006	X				Presión GNL	
PC	057	Control	Presión	PG-0002A	P-0008				X	Presión GNL	PC	073	Control	Presión	PG-0002A	P-0006				X	Presión GNL	
PA	057	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0008		X	10P027		Presión GNL	PA	073	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0006		X	10P025			Presión GNL
QT	058	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0003	X				Caudal de GNL	PT	074	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0007	X					Presión GNL
QC	058	Control	Caudal	PG-0002A	P-0003				X	Caudal de GNL	PC	074	Control	Presión	PG-0002A	P-0007				X	Presión GNL	
QA	058	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0003		X	10P022		Caudal de GNL	PA	074	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0007		X	10P026			Presión GNL
QT	059	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0004	X				Caudal de GNL	PT	075	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0008	X					Presión GNL
QC	059	Control	Caudal	PG-0002A	P-0004				X	Caudal de GNL	PC	075	Control	Presión	PG-0002A	P-0008				X	Presión GNL	
QA	059	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0004		X	10P023		Caudal de GNL	PA	075	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0008		X	10P027			Presión GNL
QT	060	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0005	X				Caudal de GNL	QT	076	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0003	X					Caudal de GNL
QC	060	Control	Caudal	PG-0002A	P-0005				X	Caudal de GNL	QC	076	Control	Caudal	PG-0002A	P-0003				X	Caudal de GNL	
QA	060	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0005		X	10P024		Caudal de GNL	QA	076	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0003		X	10P022			Caudal de GNL
QT	061	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0006	X				Caudal de GNL	QT	077	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0004	X					Caudal de GNL
QC	061	Control	Caudal	PG-0002A	P-0006				X	Caudal de GNL	QC	077	Control	Caudal	PG-0002A	P-0004				X	Caudal de GNL	
QA	061	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0006		X	10P025		Caudal de GNL	QA	077	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0004		X	10P023			Caudal de GNL
QT	062	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0007	X				Caudal de GNL	QT	078	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0005	X					Caudal de GNL
QC	062	Control	Caudal	PG-0002A	P-0007				X	Caudal de GNL	QC	078	Control	Caudal	PG-0002A	P-0005				X	Caudal de GNL	
QA	062	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0007		X	10P026		Caudal de GNL	QA	078	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0005		X	10P024			Caudal de GNL
QT	063	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0008	X				Caudal de GNL	QT	079	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0006	X					Caudal de GNL
QC	063	Control	Caudal	PG-0002A	P-0008				X	Caudal de GNL	QC	079	Control	Caudal	PG-0002A	P-0006				X	Caudal de GNL	
QA	063	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0008		X	10P027		Caudal de GNL	QA	079	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0006		X	10P025			Caudal de GNL
TT	064	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0003	X				Temperatura GNL	QT	080	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0007	X					Caudal de GNL
TC	064	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0003				X	Temperatura GNL	QC	080	Control	Caudal	PG-0002A	P-0007				X	Caudal de GNL	
TA	064	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0003		X	10P022		Temperatura GNL	QA	080	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0007		X	10P026			Caudal de GNL
TT	065	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0004	X				Temperatura GNL	QT	081	Transmisor	Caudal	PG-0002A	P-0008	X					Caudal de GNL
TC	065	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0004				X	Temperatura GNL	QC	081	Control	Caudal	PG-0002A	P-0008				X	Caudal de GNL	
TA	065	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0004		X	10P023		Temperatura GNL	QA	081	Actuador	Caudal	PG-0002A	P-0008		X	10P027			Caudal de GNL
TT	066	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0005	X				Temperatura GNL	TT	082	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0011	X					Temperatura BOG
TC	066	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0005				X	Temperatura GNL	TC	082	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0011				X	Temperatura BOG	
TA	066	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0005		X	10P024		Temperatura GNL	TA	082	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0011		X	10P020			Temperatura BOG
TT	067	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0006	X				Temperatura GNL	PT	083	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0011	X					Presión BOG
TC	067	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0006				X	Temperatura GNL	PC	083	Control	Presión	PG-0002A	P-0011				X	Presión BOG	
TA	067	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0006		X	10P025		Temperatura GNL	PA	083	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0011		X	10P020			Presión BOG
TT	068	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0007	X				Temperatura GNL	TT	084	Transmisor	Temperatura	PG-0002B	100-TA	X					Temperatura Nitrógeno
TC	068	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0007				X	Temperatura GNL	TC	084	Control	Temperatura	PG-0002B	100-TA				X	Temperatura Nitrógeno	
TA	068	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0007		X	10P026		Temperatura GNL	PT	085	Transmisor	Presión	PG-0002B	100-TA	X					Temperatura Nitrógeno
TT	069	Transmisor	Temperatura	PG-0002A	P-0008	X				Temperatura GNL	PC	085	Control	Presión	PG-0002B	100-TA				X	Presión Nitrógeno	
TC	069	Control	Temperatura	PG-0002A	P-0008				X	Temperatura GNL	QT	086	Transmisor	Caudal	PG-0002B	100-TA	X					Caudal Nitrógeno
TA	069	Actuador	Temperatura	PG-0002A	P-0008		X	10P027		Temperatura GNL	QC	086	Control	Caudal	PG-0002B	100-TA				X	Caudal Nitrógeno	
PT	070	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0003	X				Presión GNL	TT	087	Transmisor	Temperatura	PG-0002B	100-TA	X					Temperatura Nitrógeno
PC	070	Control	Presión	PG-0002A	P-0003				X	Presión GNL	TC	087	Control	Temperatura	PG-0002B	100-TA				X	Temperatura Nitrógeno	
PA	070	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0003		X	10P022		Presión GNL	PT	088	Transmisor	Presión	PG-0002B	100-TA	X					Presión Nitrógeno
PT	071	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0004	X				Presión GNL	PC	088	Control	Presión	PG-0002B	100-TA				X	Presión Nitrógeno	
PC	071	Control	Presión	PG-0002A	P-0004				X	Presión GNL	QT	089	Transmisor	Caudal	PG-0002B	100-TA	X					Caudal Nitrógeno
PA	071	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0004		X	10P023		Presión GNL	QC	089	Control	Caudal	PG-0002B	100-TA				X	Caudal Nitrógeno	
PT	072	Transmisor	Presión	PG-0002A	P-0005	X				Presión GNL	QT	090	Transmisor	Caudal	PG-0005	P-0060	X					Caudal GNL
PC	072	Control	Presión	PG-0002A	P-0005				X	Presión GNL	QC	090	Control	Caudal	PG-0005	P-0060				X	Caudal GNL	
PA	072	Actuador	Presión	PG-0002A	P-0005		X	10P024		Presión GNL	QA	090	Actuador	Caudal	PG-0005	P-0060		X	10P102			Caudal GNL

1.19. Pinch Análisis

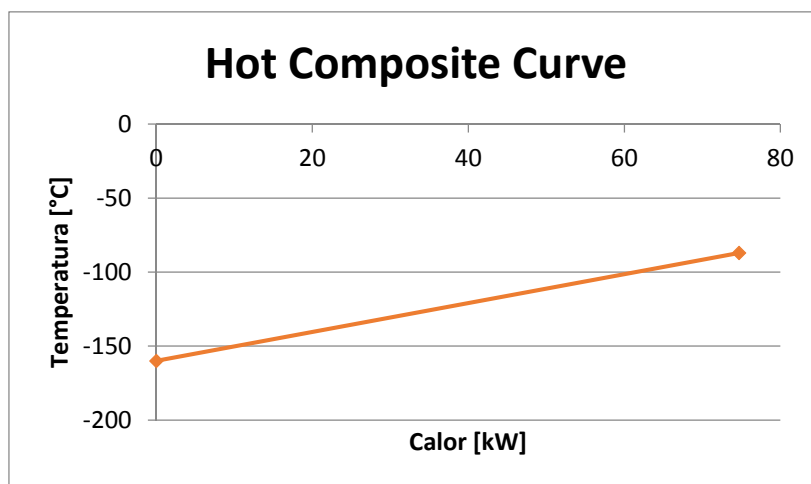
1.19.1 Selección de corrientes

Selección de las corrientes Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016			PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN					
Corriente	Tipo	Equipo	T. Entrada [°C]	T. Salida [°C]	C _p [kJ/kg.K]	Gasto másico [kg/s]	CP [kW/K]	
1	Fría	130-HA	178,62	180	2,16	0,16	0,35	
2	Fría	130-HB	178,62	180	2,16	0,16	0,35	
3	Fría	130-HC	-158	-155	0,03	162,8	4,88	
4	Caliente	130-CR	-87,06	-160	6,4	0,16	1,02	
5	Fría	120-IC	-160	-155	2,46	1022,02	2514,17	

1.19.2. Curva compuesta caliente

CURVA COMPUESTA CORRIENTES CALIENTES				
T. Entrada [°C]	T. Salida [°C]	Corrientes Implicadas	CP [kW/K]	Calor [kW]
-87,06	-160	4	1,02	74,69

Curva Compuesta Caliente	
Temperatura [°C]	Calor [kW]
-160	0
-87,06	74,69

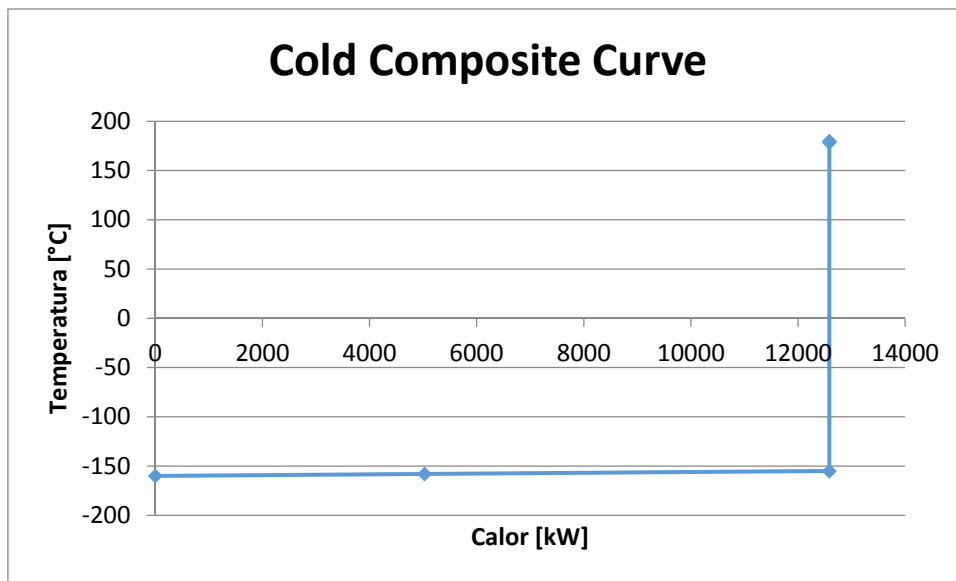




1.19.3. Curva compuesta fría

CURVA COMPUESTA CORRIENTES FRÍAS				
T. Entrada [°C]	T. Salida [°C]	Corrientes Implicadas	CP [kW/K]	Calor [kW]
-160	-158	5	2514,17	5028,34
-158	-155	3 y 5	2519,05	7557,16
178,62	180	1 y 2	0,69	0,95

Curva Compuesta Fría	
Temperatura [°C]	Calor [kW]
-160	0
-158	5028,34
-155	12585,50
178,62	12585,50
180	12586,45

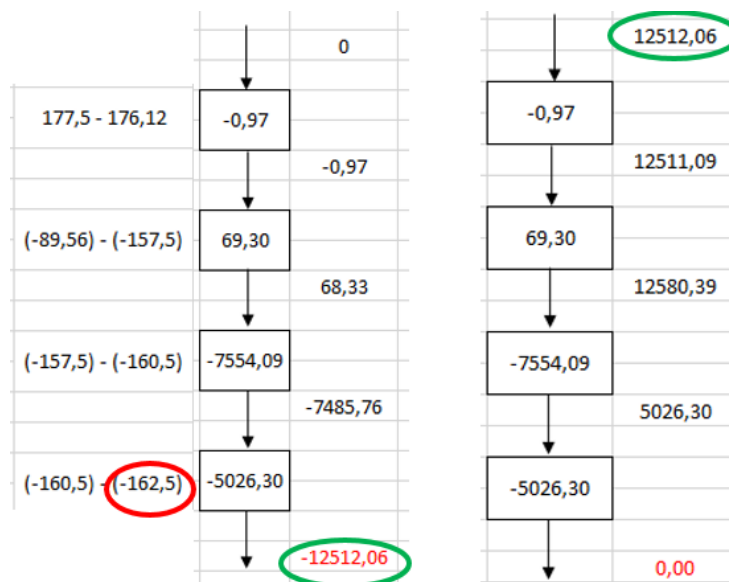




1.19.4. Método de la cascada

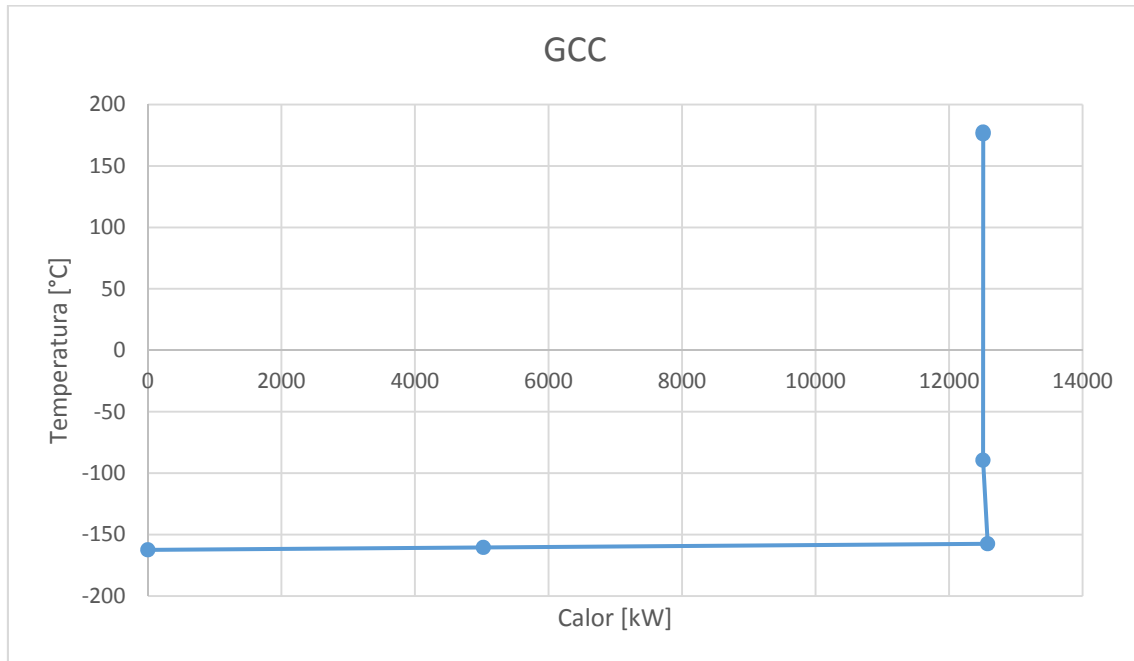
Selección de las corrientes Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016		PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN		UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI ICADE COMILLAS MADRID
		ΔT_{min} [K]	Temperatura Real [°C]	Shifted Temp [°C]
1	Fría	5	178,62	176,12
1	Fría	5	180	177,5
2	Fría	5	178,62	176,12
2	Fría	5	180	177,5
3	Fría	5	-158	-160,5
3	Fría	5	-155	-157,5
4	Caliente	5	-87,06	-89,56
4	Caliente	5	-160	-162,5
5	Fría	5	-160	-162,5
5	Fría	5	-155	-157,5

Intervalo Temp [°C]	$\sum [CP]_{caliente} - \sum [CP]_{fría}$ [kW/K]	ΔH [kW]
[177,5 ; 176,12]	-0,70	-0,97
[176,12 ; -89,56]	0	0
[-89,56 ; -157,5]	1,02	69,30
[-157,5 ; -160,5]	-2518,03	-7554,09
[-160,5 ; -162,5]	-2513,15	-5026,30





Shift Pinch Temperature [°C]	-162,5
Cold Pinch Temp. [°C]	-165
Hot Pinch Temp. [°C]	-160
Minimum Hot Demand [kW]	12512,06
Minimun Cod Demand [kW]	0,00



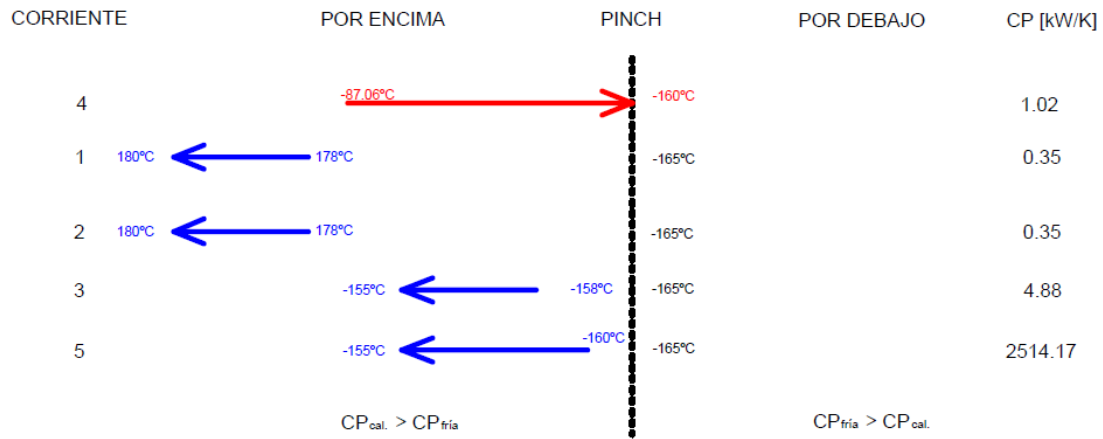
1.19.5. Ahorro energético

POSIBLE AHORRO DE CALOR APORTADO POR UNA FUENTE EXTERNA	
Equipo	Calor [kW]
120-IC	30240
130-HA	0,465
130-HB	4,328
130-HC	1731,33
TOTAL	31976,123
Demanda Mínima	12512,06
Ahorro Potencial [MW]	19464,063

1.20. Red MER

1.20.1. Diseño de la red MER

Como se puede apreciar, todas las corrientes se encuentran por encima del Pinch Point, luego el estudio de la subred por debajo del Pinch Point será omitido.



La principal ecuación que se empleará para este apartado será la que calcula el calor intercambiado:

$$\dot{Q} = CP * (T_{salida} - T_{entrada})$$

Intercambiador A entre las corrientes 4 y 3:

Aunque lo aconsejable es empezar desde el Pinch Point, en este caso no es posible hacerlo porque el gradiente mínimo de temperaturas establecido no se cumple en esa zona de la red. Por ello se empezará por el lado contrario.

Se calculará el calor necesario a intercambiar para que la corriente caliente 4 quede *ticked-off*

$$\dot{Q}_A = 1.02 * (-87.06 + 160) = 74.4 \text{ kW}$$

Se calculará el calor necesario a intercambiar para que la corriente fría 3 quede *ticked-off*

$$\dot{Q}_A = 4.88 * (-155 + 158) = 14.64 \text{ kW}$$

Luego la corriente fría será la que marque el flujo de calor intercambiado entre ambas corrientes. Así, la corriente 3 estará *ticked-off* y la temperatura de salida de la corriente caliente será la siguiente:

$$T_{salida} = -87.06 - \frac{14.64}{1.02} = -101.41^\circ\text{C}$$



Intercambiador B entre las corrientes 4 y 5

Se calculará el calor necesario a intercambiar para que la corriente caliente 4 quede *ticked-off*

$$\dot{Q}_A = 1.02 * (-101.41 + 160) = 59.76 \text{ kW}$$

Se calculará el calor necesario a intercambiar para que la corriente fría 5 quede *ticked-off*

$$\dot{Q}_A = 2514.17 * (-155 + 160) = 12570.85 \text{ kW}$$

Luego la corriente caliente será la que marque el flujo de calor intercambiado entre ambas corrientes. Así, la corriente 4 estará *ticked-off* y la temperatura de entrada de la corriente 5 será la siguiente:

$$T_{\text{entrada}} = -155 - \frac{59.76}{2514.17} = -155.02^\circ\text{C}$$

Dado que la única corriente capaz de calentar las corrientes frías esta ya satisfecha, no se necesitarán más intercambiadores de calor. Ahora será necesario instalar heaters en las corrientes frías que necesiten ser calentadas para alcanzar las temperaturas requeridas por el proceso.

Corriente 1:

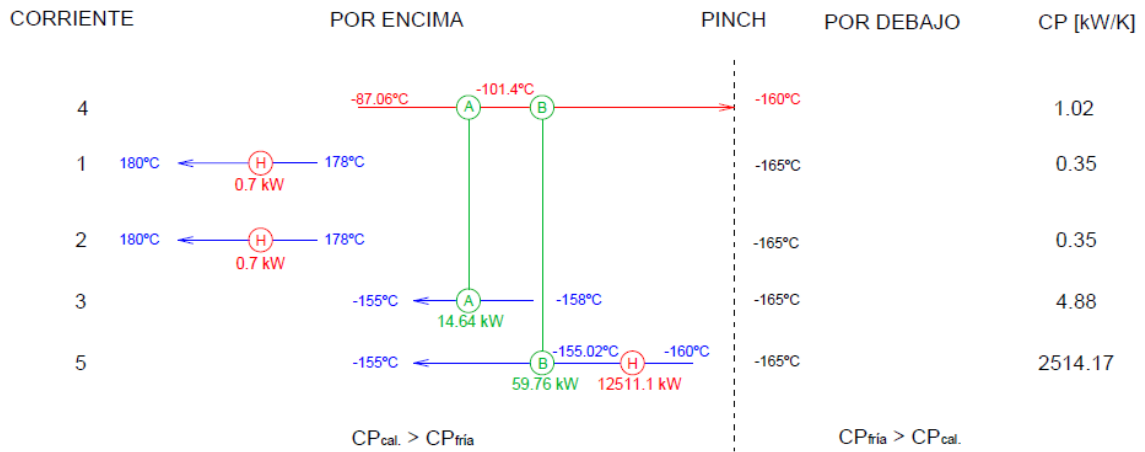
$$\dot{Q} = 0.35 * (180 - 178) = 0.7 \text{ kW}$$

Corriente 2:

$$\dot{Q} = 0.35 * (180 - 178) = 0.7 \text{ kW}$$


Corriente 5:

$$\dot{Q} = 2514.17 * (-155.02 + 160) = 12511.1 \text{ kW}$$



La demanda de aporte de calor procedente de una fuente externa será la suma del calor aportado por los heaters. Resulta ser de **12512.5 kW**. Este resultado es lo esperado por el análisis del Pinch Point cuando se obtuvo la mínima demanda de calor externo aplicando el método de la cascada.

1.20.2. Análisis económico de la nueva red

Costes Intercambiadores Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
COSTE INSTALACIÓN INTERCAMBIADOR A		
Concepto	Unidades	Valor
Calor Transferido	kW	14,64
T. entrada caliente	°C	-87,06
T. entrada fría	°C	-158
T. salida caliente	°C	-101,4
T. salida fría	°C	-155
ΔT_1	°C	56,6
ΔT_2	°C	67,94
ΔT_{lm}	°C	62,10
U	kW/m ² h	0,75
Área	m ²	26,03
Coste Instalación	€	122.756,46 €
COSTE INSTALACIÓN INTERCAMBIADOR B		
Concepto	Unidades	Valor
Calor Transferido	kW	59,76
T. entrada caliente	°C	-101,4
T. entrada fría	°C	-155,02
T. salida caliente	°C	-160
T. salida fría	°C	-155
ΔT_1	°C	4,98
ΔT_2	°C	53,6
ΔT_{lm}	°C	20,46
U	kW/m ² K	0,75
Área	m ²	106,24
Coste Instalación	€	222.555,18 €

COSTE APORTACIÓN CALOR		
Concepto	Unidades	Valor
Heater 1	kW	0,7
Heater 2	kW	0,7
Heater 3	kW	12511,1
Calor Aportado Total	kW	12512,5
Horas Operación	horas	6000
Coste Unitario	€/kW.h	0,01
Coste Total	€	750.750,00 €



AHORRO ANUAL	
Concepto	Valor
Coste Instalación Intercambiadores	345.311,63 €
Coste Aportación Total (MER)	750.750,00 €
TAC	923.405,82 €
Coste Aportación Total (no MER)	1.918.567,38 €
Ahorro anual	995.161,56 €

1.21. Ciclo Combinado

<i>Condiciones de Partida</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
CONDICIONES DE PARTIDA		
Parámetro	Unidades	Valor
Rendimiento Turbinas	-	0,85
Rendimiento Compresor	-	0,8
$Q_{H,min}$	kW	12512,06
T_{v7}	°C	240
T_{v8}	°C	210
P_{v5}	bar	80
Presión desgasificador	bar	30
PP	K	20
AE	K	12
AS	K	30
P_{a1}	bar	1
T_{a1}	°C	15
T_{a3}	°C	1120
T_{v5}	°C	520
Condiciones del Aire		
C_p	kJ/kg.K	1,1
Gamma	-	1,33





Resolución Ciclo Combinado Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016			PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN					
CICLO DE VAPOR								
Parámetro	Unidades	Valor	Parámetro	Unidades	Valor	Parámetro	Unidades	Valor
P_{v8}	bar	15,55	v_{v10}	m ³ /kg	0,0012166	P_{v1}	bar	80
h_{v8}	kJ/kg	852,26	P_{v1}	bar	80	h_{v1}	kJ/kg	1014,373
P_{v7}	bar	15,55	h_{v1}	kJ/kg	1014,373	h_{v3}	kJ/kg	1317,1
h_{v7}	kJ/kg	1231,3	h_{v3}	kJ/kg	1317,1	T_{v3}	°C	295
Gasto másico	kg/s	50	T_{v3}	°C	295	h_{v2}	kJ/kg	1252,76
h_{v5}	kJ/kg	3430	h_{v2}	kJ/kg	1252,76	T_{v2}	°C	283
Presión desgasificador	bar	30	T_{v2}	°C	283	CICLO DE GAS		
v_{v8}	m ³ /kg	0,0011539				Parámetro	Unidades	Valor
h_{v9}	kJ/kg	853,93				T_{a6}	°C	315
h_{v10}	kJ/kg	1008,29				T_{a4}	°C	550
h_{v6}	kJ/kg	2741,5				Relación de Compresión	-	14,1
Fracción Extracción	-	0,082				T_{a2s}	°C	282,31
Fracción Condensador	-	0,918				T_{a2}	°C	349
Gasto Másico Vapor Tot.	kg/s	53,92				Gasto Másico Aire	kg/s	454,19
Gasto Másico Extracción	kg/s	4,41						

Resolución Ciclo Combinado Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016			PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN					
POTENCIAS Y RENDIMIENTOS								
Parámetro	Unidades	Valor	Parámetro	Unidades	Valor	Parámetro	Unidades	Valor
Potencia Turbina Gas	MW	284,77						
Potencia Compresor	MW	166,94						
Potencia Neta Ciclo Gas	MW	117,84						
Calor Combustión	MW	385,12						
Rendimiento Ciclo Gas	-	0,31						
Potencia Turbina Vapor	MW	111,90						
Potencia Consumida Bombas	MW	0,41						
Potencia Neta Vapor	MW	111,49						
Calor Caldera Recuperación	MW	260,524						
Rendimiento Vapor	-	0,428						
Rendimiento Ciclo Combinado	-	0,60						

1.22. Selección de la Tecnología de aporte de calor externo a la planta

Impuestos por CO ₂ [€/kg]	0,08
Horas Operación	8760

<i>Ficha Técnica: Caldera Fuel-Oil</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 17 de junio de 2016</i>	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
CALDERA FUEL-OIL LIGERO		
Parámetro	Unidades	Valor
Rendimiento	-	75%
Inv. Inicial	-	0,00 €
Emisiones CO ₂	kg/MWh	281
Precio Fuel-Oil	€/MWh _{fuel}	31,1
Demanda	MW	12,51
Coste Combustible	€/MWh _{fuel}	41,47
Emisiones CO ₂	kg/MWh	374,67
Coste Emisión	€/MWh _{fuel}	29,97
CV Totales	€/MWh _{fuel}	71,44
Emisiones Totales	toneladas	41065,58


<i>Ficha Técnica: Caldera Gas Natural</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 17 de junio de 2016</i>	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
CALDERA GAS NATURAL		
Parámetro	Unidades	Valor
Rendimiento	-	83%
Inv. Inicial	-	130.000,00 €
Emisiones CO ₂	kg/MWh	202
Precio Gas Natural	€/MWh _{fuel}	27,78
Demanda	MW	12,51
Coste Combustible	€/MWh _{fuel}	33,47
Emisiones CO ₂	kg/MWh	243,37
Coste Emisión	€/MWh _{fuel}	19,47
CV Totales	€/MWh _{fuel}	52,94
Emisiones Totales	toneladas	26675,11

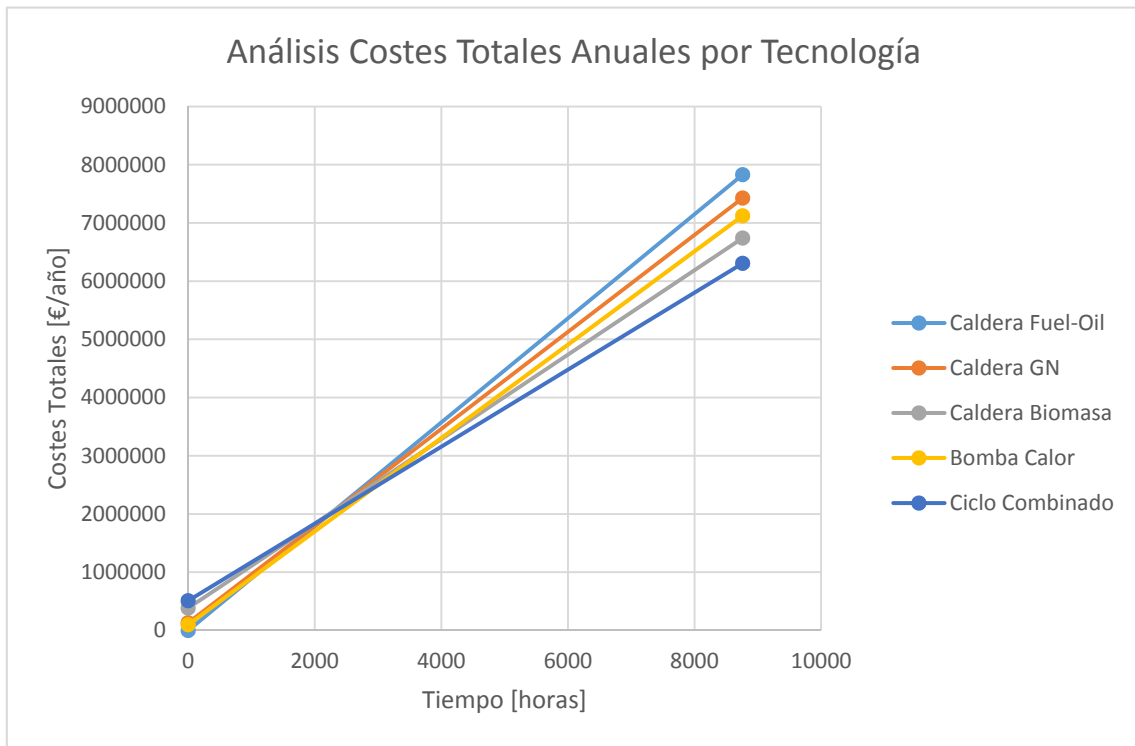


<i>Ficha Técnica: Caldera Biomasa</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 17 de junio de 2016</i>	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
CALDERA BIOMASA		
Parámetro	Unidades	Valor
Rendimiento	-	92%
Inv. Inicial	-	383.200,00 €
Emisiones CO ₂	kg/MWh	0
Precio Biomasa	€/MWh _{fuel}	16,34
Demanda	MW	12,51
Coste Combustible	€/MWh _{fuel}	17,76
Emisiones CO ₂	kg/MWh	0,00
Coste Emisión	€/MWh _{fuel}	0,00
CV Totales	€/MWh _{fuel}	17,76
Emisiones Totales	toneladas	0,00

<i>Ficha Técnica: Bomba de Calor</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 17 de junio de 2016</i>	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
BOMBA DE CALOR		
Parámetro	Unidades	Valor
COP	-	2,9
Inv. Inicial	-	98.600,00 €
Emisiones CO ₂	kg/MWh	900
Precio Electricidad	€/MWh	66,67
Demanda	MW	12,51
Rendimiento Distribución	-	95%
Rendimiento Eléctrico	-	85%
Coste Combustible	€/MWh _{fuel}	22,99
Emisiones CO ₂	kg/MWh	384,33
Coste Emisión	€/MWh _{fuel}	30,75
CV Totales	€/MWh _{fuel}	53,74
Emisiones Totales	toneladas	42124,51


<i>Ficha Técnica: Ciclo Combinado</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 17 de junio de 2016</i>	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
CICLO COMBINADO		
Parámetro	Unidades	Valor
Power to heat ratio	-	0,62
Inversión Inicial	-	510.230,00 €
Emisiones CO ₂	kg/MWh	202
Precio Gas Natural	€/MWh _{fuel}	27,78
Rendimiento Total	-	59,55%
Rendimiento Distribución	-	95%
Demanda	MW	12,51
Rendimiento Eléctrico	-	23%
Coste Combustible	€/MWh _{fuel}	34,24
Emisiones CO ₂	kg/MWh	-436,85
Coste Emisión	€/MWh _{fuel}	-34,95
CV Totales	€/MWh _{fuel}	-0,71
Emisiones Totales	toneladas	-47880,71


<i>Ficha Técnica: Costes Anuales</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 17 de junio de 2016</i>	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
COSTES ANUALES		
Tecnología	Costes Totales	Ahorro [%]
Caldera Fuel-Oil	7.830.227,32 €	-
Caldera Gas Natural	7.429.064,27 €	5%
Caldera Biomasa	6.741.453,13 €	14%
Bomba de Calor	7.123.446,25 €	9%
Ciclo Combinado	6.306.595,45 €	19%





1.23. Análisis de sensibilidad: variación de impuestos CO₂

Impuestos por CO ₂ [€/kg]	0,10
Horas Operación	8760


<i>Ficha Técnica: Caldera Fuel-Oil</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 17 de junio de 2016</i>	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
CALDERA FUEL-OIL LIGERO		
Parámetro	Unidades	Valor
Rendimiento	-	75%
Inv. Inicial	-	0,00 €
Emisiones CO ₂	kg/MWh	281
Precio Fuel-Oil	€/MWh _{fuel}	31,1
Demanda	MW	12,51
Coste Combustible	€/MWh _{fuel}	41,47
Emisiones CO ₂	kg/MWh	374,67
Coste Emisión	€/kgCO ₂	37,47
CV Totales	€/kgCO ₂	78,93
Emisiones Totales	toneladas	41065,58


<i>Ficha Técnica: Caldera Gas Natural</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 17 de junio de 2016</i>	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
CALDERA GAS NATURAL		
Parámetro	Unidades	Valor
Rendimiento	-	83%
Inversión Inicial	-	130.000,00 €
Emisiones CO ₂	kg/MWh	202
Precio Gas Natural	€/MWh _{fuel}	27,78
Demanda	MW	12,51
Coste Combustible	€/MWh _{fuel}	33,47
Emisiones CO ₂	kg/MWh	243,37
Coste Emisión	€/kgCO ₂	24,34
CV Totales	€/MWh _{fuel}	57,81
Emisiones Totales	toneladas	26675,11

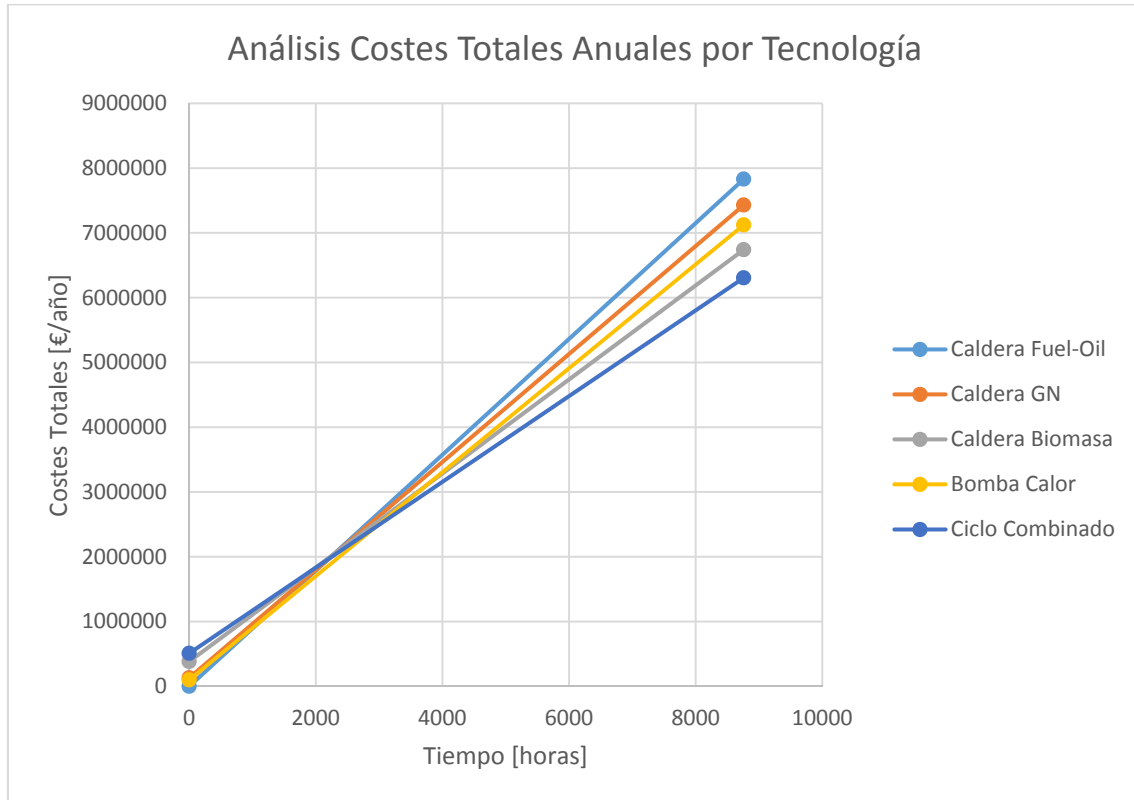
<i>Ficha Técnica: Caldera Biomasa</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
CALDERA BIOMASA		
Parámetro	Unidades	Valor
Rendimiento	-	92%
Inversión Inicial	-	383.200,00 €
Emissiones CO ₂	kg/MWh	0
Precio Biomasa	€/MWh _{fuel}	16,34
Demanda	MW	12,51
Coste Combustible	€/MWh _{fuel}	17,76
Emissiones CO ₂	€/kgCO ₂	0,00
Coste Emisión	€/MWh _{fuel}	0,00
CV Totales	€/MWh _{fuel}	17,76
Emissiones Totales	toneladas	0,00

<i>Ficha Técnica: Bomba de Calor</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
BOMBA DE CALOR		
Parámetro	Unidades	Valor
COP	-	2,9
Inversión Inicial	-	98.600,00 €
Emissiones CO ₂	kg/MWh	900
Precio Electricidad	€/MWh	66,67
Demanda	MW	12,51
Rendimiento Distribución	-	95%
Rendimiento Eléctrico	-	85%
Coste Combustible	€/MWh _{fuel}	22,99
Emissiones CO ₂	€/kgCO ₂	384,33
Coste Emisión	€/MWh _{fuel}	38,43
CV Totales	€/MWh _{fuel}	61,42
Emissiones Totales	toneladas	42124,51



<i>Ficha Técnica: Ciclo Combinado</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 17 de junio de 2016</i>	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
CICLO COMBINADO		
Parámetro	Unidades	Valor
Power to heat ratio	-	0,62
Inversión Inicial	-	510.230,00 €
Emisiones CO ₂	kg/MWh	202
Precio Gas Natural	€/MWh _{fuel}	27,78
Rendimiento Total	-	59,55%
Rendimiento Distribución	-	95%
Demanda	MW	12,51
Rendimiento Eléctrico	-	23%
Coste Combustible	€/MWh _{fuel}	34,24
Emisiones CO ₂	€/kgCO ₂	-436,85
Coste Emisión	€/MWh _{fuel}	-43,68
CV Totales	€/MWh _{fuel}	-9,44
Emisiones Totales	toneladas	-47880,71

<i>Ficha Técnica: Costes Anuales</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 17 de junio de 2016</i>	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	
COSTES ANUALES		
Tecnología	Costes Totales	Ahorro[%]
Caldera Fuel-Oil	8.651.538,96 €	-
Caldera Gas Natural	7.962.566,45 €	8%
Caldera Biomasa	6.741.453,13 €	22%
Bomba de Calor	7.965.936,53 €	8%
Ciclo Combinado	5.348.981,32 €	38%





2. ANEXOS A LA MEMORIA

2.1. Propiedades del metano

Tabla 1-. Capacidad calorífica Molar a Presión Constante para Gases Ideales a Diferentes temperaturas.

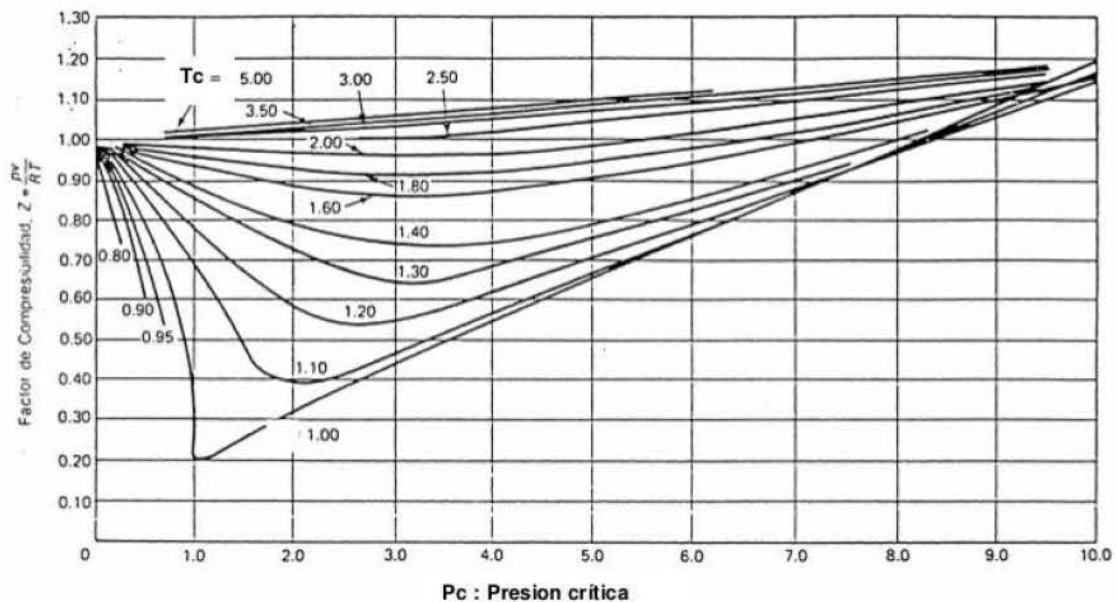
Gas	Fórmula	0°F	50°F	60°F	100°F	150°F	200°F	250°F	300°F
Metano	CH ₄	8.23	8.42	8.46	8.65	8.95	9.28	9.64	10.01
Etilo	C ₂ H ₂	9.68	10.22	10.33	10.71	11.15	11.55	11.9	12.22
Eteno	C ₂ H ₄	9.33	10.02	10.16	10.72	11.41	12.09	12.76	13.41
Etano	C ₂ H ₆	11.44	12.17	12.32	12.95	13.78	14.63	15.49	16.34
Propeno	C ₃ H ₆	13.63	14.69	14.90	15.75	16.80	17.85	18.88	19.89
Propano	C ₃ H ₈	15.65	16.88	17.13	18.17	19.52	20.89	22.25	23.56
i-Butano	C ₄ H ₁₀	20.40	22.15	22.51	23.95	25.77	27.59	29.39	31.11
n-Butano	C ₄ H ₁₀	20.80	22.38	22.72	24.08	25.81	27.55	29.23	30.90
i-Pentano	C ₅ H ₁₂	24.94	27.17	27.61	29.42	31.66	33.87	36.03	38.14
n-Pentano	C ₅ H ₁₂	25.64	27.61	28.02	29.71	31.86	33.99	36.08	38.13
Benceno	C ₆ H ₆	16.41	18.41	18.78	20.46	22.45	24.46	26.34	28.15
N-Hexano	C ₆ H ₁₄	30.17	32.78	33.3	35.37	37.93	40.45	42.94	45.36
N-Heptano	C ₇ H ₁₆	34.96	38.0	38.61	41.01	44.0	46.94	49.81	52.61
Amonio	NH ₃	8.52	8.52	8.52	8.52	8.53	8.53	8.53	8.53
Aire		6.94	6.95	6.95	6.96	6.97	6.99	7.01	7.03
Agua	H ₂ O	7.98	8.0	8.01	8.03	8.07	8.12	8.17	8.23
Oxígeno	O ₂	6.97	6.99	7.0	7.03	7.07	7.12	7.17	7.23
Nitrógeno	N ₂	6.95	6.95	6.95	6.96	6.96	6.97	6.98	7.0
Hidrógeno	H ₂	6.78	6.86	6.87	6.91	6.94	6.95	6.97	6.98
Sulf. De Hid.	H ₂ S	8.0	8.09	8.11	8.18	8.27	8.36	8.46	8.55
Mon de Carb.	CO	6.95	6.96	6.96	6.96	6.96	6.97	7.01	7.03
Diox.de Carb.		8.38	8.70	8.76	9.0	9.29	9.56	9.81	10.05



TABLA: Constantes de GASES

Sustancia	Fórmula	Masa Molar (kg/kmol)	R' (kJ/kgK)	T _c (K)	P _c (kPa)	C _p (kJ/kgK)	C _v (kJ/kgK)	γ
Aire		28,97	0,287	133	3,95	1,005	0,718	1,4
Amoniaco	NH ₃	17	0,52	403	11,65	2,19	1,67	1,31
Argon	Ar	40	0,208	151	4,86	0,5207	0,3124	1,667
Dioxido de Carbono	CO ₂	44	0,189	304	7,39	0,827	0,632	1,31
Monoxido Carbono	CO	28	0,297	133	3,5	1,04	0,744	1,399
Helio	He	4	2,077	5,2	0,23	5,19	3,11	1,667
Hidrogeno	H ₂	2	4,16	33,2	1,3	14,24	10,08	1,4
Neon	Ne	20,2	0,412			1,03	0,618	1,667
Nitrogeno	N ₂	28	0,297	126,2	3,39	1,034	0,737	1,4
Oxigeno	O ₂	32	0,26	154,4	5	0,917	0,656	1,4
Dioxido de azufre	SO ₂	64	0,13	431	7,87	0,65	0,515	1,25
Agua	H ₂ O	18	0,461	647,3	22,1	1,865	1,403	1,329
Benceno	C ₆ H ₆	78,11	0,106	562	4,93			
n-butano	C ₄ H ₁₀	58	0,143	425,2	3,8	1,716	1,573	1,09
Etano	C ₂ H ₆	30	0,276	305,4	4,88	1,766	1,49	1,186
Etileno	C ₂ H ₄	28	0,296	282,4	5,12	1,548	1,252	1,237
Metano	CH ₄	16	0,518	191	4,64	2,254	1,735	1,299
Propano	C ₃ H ₈	44	0,1885	370	4,26	1,679	1,49	1,126

2. DIAGRAMA: Nelson-Obert (Factor de compresibilidad)





8. TABLA: Entalpía de formación de algunas sustancias (a 20°C)

Sustancia	Tipo		Entalpía de formación h_f (kJ/ kmol)
Monóxido de carbono	CO	Gas	-110,53
Dióxido de Carbono	CO ₂	Gas	-393,51
Metano	CH ₄	Gas	-74.870
n-butano	C ₄ H ₁₀	Gas	-126.140
Etano	C ₂ H ₆	Gas	-86.670
Heptano	C ₇ H ₁₆	Líquido	-224.390
Propano	C ₃ H ₈	Gas	-103.840
Octano	C ₈ H ₁₈	Líquido	-249.950
Agua	H ₂ O	Líquido	-285.830
Vapor de agua	H ₂ O	Gas	-241.826
Amoniaco	NH ₃	Gas	-45,94
Dióxido de Azufre	SO ₂	Gas	-296,81

9. TABLA: Poder calorífico de algunos combustibles

Sólidos	kJ/kg	Gases	kJ/m ³	Líquidos	kJ/l
Antracita	32.500 - 34.000	Acetileno	56.000	Acetona (kJ/kg)	29.000
Carbón bituminoso	17.000 - 23.250	Butano	133.000	Alcohol, 96% (kJ/kg)	30.000
Egur-ikatz	29.600	Hidrogeno	13.000	Eter (kJ/kg)	43.000
Coque	28.000 - 31.000	Gas Natural	43.000	Keroseno	35.000
Lignito	16.300	Propano	101.000	Gas-olioa	38.000
Zohikatz	13.800 - 20.500	Hiri-gasa	18.000	Glicerina (kJ/kg)	19.000
Semi antracita	26.700 - 32.500			Fuel-ol astuna	41.200
Turba	14.400 - 17.400			Landare-Olioak (kJ/kg)	39.000 - 48.000
				Gasolina (kJ/kg)	48.000
				Petrolio (kJ/kg)	43.000
				Alkaterna (kJ/kg)	36.000



10. TABLA: Temperaturas de ignición de algunos combustibles

Combustible	Temperatura de ignición (°C)
Benceno	415
Harrikatx bitumiso	300
Butano	450
Carbono	700
Monóxido de Carbono	300
Coque	700
Hidrocarburo astunak	750
Hidrogeno	500
Gas arinak	600
Hidrokarburo arinak	650
Nafta	550
Gas Natural	600
Zohikatza	227
Petróleo	400
Gas de Gasógeno	750
Propano	510
Semi antracita	400
Egurra	300



11. TABLA: Calor específico medio de algunos gases ($0^{\circ}\text{C}-\theta^{\circ}\text{C}$) $[c_p]_0^{\theta}$ (kJ/kg $\cdot^{\circ}\text{C}$)

$^{\circ}\text{C}$	H_2	N_2	O_2	CO	H_2O	CO_2	SO_2	Aire	N_2 en Aire
0	14'38	1'039	0'9804	1'039	1'858	0'8205	0'607	1'004	1'026
100	14'40	1'041	0'9218	1'041	1'874	0'8689	0'637	1'007	1'031
200	14'42	1'044	0'9355	1'046	1'894	0'9122	0'663	1'013	1'035
300	14'45	1'049	0'9500	1'054	1'918	0'9510	0'687	1'020	1'041
400	14'48	1'057	0'9646	1'064	1'946	0'9852	0'707	1'029	1'048
500	14'51	1'066	0'9791	1'075	1'976	1'016	0'724	1'039	1'057
600	14'55	1'076	0'9926	1'087	2'008	1'043	0'740	1'050	1'067
700	14'59	1'087	1'005	1'099	2'041	1'067	0'754	1'061	1'078
800	14'64	1'098	1'016	1'110	2'074	1'089	0'765	1'072	1'088
900	14'71	1'108	1'026	1'121	2'108	1'109	0'776	1'082	1'099
1000	14'78	1'118	1'035	1'131	2'142	1'126	0'784	1'092	1'108
1100	14'85	1'128	1'043	1'141	2'175	1'143	0'791	1'100	1'117
1200	14'94	1'137	1'051	1'150	2'208	1'157	0'798	1'109	1'126
1300	15'03	1'145	1'058	1'158	2'240	1'170	0'804	1'117	1'134
1400	15'12	1'153	1'065	1'166	2'271	1'183	0'810	1'124	1'142
1500	15'21	1'160	1'071	1'173	2'302	1'195	0'815	1'132	1'150
1600	15'30	1'168	1'077	1'180	2'331	1'206	0'820	1'138	1'157
1700	15'39	1'174	1'083	1'186	2'359	1'216	0'824	1'145	1'163
1800	15'48	1'181	1'089	1'193	2'386	1'225	0'829	1'151	1'169
1900	15'56	1'186	1'094	1'198	2'412	1'233	0'834	1'156	1'175
2000	15'65	1'192	1'099	1'204	2'437	1'241	0'837	1'162	1'180
2100	15'74	1'197	1'104	1'209	2'461	1'249		1'167	1'186
2200	15'82	1'202	1'109	1'214	2'485	1'256		1'172	1'191
2300	15'91	1'207	1'114	1'218	2'508	1'263		1'176	1'195
2400	15'99	1'211	1'118	1'222	2'530	1'269		1'181	1'200
2500	16'07	1'215	1'123	1'226	2'552	1'275		1'185	1'204



2.2. Tablas de vapor húmedo del agua (temperatura)

T [°C]	p [bar]	v_f [m ³ /kg]	v_g [m ³ /kg]	u_f [kJ/kg]	u_g [kJ/kg]	h_f [kJ/kg]	h_{fg} [kJ/kg]	h_g [kJ/kg]	s_f [kJ/kg-K]	s_g [kJ/kg-K]	T [°C]
0,01	0,00611	0,0010002	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562	0,01
2	0,00706	0,0010001	179,776	8,39	2377,7	8,39	2496,2	2504,6	0,0306	9,1027	2
4	0,00814	0,0010001	157,135	16,81	2380,4	16,81	2491,4	2508,2	0,0611	9,0506	4
6	0,00935	0,0010001	137,652	25,22	2383,2	25,22	2486,7	2511,9	0,0913	8,9994	6
8	0,01073	0,0010002	120,846	33,63	2385,9	33,63	2481,9	2515,6	0,1213	8,9492	8
10	0,01228	0,0010003	106,319	42,02	2388,7	42,02	2477,2	2519,2	0,1511	8,8999	10
12	0,01403	0,0010006	93,732	50,41	2391,4	50,41	2472,5	2522,9	0,1806	8,8514	12
14	0,01599	0,0010008	82,804	58,79	2394,1	58,79	2467,7	2526,5	0,2099	8,8038	14
16	0,01819	0,0010011	73,295	67,17	2396,9	67,17	2463,0	2530,2	0,2390	8,7571	16
18	0,02065	0,0010015	65,005	75,54	2399,6	75,54	2458,3	2533,8	0,2678	8,7112	18
20	0,02339	0,0010018	57,762	83,91	2402,3	83,91	2453,5	2537,4	0,2965	8,6661	20
22	0,02645	0,0010023	51,422	92,28	2405,1	92,28	2448,8	2541,1	0,3249	8,6217	22
24	0,02986	0,0010028	45,861	100,65	2407,8	100,65	2444,1	2544,7	0,3532	8,5782	24
26	0,03364	0,0010033	40,975	109,01	2410,5	109,01	2439,3	2548,3	0,3812	8,5354	26
28	0,03783	0,0010038	36,673	117,37	2413,2	117,37	2434,6	2551,9	0,4091	8,4933	28
30	0,04247	0,0010044	32,879	125,73	2415,9	125,74	2429,8	2555,6	0,4368	8,4520	30
32	0,04760	0,0010050	29,527	134,09	2418,6	134,10	2425,1	2559,2	0,4642	8,4114	32
34	0,05325	0,0010057	26,560	142,45	2421,3	142,46	2420,3	2562,8	0,4916	8,3714	34
36	0,05948	0,0010064	23,929	150,81	2424,0	150,82	2415,5	2566,4	0,5187	8,3322	36
38	0,06633	0,0010071	21,593	159,17	2426,7	159,17	2410,8	2569,9	0,5456	8,2935	38
40	0,07385	0,0010079	19,515	167,53	2429,4	167,53	2406,0	2573,5	0,5724	8,2556	40
45	0,09595	0,0010099	15,251	188,43	2436,1	188,44	2394,0	2582,4	0,6386	8,1633	45
50	0,1235	0,0010122	12,026	209,33	2442,7	209,34	2382,0	2591,3	0,7038	8,0748	50
55	0,1576	0,0010146	9,564	230,24	2449,3	230,26	2369,8	2600,1	0,7680	7,9898	55
60	0,1995	0,0010171	7,667	251,16	2455,9	251,18	2357,7	2608,8	0,8313	7,9082	60



T [°C]	p [bar]	v_f [m ³ /kg]	v_g [m ³ /kg]	u_f [kJ/kg]	u_g [kJ/kg]	h_f [kJ/kg]	h_{fg} [kJ/kg]	h_g [kJ/kg]	s_f [kJ/kg-K]	s_g [kJ/kg-K]	T [°C]
65	0,2504	0,0010199	6,193	272,09	2462,4	272,12	2345,4	2617,5	0,8937	7,8296	65
70	0,3120	0,0010228	5,040	293,04	2468,9	293,07	2333,0	2626,1	0,9551	7,7540	70
75	0,3860	0,0010258	4,129	313,99	2475,3	314,03	2320,6	2634,6	1,0158	7,6812	75
80	0,4742	0,0010291	3,405	334,97	2481,6	335,02	2308,0	2643,0	1,0756	7,6111	80
85	0,5787	0,0010324	2,826	355,96	2487,8	356,02	2295,3	2651,4	1,1346	7,5435	85
90	0,7018	0,0010360	2,359	376,97	2494,0	377,04	2282,5	2659,6	1,1929	7,4782	90
95	0,8461	0,0010396	1,981	398,00	2500,1	398,09	2269,6	2667,6	1,2504	7,4151	95
100	1,014	0,0010435	1,672	419,06	2506,0	419,17	2256,4	2675,6	1,3072	7,3542	100
110	1,434	0,0010516	1,209	461,27	2517,7	461,42	2229,7	2691,1	1,4188	7,2382	110
120	1,987	0,0010603	0,8913	503,60	2528,9	503,81	2202,1	2706,0	1,5279	7,1292	120
130	2,703	0,0010697	0,6681	546,10	2539,5	546,38	2173,7	2720,1	1,6346	7,0265	130
140	3,615	0,0010798	0,5085	588,77	2549,6	589,16	2144,3	2733,5	1,7392	6,9294	140
150	4,762	0,0010905	0,3925	631,66	2559,1	632,18	2113,8	2745,9	1,8418	6,8371	150
160	6,182	0,0011020	0,3068	674,79	2567,8	675,47	2082,0	2757,5	1,9426	6,7492	160
170	7,922	0,0011143	0,2426	718,20	2575,7	719,08	2048,8	2767,9	2,0417	6,6650	170
180	10,03	0,0011274	0,1938	761,92	2582,8	763,05	2014,2	2777,2	2,1392	6,5841	180
190	12,55	0,0011414	0,1564	806,00	2589,0	807,43	1977,9	2785,3	2,2355	6,5059	190
200	15,55	0,0011565	0,1272	850,46	2594,2	852,26	1939,8	2792,0	2,3305	6,4302	200
210	19,08	0,0011727	0,1043	895,38	2598,3	897,61	1899,7	2797,3	2,4245	6,3563	210
220	23,20	0,0011901	0,08609	940,79	2601,3	943,55	1857,4	2801,0	2,5176	6,2840	220
230	27,97	0,0012089	0,07151	986,76	2602,9	990,14	1812,8	2802,9	2,6100	6,2128	230
240	33,47	0,0012294	0,05971	1033,4	2603,1	1037,48	1765,5	2803,0	2,7018	6,1424	240
250	39,76	0,0012516	0,05009	1080,7	2601,8	1085,67	1715,3	2801,0	2,7933	6,0721	250
260	46,92	0,0012759	0,04218	1128,9	2598,7	1134,83	1661,8	2796,6	2,8847	6,0017	260
270	55,03	0,0013028	0,03562	1178,0	2593,7	1185,12	1604,6	2789,7	2,9762	5,9305	270



T [°C]	P [bar]	v_f [m ³ /kg]	v_g [m ³ /kg]	u_f [kJ/kg]	u_g [kJ/kg]	h_f [kJ/kg]	h_{fg} [kJ/kg]	h_g [kJ/kg]	s_f [kJ/kg-K]	s_g [kJ/kg-K]	T [°C]
280	64,17	0,0013326	0,03015	1228,2	2586,4	1236,70	1513,2	2779,9	3,0081	5,8579	280
290	74,42	0,0013660	0,02555	1279,7	2576,5	1289,83	1476,9	2766,7	3,1608	5,7834	290
300	85,88	0,0014038	0,02166	1332,7	2563,6	1344,79	1404,8	2749,6	3,2548	5,7059	300
310	98,65	0,0014475	0,01833	1387,7	2547,1	1402,00	1325,9	2727,9	3,3506	5,6243	310
320	112,8	0,0014987	0,01517	1445,1	2526,0	1462,03	1238,5	2700,6	3,4491	5,5372	320
330	128,6	0,0015604	0,01298	1505,7	2499,2	1525,76	1140,3	2666,0	3,5516	5,4422	330
340	146,0	0,0016377	0,01078	1570,7	2464,5	1594,60	1027,4	2622,0	3,6602	5,3358	340
350	165,3	0,0017407	0,008806	1642,4	2418,3	1671,17	892,7	2563,9	3,7788	5,2114	350
360	186,7	0,0018950	0,006950	1726,2	2351,9	1761,53	720,1	2481,6	3,9165	5,0337	360
374,14	220,9	0,003155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3	0	2099,3	4,4298	4,4298	374,14

2.3. Tablas del vapor húmedo del agua (presión)

p [bar]	T [°C]	v_f [m ³ /kg]	v_g [m ³ /kg]	u_f [kJ/kg]	u_g [kJ/kg]	h_f [kJ/kg]	h_{fg} [kJ/kg]	h_g [kJ/kg]	s_f [kJ/kg-K]	s_g [kJ/kg-K]	p [bar]
0,04	28,96	0,0010041	34,791	121,39	2414,5	121,39	2432,3	2553,7	0,4224	8,4734	0,04
0,06	36,16	0,0010065	23,733	151,47	2424,2	151,48	2415,2	2566,6	0,5208	8,3291	0,06
0,08	41,51	0,0010085	18,099	173,83	2431,4	173,84	2402,4	2576,2	0,5925	8,2273	0,08
0,10	45,81	0,0010103	14,670	191,79	2437,2	191,81	2392,1	2583,9	0,6492	8,1488	0,10
0,20	60,06	0,0010172	7,648	251,40	2456,0	251,42	2357,5	2608,9	0,8320	7,9073	0,20
0,30	69,09	0,0010222	5,229	289,24	2467,7	289,27	2335,3	2624,6	0,9441	7,7675	0,30
0,40	75,86	0,0010264	3,993	317,58	2476,3	317,62	2318,4	2636,1	1,0261	7,6691	0,40
0,50	81,32	0,0010299	3,240	340,49	2483,2	340,54	2304,7	2645,2	1,0912	7,5931	0,50
0,60	85,93	0,0010331	2,732	359,85	2489,0	359,91	2293,0	2652,9	1,1455	7,5312	0,60
0,70	89,93	0,0010359	2,365	376,68	2493,9	376,75	2282,7	2659,4	1,1921	7,4791	0,70
0,80	93,49	0,0010385	2,087	391,63	2498,2	391,71	2273,5	2665,2	1,2331	7,4340	0,80
0,90	96,69	0,0010409	1,870	405,11	2502,1	405,20	2265,1	2670,3	1,2697	7,3944	0,90
1,00	99,61	0,0010432	1,694	417,40	2505,6	417,51	2257,5	2675,0	1,3028	7,3589	1,00
1,50	111,3	0,0010527	1,159	466,97	2519,2	467,13	2226,0	2693,1	1,4337	7,2231	1,50
2,00	120,2	0,0010605	0,886	504,50	2529,1	504,71	2201,6	2706,3	1,5302	7,1270	2,00
2,50	127,4	0,0010672	0,719	535,08	2536,8	535,35	2181,2	2716,5	1,6072	7,0525	2,50
3,00	133,5	0,0010732	0,606	561,11	2543,2	561,43	2163,5	2724,9	1,6717	6,9917	3,00
3,50	138,9	0,0010786	0,524	583,89	2548,5	584,26	2147,7	2732,0	1,7274	6,9402	3,50
4,00	143,6	0,0010836	0,462	604,22	2553,1	604,66	2133,4	2738,1	1,7765	6,8955	4,00
4,50	147,9	0,0010882	0,414	622,65	2557,1	623,14	2120,3	2743,4	1,8205	6,8561	4,50
5,00	151,8	0,0010925	0,3748	639,54	2560,7	640,09	2108,0	2748,1	1,8604	6,8207	5,00
6,00	158,8	0,0011006	0,3156	669,72	2566,8	670,38	2085,8	2756,2	1,9308	6,7593	6,00
7,00	164,9	0,0011080	0,2728	696,23	2571,8	697,00	2065,8	2762,8	1,9918	6,7071	7,00
8,00	170,4	0,0011148	0,2404	719,97	2576,0	720,87	2047,5	2768,3	2,0457	6,6616	8,00
9,00	175,4	0,0011212	0,2149	741,55	2579,6	742,56	2030,5	2773,0	2,0941	6,6213	9,00



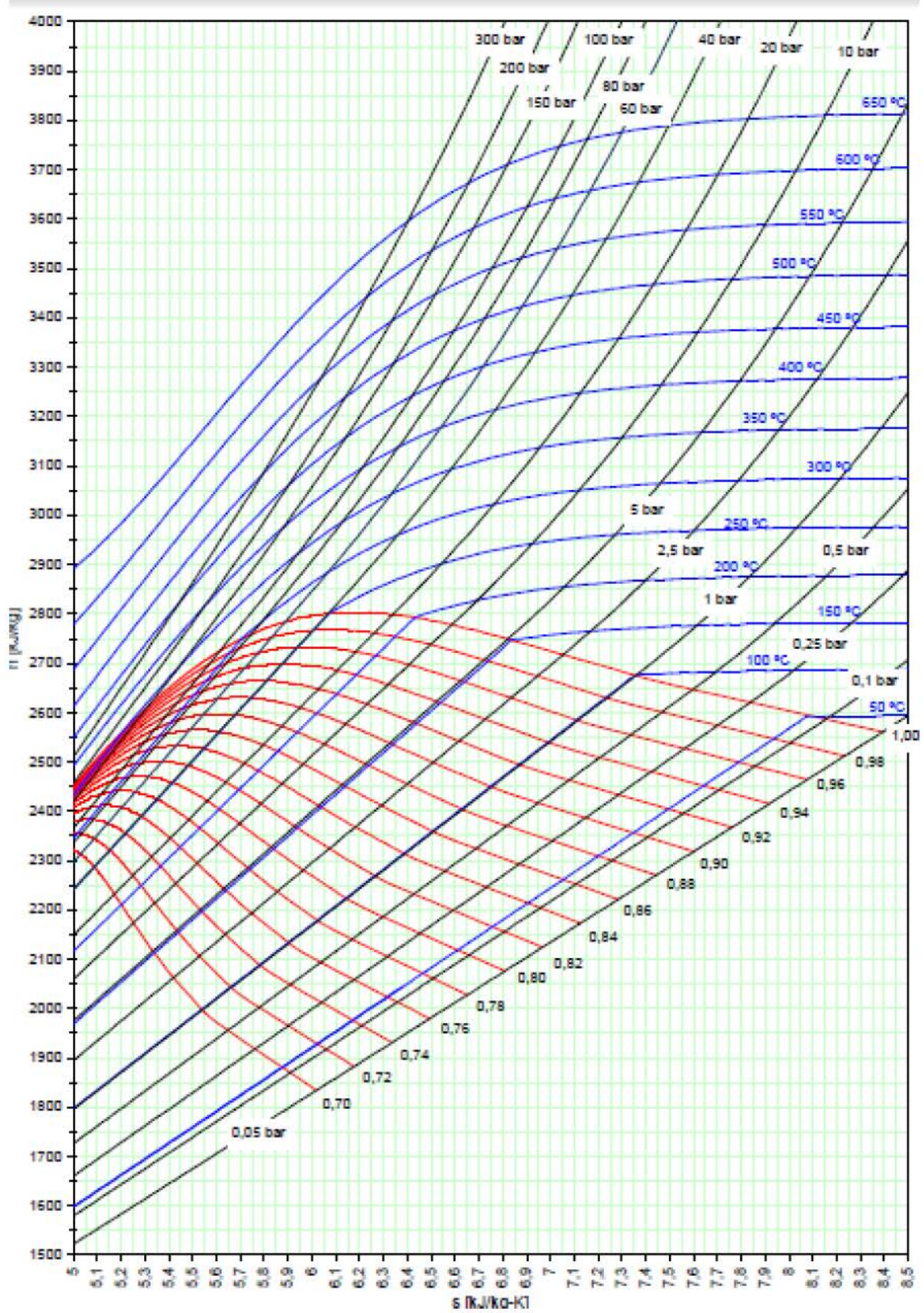
p [bar]	T [°C]	v_f [m ³ /kg]	v_g [m ³ /kg]	u_f [kJ/kg]	u_g [kJ/kg]	h_f [kJ/kg]	h_{fg} [kJ/kg]	h_g [kJ/kg]	s_f [kJ/kg-K]	s_g [kJ/kg-K]	p [bar]
10,0	179,9	0,0011272	0,1944	761,39	2582,8	762,51	2014,6	2777,1	2,1381	6,5850	10,0
15,0	198,3	0,0011539	0,1317	842,82	2593,4	844,55	1946,4	2791,0	2,3143	6,4430	15,0
20,0	212,4	0,0011767	0,09959	906,12	2599,1	908,47	1889,8	2798,3	2,4467	6,3390	20,0
25,0	223,9	0,0011974	0,07995	958,87	2602,1	961,87	1840,1	2801,9	2,5542	6,2558	25,0
30,0	233,9	0,0012166	0,06667	1004,6	2603,2	1008,29	1794,9	2803,2	2,6454	6,1856	30,0
35,0	242,6	0,0012349	0,05706	1045,4	2603,0	1049,72	1753,0	2802,7	2,7253	6,1244	35,0
40,0	250,4	0,0012524	0,04978	1082,4	2601,7	1087,4	1713,5	2800,8	2,7966	6,0696	40,0
45,0	257,4	0,0012695	0,04406	1116,4	2599,7	1122,1	1675,8	2798,0	2,8613	6,0198	45,0
50,0	263,9	0,0012862	0,03945	1148,1	2597,0	1154,5	1639,7	2794,2	2,9207	5,9737	50,0
60,0	275,6	0,0013190	0,03245	1205,8	2589,9	1213,8	1570,9	2784,6	3,0275	5,8902	60,0
70,0	285,8	0,0013515	0,02738	1258,0	2581,0	1267,5	1505,2	2772,6	3,1220	5,8148	70,0
80,0	295,0	0,0013843	0,02353	1306,0	2570,5	1317,1	1441,6	2758,7	3,2077	5,7450	80,0
90,0	303,3	0,0014177	0,02049	1350,9	2558,5	1363,7	1379,3	2742,9	3,2866	5,6791	90,0
100	311,0	0,0014522	0,01803	1393,3	2545,2	1407,8	1317,6	2725,5	3,3603	5,6159	100
110	318,1	0,0014881	0,01599	1433,9	2530,4	1450,2	1256,1	2706,3	3,4299	5,5544	110
120	324,7	0,0015260	0,01426	1473,0	2514,3	1491,3	1194,1	2685,4	3,4964	5,4939	120
130	330,9	0,0015663	0,01278	1511,0	2496,6	1531,4	1131,3	2662,7	3,5606	5,4336	130
140	336,7	0,0016097	0,01149	1548,4	2477,1	1571,0	1067,0	2637,9	3,6232	5,3728	140
150	342,2	0,0016572	0,01034	1585,5	2455,7	1610,3	1000,5	2610,8	3,6848	5,3108	150
160	347,4	0,0017100	0,009312	1622,6	2432,0	1649,9	931,1	2581,0	3,7461	5,2466	160
170	352,3	0,0017700	0,008374	1660,2	2405,4	1690,3	857,4	2547,7	3,8082	5,1791	170
180	357,0	0,0018402	0,007504	1699,1	2375,0	1732,2	777,8	2510,0	3,8720	5,1064	180
190	361,5	0,0019258	0,006677	1740,3	2339,2	1776,8	689,2	2466,0	3,9396	5,0256	190
200	365,7	0,0020378	0,005862	1785,8	2294,8	1826,6	585,5	2412,1	4,0146	4,9310	200
220,9	374,1	0,003155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3	0	2099,3	4,4298	4,4298	220,9



2.4. Entalpías de formación y absolutas para la combustión

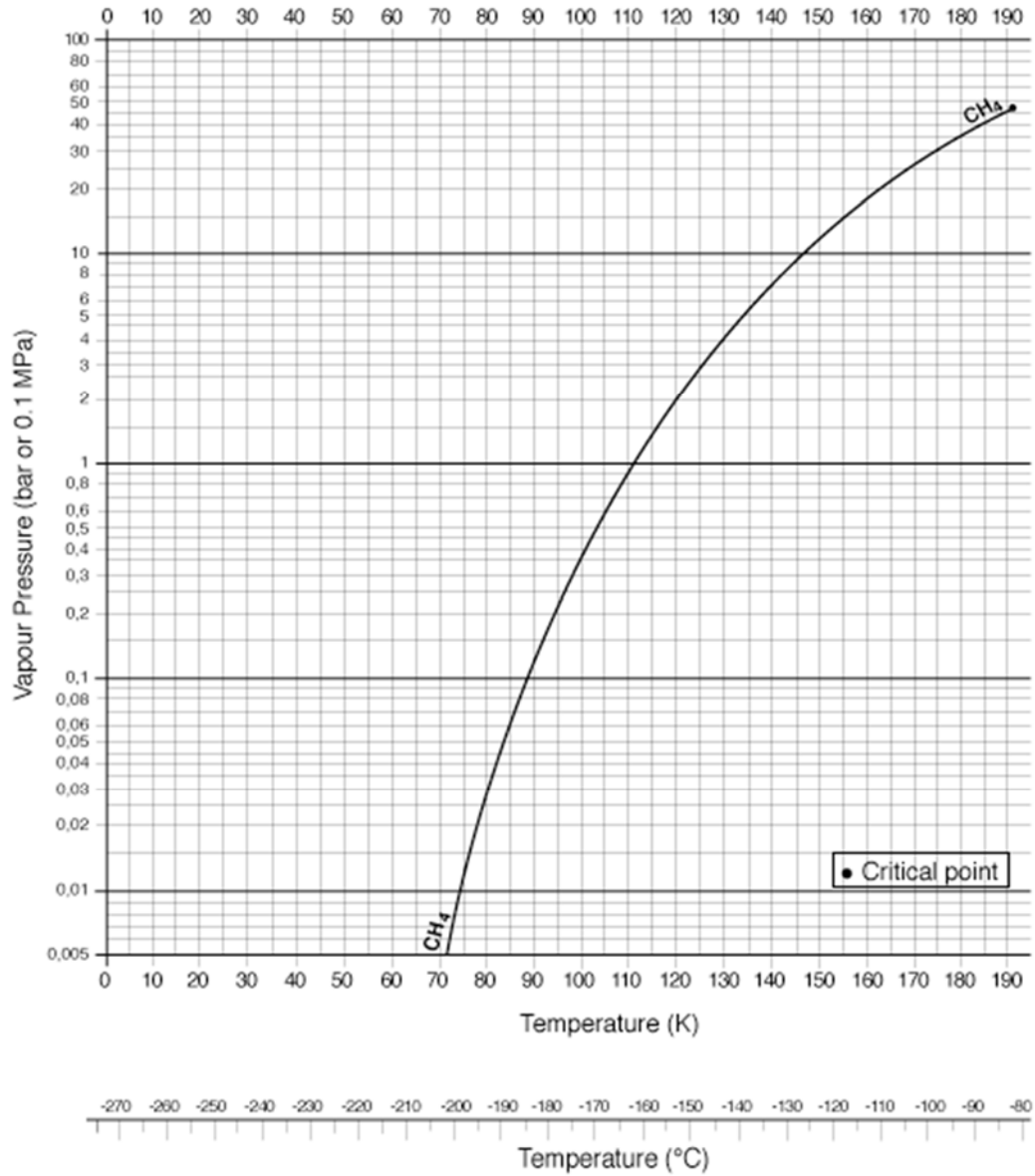
		\bar{h}_f^0 [kJ/kmol]	\bar{s}^0 [kJ/kmol-K]
Hidrógeno	H_2	0	130,67
Nitrógeno	N_2	0	191,60
Oxígeno	O_2	0	205,14
Monóxido de Carbono	CO	-110528	197,65
Dióxido de Carbono	CO_2	-393486	213,77
Agua	$H_2O(g)$	-241811	188,82
Agua	$H_2O(l)$	-285799	69,98
Metano	CH_4	-74596	186,36
Acetileno	C_2H_2	228186	200,90
Etileno	C_2H_4	52497	219,31
Etano	C_2H_6	-83846	229,21
Propano	C_3H_8	-104674	270,30
Butano	C_4H_{10}	-125782	309,86
Pentano	C_5H_{12}	-146751	349,54
Octano	$C_8H_{18}(g)$	-208737	467,32
Octano	$C_8H_{18}(l)$	-250366	360,85
Metanol	$CH_3OH(g)$	-200928	239,90
Metanol	$CH_3OH(l)$	-238424	128,89
Etanol	$C_2H_5OH(g)$	-234936	280,68
Etanol	$C_2H_5OH(l)$	-277410	159,28

2.5. Diagrama de Mollier del agua





2.6. Gráfica de la presión de vapor del metano

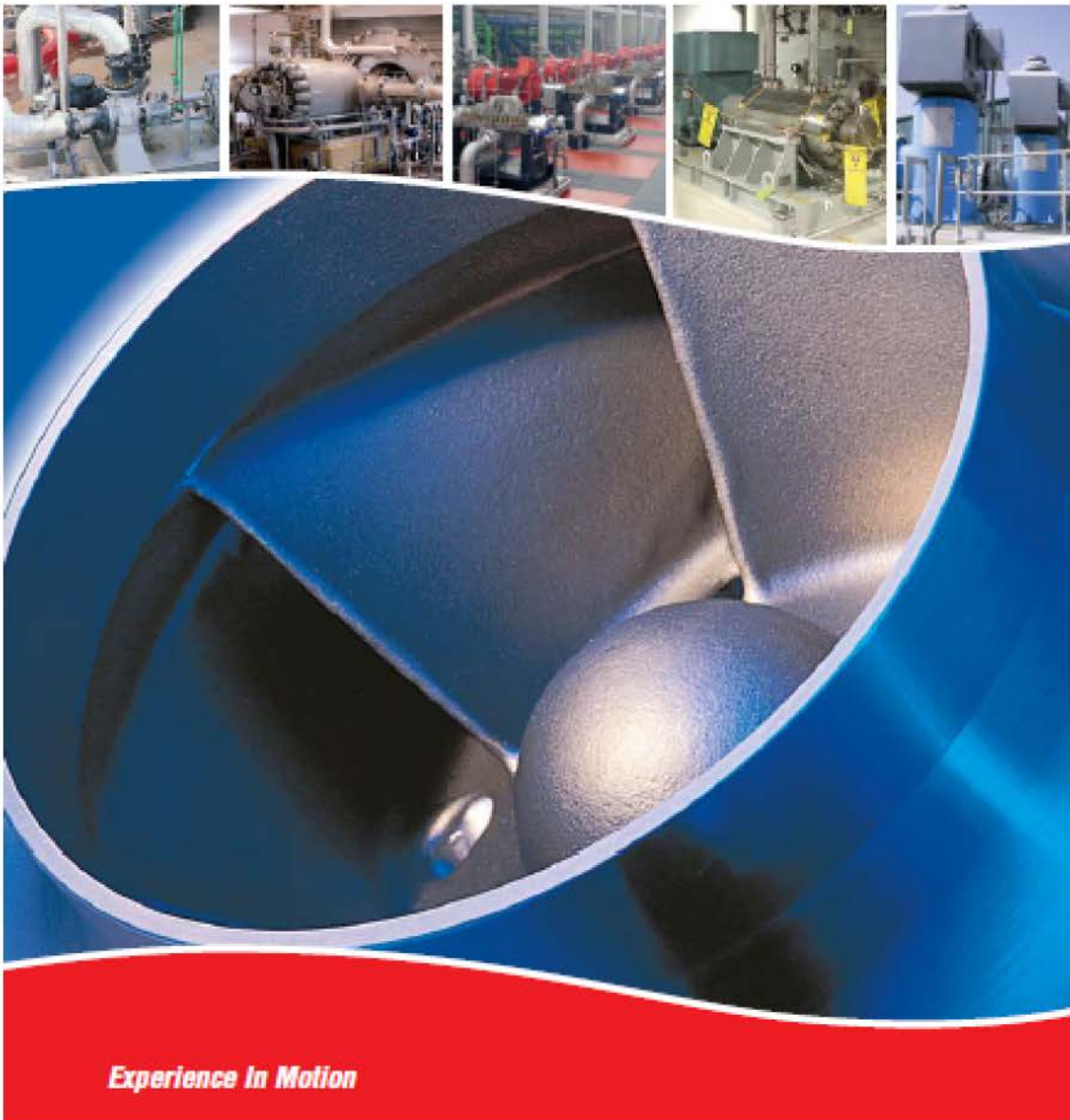




2.7. Catálogo bombas del tanque



Pump Product Catalog





Pump Selection Guide

Pump Category	Sub-Category	Oil and Gas														Chemical Processing							Power Generation (Fossil, Renewables, Nuclear)											
		Downstream							Upstream & Pipeline																									
		Distillation	Hydrotreating	Hydrocracking	Catalytic Cracking	Residuum and Heavy Oil Upgrading	Gas Treating and Sulfur Recovery	LNG	NGL and LPG	Gas to Liquids	Offsites and Waste Treatment	Heavy Oil, Oil Sands and Shale	Crude, Product and CO ₂ Pipeline	Drilling and Production	FPSO	Water and CO ₂ Injection	Water Supply and Treatment	Acid Transfer	Caustic and Chlor-Alkali	Pharmaceuticals	Polymers	Renewable Fuel Production	Slurry Processing	Solvents	Volatile Organic Compounds	Waste Processing	Auxiliary	Boiler Feed	Boiler Feed Booster	Condensate Extraction	Cooling Water	Flue Gas Desulfurization		
Overhung	Chemical Process - ANSI, ISO					X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
	API Process	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	Industrial Process									X	X		X	X	X				X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	Slurry and Solids Handling					X				X	X							X	X	X	X	X	X		X	X							X	
Between Bearings	Single Case - Axially Split	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		X					X	X	X	X	X	X			
	Single Case - Radially Split	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						X					X	X	X					X	
	Double Case	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X											X	X								
Vertical	Wet Pit						X	X	X		X	X	X	X						X					X							X		
	Double Case					X	X	X	X	X	X				X	X											X	X	X					
	Deep Well Submersible Motor												X	X	X						X					X						X		
	Slurry and Solids Handling									X								X	X	X	X	X		X	X								X	
	Sump									X	X	X	X	X			X				X	X	X		X	X								
Positive Displacement	Gear									X							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	Screw				X				X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Multiphase								X	X	X											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Reciprocating								X	X	X	X	X	X								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Specialty Products	Nuclear Pumps																																	
	Nuclear Seals																																	
	Cryogenic Pumps						X	X																										
	Cryogenic Liquid Expander						X																											
	Geothermal Deepwell Submersible Pump																																	
	Hydraulic Decoking Systems				X																													
	Power Recovery - Hydroturbine	X	X																							X								
	Power Recovery - DWEEER																																	
	Thruster												X	X																				
	CVP Concrete Volute Pumps																																	X
	Barge Pump																																	
Molten Salt VTP Pump																																		

**WUC-LNG Cryogenic (VS6)
Vertical, Double Case,
Multistage**



Standards

- API 610 (VS6), latest edition
- ASME Sections VIII and IX
- German Pressure Vessel Association (AD)
- British Standard BS 5500
- Compliance with Pressure Equipment Directive 97/23/EC

Operating Parameters

- Flows to 3000 m³/h (13 000 gpm)
- Heads to 1200 m (3900 ft)
- Pressures to 200 bar (3000 psi)
- Temperatures from -200°C (-325°F) to -45°C (-50°F)

Features

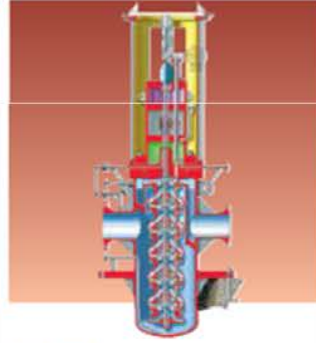
- Cofferdam system
- Radial or mixed flow hydraulics
- Low suction velocity can design
- Optional axial thrust tilting pad bearing configuration
- Stiff shaft design
- API 682 compliant mechanical seal chamber
- Ranged spacer type coupling
- Screen-type, non-sparking coupling guard
- Inside drain line
- Casing and impeller wear rings
- Reinforced motor stand
- Optional inducer

Related Configurations

- WUC (VS6) double case, multistage

See Bulletin PSS-40-9.1

**VKW and TKW Cryogenic
Liquid Expander (VS6)
Double Case, Multistage,
Electric Generator**



Standards

- API 610 (VS6), latest edition
- ASME Sections VIII and IX

Operating Parameters

- Expander flows to 2500 m³/h (11 000 gpm)
- Inlet pressures to 70 bar (1000 psi)
- Temperatures to -180°C (-290°F)
- Power to 3 MW (4000 hp)
- Runaway speed to 5400 rpm

Features

- Variable or fixed geometry
- Externally driven remote and local controlled variable wicketts
- Optimal isentropic efficiency
- Overall improvement of compressor power efficiency
- Air-cooled generator
- Temperature reduction through liquid expansion
- Additional electric generation
- Low vibration
- Low noise level
- State-of-the-art gas seal
- Optimum specific speed selection

Available Configurations

- TKW variable geometry, double casing, multistage, electric generator
- VKW fixed geometry, double case, multistage, electric generator

See Bulletin PSS-90-7.1

**Byron Jackson SUBM
Geothermal Deep-Well
Submersible**



Standards

- IEC/VDE and other certifications

Operating Parameters

- Flows to 720 m³/h (3170 gpm)
- Heads to 800 m (2625 ft)
- Temperatures to 160°C (320°F)
- Motor sizes to 1500 kW (2000 hp)
- Speeds from 2900 to 3500 rpm
- Inner well diameters from 340 mm (13-3/8 in) to 508 mm (20 in)

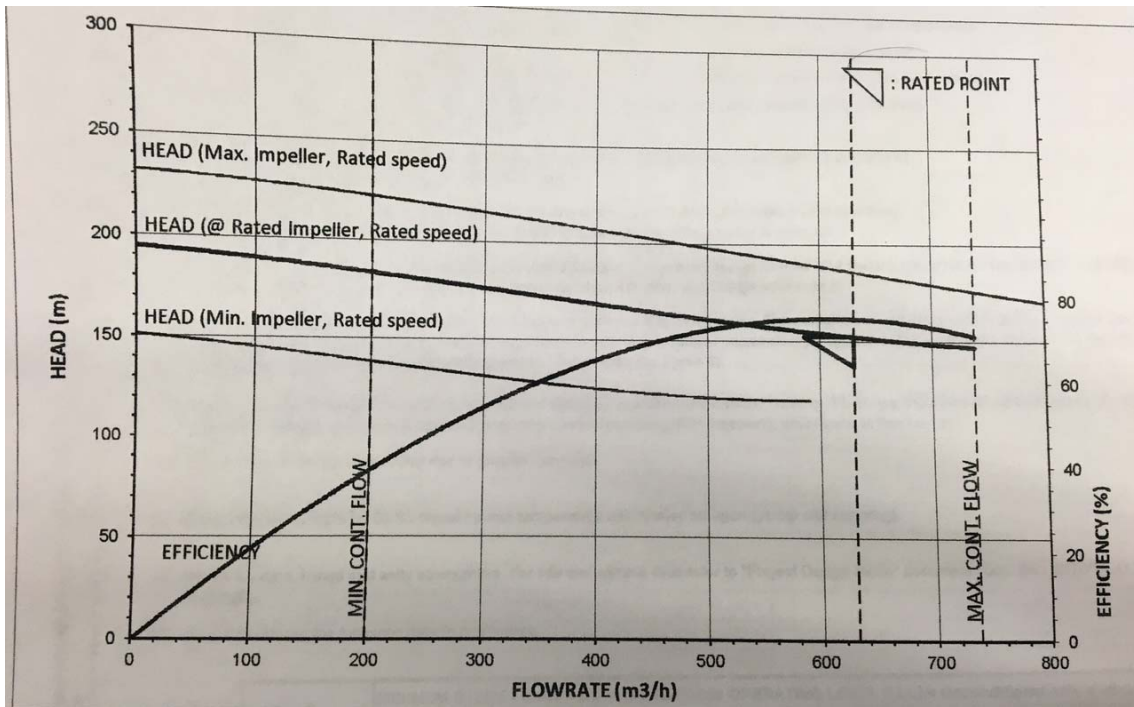
Features

- Pump and motor design for geothermal application
- Oil filled motor with self-contained force feed, filtered, cooled oil circulation system
- Vacuum pressure impregnated (VPI) epoxy, Class F, insulation system
- Winding insulation system Class C 220°C (428°F)
- Double cable plug construction
- Double-acting thrust bearing system
- Dynamically balanced heavy-duty, high-efficiency impellers
- Optional variable frequency
- Choice of materials
- Double mechanical seal
- Motor design with breather diaphragm for pressure compensation
- Non-return design for high pressure
- Down hole monitoring system

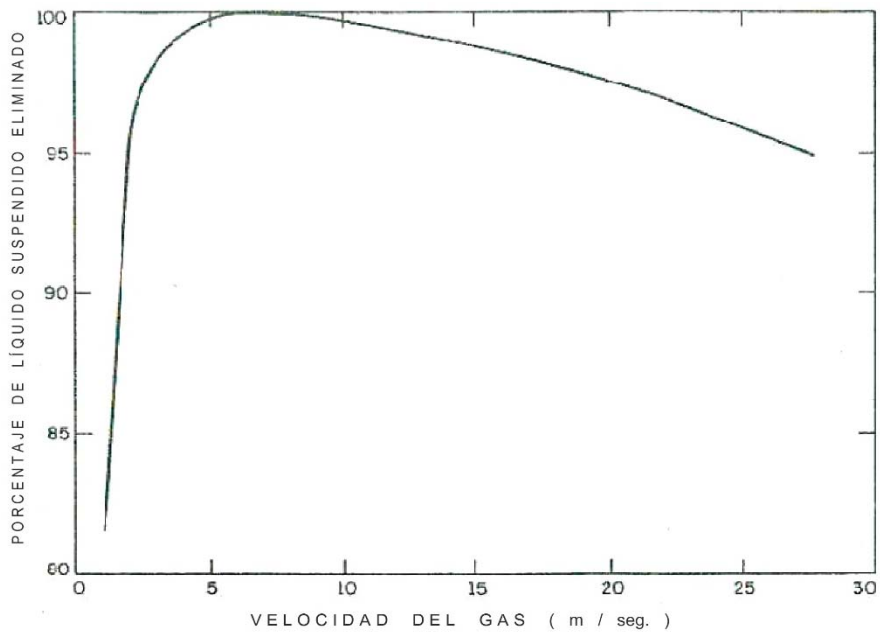
Other Configurations

- Byron Jackson SUBM deep-well submersible (oil-filled design)

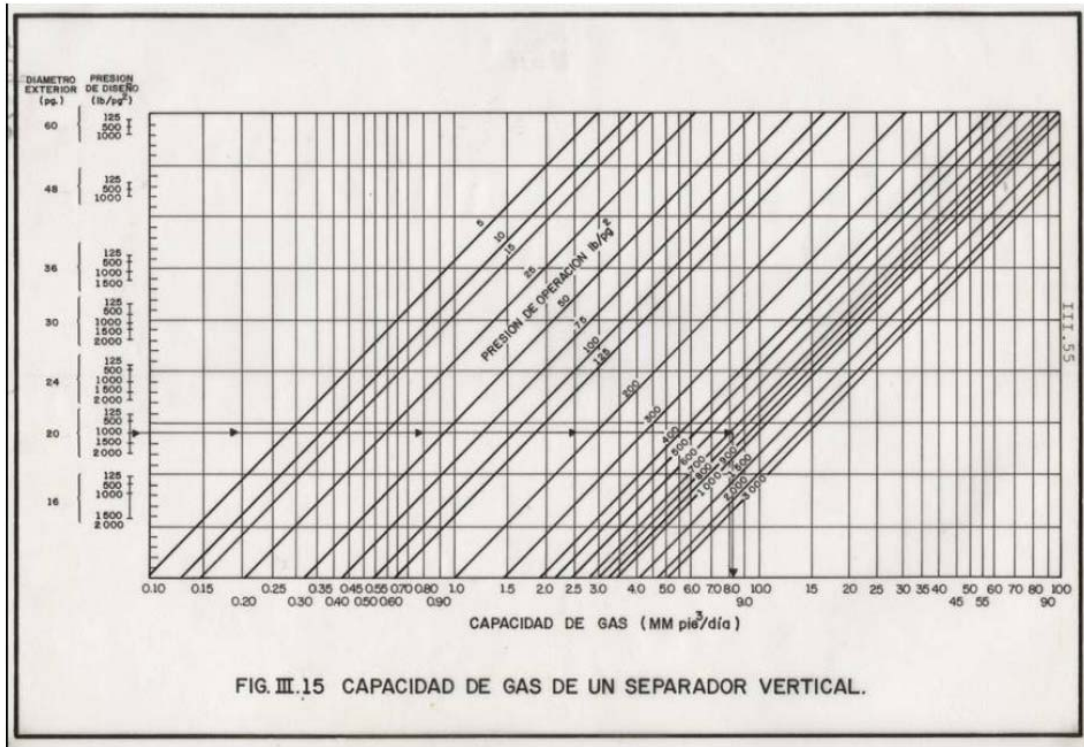
2.7.1. Bomba 110-BF



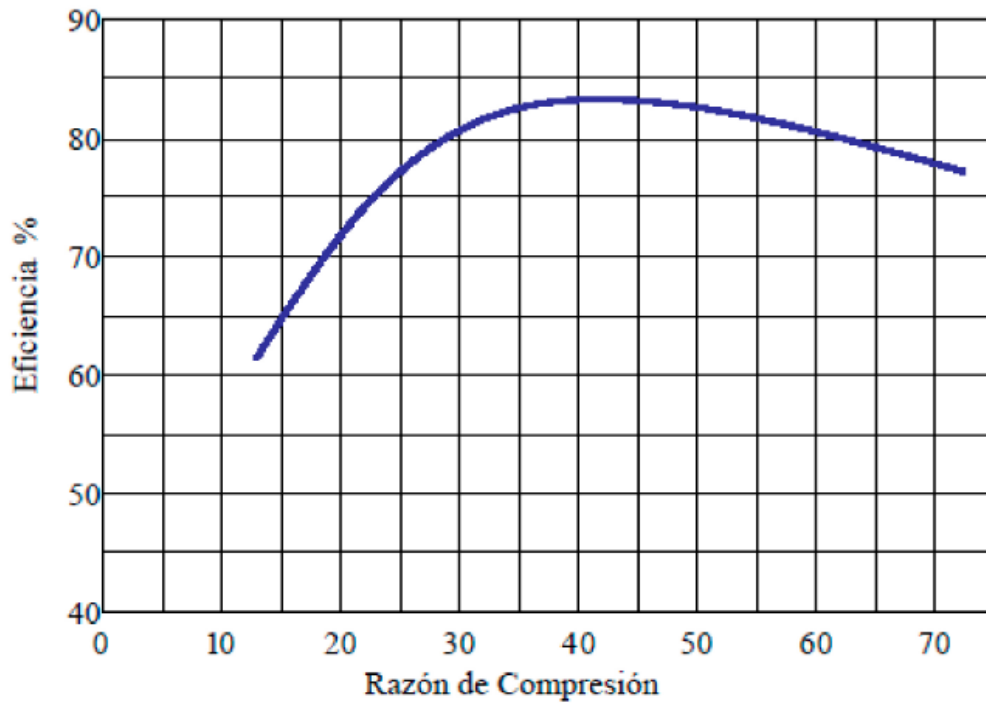
2.8. Velocidad máxima en el separador



2.9. Capacidad del separador



2.10. Eficiencia compresor de aire





2.11. Catálogo recondensador

MODELO HMAT ó HMAM	AGUA DE TORRE $\otimes T_1=11,2\text{ }^\circ\text{C}$			AGUA DE RED $\otimes T_1=20\text{ }^\circ\text{C}$			diam. En v. m. m.	Longitud m.m.	Vol. Máx. Lts.	Serv.	PESO KGS	
	POTENCIA EN KW	CAUDAL L/H	$\otimes P$ m.c.d.a.	POTENCIA EN KW	CAUDAL L/H	$\otimes P$ m.c.d.a.					HMAT	HMAM
9020-G	545,4	93.809	9,2	844,2	60.501	3,7	323	2.000	107,1	40,0	266	271,6
10020-G	606,0	104.232	9,2	938,0	67.223	3,7	323	2.000	103,1	32,5	272,3	278,5
11020-G	666,6	114.655	9,2	1.031,8	73.946	3,7	323	2.000	99,1	32,5	279,1	286
12020-G	727,2	125.078	9,2	1.125,6	80.668	3,7	323	2.000	95,0	24,1	286,6	294,1
9025-G	681,8	117.261	15,5	1.055,3	75.626	6,8	323	2.500	135,1	50,0	320	326
10025-G	757,5	130.290	15,5	1.172,5	84.029	6,8	323	2.500	130,0	40,6	326	333
11025-G	833,3	143.319	15,5	1.289,8	92.432	6,8	323	2.500	125,0	40,6	333	340
12025-G	909,0	156.348	15,5	1.407,0	100.835	6,8	323	2.500	120,0	30,1	341	348
9030-G	818,1	140.713	25,5	1.266,3	90.752	11,5	323	3.000	163,0	60,0	374	380
10030-G	909,0	156.348	25,5	1.407,0	100.835	11,5	323	3.000	157,0	48,7	380	387
11030-G	999,9	171.983	25,5	1.547,7	110.919	11,5	323	3.000	150,9	48,7	387	394
12030-G	1.090,8	187.618	25,5	1.688,4	121.002	11,5	323	3.000	144,9	36,2	395	402
9010-H	260,1	44.737	1,4	372,6	26.703	0,7	355	1.000	64,5	26,2	334	340
11010-H	317,9	54.679	1,4	455,4	32.637	0,7	355	1.000	60,5	22,2	341	348
13010-H	375,7	64.620	1,4	538,2	38.571	0,7	355	1.000	56,5	17,9	349	357
15010-H	433,5	74.562	1,4	621,0	44.505	0,7	355	1.000	52,4	13,0	358	368
9015-H	409,1	70.357	4	602,1	43.151	1,8	355	1.500	100,0	39,3	247	253
11015-H	500,0	85.991	4	735,9	52.740	1,8	355	1.500	93,9	33,3	254	261
13015-H	590,9	101.626	4	869,7	62.329	1,8	355	1.500	87,9	26,8	262	270
15015-H	681,8	117.261	4	1.003,5	71.918	1,8	355	1.500	81,9	19,5	271	281
9020-H	545,4	93.809	9,2	844,2	60.501	3,7	355	2.000	135,4	52,3	317	323
11020-H	666,6	114.655	9,2	1.031,8	73.946	3,7	355	2.000	127,4	44,4	324	331
13020-H	787,8	135.502	9,2	1.219,4	87.390	3,7	355	2.000	119,3	35,7	332	340
15020-H	909,0	156.348	9,2	1.407,0	100.835	3,7	355	2.000	111,3	26,0	341	351
9025-H	681,8	117.261	15,5	1.055,3	75.626	6,8	355	2.500	170,9	65,4	387	393
11025-H	833,3	143.319	15,5	1.289,8	92.432	6,8	355	2.500	160,8	55,5	394	401
13025-H	984,8	169.377	15,5	1.524,3	109.238	6,8	355	2.500	150,8	44,7	402	410
15025-H	1.136,3	195.435	15,5	1.758,8	126.044	6,8	355	2.500	140,7	32,5	411	421
9030-H	818,1	140.713	25,5	1.266,3	90.752	11,5	355	3.000	206,2	78,5	457	463
11030-H	999,9	171.983	25,5	1.547,7	110.919	11,5	355	3.000	194,1	66,6	464	471
13030-H	1.181,7	203.252	25,5	1.829,1	131.086	11,5	355	3.000	182,1	53,6	472	480
15030-H	1.363,5	234.522	25,5	2.110,5	151.253	11,5	355	3.000	170,0	38,9	481	491
16010-I	462,4	79.533	1,4	662,4	47.472	0,7	406	1.000	75,7	27,1	346	356
18010-I	520,2	89.474	1,4	745,2	53.406	0,7	406	1.000	71,7	22,1	357	369
20010-I	578,0	99.416	1,4	828,0	59.340	0,7	406	1.000	67,7	16,5	370	382
22010-I	635,8	109.358	1,4	910,8	65.274	0,7	406	1.000	63,7	0,5	384	397
16015-I	727,2	125.078	4	1.070,4	76.712	1,8	406	1.500	118,6	40,6	386	396
18015-I	818,1	140.713	4	1.204,2	86.301	1,8	406	1.500	112,6	33,2	397	409
20015-I	909,0	156.348	4	1.338,0	95.890	1,8	406	1.500	106,6	24,8	410	422
22015-I	999,9	171.983	4	1.471,8	105.479	1,8	406	1.500	100,5	0,8	424	437
16020-I	969,6	166.771	9,2	1.500,8	107.557	3,7	406	2.000	161,5	54,2	426	436
18020-I	1.090,8	187.618	9,2	1.688,4	121.002	3,7	406	2.000	153,4	44,2	437	449
20020-I	1.212,0	208.464	9,2	1.876,0	134.447	3,7	406	2.000	145,4	33,0	450	462
22020-I	1.333,2	229.310	9,2	2.063,6	147.891	3,7	406	2.000	137,3	1,0	464	477
16025-I	1.212,0	208.464	15,5	1.876,0	134.447	6,8	406	2.500	207,0	67,7	466	476
18025-I	1.363,5	234.522	15,5	2.110,5	151.253	6,8	406	2.500	196,9	55,3	477	489
20025-I	1.515,0	260.580	15,5	2.345,0	168.058	6,8	406	2.500	186,9	41,3	490	502
22025-I	1.666,5	286.638	15,5	2.579,5	184.864	6,8	406	2.500	176,8	1,2	504	517
16030-I	1.454,4	250.157	25,5	2.251,2	161.336	11,5	406	3.000	247,1	81,3	506	516
18030-I	1.636,2	281.426	25,5	2.532,6	181.503	11,5	406	3.000	235,0	66,4	517	529
20030-I	1.818,0	312.696	25,5	2.814,0	201.670	11,5	406	3.000	223,0	49,6	530	542
22030-I	1.999,8	343.966	25,5	3.095,4	221.837	11,5	406	3.000	210,9	1,5	544	557
23010-J	664,7	114.328	1,4	952,2	68.241	0,7	457	1.000	88,4	34,0	610	624
25010-J	722,5	124.270	1,4	1.035,0	74.175	0,7	457	1.000	84,3	28,4	626	641
27010-J	780,3	134.212	1,4	1.117,8	80.109	0,7	457	1.000	80,3	22,1	643	659
28410-J	820,8	141.171	1,4	1.175,8	84.263	0,7	457	1.000	77,5	14,6	660	678
23015-J	1.045,4	179.800	4	1.538,7	110.274	1,8	457	1.500	140,2	51,0	645	659
25015-J	1.136,3	195.435	4	1.672,5	119.863	1,8	457	1.500	134,2	42,5	661	676
27015-J	1.227,2	211.070	4	1.806,3	129.452	1,8	457	1.500	128,2	33,1	678	694
28415-J	1.290,8	222.014	4	1.900,0	136.164	1,8	457	1.500	123,9	22,0	695	713
23020-J	1.393,8	239.734	9,2	2.157,4	154.614	3,7	457	2.000	190,8	68,1	690	704
25020-J	1.515,0	260.580	9,2	2.345,0	168.058	3,7	457	2.000	182,8	56,7	706	721
27020-J	1.636,2	281.426	9,2	2.532,6	181.503	3,7	457	2.000	174,7	44,1	723	739
28420-J	1.721,0	296.019	9,2	2.663,9	190.914	3,7	457	2.000	169,1	29,3	740	758
23025-J	1.742,3	299.667	15,5	2.696,8	193.267	6,8	457	2.500	242,0	85,1	731	745
25025-J	1.893,8	325.725	15,5	2.931,3	210.073	6,8	457	2.500	231,9	70,9	747	762
27025-J	2.045,3	351.783	15,5	3.165,8	226.879	6,8	457	2.500	221,9	55,2	764	780
28425-J	2.151,3	370.024	15,5	3.329,9	238.643	6,8	457	2.500	214,8	36,6	781	799
23030-J	2.090,7	359.600	25,5	3.236,1	231.921	11,5	457	3.000	293,2	102,0	765	779
25030-J	2.272,5	390.870	25,5	3.517,5	252.088	11,5	457	3.000	281,1	85,1	781	796
27030-J	2.454,3	422.140	25,5	3.798,9	272.255	11,5	457	3.000	269,0	66,2	798	814
28430-J	2.581,6	444.028	25,5	3.995,9	286.371	11,5	457	3.000	260,6	43,9	815	833

FACTOR - F4- CORRECCION DE POTENCIA TABLA -5-

⊗T1 = TEMPERATURA CONDENSACION - TEMPERATURA ENTRADA DE AGUA

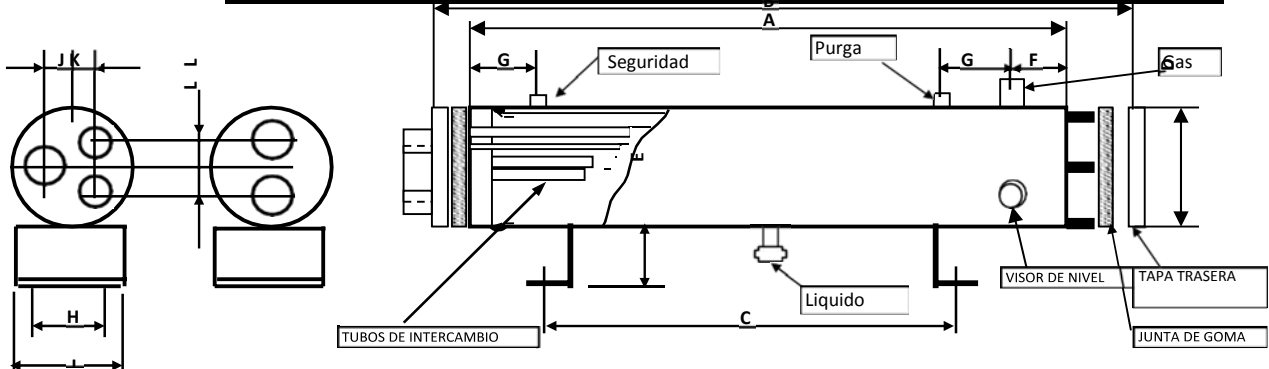
⊗T2 = TEMPERATURA SALIDA DE AGUA - TEMPERATURA ENTRADA DE AGUA

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	10
4	0.31																	
5	0.54	0.3																
6	0.6	0.47	0.3															
7	0.65	0.7	0.45	0.3														
8	0.89	0.9	0.62	0.44	0.3													
9	1.1	0.72	0.86	0.6	0.44	0.3												
10	1.31	0.89	1.07	0.78	0.6	0.44	0.3											
11		1.06	1.3	1	0.76	0.6	0.45	0.31										
12		1.33	0.96	1.23	0.93	0.75	0.6	0.45	0.33									
13		1.54	1.12	1.45	1.11	0.91	0.75	0.6	0.46	0.33								
14		1.76	1.3	1.66	1.39	1.09	0.9	0.74	0.6	0.46	0.34							
15		1.97	1.48	1.2	1.61	1.27	1.06	0.9	0.74	0.6	0.47	0.35						
16			1.77	1.36	1.83	1.55	1.24	1.05	0.9	0.74	0.6	0.48	0.36					
17			1.98	1.54	1.29	1.77	1.42	1.22	1.04	0.89	0.74	0.6	0.48	0.36				
18			2.2	1.71	1.44	1.99	1.71	1.39	1.2	1.03	0.89	0.75	0.62	0.5	0.36			
19			2.42	1.9	1.6	2.2	1.93	1.58	1.37	1.2	1.03	0.89	0.75	0.62	0.5	0.36		
20				2.22	1.77	1.53	2.15	1.88	1.55	1.35	1.19	1.03	0.89	0.76	0.63	0.5		
21				2.43	1.95	1.68	2.37	2.09	1.73	1.53	1.34	1.18	1.03	0.89	0.76	0.63	0.5	
22				2.64	2.13	1.85	2.58	2.3	2.04	1.7	1.51	1.34	1.18	1.03	0.89	0.76	0.64	0.52
23				2.86	2.46	2.01	1.77	2.52	2.25	1.88	1.68	1.5	1.33	1.18	1.03	0.9	0.77	0.65
24				3.07	2.66	2.18	1.92	2.74	2.47	2.07	1.86	1.66	1.49	1.33	1.18	1.04	0.9	0.78
25				3.28	2.87	2.36	2.09	2.96	2.68	2.41	2.04	1.84	1.65	1.48	1.33	1.18	1.04	0.9

← 4 PASOS 2 PASOS

TABLA -6- FACTOR DE CORRECCION PARA RECUPERADOR DE CALOR DE DESCARGA

TEMP. DESCARGA °C	110	105	100	95	90	85
60	1.36	1.28	1.21	1.2	1.1	1.01
55	1.59	1.52	1.45	1.37	1.31	1.23
50	1.82	1.75	1.67	1.59	1.51	1.43
45	2.03	1.95	1.86	1.78	1.69	1.6
40	2.22	2.12	2.04	1.95	1.85	1.76
35	2.58	2.33	2.22	2.13	2.01	1.81





UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

MODELO	DIMENSIONES GENERALES								CONEXIONES				
	B	C	E	F	G	H	I	L	ENTRADA DE GAS	SALIDA LIQUIDO	VAL. SEG	ENTR. AGUA	SALIDA AGUA
9025-H	2.590	1.500	138	290	160	340	400	87	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
11025-H	2.590	1.500	138	290	160	340	400	87	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
13025-H	2.590	1.500	138	290	160	340	400	87	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
15025-H	2.590	1.500	138	290	160	340	400	87	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
9030-H	3.090	1.800	138	290	160	340	400	87	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
11030-H	3.090	1.800	138	290	160	340	400	87	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
13030-H	3.090	1.800	138	290	160	340	400	87	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
15030-H	3.090	1.800	138	290	160	340	400	87	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
16010-I	1.100	600	138	290	160	340	400	78	2 1/8"	1 5/8"	1/2"	4"	4"
18010-I	1.100	600	138	290	160	340	400	78	2 1/8"	1 5/8"	1/2"	4"	4"
20010-I	1.100	600	138	290	160	340	400	78	2 1/8"	1 5/8"	1/2"	4"	4"
22010-I	1.100	600	138	290	160	340	400	78	2 1/8"	1 5/8"	1/2"	4"	4"
16015-I	1.600	900	138	290	160	340	400	78	2 1/8"	1 5/8"	1/2"	4"	4"
18015-I	1.600	900	138	290	160	340	400	78	2 1/8"	1 5/8"	1/2"	4"	4"
20015-I	1.600	900	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
22015-I	1.600	900	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
16020-I	2.100	1.200	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
18020-I	2.100	1.200	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
20020-I	2.100	1.200	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
22020-I	2.100	1.200	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
16025-I	2.600	1.500	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
18025-I	2.600	1.500	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
20025-I	2.600	1.500	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
22025-I	2.600	1.500	138	290	160	340	400	78	3 1/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
16030-I	3.100	1.800	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
18030-I	3.100	1.800	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
20030-I	3.100	1.800	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
22030-I	3.100	1.800	138	290	160	340	400	78	3 1/8"	2 1/8"	1/2"	4"	4"
23010-J	1.110	600	138	290	160	340	400	78	2 1/8"	1 5/8"	1/2"	5"	5"
25010-J	1.110	600	138	290	160	340	400	78	2 1/8"	1 5/8"	1/2"	5"	5"
27010-J	1.110	600	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
28410-J	1.110	600	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
23015-J	1.610	900	138	290	160	340	400	78	2 1/8"	1 5/8"	1/2"	5"	5"
25015-J	1.560	900	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
27015-J	1.560	900	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
28415-J	1.560	900	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
23020-J	2.110	1.200	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
25020-J	2.060	1.200	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
27020-J	2.060	1.200	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
28420-J	2.060	1.200	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
23025-J	2.610	1.500	138	290	160	340	400	78	2 5/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
25025-J	2.560	1.500	138	290	160	340	400	78	3 1/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
27025-J	2.560	1.500	138	290	160	340	400	78	3 1/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
28425-J	2.560	1.500	138	290	160	340	400	78	3 1/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
23030-J	3.110	1.800	138	290	160	340	400	78	3 1/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
25030-J	3.110	1.800	138	290	160	340	400	78	3 1/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
27030-J	3.110	1.800	138	290	160	340	400	78	3 1/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"
28430-J	3.110	1.800	138	290	160	340	400	78	3 1/8"	2 1/8"	1/2"	5"	5"

INTERSAM S.L.

28500-ARGANDA DEL REY (MADRID) - ESPANA

Fábrica y oficinas. C/ Cadmio,12. Polig. Ind. Finanzauto. 28500 ARGANDA DEL REY (MADRID)

Teléfonos.- 0034 91 875 74 90 Fax.- 0034 91 875 74 94

E-MAIL.- comercial@intersam.es

OTROS PRODUCTOS

- EVAPORADORES MULTITUBULARES DE COBRE, ACERO Y ACERO INOXIDABLE
- EVAPORADORES DE TUBOS CONCENTRICOS PARA GRANDES SALTOS DE TEMPERATURA
- ENFRIADORAS DE PRODUCTOS LIQUIDOS Y GASES
- UNIDADES DE SECADO Y DESCONGELACION PARA PRODUCTOS ALIMENTARIOS O SIMILARES
- EQUIPOS PARA CLIMATIZACION DE PUENTES GRUAS, CON ALTAS TEMPERATURAS DE AMBIENTE
- UNIDADES CLIMATIZADORAS
- INTERCAMBIADORES DE CALOR
- RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO DE LIQUIDO REFRIGERANTE
- CONDENSADORES DE AIRE
- SUMINISTROS DE FRIO Y AIRE ACONDICIONADO

Edición - MARZO 2.003 Las características y diseño de estos equipos pueden sufrir variación, sin previo aviso Cat.01-C-03

2.12. Pérdidas de carga en codos

TABLA 11. PÉRDIDAS DE CARGA DE LOS CODOS Y T- EXPRESADOS EN LONGITUD EQUIVALENTE DE TUBO (m)
Uniones con extremos roscados, soldados, embridados o cónicos

DIÁMETRO EXTERIOR		CODOS						T			
Acero	Cobre	Radio pequeño 90° **	Radio grande 90° **	Macho Hembra 90° *	Radio pequeño 45° **	Macho Hembra 45° **	Radio pequeño 180° **	Cambio de dirección	PASO DIRECTO		
		Diagrama	Diagrama	Diagrama	Diagrama	Diagrama	Diagrama	Diagrama	Sin reducción	Reducción 1/4	Reducción 1/2
17,2	1/2	0,42	0,27	0,70	0,21	0,33	0,70	0,82	0,27	0,36	0,42
21,3	5/8	0,48	0,30	0,76	0,24	0,40	0,76	0,91	0,30	0,43	0,48
26,9	7/8	0,61	0,42	0,98	0,27	0,49	0,98	1,2	0,42	0,58	0,61
33,7	1 1/8	0,79	0,51	1,2	0,39	0,64	1,2	1,5	0,51	0,70	0,79
42,4	1 3/8	1,0	0,70	1,7	0,51	0,91	1,7	2,1	0,70	0,95	1,0
48,3	1 5/8	1,2	0,80	1,9	0,64	1,0	1,9	2,4	0,80	1,1	1,2
60,3	2 1/8	1,5	1,0	2,5	0,79	1,4	2,5	3,0	1,0	1,4	1,5
73	2 5/8	1,8	1,2	3,0	0,98	1,6	3,0	3,6	1,2	1,7	1,8
88,5	3 1/8	2,3	1,5	3,6	1,2	2,0	3,6	4,6	1,5	2,1	2,3
101,6	3 5/8	2,7	1,8	4,6	1,4	2,2	4,6	5,4	1,8	2,4	2,7
114,3	4 1/8	3,0	2,0	5,1	1,6	2,6	5,1	6,4	2,0	2,7	3,0
141,3	5 1/8	4,0	2,5	6,4	2,0	3,3	6,4	7,6	2,5	3,6	4,0
168,3	6 1/8	4,9	3,0	7,6	2,4	4,0	7,6	9,1	3,0	4,2	4,8
219,1	8 1/8	6,1	4,0	-	3,0	-	10,4	10,7	4,0	5,4	6,1
273	-	7,7	4,9	-	4,0	-	12,8	15,2	4,9	7,0	7,6
323,9	-	9,1	5,8	-	4,9	-	15,3	18,3	5,8	7,9	9,1
355,6	-	10,4	7,0	-	5,4	-	16,8	20,7	7,0	9,1	10,4
406,4	-	11,6	7,9	-	6,1	-	18,9	23,8	7,9	10,7	11,6
457,2	-	12,8	8,8	-	7,0	-	21,4	26,0	8,8	12,2	12,8
508	-	15,3	10,4	-	7,9	-	24,7	30,5	10,4	13,4	15,2
609,6	-	18,3	12,2	-	9,1	-	28,8	35,0	12,2	15,2	18,3

2.13. Pérdidas de carga en válvulas

TABLA 10. PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS VÁLVULAS EXPRESADAS EN LONGITUD EQUIVALENTE DE TUBO (m) *
Uniones con extremos roscados, soldados, embridados o cónicos

DIÁMETRO EXTERIOR		60°-Y			45°-Y		VÁLVULAS DE COMPUERTA		VÁLVULAS DE RETENCIÓN	
Acero	Cobre	ESFÉRICAS **		ANGULARES **		****		OSCILANTE ***		DE CIERRE VERTICAL (horizontal de retención)
		Diagrama	Diagrama	Diagrama	Diagrama	Diagrama	Diagrama	Diagrama	Diagrama	
17,2	1/2	5,1	2,4	1,8	1,8	0,18	1,5			
21,3	5/8	5,4	2,7	2,1	2,1	0,21	1,8			
26,9	7/8	6,6	3,3	2,7	2,7	0,27	2,4			
33,7	1 1/8	8,7	4,6	3,6	3,6	0,30	3,6			
42,4	1 3/8	11,4	6,1	4,6	4,6	0,46	4,2			
48,3	1 5/8	12,6	7,3	5,4	5,4	0,54	4,8			
60,3	2 1/8	16,5	9,1	7,3	7,3	0,70	6,1			
73	2 5/8	20,7	10,7	8,7	8,7	0,85	7,6			
88,5	3 1/8	25,2	13,1	10,7	10,7	0,98	9,1			
101,6	3 5/8	30,5	15,2	12,5	12,5	1,2	10,7			
114,3	4 1/8	36,8	17,7	14,6	14,6	1,4	12,2			
141,3	5 1/8	42,6	21,6	17,7	17,7	1,8	15,3			
168,3	6 1/8	52,0	26,8	21,4	21,4	2,1	18,3			
219,1	8 1/8	67,1	35,1	26,0	26,0	2,7	24,4			
273	-	85,4	44,2	32,0	32,0	3,6	30,5			
323,9	-	97,5	50,4	40,0	40,0	3,9	36,6			
355,6	-	109,9	56,5	47,4	47,4	4,6	41,2			
406,4	-	125,0	64,0	55,0	55,0	5,1	45,8			
457,2	-	140,1	73,1	61,1	61,1	5,7	50,4			
508	-	158,5	84,0	71,6	71,6	6,6	61,0			
609,6	-	185	97,5	81,0	81,0	7,5	73,2			

* Valores correspondientes a la posición de apertura total.
 ** Estos valores no se aplican a las válvulas de aguja.
 *** Estos valores se aplican también a las válvulas de retención rectas con obturador esférico.
 **** Para válvulas de retención inclinadas, cuyo diámetro de orificio es igual al del tubo, tomar los valores correspondientes a las válvulas con línea inclinada 60°.
 ***** Las válvulas de macho presentan la misma pérdida de carga, en la posición de apertura total, que las de paso directo.



2.14. Especificación compresores BOG

Valores típicos de caudal de entrada (m ³ /h)	Rendimiento Político Nominal, η_{poly}	Número máximo de impulsores por etapa
850 - 13600	0,76	10
10000 - 39000	0,77	9
34000 - 60000	0,77	9
51000 - 99000	0,77	8
85000 - 145000	0,78	8
125000 - 220000	0,78	8
185000 - 270000	0,78	7
235000 - 320000	0,78	7



2.15. Catálogo compresores de BOG

Specification

For more details of model selection, please [contact us](#).

Frame Class	Stroke		Crank Throw	Speed	Power		Capacity		Length		Width		Height		Weight	
	[mm]	[inch]			[rpm]	[kW]	[hp]	[Am3/h]	[scfm]	[mm]	[inch]	[mm]	[inch]	[mm]	[inch]	[ton]
18H/20H	180	7.1	2 (=B)	~750	~1800	~2400	~18000	~ 24500	4500	177	5000	196	4400	173	15	33069
	200	7.9	4 (=D)						5800	228					24	52910
23H	230	9.1	2 (=B)	~600	~2000	~2680	~20000	~ 27200	5000	196	6000	236	4400	173	20	44092
	(240)	9.4	4 (=D)						6500	256					39	85980
32S	(250)	9.8	2 (=B)	~514	~4000	~5360	~36000	~ 49000	6700	263	7200	283	5500	216	30	66138
	315	12.4	4 (=D)						9300	366					40	88184
32H	(250) 315	9.8 12.4	2 (=B)	~428	~6000	~8040	~42000	~ 57100	7200	283	7300	287	5500	216	36	79366
			4 (=D)						9100	358					63	138891
			6 (=F)						11000	433					95	209536

Top page of Reciprocating compressor(Process gas)	IHI Advantage	LNG BOG(Boil off gas) compressor
Applications	Catalog download	Contact us



2.16. Coeficientes de transmisión

Shell and tube exchangers		
Hot fluid	Cold fluid	U ($W/m^2 \cdot C$)
<i>Heat exchangers</i>		
Water	Water	800–1500
Organic solvents	Organic solvents	100–300
Light oils	Light oils	100–400
Heavy oils	Heavy oils	50–300
Gases	Gases	10–50
<i>Coolers</i>		
Organic solvents	Water	250–750
Light oils	Water	350–900
Heavy oils	Water	60–300
Gases	Water	20–300
Organic solvents	Brine	150–500
Water	Brine	600–1200
Gases	Brine	15–250
<i>Heaters</i>		
Steam	Water	1500–4000
Steam	Organic solvents	500–1000
Steam	Light oils	300–900
Steam	Heavy oils	60–450
Steam	Gases	30–300
Dowtherm	Heavy oils	50–300
Dowtherm	Gases	20–200
Flue gases	Steam	30–100
Flue	Hydrocarbon vapours	30–100
<i>Condensers</i>		
Aqueous vapours	Water	1000–1500
Organic vapours	Water	700–1000
Organics (some non-condensibles)	Water	500–700
Vacuum condensers	Water	200–500
<i>Vaporisers</i>		
Steam	Aqueous solutions	1000–1500
Steam	Light organics	900–1200
Steam	Heavy organics	600–900



2.17. Catálogo Intercambiadores

Tubular Heaters

Tubular Heaters	Sheath Materials	Max. Operating Temperatures		Typical Max. Watt Densities		Page
		°F	°C	W/in ²	W/cm ²	
WATROD™ Single-Ended Double-Ended	Alloy 800/840	1600	870	45	6.9	61
	Stainless steel	1200	650	60	9.3	
	Steel	750	400	45	6.9	
	Alloy 600	1800	982	45	6.9	
High-Temperature	Alloy 600	1800	982	45	6.9	87
MULTICOIL™	Alloy 800	1400	760	45	6.9	89
	304 stainless steel	1200	650	45	6.9	
	316 stainless steel	1200	650	45	6.9	
Milled Groove	304 stainless steel	1200	650	60	9.3	91
	Alloy 800	1600	870	60	9.3	
FIREBAR® Single-Ended Double-Ended	Alloy 800	1400	760	60	9.3	93
	304 stainless steel	1200	650	60	9.3	
FINBAR™ Single-Ended	304 stainless steel	1200	650	50	7.7	112

Tubular Heaters



Tubular Heaters

WATROD Single/Double-Ended Heaters

Specifications

Double-Ended



Single-Ended



Applications	Direct immersion Hot runner mold (manifold) Forced air Ovens Radiant Clamp-on	Vacuums Semiconductor	Platens Forced air Deicing antennas Plastic wrap cutting Seal bars
Watt Density W/in ² (W/cm ²)	Catalog P/N: Standard:	up to 60 (9.3) up to 120 (18.6)	Catalog P/N: Standard: up to 20 (3.1) up to 45 (6.9)
Element Diameters in. (mm) and Surface Area per Linear in ² (cm ²) Diameter Tolerance ± 0.005 in. (0.13 mm)	Dia. 0.210 0.260 0.315 0.375 0.430 0.475	in² 0.660 0.817 0.990 1.178 1.351 1.492	Dia. (mm) (5.33) (6.60) (8.00) (9.53) (10.92) (12.07) cm² (4.26) (5.27) (6.38) (7.60) (8.72) (9.63)
Sheath Materials Max. Operating Temperature	Standard: Alloy 800/840 316 SS Steel 304 SS Alloy 600	1600°F (870°C) 1200°F (650°C) 750°F (400°C) 1200°F (650°C) 1800°F (980°C)	Standard: Alloy 800/840 1200°F (650°C) 316 SS 1200°F (650°C) 304 SS 1200°F (650°C)
Sheath Length By Diameter in. (mm)	Dia. Standard: 0.210 0.260 0.315 0.375 0.430 0.475	Sheath Length (in.) 9 to 130 9 to 270 9 to 270 11 to 360 11 to 360 11 to 275	Dia. (mm) (5.33) (6.60) (8.00) (9.53) (10.92) (12.07) Sheath Length (mm) (230 to 3300) (230 to 6858) (230 to 6858) (280 to 9144) (280 to 9144) (280 to 6985)
Min. No-Heat Length in. (mm)	Sheath Length 11 to 20 21 to 50 51 to 80 81 to 110 111 to 140 141 to 170 171 to 200 201 & up	No-Heat Length 1 1 1/4 1 1/2 1 5/8 1 3/4 2 2 1/4 2 1/2	Sheath Length (280 to 510) (535 to 1270) (1295 to 2030) (2055 to 2795) (2820 to 3555) (3580 to 4320) (4345 to 5080) (5105 & up) No-Heat Length (25) (32) (38) (42) (44) (51) (57) (64)
Max. Voltage/Amperage By Dia. in. (mm)	Dia. 0.260 (6.6) 0.315 (8.0) 0.375 (9.53) 0.430 (10.92) 0.475 (12.07)	Volts 250VAC 480VAC 480VAC 600VAC 600VAC	Amperes 15 30 30 40 40
			Sheath Length 11 to 20 21 to 50 51 to 80 81 to 110 111 to 125
			No-Heat Length 1 1/2 1 3/4 2 1/8 2 5/8 2 5/8
			Sheath Length (280 to 5100) (533 to 1270) (1295 to 2030) (2055 to 2795) (2820 to 3175)
			No-Heat Length (38) (44) (54) (60) (67)
			% in. (13 mm) No-heat length on all blunt ends
	Dia. 0.375 (9.53) 0.430 (10.92) 0.475 (12.07)	Volts 480VAC 480VAC 480VAC	Amperes 15 30 30

2.18. Catálogo intercambiador 120-IC

Intercambiadores de placas desmontables Alfa Laval



	T2	M3	TL3	T5	M6	TL6
Tiempo de placa	T2B	M3	TL3B, TL3P	T5B, T5M	M6, M6M	TL6B
Bastidor	FG	FG	FG	FG	FM, FG, FD	FM, FG, FD
Altura (mm)	380	480	790	737	920	1264
Ancho (mm)	140	180	190	245	320	320
Caudal máx. (m ³ /h)	340	680	850	2380	2720	3400
Conexiones	Rosca 3/4"	Rosca 1"1/4	Roscar 1"1/4	Roscar 2"	Roscar 2" o bridar	Roscar 2" o bridar

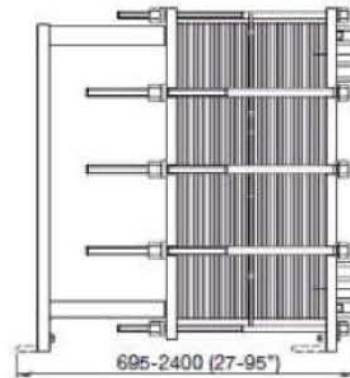
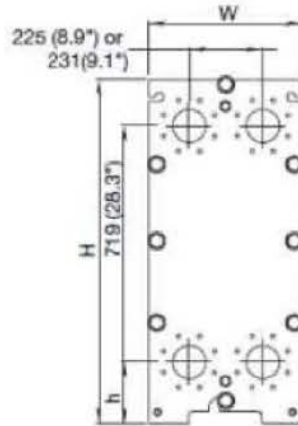


	T8	M10	TL10	M15	T20	TS20
Tiempo de placa	T8-B, T8-M	M10-B, M10-M	TL10B	M15	T20	TS20M
Bastidor	FM, FG	FM, FG, FD	FM, FG, FD	FM, FG, FD	FG, FS	FM, FG, FS
Altura (mm)	890	1084	1923	1885	2150	1405
Ancho (mm)	400	470	480	650	780	800
Caudal máx. (m ³ /h)	5100	8500	8500	18880	38250	32300
Conexiones	DN80	DN100	DN100	DN150	DN200	DN200

Disponibles modelos determinados con certificación AHRI (Instituto de Refrigeración y aire acondicionado) que certifica el rendimiento del equipo bajo determinadas circunstancias



Modelo M10-B y M10-M



Measurements mm (inch)

Type	H	W	h
M10-FM	1084 (42.7")	470 (18.5")	215 (8.5")
M10-FG	1084 (42.7")	470 (18.5")	215 (8.5")
M10-FD	981 (38.6")	470 (18.5")	131 (5.2")
M10-FD ASME	1084 (42.7")	470 (18.5")	215 (8.5")

The number of tightening bolts may vary depending on pressure rating.

Características:

- Bastidor:
Acero al carbono pintado.
- Placas:
Acero inoxidable AISI 316, Titanio.
- Conexiones:
Bridas 4".
- Temp. máxima de trabajo:
NBRB T^a < 95°C.
NBRP T^a < 140°C.
- Presión máxima de trabajo:
Bastidor FM -> 10 bar.
Bastidor FG -> 16 bar.
- Anchura de canal :
M10-B -> 2,6 mm.
M10-M -> 4,0 mm.

M10-BFM		M10-MFM	
AISI 316 con 0,4 mm de espesor		AISI 316 con 0,4 mm de espesor	
Juntas NBRB		Juntas NBRP	
Conexiones brida 4"		Conexiones brida 4"	
Certif. ALS		Certif. ALS	
Nº placas	PVP 2015	Nº placas	PVP 2015
20	9.178 €	20	9.397 €
21	9.242 €	21	9.473 €
22	9.307 €	22	9.548 €
23	9.371 €	23	9.624 €
24	9.436 €	24	9.830 €
25	9.500 €	25	9.906 €
26	9.565 €	26	9.981 €
27	9.629 €	27	10.057 €
28	9.694 €	28	10.132 €
29	9.758 €	29	10.208 €
30	9.823 €	30	10.284 €
31	9.888 €	31	10.359 €
32	9.952 €	32	10.435 €
33	10.149 €	33	10.511 €
34	10.214 €	34	10.586 €
35	10.278 €	35	10.662 €
36	10.343 €	36	10.737 €
37	10.407 €	37	10.813 €
38	10.472 €	38	10.889 €
39	10.536 €	39	10.964 €
40	10.601 €	40	10.040 €
41	10.665 €	41	11.116 €
42	10.730 €	42	11.191 €
43	10.795 €	43	11.267 €
44	10.859 €	44	11.607 €
45	10.924 €	45	11.683 €
46	10.988 €	46	11.758 €
47	11.053 €	47	11.834 €
48	11.117 €	48	11.909 €
49	11.182 €	49	11.985 €
50	11.246 €	50	12.061 €



2.19. Catálogo quemadores

Mixtos

2 etapas mixtos gas natural y gasóleo

VECTRON® GL04...

Modelo	Potencia (kW)	Diámetro rampa (pulgadas)	Tobera	Código del quemador completo	P.V.R. (euros)
VGL04.350	95...350	1" 1/4	KN	QU35GLN004**	4.850,00
			KL	QU35GLL004**	4.980,00
VGL04.350	95...350	3/4"	KN	QU35GLN304**	4.750,00
			KL	QU35GLL304**	4.850,00
VGL04.440	100...190	1" 1/4	KN	QU44GLN004**	5.000,00
			KL	QU44GLL004**	5.100,00
VGL04.440	100...190	3/4"	KN	QU44GLN304**	4.900,00
			KL	QU44GLL304**	5.000,00

** Bajo pedido

Mixto 2 etapas progresivo neumático en gas / 3 etapas en gasóleo

VECTRON® GL05...

Modelo	Potencia (kW)	Diámetro rampa (pulgadas)	Tobera	Código del quemador completo	P.V.R. (euros)
VGL05.700 DUO PLUS	200...750	DN 50	KN	QU70GLP515	9.400,00
			KL	QU70GLP525	9.600,00
			KM	QU70GLP535	9.500,00
VGL05.700 DUO PLUS	200...750	2"	KN	QU70GLP215	8.200,00
			KL	QU70GLP225	8.400,00
			KM	QU70GLP235	8.300,00
VGL05.700 DUO PLUS	200...750	1" 1/4	KN	QU70GLP015	7.900,00
			KL	QU70GLP025	8.100,00
			KM	QU70GLP035	8.000,00
VGL05.700 DUO PLUS	200...750	3/4"	KN	QU70GLP315	7.500,00
			KL	QU70GLP325	7.700,00
			KM	QU70GLP335	7.600,00
VGL05.1000 DUO PLUS	240...1000	DN 65	KN	QU10GLP615	11.200,00
			KL	QU10GLP625	11.400,00
			KM	QU10GLP635	11.500,00
VGL05.1000 DUO PLUS	240...1000	DN 50	KN	QU10GLP515	9.800,00
			KL	QU10GLP525	10.000,00
			KM	QU10GLP535	9.900,00
VGL05.1000 DUO PLUS	240...1000	2"	KN	QU10GLP215	8.600,00
			KL	QU10GLP225	8.800,00
			KM	QU10GLP235	8.700,00
VGL05.1000 DUO PLUS	240...1000	1" 1/4	KN	QU10GLP015	8.300,00
			KL	QU10GLP025	8.500,00
			KM	QU10GLP035	8.400,00
VGL05.1000 DUO PLUS	240...1000	3/4"	KN	QU10GLP315	7.950,00
			KL	QU10GLP325	8.150,00
			KM	QU10GLP335	8.100,00



VECTRON® GL06...

Modelo	Potencia (kW)	Diámetro rampa (pulgadas)	Tobera	Código del quemador completo	P.V.R. (euros)
VGL06.1600 DUO PLUS	300...1600	DN 80	KN	QU16GLP816*	14.400,00
			KL	QU16GLP826*	14.600,00
			KM	QU16GLP836*	14.500,00
VGL06.1600 DUO PLUS	300...1600	DN 65	KN	QU16GLP616*	13.800,00
			KL	QU16GLP626*	14.000,00
			KM	QU16GLP636*	13.900,00
VGL06.1600 DUO PLUS	300...1600	DN 50	KN	QU16GLP516*	12.500,00
			KL	QU16GLP526*	12.700,00
			KM	QU16GLP536*	12.600,00
VGL06.1600 DUO PLUS	300...1600	2"	KN	QU16GLP216*	11.200,00
			KL	QU16GLP226*	11.400,00
			KM	QU16GLP236*	11.300,00
VGL06.1600 DUO PLUS	300...1600	1" 1/4	KN	QU16GLP016*	10.900,00
			KL	QU16GLP026*	11.100,00
			KM	QU16GLP036*	11.000,00
VGL06.2100 DUO PLUS	480...2050	DN 80	KN	QU21GLP816*	15.200,00
			KL	QU21GLP826*	15.400,00
			KM	QU21GLP836*	15.300,00
VGL06.2100 DUO PLUS	480...2050	DN 65	KN	QU21GLP616*	14.600,00
			KL	QU21GLP626*	14.800,00
			KM	QU21GLP636*	14.700,00
VGL06.2100 DUO PLUS	480...2050	DN 50	KN	QU21GLP516*	13.300,00
			KL	QU21GLP526*	13.500,00
			KM	QU21GLP536*	13.400,00
VGL06.2100 DUO PLUS	480...2050	2"	KN	QU21GLP216*	12.000,00
			KL	QU21GLP226*	12.200,00
			KM	QU21GLP236*	12.100,00
VGL06.2100 DUO PLUS	480...2050	1" 1/4	KN	QU21GLP016*	11.650,00
			KL	QU21GLP026*	11.850,00
			KM	QU21GLP036*	11.750,00

* Control de estanqueidad incluido de serie para todas las rampas de gas VG06. Control de estanqueidad para rampas modelos VG02 a VG05 (cód. 2150.027): 600€
 Tubería de conexión para montar el control de estanqueidad en la rampa de gas DN80, 65, 50 (cód. 2150.028): 172 €





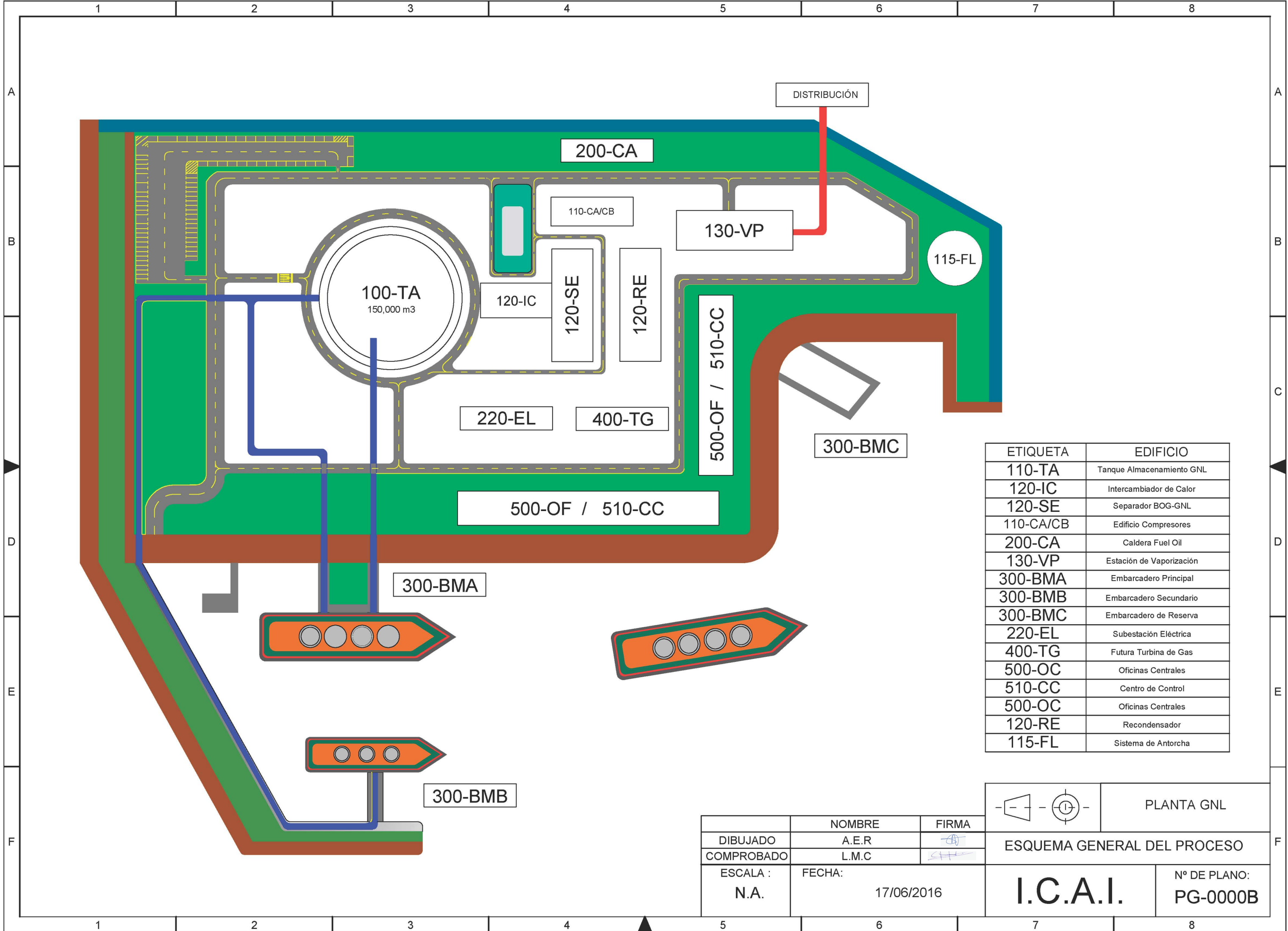
PARTE III. ESTADO DE MEDICIONES. PLANOS





<i>Ficha Técnica: Listado de P&ID</i> <i>Autor: Alberto Escobar Rico</i> <i>Fecha: 21 de mayo de 2016</i>	PROYECTO-TÉCNICO ECONOMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN		
		NOMBRE DEL P&ID	Nº P&ID
	LEYENDA SIMBOLOGÍA P&ID	PG-0000A	245
	PLOT PLAN DE LA PLANTA	PG-0000B	247
	DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA	PG-0001	249
	TANQUE DE ALMACENAMIENTO 100-TA	PG-0002A	251
	SISTEMA DE INERTIZADO 100-TA	PG-0002B	253
	INTERCAMBIADOR 120-IC & SEPARADOR 120-RE	PG-0003	255
	RECONDESADOR 120-RE	PG-0004	257
	SISTEMA DE VAPORIZACIÓN 130-VP	PG-0005	259
	COMPRESORES DE BOG 110-CA/CB & 120-CC	PG-0006	261
	SISTEMA DE LUBICACIÓN & ENFRIAMIENTO DE 110-CA/CB	PG-0007	263
	BOMBAS IN-TANK 110-BA/BB/BC/BD/BE/BF	PG-0008	265
	SISTEMA DE ANTORCHA 115-FL	PG-0009	267
	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE NITRÓGENO	PG-0010	269



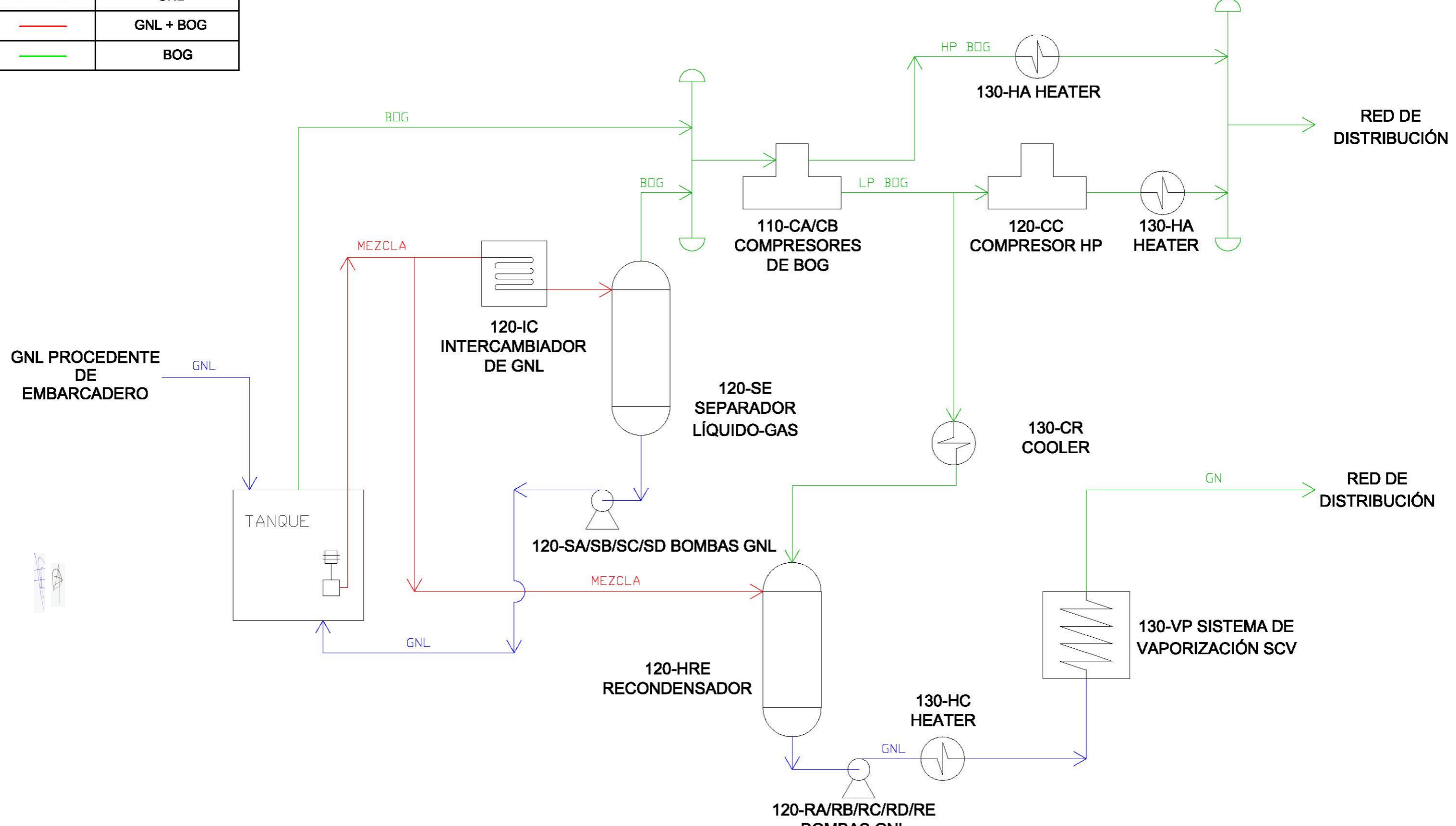


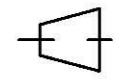
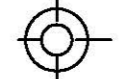
ETIQUETA	EDIFICIO
110-TA	Tanque Almacenamiento GNL
120-IC	Intercambiador de Calor
120-SE	Separador BOG-GNL
110-CA/CB	Edificio Compresores
200-CA	Caldera Fuel Oil
130-VP	Estación de Vaporización
300-BMA	Embarcadero Principal
300-BMB	Embarcadero Secundario
300-BMC	Embarcadero de Reserva
220-EL	Subestación Eléctrica
400-TG	Futura Turbina de Gas
500-OC	Oficinas Centrales
510-CC	Centro de Control
500-OC	Oficinas Centrales
120-RE	Recondensador
115-FL	Sistema de Antorcha

		PLANTA GNL
ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO		
I.C.A.I.		Nº DE PLANO: PG-0000B

	NOMBRE	FIRMA
DIBUJADO	A.E.R	
COMPROBADO	L.M.C	
ESCALA :	FECHA:	
N.A.	17/06/2016	

LEYENDA DEL PLANO	
Tipo de línea	Fluido por la línea
	GNL
	GNL + BOG
	BOG



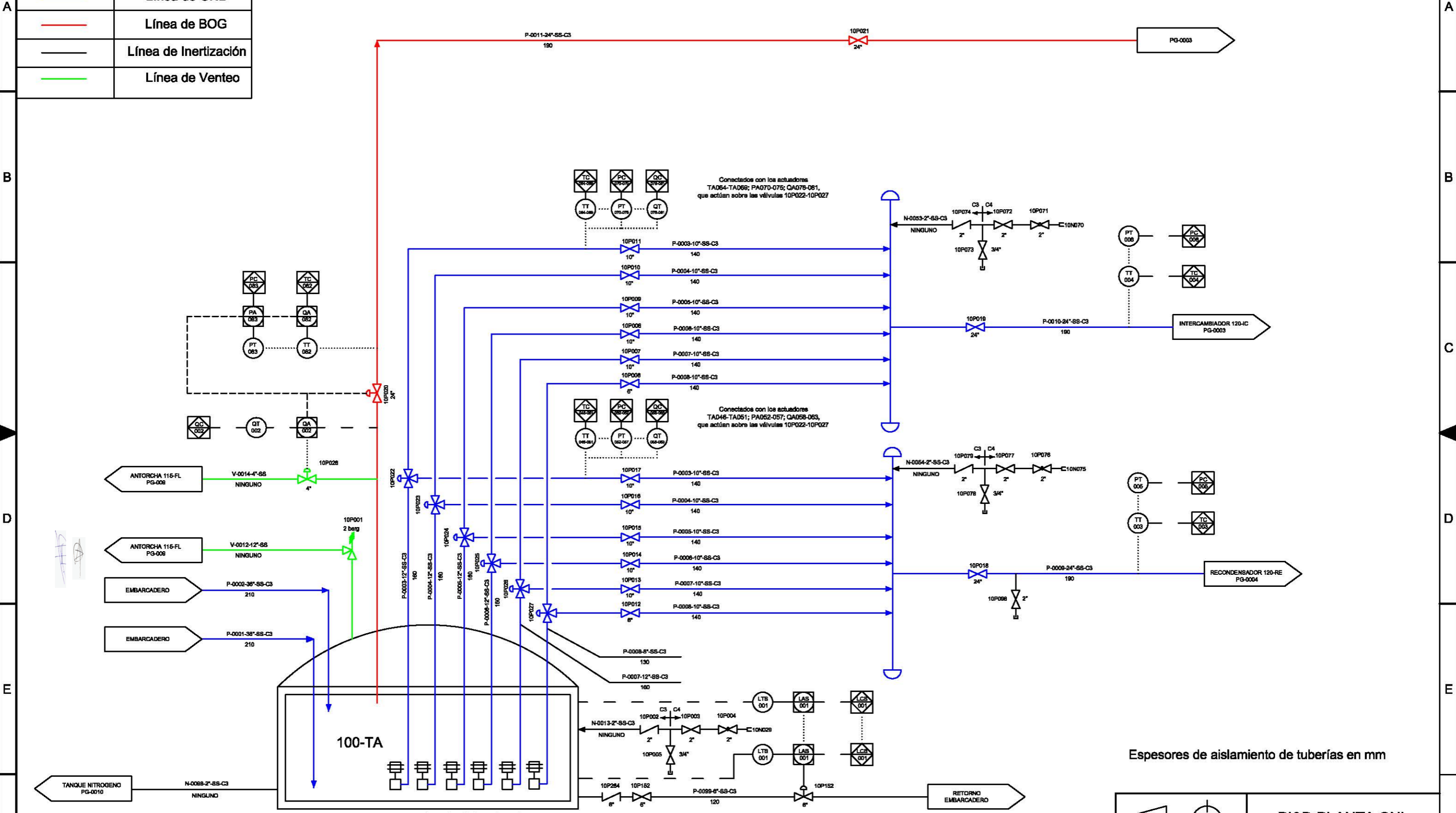
				PI&D PLANTA GNL
DIBUJADO	NOMBRE	FIRMA	DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA	
COMPROBADO	A.E.R.			
	L.M.C.			
ESCALA :	FECHA:			Nº DE PLANO:
N.A.	17/06/2016	I.C.A.I.		PG-0001

LEYENDA DEL PLANO	
Tipo de línea	Fluido por la línea
	Línea de GNL
	Línea de BOG
	Línea de Inertización
	Línea de Venteo

100-TA TANQUE DE GNL
 Capacidad: 150000 m3
 Temp. Diseño : -186°C ; 34°C
 Presión Diseño: 190 mbarg

110-BA/BB/BC/BD/BE
 BOMBAS SUMERGIDAS GNL
 Caudal: 2200 m3/h
 Potencia (ABS/MOTOR): 120 kW/ 170 kW

110-BF
 BOMBA SUMERGIDA GNL
 Caudal: 630 m3/h
 Potencia (ABS/MOTOR): 105 kW/ 132.5 kW



Conectados con los actuadores
 TAD54-TAD65; PA070-075; QA075-081,
 que actúan sobre las válvulas 10P022-10P027

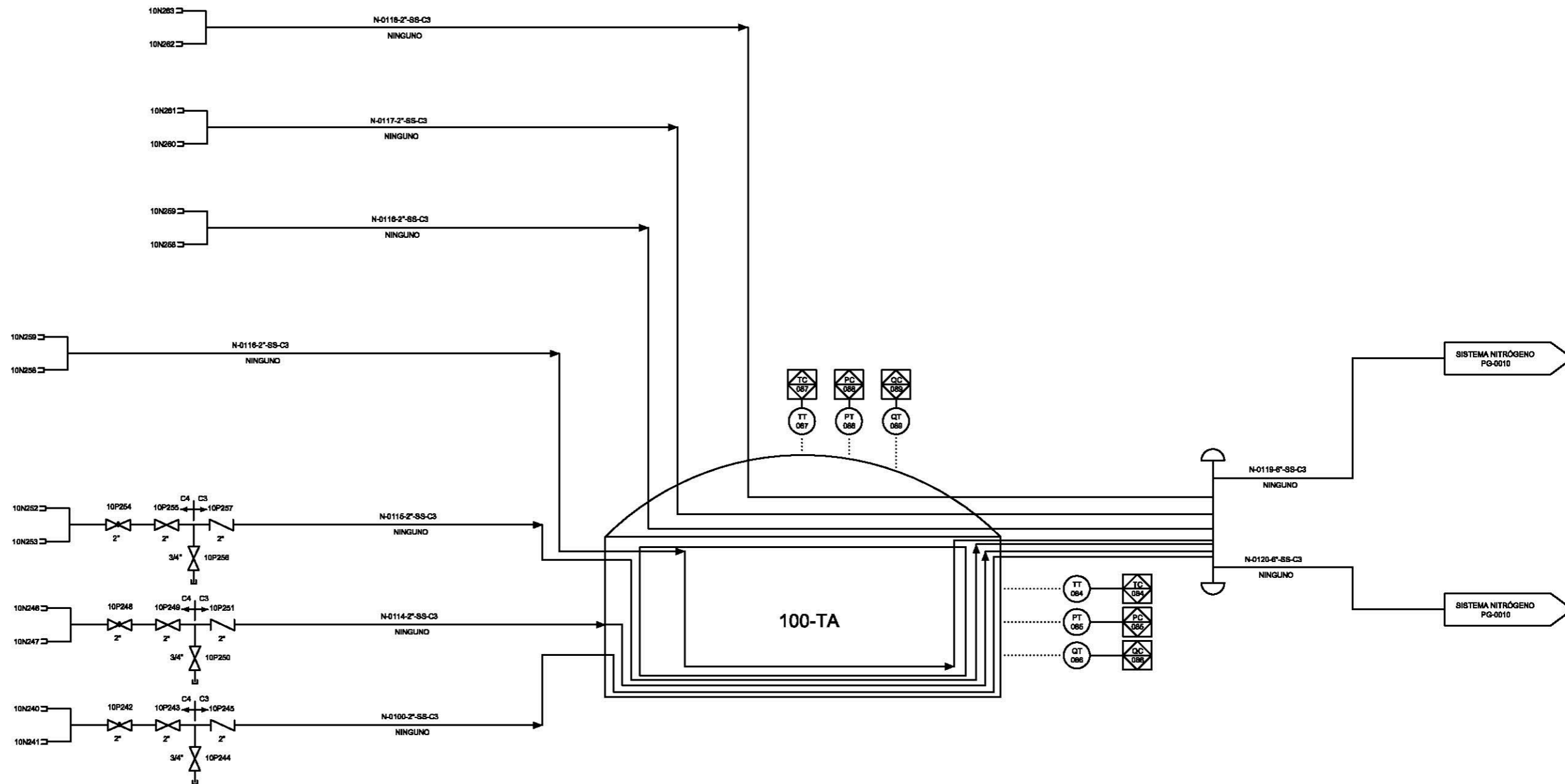
Conectados con los actuadores
 TAD46-TAD51; PA052-057; QA058-063,
 que actúan sobre las válvulas 10P022-10P027

Espesores de aislamiento de tuberías en mm

	PI&D PLANTA GNL	
TANQUE DE ALMACENAMIENTO 100-TA		Nº DE PLANO: PG-0002A
I.C.A.I.		

	NOMBRE	FIRMA
DIBUJADO	A.E.R	
COMPROBADO	L.M.C	
ESCALA : N.A.	FECHA: 17/06/2016	

100-TA TANQUE DE GNL
 Capacidad: 150000 m3
 Temp. Diseño : -186°C ; 34°C
 Presión Diseño: 190 mbarg



Espesores de aislamiento de tuberías en mm

	NOMBRE	FIRMA
DIBUJADO	A.E.R	
COMPROBADO	L.M.C	
ESCALA :	FECHA:	
N.A.	17/06/2016	

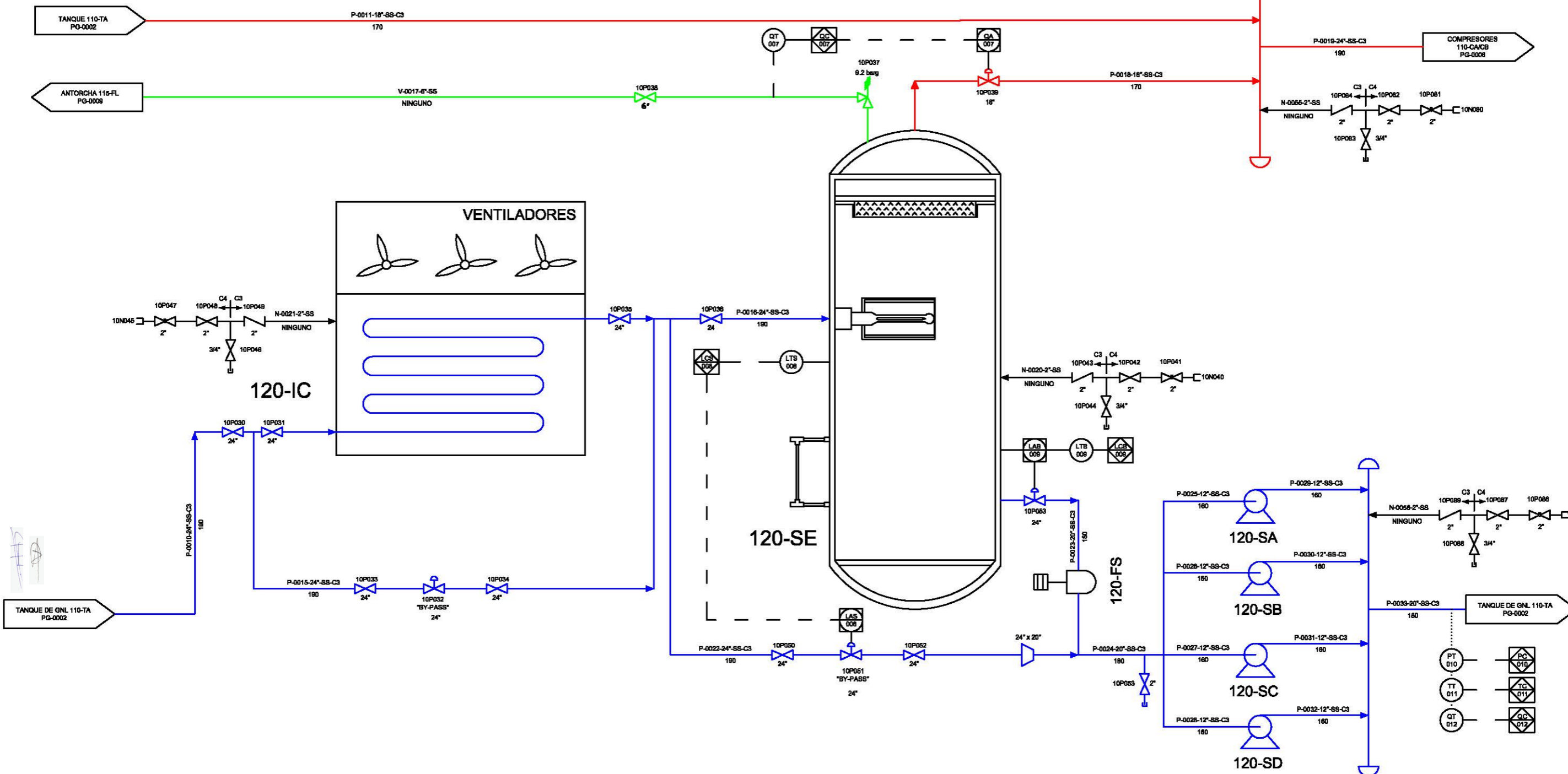
	PI&D PLANTA GNL
SISTEMA DE INERTIZADO 100-TA	
I.C.A.I.	Nº DE PLANO: PG-0002B

120-IC INTERCAMBIADOR
 Caudal: 8140 m³/h
 Duty : 12,54 MW
 Presión Diseño: 9 barg
 Temperatura Entrada: -160°C
 Temperatura Salida: -155°C

120-SE SEPARADOR
 Caudal: 8140 m³/h
 Velocidad : 5,34 m/s
 Presión Diseño: 9 barg
 Caudal BOG: 2442 m³/h
 Caudal GNL: 5698 m³/h

120-FS FILTRO GNL

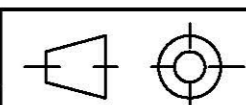
120-SA/SB/SC/SD BOMBAS RECIRCULACIÓN
 Caudal: 1890 m³/h
 Presión Diseño: 9 barg
 Potencia: 150 kW



LEYENDA DEL PLANO

Tipo de línea	Fluido por la línea
	Línea de GNL
	Línea de BOG
	Línea de Inertización
	Línea de Venteo

Espesores de aislamiento de tuberías en mm



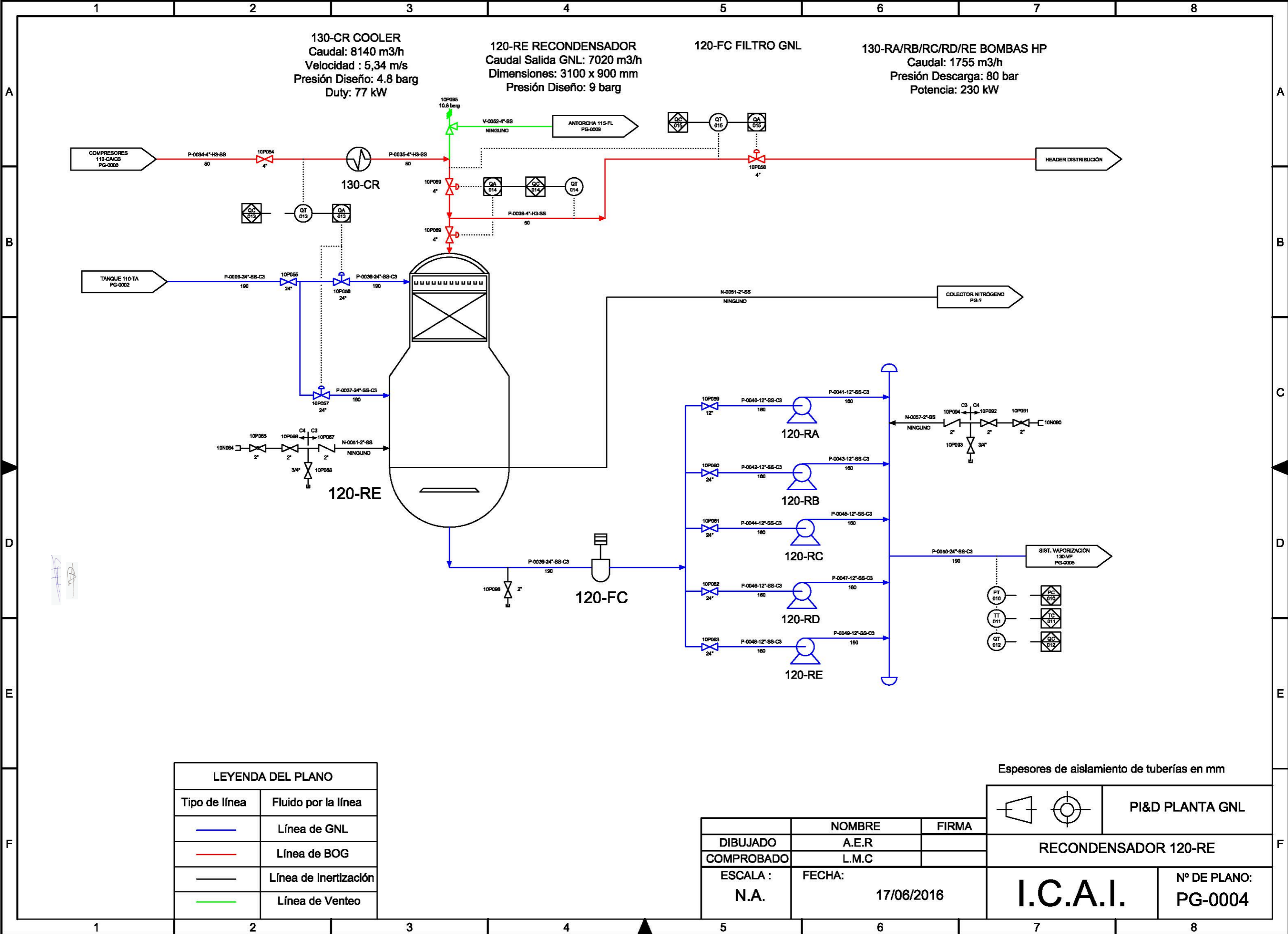
PI&D PLANTA GNL

DIBUJADO	NOMBRE	FIRMA
COMPROBADO	A.E.R	
	L.M.C	
ESCALA :	FECHA:	
N.A.	17/06/2016	

INTERCAMBIADOR 120-IC & SEPARADOR 120-RE

I.C.A.I.

Nº DE PLANO:
PG-0003



130-CR COOLER
 Caudal: 8140 m³/h
 Velocidad : 5,34 m/s
 Presión Diseño: 4.8 barg
 Duty: 77 kW

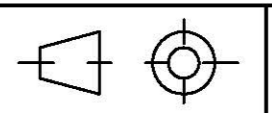
120-RE RECONDENSADOR
 Caudal Salida GNL: 7020 m³/h
 Dimensiones: 3100 x 900 mm
 Presión Diseño: 9 barg

120-FC FILTRO GNL

130-RA/RB/RC/RD/RE BOMBAS HP
 Caudal: 1755 m³/h
 Presión Descarga: 80 bar
 Potencia: 230 kW

LEYENDA DEL PLANO	
Tipo de línea	Fluido por la línea
	Línea de GNL
	Línea de BOG
	Línea de Inertización
	Línea de Venteo

Espesores de aislamiento de tuberías en mm



PI&D PLANTA GNL

	NOMBRE	FIRMA
DIBUJADO	A.E.R	
COMPROBADO	L.M.C	
ESCALA :	FECHA:	
N.A.	17/06/2016	

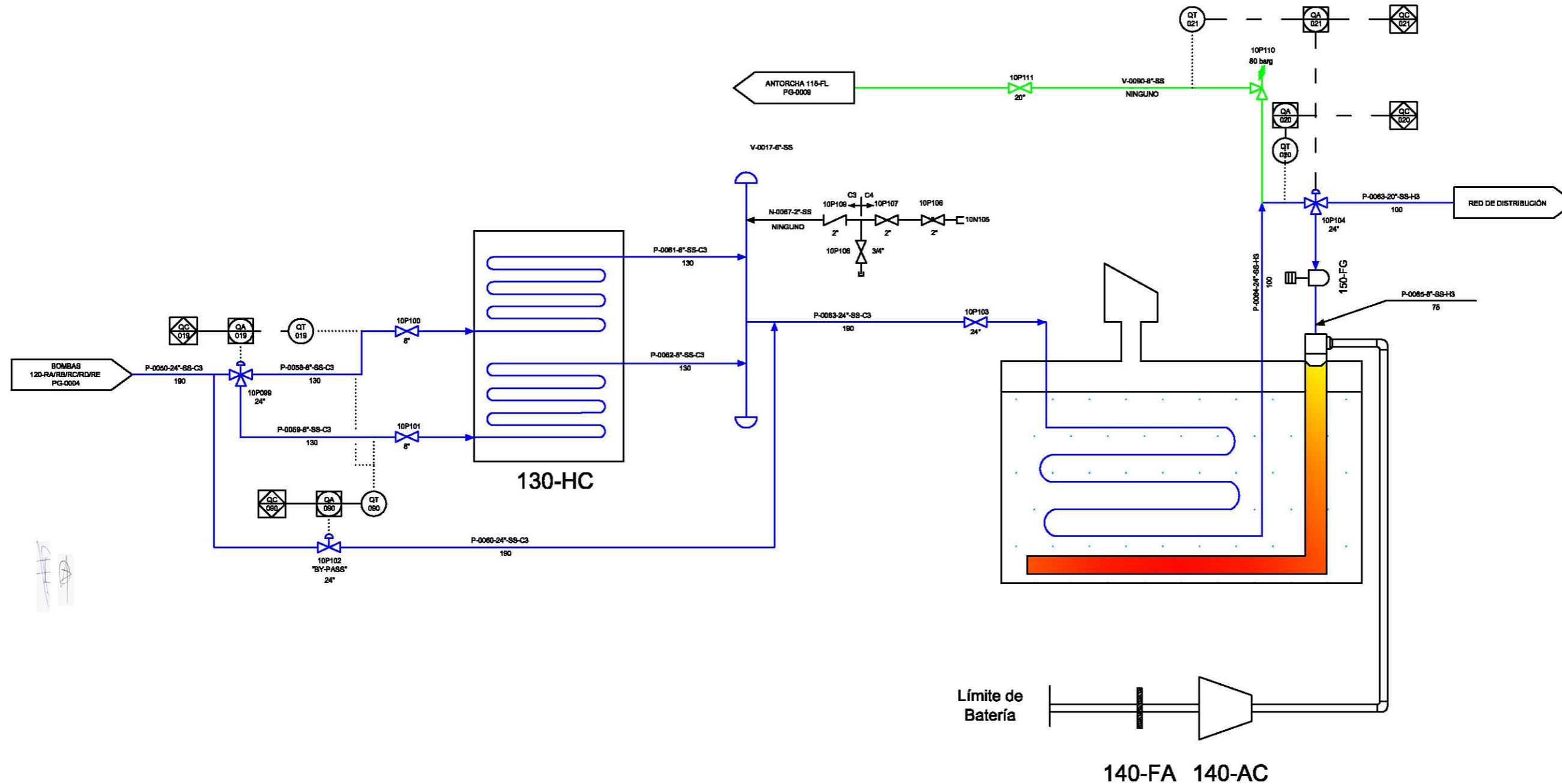
RECONDENSADOR 120-RE	
I.C.A.I.	Nº DE PLANO: PG-0004

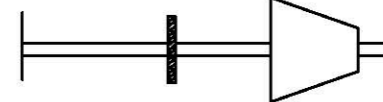
130-HC INTERCAMBIADOR/PRECALENTADOR
 Caudal: 7020 m3/h
 Duty : 2 MW
 Presión Diseño: 70 barg
 Temperatura Entrada GNL: -158°C
 Temperatura Salida GNL: -155°C



130-VP SISTEMA VAPORIZACIÓN
 Caudal: 7020 m3/h
 Duty: 82 MW
 Presión Diseño: 70 barg
 Temperatura Entrada GNL: -130°C
 Temperatura Salida Gas Natural: 5°C

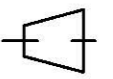
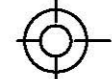
150-FG FILTRO GNL
 140-FA FILTRO AIRE

140-AC COMPRESOR DE AIRE
 Caudal: 5880 m3/h
 Presión Descarga: 49 barg
 Potencia: 2300 kW



Límite de Bateria 
 140-FA 140-AC

LEYENDA DEL PLANO	
Tipo de línea	Fluido por la línea
	Línea de GNL
	Línea de BOG
	Línea de Inertización
	Línea de Venteo

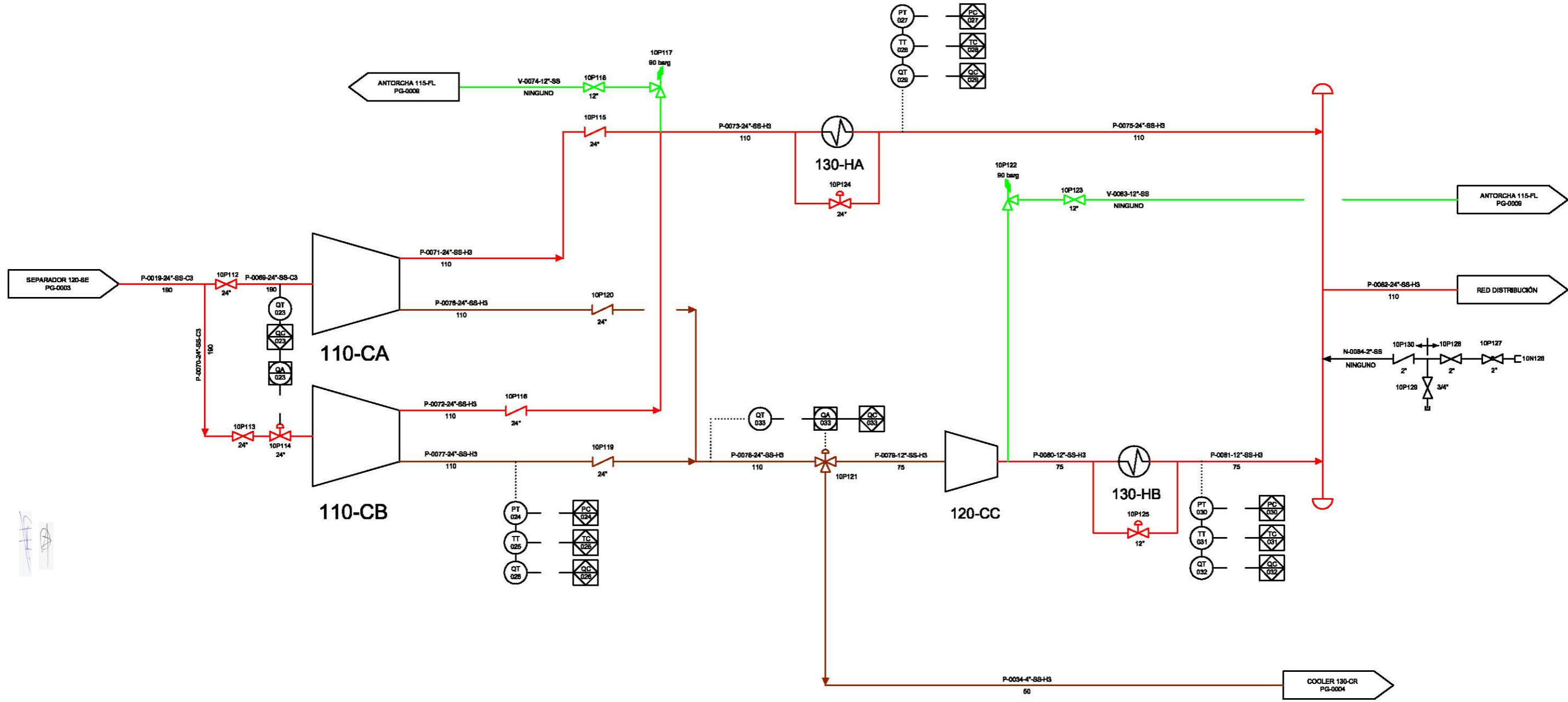
Espesores de aislamiento de tuberías en mm		PI&D PLANTA GNL	
		SISTEMA DE VAPORIZACIÓN 130-VP	
DIBUJADO A.E.R.		Nº DE PLANO: PG-0005	
COMPROBADO L.M.C.		I.C.A.I.	
ESCALA : N.A.		FECHA: 17/06/2016	

110-CA/CB COMPRESORES BOG		
	MODO HP	MODO LP
Caudal:	6600 m3/h	6600 m3/h
Potencia :	2400 kW	175 kW
Presión Descarga:	84 barg	3.8 barg
Temperatura Entrada:	-155°C	-155°C
Temperatura Salida:	178°C	-88°C

130-HA HEATER
 Caudal: 6600 m3/h
 Velocidad : 5,34 m/s
 Presión Diseño: 84 barg
 Duty: 0.5 kW
 Temperatura Salida: 180°C

120-CC COMPRESOR BOG
 Caudal: 2200 m3/h
 Velocidad : 5,34 m/s
 Presión Descarga: 84 barg
 Temperatura Entrada: -155°C
 Temperatura Salida: 178°C

130-HB HEATER
 Caudal: 2200 m3/h
 Velocidad : 5,34 m/s
 Presión Diseño: 84 barg
 Duty: 4.3 kW
 Temperatura Salida: 180°C



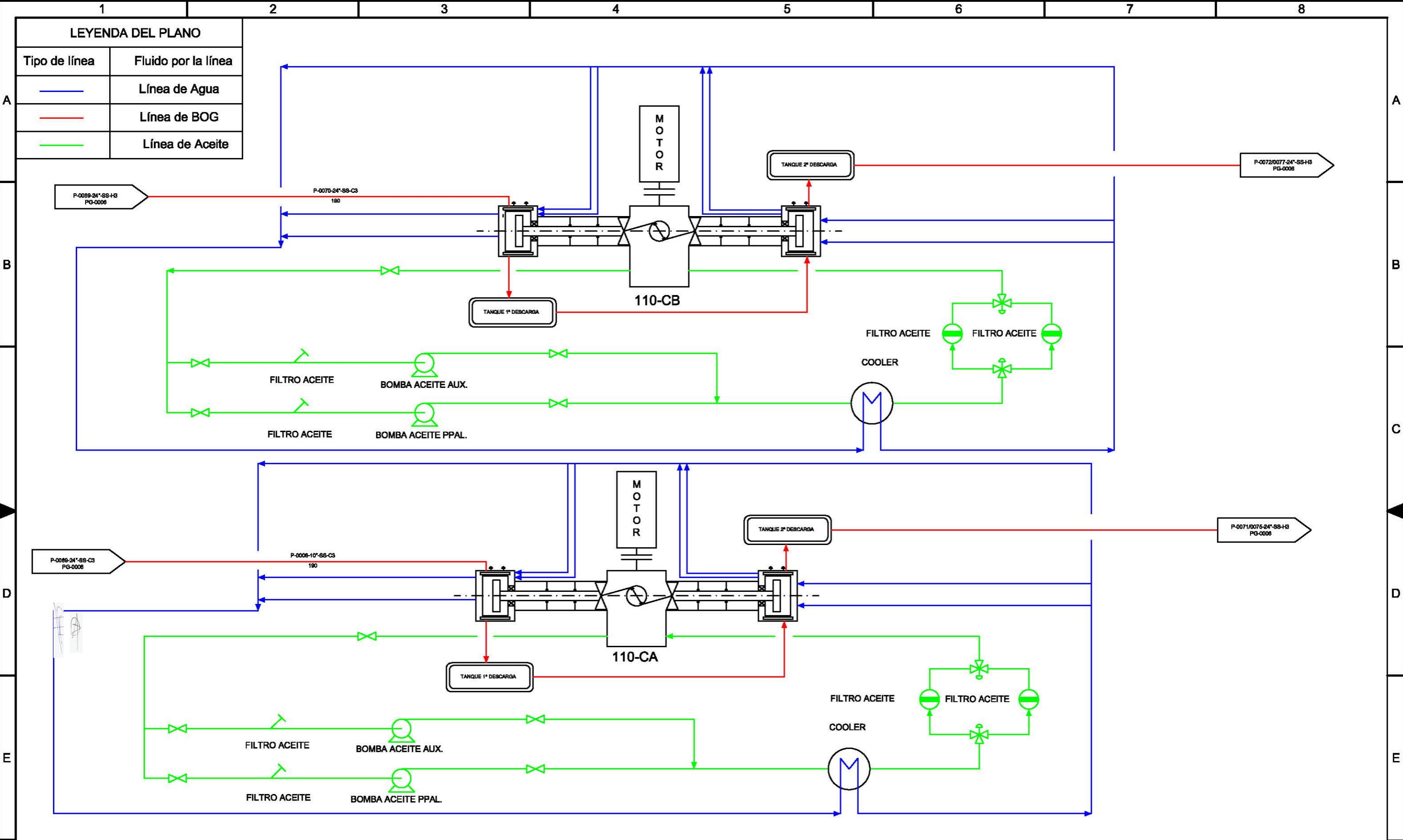
LEYENDA DEL PLANO	
Tipo de línea	Fluido por la línea
	Línea de LP BOG
	Línea de HP BOG
	Línea de Inertización
	Línea de Venteo

Espesores de aislamiento de tuberías en mm

		PI&D PLANTA GNL
SISTEMA COMPRESORES 110-CA/CB 120-CC		
I.C.A.I.		Nº DE PLANO: PG-0006

	NOMBRE	FIRMA
DIBUJADO	A.E.R	
COMPROBADO	L.M.C	
ESCALA : N.A.	FECHA: 17/06/2016	

LEYENDA DEL PLANO	
Tipo de línea	Fluido por la línea
	Línea de Agua
	Línea de BOG
	Línea de Aceite

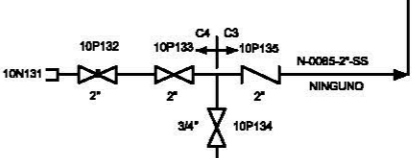
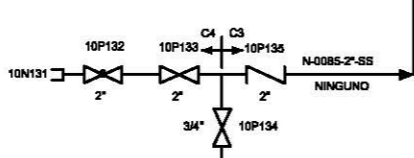
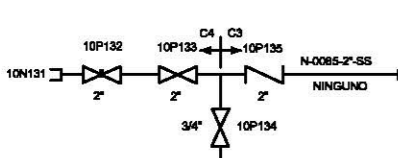
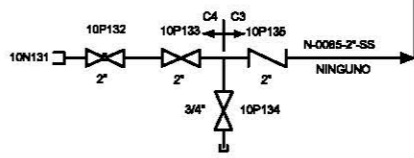
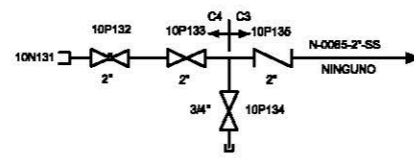
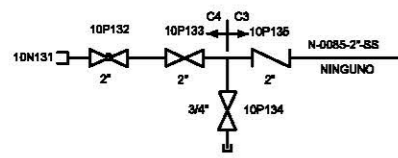
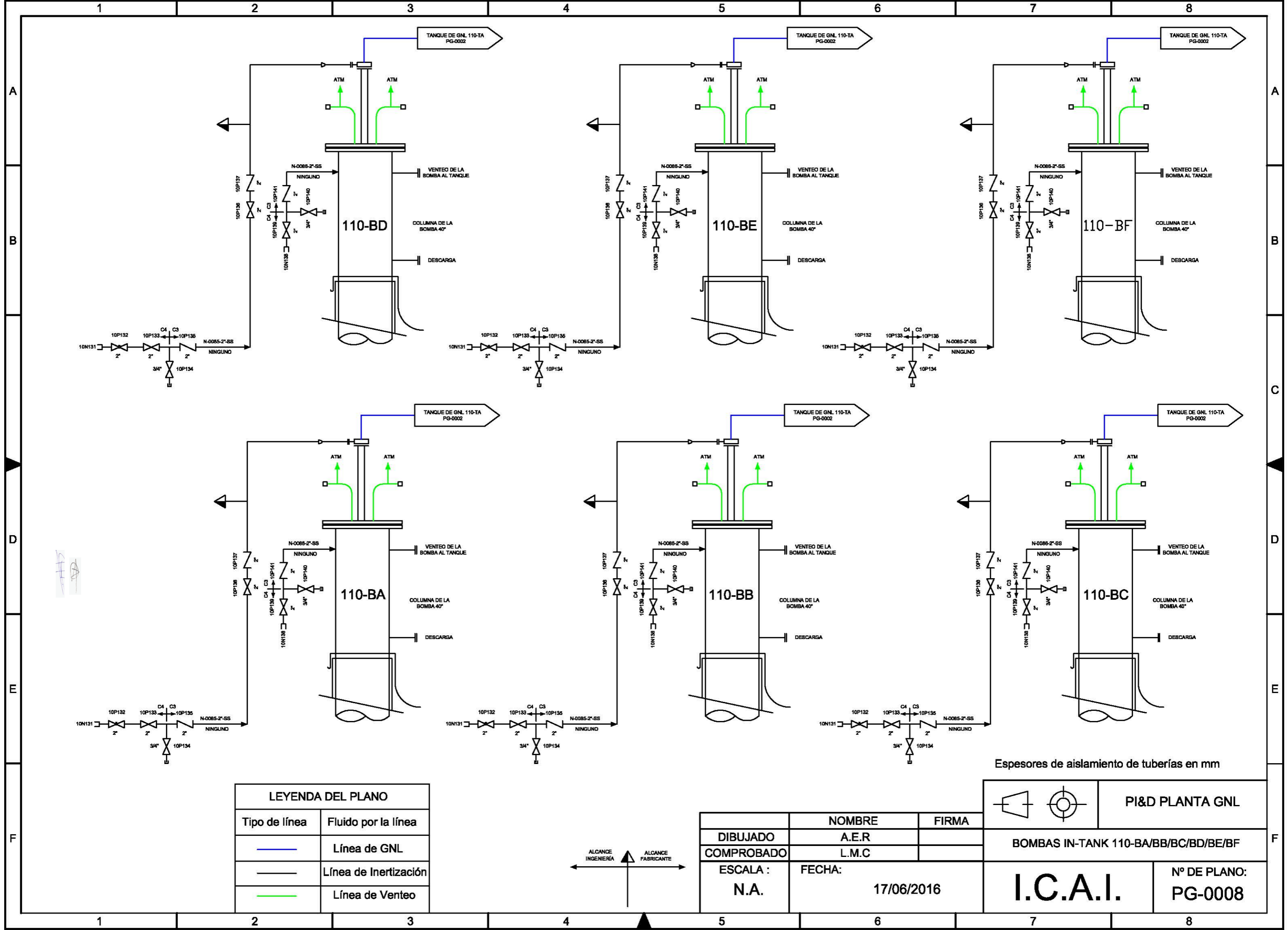


		PI&D PLANTA GNL	
SISTEMA DE LUBRICACIÓN & ENFRIAMIENTO DE 110-CA/CB		Nº DE PLANO: PG-0007	

DIBUJADO	NOMBRE	FIRMA
COMPROBADO	A.E.R	
	L.M.C	
ESCALA :	FECHA:	
N.A.	17/06/2016	

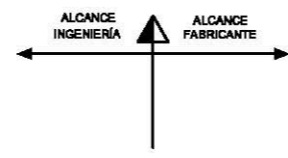
F

F



Espesores de aislamiento de tuberías en mm

LEYENDA DEL PLANO	
Tipo de línea	Fluido por la línea
	Línea de GNL
	Línea de Inertización
	Línea de Venteo



	NOMBRE	FIRMA
DIBUJADO	A.E.R	
COMPROBADO	L.M.C	
ESCALA :	FECHA: 17/06/2016	
	N.A.	

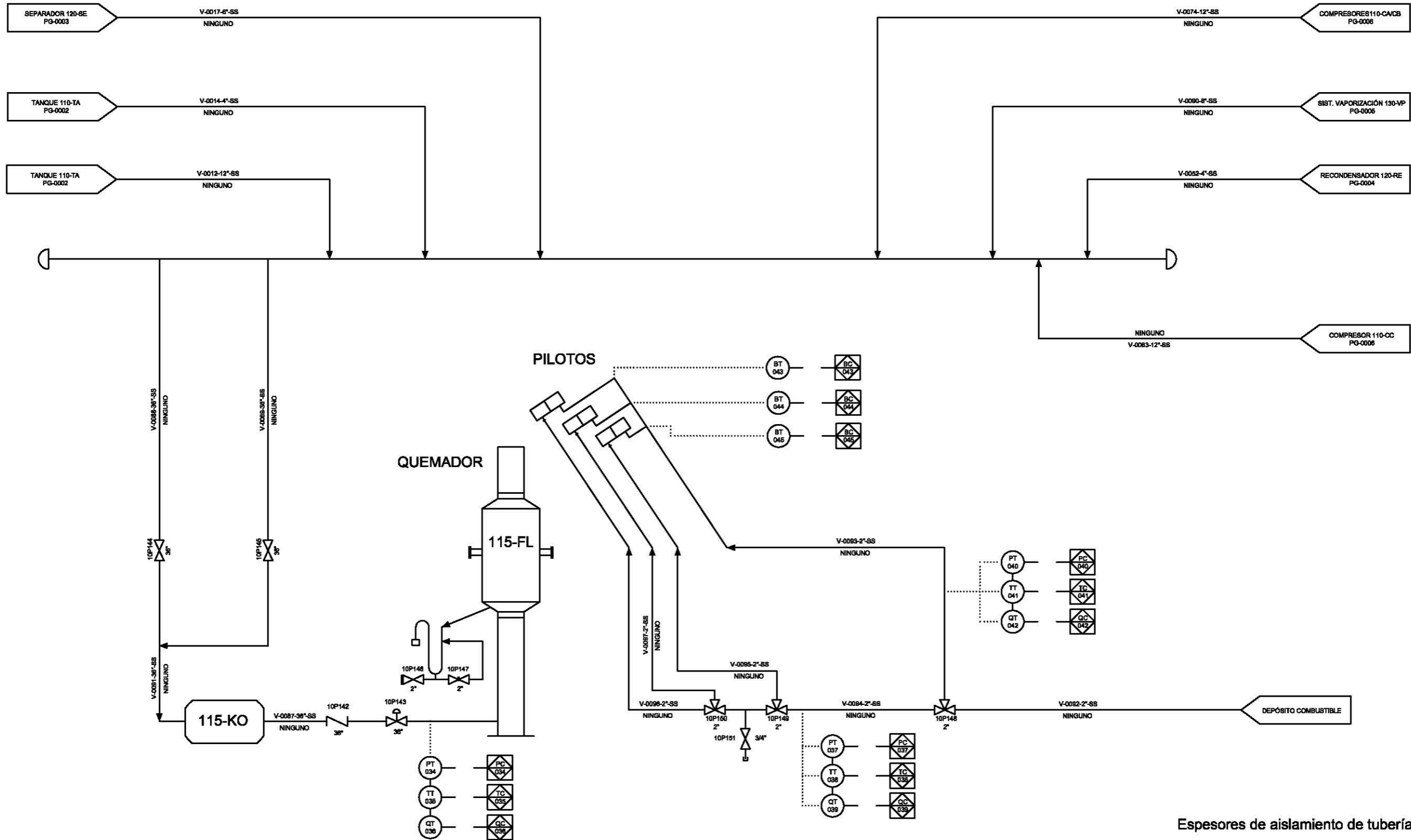
PI&D PLANTA GNL	
BOMBAS IN-TANK 110-BA/BB/BC/BD/BE/BF	
I.C.A.I.	Nº DE PLANO: PG-0008

KNOCK-OUT DRUM 115-KO

Capacidad : 10000 m3
 Longitud: 19000 mm
 Diámetro: 9000 mm

SISTEMA DE ANTORCHA 115-FL

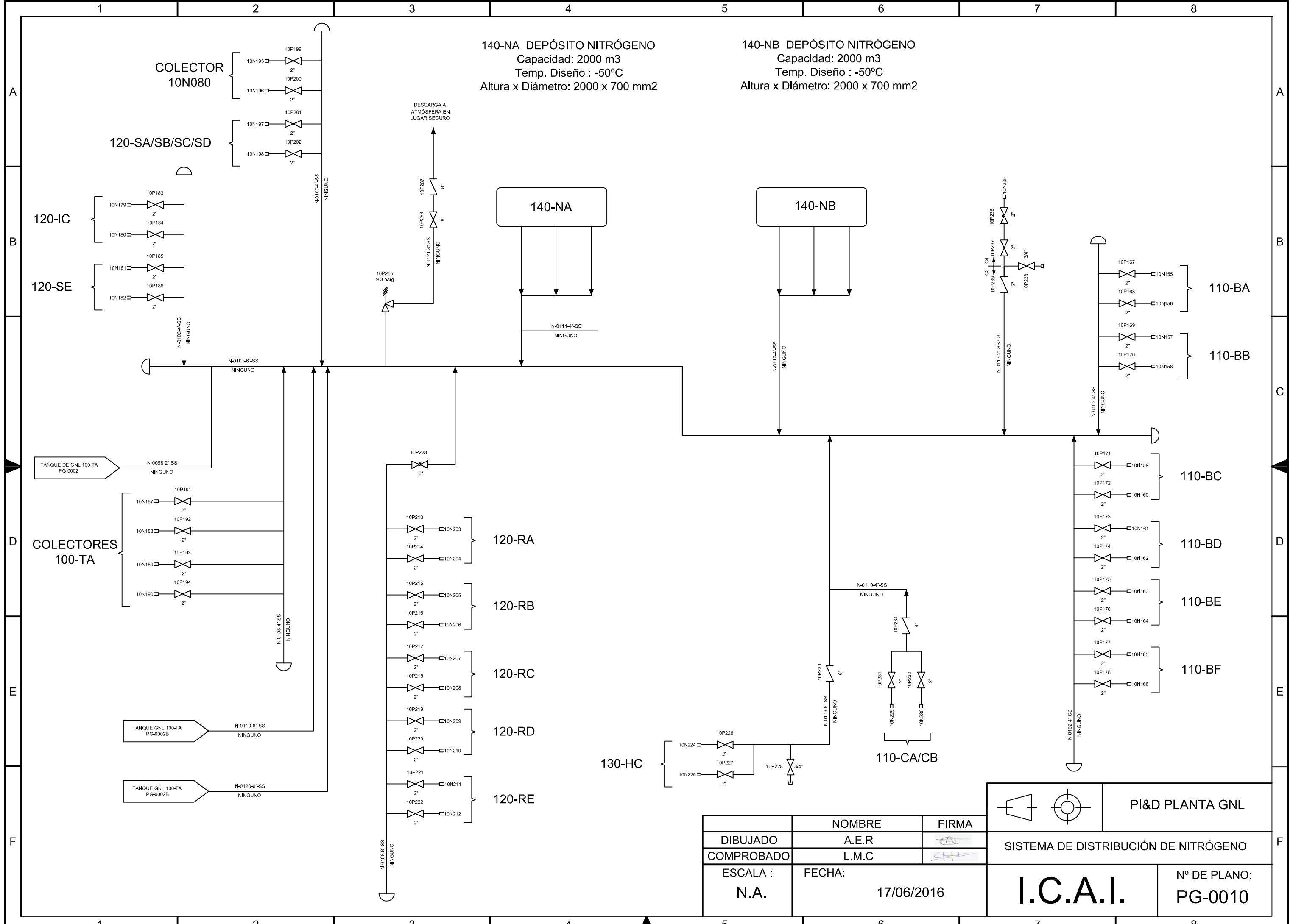
Caudal : 10000 m3/h
 Altura: 40000 mm
 Diámetro: 762 mm
 Presión Diseño: 0.1 barg



Espesores de aislamiento de tuberías en mm

		PI&D PLANTA GNL	
SISTEMA DE ANTORCHA 115-FL			
I.C.A.I.		Nº DE PLANO: PG-0009	

	NOMBRE	FIRMA
DIBUJADO	A.E.R	
COMPROBADO	L.M.C	
ESCALA :	FECHA:	
N.A.	17/06/2016	



140-NA DEPÓSITO NITRÓGENO
 Capacidad: 2000 m3
 Temp. Diseño : -50°C
 Altura x Diámetro: 2000 x 700 mm2

140-NB DEPÓSITO NITRÓGENO
 Capacidad: 2000 m3
 Temp. Diseño : -50°C
 Altura x Diámetro: 2000 x 700 mm2

COLECTOR
 10N080

120-SA/SB/SC/SD

120-IC

120-SE

COLECTORES
 100-TA

140-NA

140-NB

110-BA

110-BB

110-BC

110-BD

110-BE

110-BF

120-RA

120-RB

120-RC

120-RD

120-RE

130-HC

110-CA/CB

		PI&D PLANTA GNL	
DIBUJADO A.E.R	NOMBRE A.E.R	FIRMA 	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE NITRÓGENO
COMPROBADO L.M.C	NOMBRE L.M.C	FIRMA 	
ESCALA : N.A.	FECHA: 17/06/2016	I.C.A.I.	Nº DE PLANO: PG-0010



PARTE IV. PLIEGO DE CONDICIONES





1. DISPOSICIONES GENERALES

1.1. Contenido y ámbito de aplicación

El objetivo del presente pliego de condiciones es definir el conjunto de directrices, requisitos y normas aplicables al desarrollo de las obras a las que se refiere el proyecto del que forma parte. Contiene las condiciones técnicas normalizadas referentes a los materiales y equipos, el modo de ejecución, medición de las unidades de obra y, en general, cuantos aspectos han de regir en las obras comprendidas en el presente proyecto. Incluye la normativa económica, legal y facultativa entre el propietario, Dirección Facultativa y Contratista.

El pliego de condiciones constituye el documento más importante desde el punto de vista contractual. El contratista está obligado a ejecutar el proyecto según se especifica en el pliego de condiciones. Del mismo modo, la administración podrá conocer de forma detallada las diferentes tareas que se desarrollarán durante la ejecución del proyecto.

El presente proyecto está formado por los siguientes documentos:

- Memoria y anexos.
- Cálculos, mediciones y presupuesto.
- Pliego de condiciones.
- Planos.

El contenido de este proyecto quedará definido en la documentación mostrada anteriormente, salvo cambios posteriores. Toda cláusula que contradiga los documentos anteriores quedará sin efecto alguno.

En caso de darse alguna discrepancia entre los documentos de este proyecto, el orden de prioridad será el indicado en la norma UNE 157001:2002.

1.2. Concurso

Constituyen objeto de concurso restringido las empresas que la Propiedad juzgue oportuno invitar, el suministro de los equipos, materiales y servicios definidos en este Pliego y documentación complementaria.

La propiedad se reserva el derecho a introducir modificaciones de detalle o a exigir la prestación de servicios o suministros suplementarios que el Adjudicatario pueda prestar o realizar.

El Adjudicatario podrá proponer modificaciones de las especificaciones del suministro, debiendo hacerlo siempre que, por efecto de utilización de patentes o por otras razones, lo juzgue técnica y económicamente aconsejable.

Las especificaciones y las descripciones del suministro no son limitativas, debiendo el Adjudicatario facilitar todos los datos e información que estime indispensables para conseguir



plenamente los fine del contrato. Los Concursantes deberán presentar un Cuadro de Precios Unitarios, reseñando todos los que figuren en el Cuadro de Precios del Anteproyecto.

Presentarán asimismo los Presupuestos Parcial y General correspondientes, una descripción de la organización de sus trabajos en la que se encuentre incluida la relación de personal técnico que tendrá a su cargo durante la realización de las obras, y una lista detallada de la maquinaria o medios a utilizar, con sus requerimientos y sus capacidades, para cumplir los plazos establecidos. Asimismo, indicará las fechas límite en que se debe recibir de la Propiedad la información complementaria necesaria para poder desarrollar sus trabajos de acuerdo con el plan de obra previsto.

Se considera como documento fundamental para la adjudicación del concurso el Cuadro de Precios presentado. Los errores que pudieran haberse cometido en los presupuestos serán subsanados por la Propiedad o su representante legal, al estudiar las ofertas a partir de los datos del citado Cuadro y de las mediciones del Anteproyecto.

Los precios unitarios se consideran actualizados hasta la fecha de presentación de la oferta que se indica en la carta de invitación. Las actualizaciones a fechas posteriores se harán de acuerdo con lo que figura en el epígrafe "Revisión de precios" del capítulo 9 del presente Pliego de Condiciones. En los precios unitarios deberá estar incluida la parte proporcional de los gastos generales, instalaciones, beneficios, etc., y todos los posibles gastos directos o indirectos relacionados con ellos. Se hace constar que los planos que constituyen el Anteproyecto son planos de concurso que sirven única y exclusivamente para la redacción de las proposiciones de los Concursantes.

No se considerará válida ninguna oferta que se presente fuera del plazo de validez señalado en la carta de invitación o que no conste de todos los documentos que se señalen en los apartados correspondientes del presente Pliego. Se considera como plazo de validez de las ofertas el período que se indica en la carta de invitación.

La Propiedad pasará notificación del resultado del concurso a los diferentes Concursantes. Si el Concursante no recibiese esta comunicación en el plazo citado también señalado en la carta de invitación, puede notificar a la Propiedad su renuncia al concurso. La Propiedad comunicará al Adjudicatario la concesión de los trabajos objeto del concurso. La fecha de comienzo de los mismos será la que figure en el programa de trabajo. Durante el período comprendido entre la adjudicación y la fecha de inicio de los trabajos se formalizará entre la Propiedad y el Adjudicatario el Contrato que estipula el artículo correspondiente de este pliego.

Serán de cuenta del Adjudicatario los gastos fiscales y todo tipo de gastos a que dé lugar la formalización del Contrato. Cualquiera de las dos partes que intervienen en el contrato puede solicitar la elevación a escritura pública del convenio de adjudicación, siendo los gastos que origine dicha elevación a cargo de la parte cuya petición se realice.



El Adjudicatario es el responsable único por la totalidad del suministro y servicios que se indican en el contrato, en estricto cumplimiento de las disposiciones contractuales y de las buenas normas de las técnicas. Esta responsabilidad implica que serán de su cuenta todas las modificaciones, reparaciones y sustituciones indispensables al exacto cumplimiento del contrato, así como de las indemnizaciones justificadas por perjuicios causados por deficiencias, errores o atrasos laborales. En caso necesario, la Propiedad podrá suspender los pagos al Adjudicatario y pedir indemnizaciones de acuerdo con lo establecido en el contrato, sin perjuicio de la aplicación de penalidades o de rescisión, conforme a lo establecido en el Artículo correspondiente de este Pliego.

Las relaciones con el Adjudicatario serán establecidas a través de las personas o entidades designadas por la Propiedad. La Propiedad podrá hacerse presentar por consultores u otras entidades que puedan elegir para colaborar en los estudios, fabricación, montaje y ensayos. El representante del Adjudicatario será designado por éste, de acuerdo con la Propiedad. Durante el período de montaje esta representación estará presente y será responsable del equipo de montaje.

El Adjudicatario estará representado en todas las reuniones convocadas por la Propiedad, con un plazo no inferior a 8 días, en la obra o en cualquier otro lugar que se indique, mediante presencia de técnicos de especialidades adecuadas a los objetivos de las reuniones. La lista de proveedores principales y empresas colaboradoras del Adjudicatario establecida de común acuerdo, entre éste y la Propiedad, no podrá ser modificada sin la aprobación previa, escrita, de la Propiedad.

La aprobación por parte de la Propiedad de la lista de proveedores y empresas colaboradoras del Adjudicatario, no disminuirá en ningún caso la responsabilidad de éste. No podrá el Adjudicatario ceder ni traspasar a terceros ninguna de sus obligaciones o derechos, ni utilizar en la ejecución de los trabajos otras empresas o sociedades que las que figuren en el contrato como aceptadas por la Propiedad.

En todos los casos, el Adjudicatario es plenamente responsable del Contrato ante la Propiedad, personal obrero y terceras personas. Si el Adjudicatario, sin autorización escrita de la Propiedad, cediese o traspasase a terceros cualesquiera de sus obligaciones o derechos nacidos del Contrato, o utilizase en la ejecución de las obras empresa o sociedad que no estuviese previamente aceptada por la Propiedad, ésta aplicará las sanciones que crea oportunas llegando si fuese necesario a la rescisión del contrato, en cuyo caso sería de aplicación todo lo que se dice en el Artículo correspondiente de este Pliego, referente a los casos de rescisión por incumplimiento por parte del Adjudicatario de las obligaciones o disposiciones del contrato.

La Propiedad puede indicar, en la carta de invitación el concurso, la fianza inicial y retenciones de garantía que se descontarán de las certificaciones. Todas estas cantidades retenidas por la Propiedad responden del cumplimiento de sus obligaciones del Adjudicatario y quedarán a



beneficio de la Propiedad en los casos de rescisión o abandono del trabajo por causas imputables al Adjudicatario.

El Adjudicatario responde, además, del cumplimiento de sus obligaciones, con todos los medios auxiliares, maquinaria y materiales que tenga depositados en la obra, los cuales no podrán ser retirados de la misma sin autorización escrita de la Propiedad. Al mismo tiempo, el Adjudicatario es el único responsable de la correcta ejecución técnica de las obras, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio que pudiese resultar, ni por las falsas operaciones que cometa durante la construcción, ni por las modificaciones que la Dirección Facultativa tenga a bien marcar, siendo dichas operaciones de su cuenta y riesgo, independientemente de las inspecciones ejercidas por la Dirección Técnica.

1.3. Documentación complementaria

Antes del comienzo de las obras, el contratista deberá asegurarse que la documentación del proyecto es suficiente para la correcta comprensión de la obra contratada, así como también para realizar los planos de montaje y coordinación (apartado “Planos de coordinación y montaje” de este pliego). Una vez comenzada la obra, el contratista no deberá excusarse en caso de no cumplimiento de los plazos de la obra alegando una falta de información en el proyecto. Será de obligado cumplimiento todas las instrucciones y documentación complementaria o aclaratoria facilitadas por la Dirección Facultativa.

Dichas instrucciones deberán llegar por escrito al contratista a través de actas de reuniones y visitas a la obra (también por correo electrónico o fax). Los documentos gráficos o escritos de la Dirección Facultativa dirigidos al contratista por cualquiera de estos medios tendrá la consideración a todos los efectos de anotaciones en el Libro de Órdenes y Asistencias, en cumplimiento de los artículos 12.3 apartado c) y 13.3 apartado d) de la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación.

Las reclamaciones que el contratista quiera realizar, solo podrá presentarlas a través de la Dirección Facultativa, si son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes.

También tendrán carácter de documentación contractual, con carácter obligatorio e independiente de los documentos citados, todas las normas, disposiciones y reglamentos de obligada aplicación.

El contratista deberá seguir la normativa propia de las compañías suministradoras de fluidos, energía y combustibles y deberá solicitar los informes e inspecciones preceptivas y necesarias para dejar los trabajos en perfecta consonancia con las exigencias de las compañías de suministro externo. La interpretación del proyecto y documentación contractual corresponderá a la Dirección Facultativa.



1.4. Programación de los trabajos

El programa general de los trabajos (estudios, aprovisionamiento, fabricación, transporte, montaje y ensayos) a presentar con la propuesta deberá respetar las pautas indicadas en estas normas e información complementaria facilitada. Este programa deberá ser desarrollado, según las condiciones especificadas en estas normas, en otro de detalle, en el que se señalarán las fechas de conclusión de cada uno de las actividades mencionadas en el programa de trabajo inicial, así como las fechas intermedias cuyo incumplimiento dé lugar a la aplicación de las penalizaciones. El plazo de presentación de este programa detallado será de treinta días a partir de la fecha de adjudicación.

El programa referido en el párrafo anterior deberá indicar las fechas límite en que se consideren indispensables los suministros para asegurar la continuidad de los trabajos, así como los datos referentes a la posibilidad del inicio o continuación de los trabajos de terceros.

La determinación del orden de las obras será facultad potestativa del Adjudicatario, salvo en aquellos casos en los que por cualquier circunstancia de orden técnico se estime conveniente su variación por el Ingeniero Director.

Todos los trabajos se ejecutarán en estricto seguimiento del Proyecto que ha servido de base, a las modificaciones que sobre el mismo hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que entregue el Ingeniero Director al Adjudicatario, siempre que se encaje dentro de la cifra a que asciende los presupuestos aprobados.

El programa contractual de los trabajos no podrá ser alterado sin la conformidad expresa de la Propiedad. Además, siempre que la Propiedad proponga una alteración del programa, el Adjudicatario se compromete a hacer todo lo posible para dar cumplimiento al deseo de la Propiedad, lo mismo se trate de adelantar como de atrasar un suministro.

El Adjudicatario dará comienzo a las obras en el plazo marcado, desarrollándolas en la forma necesaria para que la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo exigido en el Contrato realizado con la Propiedad.

Obligatoriamente y por escrito, el Adjudicatario deberá dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos antes de veinticuatro horas desde su iniciación. Si los trabajos se desarrollan con retraso respecto al programa aprobado, serán aplicadas las penalizaciones correspondientes. Si dicha demora fuese producida por motivos no imputables al Adjudicatario, éste puede solicitar a la Propiedad una prórroga del plazo de ejecución de las obras, postergación que será igual al tiempo perdido, a no ser que el Adjudicatario solicitase que fuese menor. La petición de prórroga por parte del Adjudicatario deberá tener lugar en el plazo mínimo de un mes desde el día que se produzca la causa originaria del retraso, alegando las razones por las que se estime no serle imputable y señalando el tiempo probable de su duración al efecto de que la Propiedad pueda oportunamente y siempre antes de la terminación del plazo



del contrato, resolver la prórroga del mismo y sin perjuicio de que una vez desaparecida la causa, se reajuste el plazo al tiempo realmente perdido.

En caso de que el Adjudicatario no solicitase la prórroga en el plazo anteriormente señalado, se entenderá que renuncia a su derecho y que considerará, a efectos de la aplicación del contrato, que los retrasos que se produzcan en relación con el programa de trabajos contractual son imputables al Adjudicatario.

El Adjudicatario se someterá a las Leyes, Reglamentos y Ordenanzas vigentes, así como los que se dicten durante la ejecución de las obras. El Adjudicatario queda obligado al cumplimiento de la legislación vigente en lo relativo a los accidentes de trabajo desde que toma a su cargo la organización de los trabajos contratados.

1.5. Documentación técnica

Por el hecho de acusar recibo de encargo, el Adjudicatario reconoce haber recibido de la Propiedad todos los datos y documentos de base necesarios para estudios y Proyectos. El Adjudicatario debe pedir a la Propiedad, con la antelación suficiente, todas las informaciones complementarias y de detalle indispensables para la buena ejecución del suministro.

Los documentos contractuales y todos aquellos que la propiedad entregue durante la ejecución del contrato, deben ser cuidadosamente revisados por el Adjudicatario. En caso de errores u omisiones, el Adjudicatario deberá proponer las modificaciones que estime convenientes para una buena ejecución del suministro.

El Adjudicatario proporcionará, en la fecha que se señale en el programa general de trabajo, con los datos y condiciones indicados en estas normas y demás documentos que le entregue la Propiedad, la memoria, cálculos justificativos, características de los materiales, especificaciones relativas a los mismos, planos y demás documentación técnica complementaria a la que figure en la oferta presentada, necesarios para una completa definición del equipo y servicios contratados, de manera que permitan a la Propiedad:

- Tener pleno conocimiento del estado tensional a que estará sometido el equipo, en las distintas hipótesis de cálculo, garantías que ofrecen los materiales, las soldaduras y demás elementos incluidos en el suministro, así como de su funcionamiento, conservación y explotación.
- Ejercer la inspección de su fabricación y montaje.
- Estudiar y proyectar todos los trabajos afines que no incumben al Adjudicatario.

Todos los documentos facilitados por el Adjudicatario, así como leyendas y acotaciones, deberán estar escritas en español. La Propiedad podría aceptar documentos escritos en francés o inglés, reservándose el derecho a exigir traducciones en español, que serán consideradas como los únicos documentos válidos.



La Propiedad comunicará al Adjudicatario, en el plazo que se señala en el programa general de trabajos, la aprobación o reparos a los documentos, entendiéndose que éstos están aprobados si en el plazo referido no se hubiese hecho indicación al respecto. Los documentos sobre los que la Propiedad hiciese observaciones dentro del plazo indicado, serán revisados por el Adjudicatario y nuevamente sometidos a la aprobación de la Propiedad dentro del plazo establecido en el programa general de trabajos. Si ésta no pudiera aprobarlos, convocaría una reunión para su discusión y resolución en el plazo de ocho días. El Adjudicatario remitirá la Propiedad, por quintuplicado, los ejemplares indicados en estas normas de cada uno de los documentos aprobados, en el plazo de quince días a partir de la fecha de aprobación.

Los documentos aprobados no podrán ser modificados sin autorización escrita de la Propiedad.

La Aprobación de dibujos, notas de cálculo u otros documentos por parte de la Propiedad, no limita la responsabilidad del Adjudicatario, que se mantiene total. Todos los documentos y dibujos recibidos por la Propiedad como parte del suministro, serán tratados por ésta como de su propiedad a todos los efectos. Toda la documentación y dibujos enviados por la Propiedad al Adjudicatario para la ejecución del suministro son de propiedad de aquélla, no pudiendo el Adjudicatario comunicar a terceros o publicar sus reproducciones sin autorización escrita de la Propiedad.

El adjudicatario entregará un mínimo de tres copias de los Manuales de Instrucciones de los equipos suministrados. El contenido del Manual de Instrucciones será como mínimo el siguiente:

- I. Descripción del equipo.
- II. Características nominales de diseño y de prueba.
- III. Composición y características de los materiales.
- IV. Principios de la operación.
- V. Instrucciones de la operación.
- VI. Gradientes máximos, limitaciones y condiciones de funcionamiento en condiciones distintas de las nominales. Puntos de tarado.
- VII. Lista de componentes o de despieces, con números de identificación dibujos de referencia, nombre y características de la pieza (dimensiones, materiales, etc.).
- VIII. Instrucciones de recepción, almacenamiento, manejo y desembalaje del equipo.
- IX. Instrucciones de montaje y desmontaje. Tolerancias.
- X. Instrucciones de mantenimiento.
- XI. Pruebas y controles periódicos.
- XII. Lista de repuestos.



1.6. Planos de coordinación y montaje

Con la documentación del proyecto y la información adicional, el contratista elaborará (antes del comienzo de la obra) una lista de los planos de coordinación y montaje que va a realizar. Dichos planos han de ser aprobados por la Dirección Facultativa. A su vez deberá presentar un programa de producción de estos planos de acuerdo con el programa de la obra.

Estos planos complementan a los planos del presente proyecto en los aspectos de la ejecución de la instalación que permitan detectar y resolver los problemas de ejecución y coordinación con otras instalaciones.

Estos planos deben incluir coordinación entre instalaciones, relación de las instalaciones con la estructura, salas de máquinas, ejecución de bancadas y soportes, etc.

1.7. Seguridad en el trabajo

El Adjudicatario queda obligado al cumplimiento de la normativa referente al estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo vigente y, en especial, a todo lo que se contempla en la ley 31/1995 (B.O.E. 10.11.1995) y sus modificaciones Ley 50/1998, ley 39/1999, ley 54/2003.

Todos cuantos aparatos, maquinaria, herramientas y medios auxiliares emplee el Adjudicatario en la ejecución de las obras deberán reunir las máximas condiciones de seguridad y resistencia, así como cumplir con todas las normas oficiales dictadas al efecto.

El personal del Adjudicatario está obligado a utilizar todos los dispositivos y medios de protección personales necesarios para eliminar o reducir los riesgos profesionales, pudiendo el Ingeniero Director suspender los trabajos si estima que el personal está expuesto a peligros no corregibles.

El Ingeniero Director podrá exigir al Adjudicatario, ordenándolo por escrito, el cese de la obra de cualquier trabajador que, por imprudencia temeraria, pudiese provocar accidentes que hicieran peligrar su propia integridad física o la de alguno de los demás empleados u obreros. Toda la responsabilidad en los accidentes que pudieran ocurrir por el empleo de materiales defectuosos, por imprudencias o por el incumplimiento de lo anteriormente citado, recaerá exclusivamente en el Adjudicatario. Serán también de su exclusiva cuenta las multas en las que incurra por contravenir las disposiciones oficiales, así como los daños y desperfectos ocasionados a terceros en sus personas, bienes o haciendas.

El Adjudicatario queda en libertad de ejecutar los andamiajes que estime convenientes, siempre dentro de las normas de seguridad para el personal que señale en cada momento las Leyes o Reglamentos de Seguridad e Higiene o Accidentes de Trabajo.

El Ingeniero Director podrá exigir al Adjudicatario en cualquier momento, antes o después del comienzo de los trabajos, que presente los documentos que acrediten el haber formalizado los regímenes de la Seguridad Social en la forma legalmente establecida.



El contratista redactará el plan de seguridad y salud según el artículo 7 del Real Decreto 1627/97 de obligado cumplimiento de los trabajadores y subcontratistas.

2. MATERIALES

2.1. Muestra de materiales

A petición de la Dirección Facultativa, el contratista deberá presentar las muestras de los materiales solicitados, con la antelación suficiente en el calendario de la obra.

En caso de cambio sin tenerlo aprobado por escrito, el contratista representará en el momento de su advertencia su sustitución inmediata, con todo lo que conlleve en cuanto a responsabilidades, tiempo y costes. De no hacerlo, la Dirección Facultativa podrá buscar soluciones alternativas con cargo al presupuesto del contrato.

Los materiales deberán cumplir las especificaciones que aparecen en el Pliego de Condiciones Técnicas de los materiales.

Cualquier trabajo realizado con materiales cuyo origen no esté justificado según el artículo 7 de la parte I del CTE será considerado defectuoso, cuyas consecuencias son las que se especifican en este pliego.

2.2. Aceptación de los materiales

El contratista entregará a la Dirección Facultativa una lista de materiales que considere definitiva dentro de los 30 días (a menos que dicha dirección amplíe los plazos tras la firma del Contrato de Ejecución). Se empleará una descripción en caso de que algún material sea distinto de los que se exponen en el proyecto.

A su vez, dicho contratista deberá informar fehacientemente a la Dirección Facultativa de las fechas de preparación de los materiales.

La Dirección Facultativa podrá encargar el estudio y pruebas de calidad de los materiales que dicha dirección considere oportunos. En los ensayos en los que no se produzcan unos resultados correctos y que no ofrezcan la garantía suficiente, se podrá encargar de nuevo a cargo del contratista. Los materiales que no cumplan alguna de las especificaciones indicadas en el proyecto no serán autorizados para el montaje en campo.



2.3. Calidad de los materiales en general

Todas las materias primas suministradas por el Adjudicatario deberán reunir las condiciones expresadas en la Memoria, Pliego de Condiciones Particulares, Planos y Presupuesto, siendo de primera calidad de no expresarse nada en concreto al respecto.

Deben presentarse previamente muestras para su aprobación y reconocimiento por el Ingeniero Director o, en su defecto, por el Subdirector de la Obra. Sin su expresa aprobación no se podrá proceder a su colocación o empleo, pudiéndose obligar a la retirada del material no aprobado y colocado en la obra por parte del Adjudicatario, de no tenerse procedido como se indica.

El Adjudicatario, a su coste, transportará y colocará los materiales no utilizables, agrupándolos ordenadamente y en el sitio de la obra que, por no causar perjuicios a la marcha de los trabajos, se le indique. Los materiales procedentes de las excavaciones, derrumbes, etc., que no sean utilizables en la obra, se retirarán de ésta o se llevarán a vertederos. Si aun así fuesen advertidas faltas en un material aprobado y colocado, podría ser retirado a cuenta del Adjudicatario.

2.4. Calidad del acero

El Adjudicatario indicará las características mecánicas de los aceros empleados, con arreglo a los siguientes elementos:

- Piezas de acero modelado.
- Estructuras de acero laminado.

2.5. Resto de materiales

Para el resto de los materiales empleados en la fabricación del suministro, se indicarán las características mecánicas, así como la composición química de los mismos.

3. NORMAS DE CÁLCULO

3.1. Normativa

Serán de aplicación las normas DIN u otras de rango similar vigentes sobre bases de cálculo para construcciones hidráulicas de acero.

El Adjudicatario indicará las tensiones de trabajo, simples y compuestas a que quedan sometidos los diferentes materiales que constituyen las estructuras. Asimismo, se indicarán las siguientes tensiones máximas de trabajo o tensiones base para el cálculo:

- Tensión admisible de tracción o compresión, previa comprobación del pandeo.
- Tensiones admisibles a esfuerzos constantes.
- Tensión de comparación.

La tensión base o máxima de trabajo es un límite absoluto que no deberá ser sobrepasado ni siquiera en el caso de piezas sometidas a choques, esfuerzos dinámicos, fatigas locales o alternadas, vibración, oxidaciones, etc.



Se indicarán asimismo las cargas máximas transmitidas al hormigón por las piezas fijas, así como las correspondientes a los órganos de maniobra. Los esfuerzos de compresión en el hormigón se atenderán a lo especificado en las normas DIN y no superarán, en ningún caso, la carga de rotura según se define en la norma EH vigente.

Las conducciones blindadas y los revestimientos se dimensionarán para los estados de carga más desfavorables, sin tener en cuenta la colaboración del hormigón que las engloba. El Adjudicatario facilitará los cálculos completos de los elementos importantes del suministro.

El Adjudicatario indicará los coeficientes de seguridad de elementos, tales como cilindros y vástagos de servomotores, órganos mecánicos de cabestrantes, cadenas, cables, etc.

4. DISPOSICIONES GENERALES DE LAS OBRAS

4.1. Replanteo de la obra

El Ingeniero Director, una vez que el Adjudicatario esté en posesión del Proyecto y antes del comienzo de las obras, deberá realizar el replanteo de la misma, con especial atención en los puntos singulares. Se levantará, por duplicado, un Acta de Replanteo firmada por el Ingeniero Director y el representante del Adjudicatario.

Todas las operaciones que se necesitan para el replanteo serán efectuadas por y a cuenta del Adjudicatario, no teniendo por ese concepto derecho a reclamación de ninguna clase. Asimismo, está obligado a suministrar a su cargo a la Propiedad los medios y aparatos que la Dirección de Obra estime necesarios para llevar a cabo los replanteos de cualquier tipo.

4.2. Plazos de ejecución

Los plazos de ejecución, tanto locales como parciales, señalados en el contrato, empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo de las obras o desde la notificación por parte de la Propiedad de la autorización para el comienzo de éstas. El Adjudicatario estará obligado a cumplir dichos plazos, que serán improrrogables. No obstante, los plazos podrán ser objeto de aplazamiento, cuando las modificaciones solicitadas por el Ingeniero Director, debidamente aprobadas por la Propiedad, influyan realmente en los plazos señalados en el contrato.

Si por causas ajenas por completo al Adjudicatario no fuese posible comenzar los trabajos en la fecha prevista o tuviesen que ser suspendidos una vez iniciados, el Ingeniero Director concederá una prórroga cuya duración será la estrictamente necesaria.

4.3. Mano de obra

El personal que, como encargado, capataz, oficial, ayudante o peón, tenga el Adjudicatario realizando unidades de obra, debe ser cualificado y responsable, al igual que todo el personal dependiente de los Sub-adjudicatarios, que en todo momento acatarán las órdenes dictadas por la Dirección de Obra.



El Adjudicatario deberá tener siempre en la obra el número de operarios proporcionado a la extensión y clase de trabajos que esté ejecutando. Los operarios serán de aptitud reconocida y experimentados en sus respectivos oficios, y constantemente ha de haber en la obra una persona responsable y encargada del conjunto.

No se permitirá trabajar a ningún obrero que no se encuentre debidamente capacitado o en quien se note falta de costumbre de andar en los andamios, y si por omisión o inobservancia de las precauciones ocurriese una desgracia, serán de cuenta y riesgo del Adjudicatario las responsabilidades que tuvieran lugar.

La Dirección de la Obra podrá prohibir la permanencia en obra de determinado personal del Adjudicatario, por motivo de faltas de obediencia y respeto, o a causa de actos que comprometan o perturben, a juicio de la misma, la marcha de los trabajos. El Adjudicatario podrá recurrir si entendiéndose que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

La totalidad del personal empleado por el Adjudicatario y Subadjudicatario en la ejecución de las obras deberá estar debidamente afiliado al régimen general de la Seguridad Social, estando obligado a mantener en la oficina de obra los justificantes correspondientes, TC1 y TC2, que justifiquen tal situación. Además, el Adjudicatario está obligado al cumplimiento de lo establecido en la Ley sobre el Contrato de Trabajo y en las Reglamentaciones de Trabajo vigentes o que se dicten durante la realización de las obras.

El Adjudicatario habilitará en la obra una oficina en la que tendrá siempre una copia de todos los documentos del proyecto que le hayan sido facilitados por el Ingeniero Director de Obra, así como los restantes documentos, equipos y materiales que estipulen. El Adjudicatario podrá sacar a expensas copias de los documentos del Proyecto de Contrata, cuyos originales les serán facilitados por el Ingeniero Director, el cual autorizará con su firma las copias si el Adjudicatario así lo desea.

El Adjudicatario, por sí mismo o por medio de sus facultativos, representantes o encargados, estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Ingeniero Director o personas por él delegadas en las visitas que hagan a la obra, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándole los datos y medios precisos para la ejecución y aprobación de mediciones, comprobaciones y liquidaciones.

El Adjudicatario o su delegado vigilarán los trabajos de colocación de los andamios y cimbras y demás medios auxiliares. Comprobará que los materiales fabricados tales como viguetas, cargaderos, etc., del material que sea, llevan la garantía de fabricación, siendo el Adjudicatario el responsable de los accidentes que ocurran por incumplimiento de esta disposición o por no tomar las debidas precauciones. Antes del inicio de las obras se procederá al replanteo general de las mismas, juntamente con el Director y Subdirector de Obra, realizándose el correspondiente Acta de Replanteo, que quedará plasmado en el Libro de Órdenes, considerándose dicha fecha como la del inicio de obra.



Todas las operaciones y los medios auxiliares necesarios para los replanteos serán de la exclusiva cuenta del Adjudicatario, pudiendo ser vigilados, comprobados y anulados por la Dirección Técnica. El Adjudicatario no podrá reclamar ni percibir indemnización por sustracción, pérdidas o averías u otros perjuicios acaecidos durante la obra. Sin embargo, será responsable de las pérdidas de material que se le entregase a su custodia, descontándosele un importe de las cantidades a percibir. Será igualmente responsable de cualquier daño en las propiedades colindantes, estando obligado a repararlas y dejarlas en su estado primitivo.

4.4. Reformas en el proyecto

Si durante el transcurso de las obras el Ingeniero Director estimase conveniente introducir modificaciones en el Proyecto, el Adjudicatario estará obligado a realizarlas, siempre y cuando la cantidad de las obras nuevamente proyectadas no aumentase ni disminuyese en proporción el Pliego de Condiciones.

No se considerarán mejoras y variaciones del Proyecto más que aquéllas que hayan sido ordenadas expresamente por escrito por el Ingeniero Director.

Si antes de comenzar las obras o durante su construcción la entidad propietaria, de acuerdo con el Ingeniero Director, resolviese ejecutar por sí parte de las obras que comprende la contrata o acordase introducir en el proyecto modificaciones que impongan aumento o reducción, y aún supresión de las cantidades marcadas en el presupuesto, serán obligatorias para el Adjudicatario estas disposiciones, sin que tenga derecho en caso de supresión de obra a reclamar ninguna indemnización con el pretexto de pretendidos beneficios que hubiera podido obtener en la parte reducida o suprimida.

Aun cuando las reformas hicieran variar los trazados, si se le informan al Adjudicatario con la debida anticipación, no podrá exigir indemnización alguna bajo ningún concepto. Tendrá derecho, en caso de modificación, a que se le prorrogue prudencialmente, y a juicio del Ingeniero Director de la Obra, el plazo para la terminación de las obras.

4.5. Contradicciones, omisiones o errores en los documentos

En el caso de contradicción entre los Planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en éste último. Lo mencionado en el Pliego de Condiciones y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser aceptado como si se incluyese en ambos documentos, siempre que, a juicio del Ingeniero Director, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y ésta tenga precio en el contrato.

Los diversos capítulos del presente Pliego de Condiciones son complementarios entre sí, entendiéndose que las prescripciones que contenga uno de ellos y afecte a otros obligan como si apareciesen en todos. Las contradicciones o dudas entre sus especificaciones se resolverán por la interpretación que razonadamente haga el Ingeniero Director. En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos, tanto por el



Ingeniero Director como por el Adjudicatario, deberán reflejarse preceptivamente en el Acta de Replanteo.

4.6. Trabajos defectuosos o no autorizados

El Adjudicatario debe emplear materiales que cumplan las condiciones exigidas en el Pliego de Condiciones Particular y realizar todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con dicho documento. Como consecuencia de lo anteriormente dicho, cuando el Ingeniero Director o su representante en la obra advierta vicios o defectos en los trabajos efectuados o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnan las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos o finalizados éstos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas según el contrato, y todo ello a expensas del Adjudicatario. Si ésta no estimase justa la reclusión y se negase a la demolición y reconstrucción ordenada, se procederá con lo dispuesto a continuación:

- Cuando los materiales o aparatos no fuesen de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Ingeniero Director dará orden al Adjudicatario para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los Pliegos o a falta de éstos, a las órdenes del Ingeniero Director.
- El Ingeniero Director podrá, si las circunstancias o el estado de la obra lo aconseja, permitir el empleo de aquellos materiales defectuosos que le parezcan, o aceptar o imponer materiales de calidad superior a la indicada si no le fuese posible al Adjudicatario suministrar los de la calidad deseada en ellos, descontándose en el primer caso la diferencia de precio del material requerido al defectuoso empleado, y no teniendo derecho el Adjudicatario a indemnización alguna en el segundo.

El Adjudicatario es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que éstos pudieran tener por su mala ejecución y por la deficiencia de la calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servir de excusa ni le otorgue derecho alguno la circunstancia de que el Ingeniero Director o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valoradas en las certificaciones y participaciones de obra.

4.7. Suspensión de las obras

Cuando la entidad propietaria desee suspender la ejecución de las obras, tendrá que avisar al Adjudicatario con un mes de antelación, y el Adjudicatario tendrá que suspender los trabajos sin derecho a indemnización, siempre que se le abone el importe de la obra ejecutada y el valor de los materiales acumulados a pie de obra al precio corriente en la localidad. Se hará lo mismo en caso de rescisión justificada.

Si la suspensión de las obras fuese motivada por el Adjudicatario, el Propietario se reserva el derecho a la rescisión del contrato, abonando al Adjudicatario sólo la obra ejecutada, con pérdida de la garantía como indemnización de perjuicios generados en la entidad propietaria,



quedando siempre el Adjudicatario obligado a responder de los perjuicios superiores a esta entidad.

En caso de muerte o de quiebra del Adjudicatario, quedará rescindida la Contrata a no ser que los herederos o los síndicos de la quiebra ofrezcan llevarla a cabo bajo las condiciones estipuladas en la misma.

La Propiedad puede admitir o desechar el ofrecimiento, sin que en este último caso tengan aquéllos derecho a indemnización alguna. Tanto en los casos de rescisión como en los que legalmente se pudiesen presentar, las herramientas y demás elementos de trabajo que sean de pertenencia del Adjudicatario, tendrá éste obligación de recogerlos en un plazo de ocho días; de no ser así se entiende que los abandona a favor de la obra.

Son causas de rescisión de obras las siguientes:

- El no ejecutar las obras con arreglo al proyecto o modificaciones indicadas.
- El empleo deficiente de los materiales o su mala colocación en obra, que obligue insistentemente a demoler la misma, o a valorar obra defectuosa.
- El que las obras no se ejecuten al ritmo previsto.
- Incapacidad del personal empleado, tanto técnico como de obra.
- Quiebra o suspensión de pagos por el Adjudicatario.
- La suspensión de la obra comenzada, siempre que el pago exceda a seis meses.
- El no dar comienzo la Contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones del proyecto o contrato.
- El incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando indique descuido o mala fe, con perjuicios de los intereses de las obras.
- La terminación del plazo de ejecución de las obras sin haberse llegado a ellas.
- El abandono de la obra sin causa justificada.
- Muerte o incapacitación del Adjudicatario.
- Alteraciones del contrato, de forma que supongan modificaciones del proyecto o de las unidades de obra en un 25% como mínimo del importe de aquél y en un 50% de las unidades modificadas.
- La suspensión de la obra comenzada y en todo caso siempre que por causas ajenas a la contrata no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación.
- Por toda causa de fuerza mayor que obligue a suspender las obras indefinidamente.

En los diez primeros casos, la fianza quedará a beneficio de la Propiedad. En todos los casos, la Propiedad se reserva el derecho de continuar las obras, bien por sí misma, bien por las personas o entidades que estime conveniente.

Serán causas de rescisión del contrato la disolución o extinción del Contratista, su quiebra o suspensión de pagos y el embargo de los bienes destinados a la obra o utilizados en la misma.



En los anteriores supuestos, la Propiedad podrá unilateralmente dar por rescindido el contrato, sin pago de indemnización alguna, y practicando inmediatamente la liquidación definitiva, con una baja del 5% debiendo el Contratista abandonar la obra en el mismo momento en que sea requerido para ello, aún antes de practicarse la liquidación.

También se considerará causa de rescisión la demora en la entrega de la obra por plazo superior a 6 meses, la manifiesta desobediencia en la ejecución de la obra y el incumplimiento de los Pliegos Técnicos y Generales de Condiciones Económicas, Facultativas y Legales.

En los supuestos previstos en el párrafo anterior, la Propiedad podrá, además de rescindir las sanciones establecidas, rescindir el contrato, solicitar indemnizaciones por daños y perjuicios que serán un mínimo del 10% del valor de la obra, según la liquidación definitiva, cantidad que podrá incrementarse en el arbitraje que se practique en tales casos. A su vez, la Propiedad será indemnizada con la fianza depositada hasta la fecha. La apreciación de la existencia de las circunstancias anteriormente enumeradas será responsabilidad de la Dirección Facultativa. El Contratista podrá dar por rescindido el contrato en las causas previstas en el apartado “suspensión de obras” del presente pliego. Además el Contratista podrá rescindir por demora de aprobación de alguna certificación o su pago superior a 30 días de la fecha del vencimiento.

El presente Pliego General de Condiciones Económicas, Facultativas y Legales tendrá carácter de contrato privado y podrá ser elevado a escritura pública si alguna de las partes lo desea, debiendo en este supuesto hacerse cargo de los gastos que tal formalización ocasione.

Las partes quedan sometidas, en todo momento, a la Legislación Civil, Mercantil y Procesal Española, con las particularidades que se especifican en este Pliego. A todos los efectos, las partes se someten expresamente a la jurisdicción y competencia de los Juzgados y Tribunales de la provincia donde se halla ubicado la obra, con renuncia de cualquier otro fuero que pudiera corresponderle.

Cualquier diferencia que pudiera surgir entre las partes, con motivo de la obra, interpretación o ejecución de lo acordado, se someterá a arbitraje de equidad, regulado por la Ley 36/1988 de 5 de diciembre de 1988. Será árbitro único la Dirección Facultativa, dispensándose las partes de los motivos de Incompatibilidad que legalmente pudiesen incurrir en dicho arbitrio.

4.8. Seguros

El Adjudicatario está obligado, después de la comprobación del replanteo y antes del comienzo de la obra, a facilitar a la Dirección la documentación que acredite haber suscrito, además de las correspondientes afiliaciones a la Seguridad Social, las siguientes pólizas de seguro:

- Seguro contra daños a terceros que se deriven de la ejecución del proyecto.
- Seguro de Accidentes de Trabajo en la Mutualidad Laboral correspondiente.



- Seguro de Automóviles para todos aquellos vehículos del Adjudicatario que tengan acceso a la obra.
- Seguro para toda maquinaria y equipo que el Adjudicatario utilice en el trabajo.
- Seguro de incendios para las obras, en Compañías de reconocida solvencia, inscrita en el Ministerio de Hacienda en virtud de la vigente Ley de Seguros.

5. ENSAYOS, PRUEBAS Y PROTECCIONES

5.1. Ensayos en taller

Todas las uniones soldadas serán inspeccionadas mediante control radioscópico de las soldaduras, que se harán en presencia de representantes de la Propiedad y del Adjudicatario teniendo en cuenta los plazos fijados.

Se ensayarán mecánicamente varias probetas de soldadura realizadas con materiales y operarios que hayan de intervenir en la obra.

Los cilindros de los servomotores y demás órganos que contengan aceite a presión, como son los cuerpos de las bombas de aceite, y sus correspondientes válvulas, serán sometidas en taller a una presión de ensayo igual a la de servicio aumentada en un cincuenta por ciento. Los esfuerzos durante el ensayo no deberán, en ningún caso, sobrepasar el cuarenta por ciento de la carga de rotura, ni el ochenta por ciento del límite elástico. Durante dicho ensayo no deberán producirse deformaciones apreciables ni fugas ni filtración alguna.

Para los grupos de motobombas se realizarán todas las pruebas necesarias según normas para determinar las curvas características. Para el trazado de las curvas de altura manométrica, potencia y rendimiento, se considerarán al menos cinco puntos, desde el caudal cero al caudal máximo nominal.

5.2. Presentación en taller

Con el fin de prever las posibles dificultades que pudieran presentarse en obra en el montaje definitivo de los elementos objeto del suministro, la Propiedad puede exigir que se realice en taller una presentación completa de los distintos elementos, comprobándose cotas, altura, planicidad, etc.

El Adjudicatario indicará claramente en su oferta la repercusión económica que represente la realización de estos trabajos de presentación en taller del suministro contratado.

5.3. Protección contra la corrosión

El Adjudicatario deberá proponer la protección más aconsejable, de acuerdo con su experiencia, para su aprobación por la Propiedad. Esta protección deberá, de una manera general, aplicarse a todas las superficies en contacto con el agua y la intemperie, de todos los elementos fabricados con materiales oxidables y comprenderá: limpieza de chorro de arena, metalización de zinc, según las normas AENOR A 91-201, con una capa de zinc de doce centésimas de milímetro (0,12 mm) de espesor, seguida de pintura, con tres manos como mínimo, de características



convenientemente justificadas. No obstante, la Propiedad se reserva el derecho a ejecutar total o parcialmente la protección contra la corrosión, en todo o en parte del suministro, por cuyo motivo el Adjudicatario detallará en el presupuesto el importe de estas operaciones que podrán ser deducidas del costo total en el caso de que la Propiedad los ejecutara directamente.

Las partes del suministro que estén mecanizadas, se procederá a su desengrasado y se protegerán con una pintura vinílica incolora del tipo arrancable.

El sistema de protección con pinturas de las diferentes superficies metálicas tendrá que responder a las condiciones ambientales de la zona geográfica del almacenamiento y a la naturaleza de los productos manejados y condiciones de funcionamiento. El tiempo transcurrido desde el tratamiento de la superficie del metal y la aplicación de la pintura no puede ser superior a veinticuatro horas.

6. FABRICACIÓN, MONTAJE, RECEPCIÓN Y GARANTÍAS

6.1. Inspección fabril

La Propiedad se reserva el derecho a efectuar directamente o por medio de una Entidad de su elección, la inspección de la fabricación de los equipos con vistas al cumplimiento de los plazos, a la calidad de los materiales y a las técnicas empleadas, tanto en las fábricas o instalaciones del Adjudicatario, como en la de sus suministradores.

A efectos de la cláusula anterior, el Adjudicatario se ve obligado a asegurar en cualquier momento a los representantes de la Propiedad, debidamente acreditados, el libre acceso a las fábricas o instalaciones, así como proporcionar todas las facilidades para que estos puedan cumplir con su misión.

El Adjudicatario deberá informar a la Propiedad, en tiempo útil, de la fecha fijada para la realización de los ensayos previstos y de recepción de materias primas, así como de la realización de las operaciones más importantes de fabricación o de montaje en banco, de manera que la Propiedad pueda enviar a sus representantes a presenciar dichos ensayos u operaciones, si lo estimase necesario.

Independientemente de la presencia o no de los representantes de la Propiedad, el Adjudicatario deberá remitir a ésta, por triplicado, memorias de todos los ensayos realizados.

6.2. Montaje e inspección

Se deberá presentar para su aprobación una relación nominal del personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a realizar por cada uno de ellos y acreditando su capacidad técnica para el desarrollo de los mismos.

En caso de que, a juicio de la Propiedad, el personal técnico designado por el Adjudicatario sea insuficiente, éste se verá obligado a completar su organización con el número de técnicos necesarios, según el criterio de la Propiedad.



La Propiedad se reserva el derecho de recusar, en caso de no satisfacerle el desarrollo de las operaciones de montaje, tanto al representante del Adjudicatario como a cualquier otro miembro de su organización en la obra y éste se obliga a sustituirlo en un plazo de treinta días por otro de igual categoría.

El Adjudicatario podrá cubrir con Compañías de Seguros los riesgos relativos a los materiales y equipos en curso de montaje. Además, el citado seguro será ampliado para cubrir los daños que cause a la Propiedad o a terceros, durante y por causa de las operaciones de montaje.

La Propiedad podrá señalar la obligatoriedad del seguro de materiales y equipos en curso de montaje. En este caso, el seguro será complementario del establecido para el transporte y deberá ser válido hasta el inicio del servicio industrial.

El personal de la inspección de la Propiedad podrá ordenar la suspensión de los trabajos que no estuviesen ejecutados de acuerdo con las condiciones y especificaciones contractuales. La orden de suspensión será confirmada por escrito. Siempre que fuese necesario enviar una pieza o equipo a fábrica como consecuencia de un error o avería, los gastos de transporte, seguros y otros, correrán por cuenta del Adjudicatario.

Los gastos, encargos y cualquier formalidad necesaria para la importación temporal o reexportación de herramientas, instrumentos o material a utilizar en la ejecución del suministro, serán a cargo del Adjudicatario.

La Propiedad fiscalizará directamente, a través de sus representantes, los trabajos de montaje. A este efecto, estará asegurado al personal de inspección de la Propiedad el libre acceso a cualquier hora a las oficinas de obra, almacenes u otros locales de trabajo del Adjudicatario, que está en la obligación de facilitarle cuantos datos y aclaraciones sean precisas.

La comprobación de la realización de la obra será misión de la Dirección Facultativa, la cual tendrá libre acceso al personal implicado en dicha obra, a todos los puntos de trabajo y a los almacenes de materiales destinados a la obra. También podrá ordenar la apertura de calas durante la obra en caso de sospecha de la existencia de vicios ocultos de la instalación o de materiales de calidad insuficiente, cuyos gastos serán asumidos por el contratista.

6.3. Controles

El Adjudicatario se asegurará, por unos controles apropiados, de la buena calidad del material entregado. Los resultados de estos controles serán sometidos a la aprobación de la Propiedad quien podrá exigir, si lo cree necesario, la realización de controles complementarios.



6.4. Prueba hidráulica en el taller

La Propiedad podrá exigir la realización de una prueba hidráulica en taller. El Adjudicatario deberá proveerse de los fondos de cierre para poder realizarla. La presión de prueba, que se determinará en cada caso, no será inferior a 1,5 veces la presión máxima de diseño.

Si las pruebas revelasen defectos inadmisibles, tales como fugas y deformaciones locales, el Adjudicatario someterá a la aprobación de la Propiedad el procedimiento de reparación y una vez reparada la pieza se repetirá la prueba hidráulica.

6.5. Acta de fin de montaje

Cuando el Adjudicatario considere que los equipos están aptos para entrar en servicio, lo comunicará por escrito a la Propiedad y se procederá en conjunto a una revisión general del montaje, levantándose, si procede, un acta final de montaje, firmada por representantes cualificados de ambas partes.

6.6. Ajustes, ensayos y servicio experimental

Finalizado el montaje serán efectuados ajustes, ensayos y puestas en servicio experimentales de acuerdo con las condiciones establecidas.

La instrucción de adiestramiento del personal de la Propiedad por parte del Adjudicatario será efectuada en este período.

Salvo que se establezca otro acuerdo, la transferencia del equipo y materiales objeto de suministro, tendrá lugar en la fecha de su entrada en servicio industrial; sin embargo, la transferencia de posibles equipos importados por la Propiedad se hará con la entrega del conocimiento de embarque, carta de porte o documento similar, si bien el riesgo y la garantía serán por cuenta del Adjudicatario hasta la entrada de los equipos en servicio industrial.

6.7. Recepción provisional

Finalizado el servicio experimental y simultáneamente al comienzo del servicio industrial, será levantada un Acta de Recepción Provisional signada por representantes cualificados de ambas partes, previos los ensayos de recepción correspondientes.

Si por motivos no imputables al Adjudicatario los ensayos de recepción no pudiesen ser efectuados, la recepción provisional será considerada como realizada ciento veinte días después de la fecha en que las pruebas debieron haber comenzado. Sin embargo, el Adjudicatario está obligado a realizar dichos ensayos antes de la fecha de recepción definitiva. Se levantará un Acta de Recepción de Obras por triplicado, por parte de la Dirección Técnica, en la que se hará constar las deficiencias que en su caso existiesen en aquella y el plazo para su subsanación.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por recibidas, comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía establecido en el Contrato que, como mínimo, será de tres meses. Si las obras no se hallasen en



estado de ser recibidas, se hará constar en el Acta y se especificarán en la misma las instrucciones precisas y detalladas que se deben señalar al Adjudicatario y/o Proveedor para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, después del cual se realizará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones a fin de proceder de nuevo a la recepción provisional de la obra.

Los trabajos de recepción corren de cuenta del Adjudicatario de forma que, de no cumplirse las prescripciones, el contrato podrá considerarse como rescindido, con la pérdida de la fianza.

6.8. Documentos y periodo de garantía

La fecha del Acta de Recepción Provisional será el comienzo del período de garantía. El Adjudicatario podrá mantener todo o parte de su personal especializado en la obra, si bien tomará las medidas necesarias para su presencia, siempre que la Propiedad lo exija, o bien como consecuencia de anomalías de funcionamiento o averías.

La duración del período de garantía será establecida entre la Propiedad y el Adjudicatario en la formulación del contrato y será contando a partir de la fecha de firma del acta de recepción provisional. Durante el período de garantía, el Adjudicatario sustituirá toda o cualquier pieza o equipo defectuoso, debido a la mala concepción, defecto o calidad inadecuada de las materias primas utilizadas, defecto de fabricación o error de montaje. Todas estas sustituciones y posibles trabajos de construcción civil deberán ser hechas lo más rápidamente posible, sin gasto alguno por parte de la Propiedad.

No eximirá al Adjudicatario de responsabilidad alguna el hecho de que el Ingeniero Director o sus subalternos hayan examinado las obras durante su construcción, reconocido sus materiales o hecha la valoración en las relaciones parciales. En consecuencia, de observarse vicios o defectos antes de la recepción definitiva se podrá disponer la demolición o reconstrucción de las partes defectuosas.

Durante el período de garantía, todo o cualquier equipo, componente o pieza a sustituir por otro u otros, en razón de esa misma garantía, tendrá a partir de la fecha de entrada en servicio un período de garantía igual a la del equipo o a la de la pieza que sustituya. Si, como consecuencia de defectos o accidentes imputables al Adjudicatario, el equipo no pudiese funcionar en parte o en todo el período de garantía, la duración del período de paro será añadida al plazo de garantía.

El plazo de garantía comenzará al día siguiente al de la firma del Acta de Recepción y será como mínimo lo establecido en el artículo 17 de la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación: un año para defectos de acabados y tres años para defectos que ocasionen el incumplimiento de los requisitos de habitabilidad.

Se establece una garantía de aseguramiento y de entrega de la documentación pertinente previa a la Recepción que vencerá en el momento en que el Contratista obtenga de la Propiedad, o



Dirección Facultativa, la aprobación fehaciente de la documentación pedida en el apartado “Documentación Final” y de forma ineludible la correspondiente a los apartados:

- Resultado de las pruebas realizadas de acuerdo con el Protocolo de Proyecto y/o Reglamento vigente.
- Proyecto de mantenimiento preventivo.
- Planos de la instalación terminada.
- La documentación necesaria para cumplimentar la normativa vigente y conseguir la legalización y suministro de fluidos y energía (boletines de la instalación, etc.).

En caso de que el Contratista no cumpla satisfactoriamente con lo expresado anteriormente, la Propiedad, a requerimiento de la Dirección Facultativa podrá, si lo desea, recibir la obra y encargar a terceros, con cargo a las cantidades pendientes de liquidación o fianza, los trabajos de documentación y obtención de resultados pendientes.

6.9. Recepción definitiva

Finalizado el período de garantía se efectuará un examen general del equipo y, en caso de resultar éste de conformidad, se procederá a la recepción definitiva, levantándose acta que será firmada por representantes cualificados de la Propiedad y del Adjudicatario.

Para formalizar la Recepción será necesario que el Contratista haya entregado previamente tres copias en papel y tres copias en soporte informático de la Documentación Final de Obra corregidas con las observaciones correspondientes. Una copia será para la Dirección Facultativa, otra copia para la Propiedad y la tercera para la Empresa de Control de Calidad.

Hasta que el representante de la Propiedad no haya aprobado la recepción definitiva de los trabajos, el Adjudicatario se hará cargo de roturas, robos de material, averías, etc., cualquiera que fuese el motivo, aun cuando el desperfecto se haya producido en una operación ordenada por la Propiedad con el conocimiento del Adjudicatario.

En el documento de la Recepción deberá adjuntarse una fotocopia conforme la Propiedad o la Dirección Facultativa hayan recibido la documentación final de obra corregida. Si en el momento de ocupar la obra y utilizar las instalaciones no han sido completadas las Pruebas o la documentación correspondiente por causas ajenas a la Propiedad, Dirección Facultativa o Control de Calidad, se le retendrá al Contratista la liquidación final y la fianza establecida, cuyas cantidades podrá la Propiedad utilizarlas para terminar los trabajos pendientes y abonar el mayor coste y los daños y perjuicios ocasionados a los intervinientes en los trabajos y a los usuarios de la obra.

Si son necesarias pruebas de funcionamiento, capacidad de producción, etc., para la recepción definitiva del algún elemento o del conjunto, el Adjudicatario dirigirá dichas pruebas y cargará con los gastos de todos los medios y creación de condiciones, salvo si todos o parte de tales gastos fueron incluidos en la adjudicación como obligaciones de la Propiedad.



Previamente a la recepción definitiva serán resueltas todas las reclamaciones formuladas y habrán transcurrido todos los plazos de garantía de los equipos, componentes o piezas que hayan sido sustituidas.

Podrán hacerse recepciones definitivas parciales en los casos en los que se considere oportuna esta decisión.

Efectuada la recepción definitiva de todo el suministro cesa la garantía establecida.

7. ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE, SEGUROS Y ADUANAS

7.1. Almacenamiento

La Propiedad indicará la capacidad de los almacenes o explanadas de acopio de que dispondrá el Adjudicatario en Obra, así como la fecha en que se podrá disponer de ellas.

Queda terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del Ingeniero Director, efectuar acopios de materiales, cualquiera que sea su naturaleza, en zonas que dificulten el adecuado transcurso de los trabajos.

Los materiales se almacenarán de forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en obra, requisito que deberá ser comprobado en el momento de dicha utilización. Las superficies empleadas como zonas de acopio deberán acondicionarse una vez finalizado el uso de los materiales en ellas acumulados, de forma que puedan recuperar su aspecto original. Serán a cargo del Adjudicatario todos los gastos de almacenamiento, manutención y guarda.

7.2. Transporte

Salvo indicación en contra por parte de la Propiedad, compete al Adjudicatario transportar todos los materiales y equipos objeto del suministro desde sus fábricas a las instalaciones de la obra, colocándolos en buenas condiciones de manejabilidad, conservación y seguridad en los lugares a ese fin destinados por la Propiedad.

El Adjudicatario deberá prever que ninguna expedición sea hecha desde sus fábricas o desde las de sus suministradores sin aprobación previa de la Propiedad, teniendo en cuenta que:

- Se respetarán las fechas previstas en el programa general de trabajos.
- El escalonamiento de envíos en las fechas más favorables a la buena marcha de los trabajos y a la óptima utilización de las superficies reservadas a parques.
- La eventual inspección de los embalajes y otras condiciones de transporte.
- La eventual colaboración de la Propiedad en la resolución de los problemas de transporte que puedan resultar de volúmenes o pesos excesivos, en especial cuando su resolución dependa de Organismos Oficiales del Estado.

La aceptación por parte de la Propiedad de los embalajes, acondicionamiento y medio de transporte no liberan la responsabilidad del Adjudicatario en lo que respecta al transporte, así como al funcionamiento y duración de los materiales y equipos expedidos.



Los embalajes de los materiales y equipos entregados en las instalaciones de la obra pasarán a ser dominio de la Propiedad después de su utilización.

El Adjudicatario deberá prever que la Propiedad reciba para cada expedición, con antelación suficiente, una lista de embalajes con indicación de los respectivos contenidos, pesos, dimensiones y marcas, permitiendo una identificación fácil y correcta.

7.3. Seguros

El seguro de materiales y equipos en tránsito será efectuado por el Adjudicatario, a no ser que la Propiedad haga constar expresamente que hará el seguro por su cuenta.

7.4. Aduanas

Los trámites aduaneros de los equipos fabricados en el extranjero y de los materiales (partes, piezas o accesorios) destinados a ser incorporados a los equipos fabricados en España, serán hechos por el Adjudicatario en nombre de la Propiedad.

En el caso de que el Adjudicatario no pudiese llevar a cabo los trámites citados en la anterior cláusula, la Propiedad llevará a cabo la tramitación y despacho en aduanas de los materiales importados, por cuenta del Adjudicatario.

El Adjudicatario obtendrá a su debido tiempo la documentación necesaria para la importación y para el paso en tránsito por un tercer país, en caso de que fuese necesario.

El Adjudicatario deberá comunicar por escrito a la Propiedad, por cada fabricante extranjero y en relación con el equipo a importar, los siguientes elementos: designación, peso líquido, valor, procedencia y moneda de pago.

El Adjudicatario deberá obtener a su debido tiempo la documentación necesaria para que los trámites aduaneros se efectúen en las mejores condiciones, independientemente de que la Propiedad gestione, si procede, la exención de derechos de importación.

8. ORGANIZACIÓN DE LAS OBRAS

8.1. Dirección de las obras y representación del adjudicatario

La dirección del conjunto de las obras estará a cargo del personal técnico de la Propiedad. Se indicará en cada caso al Adjudicatario quién es el Ingeniero Encargado o Director Técnico de la Obra, cuyas principales funciones, que afectan fundamentalmente a las relaciones con el Adjudicatario, son:

- Exigir al Adjudicatario, directamente o a través del personal a sus órdenes, el cumplimiento de las condiciones contractuales.
- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas, y el cumplimiento del programa de los trabajos.



- Definir aquellas condiciones técnicas que el presente Pliego de Condiciones deje a su decisión.
- Resolver todas las ecuaciones técnicas que surjan en cuanto a interpretación de planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en los trabajos que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando en su caso las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener de los organismos oficiales y de los particulares los permisos y autorizaciones necesarios para la ejecución de las obras y ocupación de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.
- Asumir personalmente y bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual el Adjudicatario deberá poner a su disposición el personal y material de la obra.
- Participar en las recepciones provisional y definitiva y redactar la liquidación de las obras, conforme a las normas legales establecidas.

El Adjudicatario estará obligado a prestar su colaboración al Ingeniero Director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

Antes de iniciarse los trabajos, el Adjudicatario deberá indicar a la Propiedad el nombre de su representante al frente de los mismos, que actuará como Jefe de Montaje, tanto en los aspectos técnicos como económicos. Los poderes del Jefe de Montaje deben ser los suficientemente amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la Propiedad.

En ningún caso constituirá motivo de excusa para el Adjudicatario la ausencia de su representante a pie de obra. Al mismo tiempo, deberá presentar para su aprobación, la relación nominal de personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a desarrollar por cada uno de ellos. La Propiedad se reserva el derecho de recusar al Jefe de Montaje o a cualquier otro técnico destinado por el Adjudicatario en la obra durante el desarrollo de los trabajos, obligándose éste a sustituirlo en un plazo de treinta días por otro de igual categoría.

En caso de que, a juicio de la Propiedad, el personal técnico designado por el Adjudicatario sea insuficiente para la buena marcha de los trabajos, éste se obliga a completar su organización con el número de técnicos que fuera necesario según el criterio de la Dirección de Obra.

8.2. Terrenos necesarios para la ejecución de la obra

La propiedad indicará al adjudicatario los límites de los terrenos de su Propiedad dentro de los cuales puede montar sus instalaciones y dará acceso a los mismos. Todo esto estará indicado en los planos que se entreguen a los concursantes para el estudio de las ofertas.



Se supone en el Adjudicatario un conocimiento perfecto de la disposición de conjunto de los terrenos, de la importancia y situación de los trabajos objeto del contrato, de la naturaleza y estado de los terrenos, de los emplazamientos reservados para las obras, de los medios de acceso, así como de las condiciones climáticas de la región, especialmente aquéllas que pueden afectar a los trabajos.

La obligación de la propiedad en cuanto a entrega de los terrenos necesarios queda limitada a los que figuran y se reseñan en los planos que se entreguen a los concursantes con la petición de ofertas que, al mismo tiempo, definirán lo que se entiende por zona de montaje. Si por conveniencias del Adjudicatario éste deseara disponer de otros terrenos distintos de los figurados y reseñados den los planos antes citados, será de su cargo su adquisición o la obtención de las autorizaciones pertinentes, debiendo el Adjudicatario someter previamente a la conformidad de la Propiedad las modalidades de adquisición o de obtención de la autorización respectiva.

El Adjudicatario será responsable de los daños que puede causar en las vías públicas y en los caminos de acceso si éstos son particulares o de la Propiedad. Se obliga también a cumplir todas las limitaciones y solicitar los permisos de transportes especiales, etc. En cualquier caso, el Adjudicatario responde de todos los perjuicios que, como consecuencia del contrato se puedan causar a terceras personas en bienes muebles, inmuebles, cosechas, etc. y son de su competencia las reclamaciones que puedan formularse con ocasión de dichos perjuicios.

8.3. Instalaciones auxiliares

En el caso de que la obra se construya en una zona en la que la Propiedad distribuya energía eléctrica, ésta facilitará al Adjudicatario la potencia necesaria para sus instalaciones y le indicará el precio que le cobrará por la energía consumida.

La red de distribución de energía en las zonas de obra que será de cuenta del Adjudicatario, deberá estar constituida por cables aislados y no deberá interferir otros trabajos en marcha, de manera que su instalación deberá ser autorizada previamente por la Propiedad en el caso de estar ubicada en el recinto de la obra, y cumplirá todas las normas oficiales en vigor.

El abastecimiento de agua y de aire comprimido necesario para la obra será de cuenta del Adjudicatario y su instalación deberá cumplir las normas y reglamentos oficiales en vigor. La Propiedad podrá facilitar, caso de disponer de los mismos, materiales y medios auxiliares en las condiciones que se establezcan.

Serán de cuenta y responsabilidad del Adjudicatario:

- Los medios y los materiales necesarios para construcción, conservación, desmontaje, demolición o retirada en el plazo que se le señale, de sus instalaciones en obra, tales como oficinas, almacenes, comedores, etc. Los medios para asegurar la vigilancia y conservación del material almacenado en obra o curso de montaje.



- Todas las herramientas o medios necesarios para la ejecución del montaje, tales como andamios, escaleras, diferenciales, etc., y materiales de consumo de corriente como electrodos, lubricantes, etc.
- Todos los ensayos de materias primas o componentes que se estimen necesarios en curso de montaje, sean efectuados en laboratorio de obra o foráneos.
- Las diligencias o gastos necesarios para la realización de las operaciones normales de inspección por parte de los organismos oficiales.

El Adjudicatario no podrá ampararse, con el fin de eludir las obligaciones del contrato, en las dificultades que puedan ser ocasionadas por la ejecución simultánea de otros trabajos o instalaciones confiadas por la Propiedad a otros contratistas o suministradores que intervengan en la realización del mismo proyecto.

El Adjudicatario no podrá reclamar si en el curso de los trabajos y para cumplimiento normal del contrato se viese precisado a aumentar la importancia de su material, en calidad o en cantidad, en relación con sus previsiones iniciales. De cada nueva aportación de maquinaria se formalizará una nota análoga a la que forma parte del contrato para la maquinaria y útiles aportados inicialmente, que se unirá como anexo al contrato. Sin embargo, cuando el Adjudicatario se vea obligado a poner en servicio material suplementario para responder, bien a circunstancias imprevistas en el contrato o bien a causas de fuerza mayor debidamente comprobadas y, en cualquiera de ambos casos, reconocidas previamente por la Propiedad, la utilización de ese material será de abono por aplicación de precios complementarios establecidos de común acuerdo, conforme a las disposiciones que se fijan en este Pliego.

8.4. Desarrollo de las obras

Las obras se iniciarán y finalizarán en los plazos previstos. Se entenderá el trabajo de replanteo y limpieza final de obra, así como la corrección de defectos, pruebas finales, puesta en marcha y entrega de la documentación Final de Obra prevista en el apartado “Documentación Final” de este pliego.

En la reunión de replanteo de obra, en la que estará presente el Contratista, se deberá entregar un planning de la obra con la fecha de terminación acordada en el contrato.

El contratista estará obligado a cumplir los plazos parciales fijados en el proyecto.

En trabajos de carácter urgente, la dirección Facultativa exigirá una fecha de comienzo y finalización. En caso de que el contratista no cumpla con este plazo, la dirección podrá ejecutar los trabajos con otra entidad y aprobar los presupuestos y facturas directamente. Los gastos serán cargados al contratista.

Si el contratista no se ajusta a las instrucciones del proyecto, se le fijará un tiempo determinado para conseguirlo, pasado el cual la Dirección Facultativa podrá establecer un inventario del valor



de la obra ejecutada y requerir a la Propiedad para que efectúe una nueva adjudicación por concurso, previa rescisión del contrato.

El Contratista tiene la obligación de mantener la obra totalmente limpia. Los costes de dicha limpieza irán a su cargo.

8.5. Suministros auxiliares

Las ayudas de peonaje o elementos mecánicos para transporte y colocación de material, descarga de camiones, suministros de anclajes, soportes, andamios, etc, corren por cuenta del Contratista de la instalación, ya que debe prever una instalación completa, perfectamente terminada y entregada en completo y buen orden de marcha.

8.6. Riesgo de la obra

El Contratista asume toda responsabilidad y ejecuta la obra de acuerdo con las especificaciones en los documentos técnicos.

Las obras se ejecutarán en cuanto a su coste, plazos de ejecución y arte de la construcción, a riesgo y ventura del Contratista, sin que éste tenga derecho a indemnización por causa de pérdidas, averías o perjuicios.

Por consiguiente, no podrá alegarse desconocimiento de situación, comunicaciones características de la obra, transporte, etc.

En caso de incendio, robo, daños por defectos atmosféricos, inundaciones, el Contratista será el responsable, debiendo cubrirse mediante seguro de tales riesgos. Están incluidos los materiales y bienes suministrados por la propiedad.

El Contratista deberá cumplir los reglamentos sobre las condiciones de Seguridad Social, Riesgos Laborales, Seguridad y Salud, disponiendo de las correspondientes pólizas de seguro ya que será responsable de los daños y perjuicios que se puedan ocasionar como consecuencia de la obra o su personal.

El Contratista dispondrá de los siguientes seguros:

- Póliza de Todo Riesgo de Construcción (TRC), con un límite de indemnización correspondiente al total del volumen de la obra a ejecutar y cubriendo los trabajos contratados.
- Póliza de daños a terceros con las siguientes coberturas:
 - Responsabilidad Civil Profesional. El límite de indemnización para obras hasta 1.500.000 € será un mínimo de 600.000 € por siniestro; en el caso de volúmenes mayores a éste, el porcentaje de cobertura será de al menos un 20% del presupuesto de la obra.
 - Responsabilidad Civil de Explotación. Los mismos límites que el punto anterior.



- Responsabilidad Civil Patronal o por accidente de trabajo. El sublímite de indemnización por víctima para esta garantía será de 300.000 €.
- Responsabilidad Civil Cruzada. Para esta garantía los límites de indemnización serán los mismos que para la Responsabilidad Civil Patronal.

Se deberán tomar las precauciones necesarias para la seguridad de los inmuebles colindantes, efectuando recalzo en las fincas colindantes, así como también reparar cualquier hueco o agujero o desconchón que se produzca en las medianeras o muros colindantes, a cuenta y cargo del Contratista.

8.7. Relación entre la propiedad y los diversos contratistas

El Adjudicatario está obligado a suministrar, en cualquier momento, toda la información relativa a la ejecución del contrato que la Propiedad juzgue necesario tener conocimiento por razón de las posibles incidencias de los trabajos confiados al Adjudicatario, sobre los de otros contratistas o suministradores.

En ningún caso las peticiones de información dirigidas al Adjudicatario por la Propiedad supondrán una ingerencia de la Propiedad en la ejecución del contrato, ni entrañarán una participación de la Propiedad en la responsabilidad del Adjudicatario. Las peticiones tendrán únicamente carácter informativo. En todo caso, el Adjudicatario es el único responsable del ejercicio de la función que le es propia, en orden a las obligaciones del contrato.

Siempre que sea requerido, el Adjudicatario, o su representante, deberá presentarse en el domicilio de la Propiedad en la obra, con el fin de que no pueda invocarse su ausencia como causa de retraso o suspensión del cumplimiento de las órdenes de la Propiedad. La coordinación de las actividades del Adjudicatario necesarias para la ejecución del suministro con la de otros contratistas de la Propiedad o con cualquier entidad ajena al contrato con quien hay necesidad de tratar es de la competencia de la Propiedad.

Siempre que el Adjudicatario establezca contacto con otros contratistas de la Propiedad para tratar de asuntos relativos a la buena ejecución del suministro, se obliga a enviar a la Propiedad copias de las comunicaciones y correspondencia producida; las decisiones tomadas durante tales contactos sólo tendrán efecto en relación con la Propiedad si ésta las aprobase por escrito. Si como consecuencia de los anteriores contactos surgieran diferencias o dificultades, el Adjudicatario deberá pedir una reunión con los representantes de la Propiedad, que las resolverán de acuerdo con los contratos establecidos con los contratantes interesados.

Las reuniones de esta naturaleza deberán ser solicitadas con un mínimo de diez días de antelación. La Propiedad, siempre que lo juzgue conveniente, convocará, por su iniciativa o a petición del Adjudicatario, reuniones con éste y, si es necesario, con otros contratantes, a fin de discutir y resolver, de acuerdo con el programa de trabajos aprobado, los problemas que resulten de la coordinación de los trabajos en curso, de la ocupación sucesiva de locales en la obra, de la disponibilidad de medios de utilización común y en uso. Cuando varios contratistas y



suministradores utilicen las instalaciones generales pertenecientes a uno de ellos, se pondrán de acuerdo sobre este uso suplementario y el reparto de los gastos correspondientes.

La Propiedad deberá estar permanentemente informada de los acuerdos tomados entre los distintos contratistas o suministradores para, en el caso de presentarse dificultades o diferencias, tomar la resolución que proceda.

La decisión es obligatoria para los interesados. En ningún caso la Propiedad deberá encontrarse durante los trabajos, en presencia de una situación de hecho, que tuviese lugar por una falta de información por parte del Adjudicatario o de los otros suministradores o contratistas de las obras. Cuando varios contratistas y suministradores trabajen en la misma obra, cada uno de ellos es responsable de los daños y perjuicios de toda clase que pudieran derivarse de su propia actuación.

8.8. Subcontratación de obras

A menos que el contrato disponga lo contrario o que de su naturaleza y condiciones se deduzca que la obra ha de ser ejecutada directamente por el Adjudicatario, este último podrá contratar con terceros la realización de determinadas unidades de obra, cumpliendo para ello los siguientes requisitos:

- Notificar por escrito al Ingeniero del subcontrato a celebrar, las partes de obra a realizar y las condiciones económicas, de modo que éste las pueda autorizar previamente.
- Que las unidades de obra que el Adjudicatario contrate con terceros no excedan el cincuenta por ciento del presupuesto total de la obra principal.

La subcontratación deberá siempre supeditarse a la autorización previa por parte de la Propiedad.

En cualquier caso, la Propiedad no quedará vinculada en absoluto, ni reconocerá ninguna obligación contractual entre ella y el Subcontratista, de forma que cualquier subcontratación de obra no eximirá al Adjudicatario de ninguna de sus obligaciones respecto a la Propiedad.

El contratista enviará notificaciones previas a la Dirección Facultativa para efectuar la subcontratación de cualquier parte de la obra.

La Dirección Facultativa podrá recusar a los subcontratistas que a su juicio no sean idóneos para ejecutar la obra.

La adjudicación a subcontratistas se realizará siempre con sujeción al Plan de Trabajos. El contratista será el responsable de la omisión de dichas condiciones.

Todo subcontratista que intervenga en la obra lo hará con conocimiento y sumisión al Pliego de Condiciones del presente proyecto, siendo obligación del contratista su cumplimiento.



Cualquier subcontratista cumplirá con el plazo de entrega de la obra. El contratista está obligado en todo momento a cumplir la Ley 32/2006 de subcontratación.

8.9. Personal de montaje

Es de competencia del Adjudicatario por su cuenta y responsabilidad, todo el personal especializado, no especializado y auxiliar para la dirección y ejecución del montaje, así como todos los suplidos y gastos de ese personal, tales como viajes, alojamientos, dietas, desplazamientos de alojamiento en obra y desplazamientos dentro de la propia obra.

Cualquiera que sea la nacionalidad del Adjudicatario, el reclutamiento del personal deberá cumplimentar las leyes en vigor.

Si el Adjudicatario emplea en obra personal extranjero, será de su cuenta y cargo la obtención de las condiciones necesarias para que pueda trabajar en España.

Todo el personal, independientemente de su nacionalidad, acatará las leyes laborales vigentes en cuanto a horarios, seguros sociales, etc., además de aquellas de carácter general que estén vigentes para el personal de la obra.

Al frente de cada trabajo de montaje, el Adjudicatario deberá tener, a pie de obra, un técnico titulado de cualquier especialidad o condición, que pueda acreditar de forma satisfactoria ante la Propiedad, su competencia en esta clase de trabajos.

El Adjudicatario es responsable de los fraudes o malversaciones que sean cometidas por su personal en el suministro o en el empleo de materiales. El número de trabajadores de cada profesión deberá ser siempre proporcionado a la cantidad de obra a ejecutar, teniendo en cuenta los plazos fijados. El Adjudicatario deberá remitir a la Propiedad, siempre que lo solicite, una relación del personal presente en la obra, clasificado por categoría profesional.

El Adjudicatario está obligado a mantener la disciplina y el orden en los lugares de trabajo.

La Propiedad se reserva el derecho a exigir la retirada de la obra de cualquier operario al servicio del Adjudicatario cuando su presencia se revele perjudicial para la marcha o el orden de los trabajos.

8.10. Jornada laboral

No se permitirán horas extras sin autorización de la Dirección Facultativa. En caso de no cumplir el plazo previsto, el contratista deberá ampliar la plantilla, pero nunca recurrirá a las horas extra.

8.11. Coordinación con otros oficios

El contratista se coordinará perfectamente con el contratista general. Si se emplean soportes, bancadas o elementos auxiliares comunes, se pondrán de acuerdo en los costes. En caso de no acuerdo, se acatará la decisión de la Dirección Facultativa.



8.12. Seguros y asistencia médica

El Adjudicatario no podrá empezar los trabajos sin justificar previamente ante la Propiedad, tener cubiertos los seguros por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, de acuerdo con la legislación vigente.

El Adjudicatario asegurará por sí mismo o por medio de Compañía de Seguros adecuada, la prestación de asistencia médica o de enfermedad al personal.

El Adjudicatario es responsable de las condiciones de seguridad en los trabajos, estando obligado a adoptar y hacer aplicar, a su costa, las disposiciones vigentes sobre esta materia, las medidas que dicten la Inspección del Trabajo y demás organismos competentes y las normas de seguridad que correspondan a las características de las obras contratadas.

Con objeto de organizar colectivamente y de inspeccionar la seguridad y la higiene de las obras, todos los contratistas que trabajen en las mismas deberán, por indicación de la Propiedad, agruparse en el seno de una Junta Central de Seguridad, formada por los representantes de las empresas, Junta que tendrá por misión coordinar las medidas de seguridad adoptadas por los comités u organizaciones de seguridad de cada una de las empresas.

9. CONDICIONES DE PAGO Y LEGISLACIÓN

9.1. Definición de precios

Los precios de los bienes y servicios objeto del suministro serán expresados en moneda española y cubrirá la fabricación, el suministro y el montaje de todos los equipos ensayados y en funcionamiento, así como todos los repuestos y servicios adicionales que se especifiquen.

Los gastos de primer establecimiento, desmontaje y retirada de las instalaciones de obra estarán incluidos en el precio del suministro.

Todos los precios unitarios o globales comprenden, sin excepción ni reserva, además del beneficio del Adjudicatario, la totalidad de los gastos y cargas ocasionadas por la ejecución de los plazos establecidos de los trabajos correspondientes a cada uno de ellos comprendidos los que resulten de las obligaciones impuestas al Adjudicatario por los diferentes documentos del contrato y por el presente Pliego de Condiciones Generales.

El precio de los materiales y equipos que componen el suministro comprenderá:

- Coste en factoría del Adjudicatario de los materiales y equipos, sean de procedencia nacional o extranjera incluso embalaje adecuado.
- Coste del transporte de factoría a pie de obra y distribución en la propia obra.
- Coste del seguro de transporte.
- Coste unitario de las piezas de repuesto que se establezcan.



En el precio de materiales y equipos estarán incluidos los estudios de fabricación, dibujos, esquemas eléctricos, etc., así como los derechos de patente, royalties y demás que puedan incidir sobre los mismos, quedando la Propiedad libre de cualquier existencia de terceros sobre los citados derechos.

En el precio del transporte estarán incluidas cargas, descargas, transbordos, colocación en parque o almacén, incluso guarda, así como los gastos correspondientes a derechos aduaneros o permisos de importación de haberlos.

El costo y montaje incluirá los gastos de instrucción y adiestramiento del personal de la Propiedad, que se hará cargo de la explotación de las instalaciones, el precio de los seguros de montaje y los ensayos de los equipos e instalaciones finalizado el montaje, en los términos señalados en este Pliego.

9.2. Prestaciones accesorias y trabajos por administración

El Adjudicatario está obligado a realizar, a título accesorio, trabajos de pequeña importancia y prestaciones complementarias en régimen de Administración.

Los trabajos realizados en régimen de Administración se liquidarán de la siguiente forma:

- Empleo de mano de obra y materiales: el importe a abonar por estos conceptos viene dado por la expresión:

$$l = (J + M) * \frac{(100 + n)}{100}$$

Siendo:

- J: importe total de la mano de obra, obtenido aplicando al total de horas trabajadas por personal obrero de cada categoría, directamente empleado en estos trabajos, la tarifa media horaria correspondiente, según baremo establecido, incluyendo jornales, cargas sociales, gastos de alojamiento y porcentaje de útiles y herramientas. El baremo citado debe figurar como anexo en el cuadro de precios.
 - M: precio pagado según factura de los materiales y suministros utilizados en estos trabajos, incluido el transporte hasta almacén de obra.
 - n: tanto por ciento de aumento sobre los conceptos anteriores, que cubre los demás gastos, gastos generales y beneficio. El valor de n se fijará en el contrato y será siempre menor o igual que 20.
- Empleo del equipo auxiliar: la mano de obra directa y el combustible y energía correspondientes al empleo de maquinaria o equipo auxiliar del Adjudicatario, para la ejecución de trabajos o prestaciones de servicios pagados por la Administración, se abonará al Adjudicatario por aplicación de las fórmulas anteriores.

Además, se abonará al Adjudicatario una remuneración, según tarifa, en concepto de utilización de la maquinaria, incluyendo los gastos de conservación, reparaciones y recambios.



Se emplearán una o varias tarifas según el tipo de maquinaria, expresados siempre en un tanto por mil del valor de la máquina por hora efectiva de utilización (o bien por día natural de utilización).

Cuando se decida, de común acuerdo, traer a la obra nueva maquinaria, especialmente para trabajos por Administración, se empleará también la fórmula anterior, pero se asegurará al Adjudicatario una remuneración diaria mínima en concepto de inmovilización, expresada también en un tanto por mil del valor de la máquina por día natural de inmovilización.

Además, en este caso, se abonará al Adjudicatario el transporte de la maquinaria a obra, ida y vuelta, y los gastos de montaje y desmontaje, si los hubiere, según la fórmula indicada en el apartado a).

Cuando una máquina sea utilizada con posterioridad a la fecha en que su empleo era necesario para terminar los trabajos objetos del presente contrato, a partir de la misma se asegurará al Adjudicatario la percepción del mínimo de inmovilización antes señalado.

Los importes obtenidos por todas las expresiones anteriores se incluirán también en el mismo porcentaje n anteriormente citado en el apartado a), que cubre los demás gastos, gastos generales y beneficio.

El Convenio de Adjudicación o el Pliego de Condiciones Particulares establecerán los detalles complementarios que sean precisos.

9.3. Trabajos no previstos

Cuando se juzgue necesario ejecutar trabajos no previstos, se prepararán los precios contradictorios correspondientes, teniendo en cuenta los del contrato o, por asimilación, los de obras semejantes.

Los nuevos precios se basarán en las mismas condiciones económicas que los precios del contrato.

A falta de mutuo acuerdo y en espera de la solución de la discrepancia, se liquidará provisionalmente al Adjudicatario en base a los precios fijados por la Propiedad.

Si no hubiese conformidad en la fijación de dichos precios entre la Propiedad y el Adjudicatario, éste quedará relegado de la construcción de la parte de la obra de que se trate, sin derecho a indemnización de ninguna clase. En esta situación en la que, a juicio de la Propiedad, sea imposible el fijar nuevos precios, o así le convenga a esta última, corresponderá únicamente a ella la decisión de abonar excepcionalmente los trabajos en régimen de Administración.

Cuando se proceda al empleo de los materiales o ejecución de las obras de que se trate, sin la previa aprobación de los precios que hayan de aplicárseles, se entenderá que el Adjudicatario se conforma con los que le fije la Propiedad.



9.4. Revisión de precios

En el caso de variación de las condiciones económicas en el curso de la ejecución del contrato, los precios establecidos serán revisados por aplicación de la fórmula general:

$$P = P_o * K$$

En la que P_o es el precio de origen a revisar, P el nuevo valor del precio después de la revisión y K un coeficiente que se rige por la siguiente expresión:

$$K = 0.15 + a * \frac{H_i}{H_o} + b_i * \frac{M_i}{M_{oi}}$$

Donde:

- a y b son coeficientes de influencia que cumplen la característica de que $a+b_i=0,85$.
- H_o es el índice de mano de obra en la fecha de presentación de la oferta.
- H_i es el índice de mano de obra en el período del curso del cual se calcule la revisión.
- M_{oi} y M_i son los índices correspondientes a materiales en la fecha de presentación de ofertas y en el período del curso del cual se calcule la revisión, respectivamente.

Los índices que han de utilizarse en las fórmulas de revisión serán los índices oficiales de precios sometidos mensualmente a la aprobación del Gobierno por el Comité Superior de Precios de Contratos del Estado y publicados en el Boletín Oficial del Estado, según dispone el Decreto Ley de 4 de febrero de 1964.

Para un contrato pueden ser previstos uno o varios coeficientes K , aplicándose cada uno a un determinado grupo de precios. La revisión de los precios se realizará únicamente en el caso de producirse variaciones en los índices previstos en cada caso.

La Propiedad establecerá en cada caso particular la fórmula o fórmulas de revisión a emplear y las normas complementarias de aplicación de las mismas. Salvo que se indique lo contrario, serán de aplicación las fórmulas oficiales realizadas para el Estado que aparecen en las Memorias de la Comisión de Precios, publicadas periódicamente por el Ministerio de Obras Públicas.

Si los trabajos no han terminado al final del plazo global de ejecución previsto en el convenio serán prolongados, si ha lugar, en un tiempo igual al de los retrasos reconocidos y aceptados por la Propiedad resultantes de circunstancias que no son imputables al Adjudicatario. Los valores de los coeficientes K a utilizar en la continuación de las obras no podrán en ningún momento ser superiores a los alcanzados en la época de la terminación del plazo.

Todos los valores inferiores de estos índices serán, por el contrario, aplicados a partir de la época en la que los mismos se hayan comprobado. En principio, no serán revisables más que los precios que se refieren a prestaciones efectuadas en territorio español. Además, cuando estos precios



contengan elementos que dependan de un sistema económico extranjero, su revisión se limitará únicamente a la fracción de cada uno de ellos que dependa de las variaciones económicas comprobadas en España.

Si el contrato prevé excepcionalmente la revisión de los precios que dependan en su totalidad o en parte de un sistema económico extranjero, el importe revisado por medio de las fórmulas contractuales previstas a este efecto estará limitado al valor obtenido:

- Convirtiendo el precio inicial, cuando esté fijado en divisas extranjeras, en euros, al tipo de cambio aplicable en la fecha de referencia de precios.
- Aplicando al precio inicial, expresado en euros, la fórmula de revisión contractual, después de haber reemplazado los índices en vigor en el país extranjero por los índices o tipos de la misma naturaleza establecidos en el contrato.
- Convirtiendo en su caso el importe obtenido en divisas al cambio aplicable en las fechas de revisión.

9.5. Condiciones de pago

A efecto de pago de los diferentes equipos y servicios objeto del contrato, serán consideradas las dos partidas siguientes:

- Equipo y materiales entregados en el local de montaje.
- Montaje e instrucción del personal de explotación de la Propiedad.

En el contrato figurará una cláusula en la que se indique claramente la forma en que la Propiedad efectuará los pagos del equipo y materiales.

El coste del montaje será abonado totalmente en la fecha de recepción definitiva de las instalaciones, salvo que se especifique otro acuerdo en el contrato.

En el contrato se indicará el porcentaje sobre el coste total de los suministros y servicios prestados por el Adjudicatario, que no se abonarán hasta la terminación del plazo de garantía.

9.6. Penalidades

Podrán aplicarse penalidades al Adjudicatario, e incluso podrá determinarse la rescisión del contrato en los siguientes casos:

- Si no se respetan las fechas finales o intermedias del programa general de trabajos aprobados.
- Si retrasa la entrega de la documentación técnica.
- Si el equipo, o parte de él, no fuera capaz de asegurar normalmente el servicio industrial para el cual fue concebido y especificado.
- Si los resultados de las medidas y ensayos no correspondieran a los valores garantizados.

Aparte de las penalidades referidas en la cláusula del apartado anterior, el Adjudicatario tomará a su cargo los gastos ocasionados por sus retrasos.



Las penalidades o rescisión a que se ha hecho referencia serán aplicadas después de comprobar la Propiedad la imposibilidad, por parte del Adjudicatario, de corregir las faltas o defectos verificados y los desvíos medidos y después de haber introducido en el plazo autorizado por la Propiedad las modificaciones del equipo y sin que, entretanto, se produjeran perjuicios directos o indirectos a la Propiedad.

La cuantía de la penalidad será determinada y calculada en cada caso particular en función del perjuicio causado a la Propiedad. La Propiedad notificará al Adjudicatario la aplicación de penalidades mediante carta certificada con acuse de recibo.

9.7. Indemnización a favor del Adjudicatario

Únicamente tendrán derecho a la indemnización a favor de Adjudicatario las pérdidas, averías y daños imputables a la Propiedad y debidamente comprobadas, y eventualmente las imputables a casos de fuerza mayor.

El Adjudicatario tomará las disposiciones necesarias, a su costa y riesgo, para que su material e instalaciones no puedan sufrir daños o perjuicios como consecuencia de fenómenos naturales previsibles de acuerdo con la situación u orientación de la obra.

En caso de que el Adjudicatario estime que existen casos de fuerza mayor señalará este hecho por escrito a la Propiedad en el plazo máximo de diez días después de ocurrida la causa.

La Propiedad se reserva el derecho de fijar en cada caso las indemnizaciones que puedan concederse al Adjudicatario y decidir si el motivo por el que reclama la indemnización puede incluirse en lo reseñado anteriormente. Pasado el plazo de diez días, no se admitirá al Adjudicatario ninguna reclamación. Se considerarán a estos efectos como causas de fuerza mayor las señaladas en el Pliego de Condiciones Generales para la contratación de Obras Públicas.

9.8. Ceso a aplazamiento de los trabajos. Rescisión del contrato

En el caso de que la Propiedad ordene el cese absoluto de los trabajos, el contrato queda inmediatamente rescindido. Si la Propiedad ordena su aplazamiento por más de un año, sea antes o después del comienzo de las obras, el Adjudicatario tiene derecho a la rescisión del contrato, si lo solicita por escrito, sin perjuicio de la indemnización que, tanto en un caso como en el otro, le corresponda, si hay lugar a ello.

No se aceptará la petición de rescisión por parte del Adjudicatario cuando sea presentada en un plazo superior a los cuatro meses a partir de la fecha de notificación de la orden de servicio prescribiendo el cese o el aplazamiento de los trabajos.

Si la Propiedad ordena el aplazamiento de los trabajos por menos de un año el Adjudicatario no tendrá derecho a la rescisión, pero sí a una indemnización en caso de perjuicios debidamente comprobados. En el caso de que se hubiesen empezado los trabajos, el Adjudicatario puede



requerir que se proceda a la recepción provisional de las obras acabadas y en estado de ser recibidas y después a la recepción definitiva, una vez cumplido el plazo de garantía.

En caso de fallecimiento del Adjudicatario, el contrato será rescindido de pleno derecho, salvo que los herederos se comprometan por escrito a cumplir el contrato existente, sin introducir en él modificación alguna. En caso de quiebra o de suspensión de pagos del Adjudicatario, el contrato queda inmediatamente rescindido de pleno derecho, bastando para ello que la Propiedad lo notifique de forma fehaciente en el plazo de dos meses a partir de la publicación legal de la declaración de quiebra o de la suspensión de pagos.

En todo momento las medidas de conservación o de seguridad cuya urgencia sea manifiesta serán tomadas de oficio por la Propiedad con cargo al Adjudicatario, sin perjuicio de la decisión definitiva del Tribunal.

Cuando el Adjudicatario no dé cumplimiento a las disposiciones u obligaciones del contrato o a las órdenes que le sean dadas por la Propiedad, ésta la intimará a cumplir estos requisitos u órdenes en un plazo determinado que, salvo casos de urgencia, no será menor de diez días a partir de la notificación de la intimación. Pasado este plazo, si el Adjudicatario no ha ejecutado las disposiciones prescritas, la Propiedad podrá ordenar, a título provisional, el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial por cuenta del Adjudicatario.

Se procederá inmediatamente, en presencia del Adjudicatario, o habiéndose convocado debidamente, a la comprobación de los trabajos realizados, de los materiales acopiados, así como el inventario descriptivo de su material y a la devolución a éste de la parte de los materiales que no utilizará la Propiedad para la terminación de los materiales.

La Propiedad tiene, por otra parte, la facultad, sea de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso, en principio sobre petición de ofertas, por cuenta y riesgo del Adjudicatario rebelde, sea de ejecutar el derecho de rescisión pura y simple del contrato, sea de prescribir la continuación de la intervención.

Durante el período del régimen de intervención, el Adjudicatario podrá conocer la marcha de los trabajos sin que pueda, de ninguna manera, entorpecer o dificultar las órdenes de la Propiedad. El Adjudicatario podrá, por otra parte, ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos y llevarlos a buen fin.

Los excedentes de gastos que resulten de la intervención o del nuevo contrato serán deducidos de las sumas que puedan ser debidas al Adjudicatario, sin perjuicio de los derechos a ejercer contra él en caso de ser insuficientes. Si la intervención o el nuevo contrato suponen, por el contrario, una disminución de gastos, el Adjudicatario no podrá pretender beneficiarse en ninguna parte de la diferencia que quedará a favor de la Propiedad.



En todos los casos de rescisión se procederá con el Adjudicatario o sus derecho-habientes presentes o debidamente convocados, a la comprobación de los trabajos realizados, al inventario de los materiales acopiados, así como al inventario descriptivo de la maquinaria y de la instalación de la obra.

En caso de rescisión por otros conceptos que no sean la petición de ésta por parte de la Propiedad, esta última entidad puede exigir al Adjudicatario que mantenga en la obra todo o parte de sus instalaciones generales o de su material, con el fin de poder disponer libremente la prosecución de los trabajos, encargando su explotación, si lo estima conveniente, a otra empresa. Las instalaciones, maquinaria, etc., que la Propiedad decida que deben permanecer en obra, podrán ser utilizadas por la Propiedad o por otra empresa de su elección hasta la terminación de las obras objeto del contrato rescindido, sin pago alguno por parte de la Propiedad o de la empresa que designe, en concepto de alquiler, amortización, etc.

Los materiales existentes en la obra y que la Propiedad decida utilizar en la terminación de las obras serán abonados a los precios que figuren en el contrato rescindido, o los que se fijen en su peritaje. En los casos de rescisión por decisión de la Propiedad, se decidirá de mutuo acuerdo entre ésta y el Adjudicatario, las instalaciones que deben permanecer en la obra y la indemnización a pagar por la Propiedad en ese concepto.

En ningún caso podrá el Adjudicatario retirar de la obra maquinaria, materiales, instalaciones, etc., sin la autorización escrita de la Propiedad.

En caso de rescisión del contrato, la Propiedad le comunicará en un plazo de cuatro meses a partir de la fecha de rescisión, las instalaciones, maquinaria, materiales, etc., que deben permanecer en la obra. También le indicará el plazo en que debe retirar de la obra las instalaciones, maquinaria, materiales, etc., que la Propiedad no vaya a emplear en la terminación de las mismas. Para la aplicación del presente Artículo por el Adjudicatario es preciso entender, en su caso, sus derecho-habientes.

9.9. Legislación

Las leyes españolas regularán las fases de concurso y el establecimiento del contrato.

El Adjudicatario queda obligado a respetar las disposiciones prescritas en la legislación española vigente aplicables a la ejecución del contrato y a soportar las consecuencias de su incumplimiento.

El Adjudicatario y la Propiedad acuerdan someter la resolución de todas las divergencias, controversias o discrepancias a que pueda dar lugar la interpretación o la ejecución del contrato de obras al juicio arbitral de derecho privado, de acuerdo con las normas establecidas en la Ley de 22 de diciembre de 1983.



Los árbitros resolverán sobre los puntos concretos que se sometan a su decisión en la correspondiente escritura notarial de formalización de compromiso y dentro del plazo que en la misma se señale.

Los honorarios de los árbitros serán sufragados a medias entre el Adjudicatario y la Propiedad. Contra el laudo emitido por los árbitros, con arreglo a su leal saber y entender, únicamente cabrá recurso de nulidad ante la Sala del Tribunal Supremo, por los motivos que indica nº 3 del Artículo 1691 de la Ley de Enjuiciamiento Civil.

En los documentos de Proyecto y de Contrato se establecerán una de las dos modalidades siguientes:

- Permisos y legalizaciones corren por cuenta del Contratista, así como la confección y presentación de los boletines de la instalación, así como el resto de documentos que reglamentariamente deben ser preparados y aportados por el Contratista. Corre por cuenta del contratista la redacción, visado y tramitación ante Organismos Oficiales (Delegación de Industria, Ayuntamiento, etc.) de los Documentos técnicos necesarios para obtener todos los permisos oficiales para la construcción, puesta en marcha y conexión de las instalaciones objeto del Pliego. Asimismo, el Contratista es el responsable de la confección, visado y tramitación de los Certificados Finales de Obra necesarios. Los costes de las tasas de visado y tramitación corren por cuenta del Contratista.
- Permisos y legalizaciones por cuenta de la Propiedad corren por cuenta del Contratista. También la confección y presentación de los boletines de la instalación y Manual de instrucciones y mantenimiento, así como el resto de documentos que reglamentariamente deben ser preparados y aportados por el Contratista. La obtención del resto de permisos oficiales para la construcción, puesta en marcha, conexión de las instalaciones objeto de este pliego es responsabilidad de la Dirección Facultativa y la Propiedad.

10. CIMENTACIÓN Y ESTRUCTURAS

10.1. Obras de hormigón

Agua, áridos y aditivos cumplirán lo especificado en los apartados correspondientes de este Pliego de Condiciones. La puesta en obra del hormigón no se iniciará hasta que se hayan estudiado y aprobado su correspondiente fórmula de trabajo, la cual será fijada por el Director y a la vista de las circunstancias en las que discurra la obra, determinará granulometría, dosificación y consistencia del hormigón.

La dosificación será determinada mediante ensayos previos, si bien se podrá prescindir de ellos si el Adjudicatario justifica, a través de experiencias anteriores, que ésta es adecuada para las características exigidas para el hormigón.

El agua de amasado no tendrá una temperatura superior a 40°C salvo en caso de hormigonado en tiempo frío. El agua de amasado deberá ser dulce, no admitiéndose agua salitrosa ni



magnésica, así como todas aquéllas que contengan sustancias perjudiciales para la resistencia y conservación del buen estado de los morteros y hormigones.

Las arenas serán naturales, silíceas y no contendrán ni yeso, ni magnesio y estarán limpias de tierra y materia orgánica, no tendrán más de un décimo de su peso en humedad, ni formarán ni tomarán cuerpo al apretarlas. Para hormigones H-250 o superiores será obligado realizar la mezcla en central. La mezcla en el camión comenzará a los treinta minutos siguientes de la unión del cemento a los áridos. La descarga se realizará dentro de la hora y media siguiente a la carga, pudiéndose aumentar ésta previa autorización del Director, o bien disminuirse si la elevada temperatura o cualquier otra circunstancia así lo aconsejan. Todas las cimbras, encofrados y moldes deberán ser capaces de resistir las acciones del hormigonado, para lo cual deberán presentar la resistencia y rigidez suficiente. Asimismo, serán suficientemente estancos como para impedir pérdidas de lechada y sus superficies estarán suficientemente limpias en el momento de hormigonar.

Para las obras, tanto con hormigón en masa o en armado, se seguirán las normas NTE-EH, "Estructuras de hormigón". Las secciones y cotas de profundidad serán las que el Ingeniero Director señale, con independencia de los señalados en el proyecto que tiene carácter meramente informativo. Se adoptarán las condiciones relativas a materiales, control, valoración, mantenimiento y seguridad especificados en la norma NTE-CSZ, Cimentaciones superficiales. Zapatas.

El transporte desde la hormigonera se realizará lo más rápido posible, cuidando de que no se produzca segregación, introducción de cuerpos extraños o desecación excesiva de la masa. No se rellenará ninguna zanja o pozo de cimentación y estructura, en general, hasta que el Adjudicatario reciba la orden del Director Técnico. Durante la operación de vertido, las armaduras quedarán completamente envueltas, manteniéndose los recubrimientos y separación entre ellas, para lo cual se removerá el hormigón adecuadamente. El método general de compactación será el de vibrado. Éste se realizará de manera que no se produzcan segregaciones ni fugas de lechadas importantes.

10.2. Hormigón

Para la realización de las cimentaciones se empleará el H-275 si el Director Técnico no indicase lo contrario. Las características técnicas exigibles al hormigón son:

- I. Densidad: las densidades máximas del hormigón en seco y fresco serán de 425 kg/m³ y 600 kg/m³, respectivamente.
- II. Conductividad térmica: el coeficiente de conductividad térmica tiene que ser de 0,1 W/m K.
- III. Resistencia a compresión: la resistencia a compresión será como mínimo de 4 kg/cm².



En cada lote compuesto como máximo de 1000 m² se realizarán sobre dos muestras los ensayos definidos en las características técnicas con las siguientes tolerancias de aceptación, sobre los valores expuestos, según los métodos de ensayo de las normas UNE correspondientes:

- I. Densidad: valores superiores a 433 kg/m³.
- II. Conductividad térmica: valores no superiores a 0,11 W/m K. El ensayo se realizará según ASTM-C-177 y UNE 92201-86, 92202- 86.
- III. Resistencia a compresión: valor no inferior a 3 kg/m². Ensayo según ASTM-C-495-69.

El hormigón en zapatas de estructuras metálicas y cimentaciones de recipientes, columnas e intercambiadores se preparan en superficie previamente, aplicándose una capa de 60 micras de epoxi-alquitrán y una capa de 120 micras de pintura de acabado de epoxi-alquitrán.

10.3. Cemento

El Adjudicatario informará a la Dirección de Obra del fabricante que suministrará el cemento y del nombre comercial de éste, adjuntando la garantía de este fabricante de que su producto cumple con las condiciones requeridas.

No se variará el Suministrador, ni el tipo de cemento durante la ejecución de la obra sin la autorización de la Dirección de Obra.

10.4. Agua

Se aplicará el artículo de la EH-91.

10.5. Áridos

El tamaño de los áridos que se van a utilizar deberán ajustarse en todo momento a lo dictado por el artículo 7º de la EH-91.

El Adjudicatario facilitará a la Propiedad el acceso al lugar de fabricación y procedencia de los áridos para realizar las verificaciones oportunas.

10.6. Dosificación

La dosificación en la obra quedará determinada en los ensayos previos y en las condiciones dictadas por el artículo 67 de la norma EH-91.

Durante la ejecución de la obra se mantendrá la dosificación inicial, salvo que varíen las características de algún componente del hormigón, en cuyo caso se realizarán ensayos para determinar la nueva composición.

10.7. Aditivos

No se prevé el uso de ningún aditivo al hormigón. En el caso de que se contemple la necesidad o conveniencia del empleo de cierto tipo de aditivo, éste necesitará la aprobación de la Dirección de Obra, para lo cual el Adjudicatario propondrá el Suministrador y el tipo de producto,



adjuntando las especificaciones técnicas del mismo. Además, se efectuarán ensayos previos para apreciar así en qué medida se ve modificada la resistencia al hormigón.

10.8. Armaduras

Para el armado del hormigón se emplearán barras corrugadas AEH- 500S soldables y con características UNE 3606888. El empalme de las armaduras se realizará siguiendo el artículo 41 de la norma EH-91.

El doblado y colocación de las armaduras se hará de acuerdo con las indicaciones de los artículos 12 y 13 de la norma EH-91. El Adjudicatario entregará a la Dirección de la Obra el certificado de garantía del fabricante, en el que también se indicará que es apto para el soldeo y las condiciones y procedimientos en que éste debe realizarse. En el caso de utilizarse elementos de uniones de barras tales como manguitos roscados, Cadweld, etc., éstos deberán encontrarse homologados por algún organismo oficial a nivel nacional. En cualquier caso, la resistencia de la unión a rotura en ensayo de tracción deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Rotura fuera de la unión: superior a la carga de rotura de la menor de las barras a unir.
- Rotura en la unión: superior a 1,2 veces la carga de rotura de la menor de las barras a unir.

Todas las barras llevarán grabadas las marcas de identificación del tipo de acero y la marca del fabricante, según los códigos de homologación dados en la UNE-3606888.

10.9. Morteros y adhesivos

El Adjudicatario entregará a la Dirección de Obra para su aprobación el tipo de marca de los morteros especiales y adhesivos, así como las características técnicas de los mismos.

10.10. Suministro

El Adjudicatario presentará las características técnicas y funcionales de la planta de hormigón, que deberá superar con holgura las necesidades de la obra en los momentos punta.

Con el fin de asegurar el suministro de hormigón a la obra, la planta dispondrá de materiales acopiados en cantidad suficiente como para producir hormigón al máximo de producir durante diez horas.

La planta dispondrá para su manejo de personal especializado en este trabajo, y mantendrá las mismas personas con el fin de asegurar un hormigón homogéneo. La planta dispondrá de los medios necesarios para determinar la cantidad de agua en los áridos y poder corregir la cantidad de agua de amasado.

El transporte al punto de vertido se realizará con cubas giratorias de aspas fijas.



10.11. Puesta en marcha

La puesta en obra del hormigón se hará siguiendo las indicaciones del artículo 16 de la EH-91 y teniendo en cuenta muy especialmente lo que se establece en los subapartados que se incluyen a continuación.

10.11.1. Agua

Queda totalmente prohibida la adición de agua en las cubas de transporte al hormigón elaborado procedente de la planta de hormigonado.

10.11.2. Colocación

Se tendrá especial cuidado para el vertido continuo y si es necesario se colocarán con conducciones adecuadas, de forma que en ningún caso se produzca disgregación de la mezcla.

10.11.3. Compactación

La compactación del hormigón se realiza por vibrado, utilizando personal cualificado y evitando en lo posible el contacto del vibrador con la armadura. Se emplearán vibradores internos de aguja, cuya frecuencia no será inferior a 6000 rpm. Se tendrá especial cuidado en la ejecución del hormigón en cotas por debajo del nivel freático para evitar filtraciones de agua.

10.11.4. Espesores del hormigón

Cuando la pieza que se va a hormigonar tenga las tres dimensiones mayores de dos metros, el Adjudicatario podrá elegir bien la interrupción del vertido de forma que la dimensión vertical tenga esperas de 24 horas en cada altura de 2 m, bien la colocación de termopares en los puntos más alejados de las superficies, deteniendo el vertido del hormigón al superar los 60°C.

El Adjudicatario podrá proponer espesores de tongada después de haber investigado temperaturas máximas a las 24 horas.

10.11.5. Juntas de hormigón

Siempre que se haga una junta de hormigonado por debajo del nivel freático, se dispondrá de una junta estanca y adhesivo de hormigón viejo-nuevo. Previamente a la aplicación del adhesivo se limpiará la junta de toda suciedad o árido que haya quedado suelto, se picará y retirará la capa superficial del mortero, dejando los áridos al descubierto.

En cualquier caso, se tendrá en cuenta el artículo 17 de EH-91.

10.11.6. Curado del hormigón

Se procederá de acuerdo con lo indicado en el artículo 20 de la EH-91.

10.11.7. Apuntalamiento, encofrado y desencofrado

Como norma general, el plazo de desencofrado de cualquier elemento estructural no será inferior a 72 horas, salvo que la Dirección de la Obra autorice un plazo menor o exija uno mayor. No se permitirá el despuntalamiento para la retirada del encofrado hasta que no haya



transcurrido el período que la Dirección de Obra considere preciso para dicho desapuntalamiento.

10.12. Control

Los ensayos que se realicen se harán con cargo al Adjudicatario, a través de una empresa especializada.

En obra se dispondrá, para la realización del control, de cinta métrica, regla, nivel, plomada, termómetro, cono de Abrams, siete moldes de probetas con chapa y retacador.

La toma de muestras, conservación y rotura, se hará de acuerdo a lo dictaminado por las normas UNE 8330084, 8330184 y 8330484.

10.13. Recepción de piezas y conjuntos

Para la realización de una pieza deben haber resultados positivos los controles realizados y cumplirse las tolerancias geométricas. La recepción de un conjunto requiere la aceptación de cada una de las partes.

En caso de que una pieza resultase no apta para su recepción, la Dirección de la Obra estudiará y decidirá o no, su demolición, la reparación de la pieza, la realización de ensayos de información o pruebas de carga u otro tipo de comprobaciones para determinar si la pieza puede cumplir las funciones a las que ha sido destinada. En el caso de aceptarse una pieza en condiciones no adecuadas para su recepción, el Adjudicatario presentará a la Dirección de Obra una propuesta de compensaciones.

10.14. Mediciones

Las mediciones se harán sobre plano. El Adjudicatario podrá, en casos especiales, proponer a la Dirección de Obra otro tipo de medición para su aprobación.

10.15. Documentación a entregar

Con la recepción de la obra se entregará, por parte del Adjudicatario, un dossier completo con los certificados de garantía y calidad de todos los materiales utilizados, así como los certificados de todas las pruebas e inspecciones realizadas.

10.16. Estructuras

Las estructuras empleadas para soportar los equipos serán de acero laminado, tanto la propia estructura como todos sus elementos de unión. La estructura y los elementos de unión serán de acero al carbono A-52. La superficie de las estructuras se preparará con un chorreado siguiendo las especificaciones SIS 05.59.00, PSC-SP.

De no especificarse lo contrario, se aplicará un chorreado Sa 2, según la especificación PSC-SPIO. Se aplicará una capa de imprimación de 40 micras como mínimo al clorocaucho. Se aplicará otra



capa de pintura de fondo de 80 micras de clorocaucho. Como pintura de acabado, se aplicarán dos capas de 25 micras/capa de clorocaucho puro.

Las condiciones relativas a la ejecución, seguridad en el trabajo, control de la ejecución, valoración y mantenimiento, se regirán según lo establecido en las normas:

- NBE-MV-102: Ejecución de las estructuras de acero laminado en edificación. Se fijan los tipos de unión, la ejecución en taller, el desmontaje en obra, y las tolerancias.
- NBE-MV-103: Acero laminado para estructuras de edificaciones, en donde se fijan las características de acero laminado y los productos laminados actualmente utilizados.
- NBE-MV-105: Roblones de acero.
- NBE-MV-106: Tornillos ordinarios calibrados para estructuras de acero. NB-EA: Estructuras de acero.

11. DOCUMENTACIÓN FINAL

EL Contratista preparará con todo ello la siguiente documentación que se denominará Documentación Final de Obra y que se integrará en la Documentación de Obra Ejecutada que exige el artículo 8.1 de la Parte I del Código Técnico de la Edificación:

- Memoria actualizada con todos sus apartados.
- Resultado de las pruebas realizadas de acuerdo con el protocolo de proyecto o reglamento vigente.
- Proyecto de mantenimiento preventivo (según artículo 8.1 de la Parte I del CTE, apartado "Documentación Final" de este pliego).
- Planos de la instalación terminada.
- Lista de materiales empleados y catálogos.
- Relación de suministradores y teléfonos.
- La necesaria para cumplimentar la normativa vigente y conseguir la legalización y suministros de fluidos o energía.

De la documentación anterior se entregará una primera copia sin aprobar a la Dirección Facultativa o a la empresa de Control de Calidad.

En un plazo suficiente, el Control de Calidad comprobará la documentación entregada y emitirá un plan de comprobaciones y pruebas que deberán ser realizadas por el Contratista en presencia de la Dirección Facultativa o personal de la empresa de Control de Calidad.

Caso de resultar negativas, se propondrá otro día para efectuar las pruebas.

Si en la segunda revisión se observan de nuevo anomalías que impidan proceder a la Recepción, los gastos ocasionados por las siguientes revisiones correrán por cuenta del Contratista, con cargo a la liquidación. Al mismo tiempo, el Contratista aclarará a los Servicios de Mantenimiento de la Propiedad cuantas dudas encuentren.



12. PROYECTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Se denomina Proyecto de Mantenimiento Preventivo el documento que recoge las instrucciones de uso y mantenimiento del proyecto sobre los materiales y sistemas, más las instrucciones de uso y mantenimiento de los suministradores, instalaciones y fabricantes de materiales y equipos correctamente instalados, más el plan específico de mantenimiento con la planificación de las operaciones programadas para el mantenimiento. Estos documentos forman parte de la Documentación de Obra Ejecutada que exige el artículo 8.1 de la Parte I del Código Técnico de la Edificación.

El proyecto de mantenimiento preventivo deberá ser realizado de forma específica y particular para el edificio. Éste deberá contener los siguientes apartados:

- Zonificación. Se estudiará la definición de las zonas, que posteriormente afectarán a la ejecución del proyecto y se realizará de forma jerárquica. Del mismo modo se estudiarán las diferentes posibilidades de agrupación, concluyendo con todo ello la solución más adecuada para el presente proyecto.
- Inventario de los equipos existentes. Consiste en realizar un inventario de todos los equipos instalados, identificándolos con una nomenclatura específica que permita particularizar cada unidad de mantenimiento existente.
- Recursos. Se introducirán y se asignarán los recursos disponibles con el fin de realizar las tareas de mantenimiento. De cada uno de ellos se dispondrá de toda la información necesaria requerida tales como horario de trabajo, calendario de disponibilidad, perfil (si es un operario interno o externo).
- Fichas de mantenimiento preventivo. Para cada uno de los equipos inventariados se preparará una completa ficha que contendrá los siguientes apartados:
 - Nombre del equipo.
 - Código identificador.
 - Fabricante o suministrador (nombre, dirección, teléfono, e-mail...).
 - Familia de mantenimiento a la que pertenece.
 - Instalación a la que pertenece.

Imagen del equipo. Imagen o gráfico explicativo.

Características del equipo. Se introducirán ñas características propias de cada equipo (marca, modelo, número de serie, potencia, tensión, intensidad, caudal...).

Operaciones de mantenimiento: a cada equipo se le asignarán una serie de órdenes de mantenimiento que incluirán a la siguiente información:

- Nombre de la operación.
- Periodicidad.
- Nivel de obligatoriedad.
- Categoría profesional encargada de realizar la operación.
- Tiempo estimado de realización.
- Parámetros de lectura que se deben tomar.



Unidades de mantenimiento: Se especificará el número de unidades de mantenimiento que existen de cada equipo. Cada unidad incorporará:

- Situación.
- Cantidad.
- Estado de la unidad.
- Características propias de la unidad.
- Planning de operaciones de mantenimiento: Una vez obtenidas todas las fichas de mantenimiento de los diferentes equipos se construirá un planning anual de las operaciones que se deben de realizar para cada equipo. Éste permitirá de forma rápida poder visualizar los trabajos a realizar durante el periodo de tiempo que se desee consultar.
- Relación de suministradores: A partir de la información recogida anteriormente para cada equipo, se realizará un listado de las empresas y proveedores afines al mantenimiento del edificio, en la que se incluirá la siguiente información: Nombre, dirección, teléfono, fax, e-mail, persona de contacto. Se confeccionará un dossier con toda la documentación anterior que se entregará a la Dirección facultativa para su revisión y aprobación, y a la Propiedad.

13. DIRECCIÓN TÉCNICA DE LA PUESTA EN MARCHA

Para conseguir una correcta puesta en marcha de las instalaciones, la empresa instaladora tendrá que disponer de un equipo totalmente diferenciado del de montaje y manipulación de las instalaciones, encargado de sistematizar los procesos, cumplimiento de parámetros técnicos y entrega de las instalaciones. La gestión de este proceso se llama Dirección Técnica de la Puesta en Marcha.

La Dirección Técnica de la Puesta en Marcha tendrá las siguientes fases de actuación:

- Definición del plan de puesta en marcha, para unidades de trabajo con indicación del tiempo previsto, según ficha del plan de puesta en marcha. Este planning tendrá que ser presentado a dirección de obra para su aprobación.
- Dirección de los equipos de trabajo de la empresa instaladora con:
 - Seguimiento e interpretación de las especificaciones de proyecto y de la dirección de obra.
 - Definición de los parámetros de regulación.
 - Asesoramiento del uso de aparatos técnicos de medida y regulación a la empresa instaladora.
 - Asesoramiento para la correcta introducción de los valores de puesta en marcha a las fichas de prueba.
 - Revisión de los protocolos de puesta en marcha cumplimentados por la empresa instaladora.



- Asistencia al control de calidad en caso de existencia.

También realizará asistencia técnica a las consultas presentadas por la Dirección Facultativa.

El contratista destinará a la Dirección Técnica de Puesta en Marcha al menos un 1% del importe de ejecución de material de los capítulos correspondientes a las instalaciones. Si el contratista tiene que contratar al equipo técnico, quedará la elección a criterio de la Dirección Facultativa.

14. CONTROL DE CALIDAD

La Propiedad contratará directamente o a través del Contratista a una entidad suficientemente capacitada según el artículo 14 de la Ley de Ordenación de la Edificación para la Asistencia Técnica en el Control de Calidad de las instalaciones de acuerdo con las especificaciones del proyecto. Esta Asistencia Técnica ejecutará directamente los controles y pruebas previstas en el Plan de Control de Calidad y entregará los resultados directa e inmediatamente a la Dirección Facultativa para que pueda cumplir con lo que prevé el artículo 7 de la Parte I del Código Técnico de la Edificación.

La Asistencia Técnica de la citada entidad tendrá las siguientes fases de actuación sobre las instalaciones previstas:

- Programación del Plan de Control.
- Control de Calidad sobre materiales y equipos.
- Control de ejecución de instalaciones según normativa.
- Control sobre Pruebas de funcionamiento, Regulación y Seguridad realizadas por Contratista.
- Control de la documentación final (según apartado "Documentación Final" de este pliego).

La Asistencia Técnica de Control de Calidad estará vinculada y al servicio de la Dirección Facultativa y la Propiedad, a la cual dirigirá toda su actividad.

La empresa adjudicataria de esta Asistencia Técnica realizará la Programación del Plan de Control de las instalaciones de acuerdo con las indicaciones existentes en la documentación del proyecto, dentro del apartado denominado "Control de Calidad", o en su defecto, con la normativa vigente.

En caso de que sea el Contratista el que contrate esta Asistencia Técnica presentará al menos tres nombres de empresas capacitadas para este trabajo, siendo elegida la adjudicataria por la Dirección Facultativa.

El Contratista destinará para estos trabajos, en caso de no existir partida presupuestada en los presupuestos del proyecto, al menos el 1,5% (uno y medio por ciento) del importe de ejecución material de los capítulos correspondientes a instalaciones, estando cerrada la posibilidad de que el Contratista oferte un porcentaje menor para este fin.



En cada certificación deberá venir explícitamente el importe destinado a Control de Calidad.

15. SOFTWARE DE MANTENIMIENTO

Cuando, por las características del edificio, lo determine el Proyecto de Mantenimiento Preventivo, se utilizará un programa informático de Gestión de Mantenimiento.

El software de Gestión del Mantenimiento debe encargarse de realizar la gestión del mantenimiento preventivo, conductivo y correctivo de los equipos pertenecientes a las diferentes instalaciones del edificio. El número de usuarios simultáneos mínimo para la aplicación será de cinco.

Funcionará utilizando tecnologías HTML, bajo el entorno de Internet. A través de servidor, ya sea en propiedad o en servicio de Hosting, se podrá acceder al proyecto desde cualquier punto sin necesidad de realizar la gestión 'in situ'.

Las características principales del software serán:

- **Multiusuarios:** la herramienta informática permitirá la creación de un número ilimitado de usuarios de la aplicación y a cada uno de ellos se le podrá signar un perfil de accesos particular.
- **Multiproyectos:** el software permitirá gestionar varios edificios simultáneamente de forma particular y de forma global.
- **Módulo de mensajería interna:** se podrán enviar mensajes a los diversos usuarios de la aplicación en un módulo integrado en el software.
- **Módulo de peticiones:** La aplicación ofrecerá la posibilidad, a los usuarios de las instalaciones, de enviar peticiones al departamento de mantenimiento. Estas solicitudes podrán ser rechazadas o aceptadas. Las peticiones aceptadas se convertirán automáticamente en órdenes de trabajo.
- **Integrable con sistemas GIS:** el software deberá permitir integrar planos dinámicos para la navegación interactiva en las zonas, visualizando los equipos en cada una de ellas y realizando consultas de órdenes o costes.
- **Enlaces con otros sistemas:** Posibilidad de conexión a sistemas de gestión del edificio (BMS) del que pueda recibir avisos de avería y generar automáticamente órdenes de trabajo.
- **Sistema PDA:** el software permitirá descargar órdenes de trabajo a realizar sobre sistemas portátiles PDA, para que los ejecutores del mantenimiento puedan introducir los trabajos, horas y recambios.
- **Base de datos de mantenimiento preventivo:** Deberá permitir crear una base de datos de mantenimiento preventivo, de manera que los equipos puedan asociarse a ésta, heredando así el mantenimiento a realizar sobre ellos. De esta manera al cambiar el contenido de la base de datos todos los equipos que se vean afectados se modificarán.



Los principales módulos que debe aportar el programa son:

- **Equipos:** Cada equipo debe disponer de una ficha que han de contemplar los siguientes apartados: Código, nombre, instalación a la que pertenece, parte de la base de datos de mantenimiento a la que está asociada para así heredar las operaciones de mantenimiento, fabricante, esquema gráfico del equipo (fotografía, dibujo, ...), características técnicas, operaciones de mantenimiento preventivo a realizar, nivel de obligatoriedad de las operaciones, periodicidad, parámetros a controlar, categoría encargada de realizar las operaciones de mantenimiento, tiempo estimado, número de unidades de mantenimiento con la situación de las mismas incluyendo la posibilidad de realizarlo gráficamente e introducción de horas de funcionamiento.
- **Recursos:** Se podrán definir tantos operarios, ya sean internos o externos como se deseen. De cada uno de ellos se deberá poder indicar su precio de hora de trabajo normal, extra y extra nocturna/festiva; la categoría o categorías profesionales a las que pertenece que a su vez están asociadas a las diferentes operaciones a realizar de la base de datos de mantenimiento preventivo; las zonas a las que tiene acceso; el calendario de trabajo y si éste pertenece a un contrato o no, pudiéndose indicar para cada día del año el número de horas de trabajo y el tanto por ciento de trabajo preventivo que puede llevar a cabo.
- **Zonas del edificio/proyecto:** La zonificación del proyecto deberá estar estructurada en forma de árbol, de manera que sea ágil la navegación por la misma. Las consultas y listados que filtren zonas deberán ser capaces de referirse a cualquier parte del edificio/proyecto y sus subzonas. También debe permitir la definición de agrupaciones de zonas para consulta de costes, de manera que permita agrupar diferentes subzonas y así conseguir que se pueda obtener una consulta de los costes imputados en esa agrupación. Debe presentar la posibilidad de agrupar todos los trabajos a realizar en una zona en una sola orden, con la finalidad de agilizar las tareas de mantenimiento. Así también ha de permitir diferenciar dos zonas de manera que el programa nunca asigne un mismo recurso para realizar trabajos el mismo día, pues pueden existir dos edificios a gestionar en ciudades diferentes.
- **Empresas:** Debe de disponer un módulo en el que se puedan introducir los datos de las empresas relacionadas con el mantenimiento del edificio. Estas empresas incluirán tanto los suministradores como las empresas externas encargadas de realizar el mantenimiento.
- **Gestión de órdenes:** El programa ha de permitir realizar una correcta gestión de órdenes de trabajo que incluya:



- Consulta y emisión de las órdenes tanto a impresora como previsualización por pantalla.
 - Planning de los trabajos previstos a realizar.
 - Consulta de las cargas previstas de los operarios.
 - Edición y cierre de órdenes de trabajo, imputando costes de tipo recambios, albaranes y horas, e introduciendo los parámetros de lectura que se hayan recogido.
 - El programa debe permitir la gestión de varios trabajos agrupándolos bajo una misma orden.
 - Deberá facilitarse y garantizarse una rápida búsqueda de las órdenes según criterios de interés tales como equipo, unidad, gama, zona, zona lógica, recurso, año, rango de fechas, contrato y agrupación.
 - Debe contemplarse el estado, de manera que sea posible establecer un seguimiento de la orden según haya sido empezada, acabada o reste aún pendiente.
 - Cada trabajo deberá tener previsiones de actuación de operarios, facilitando el cierre automático de la orden.
- **Almacén:** Módulo de control de almacén, que permita realizar la gestión de stocks de repuestos, impresión de listados y la realización de pedidos automáticos al llegar al stock mínimo.
 - **Consultas sobre la explotación:** Ha de contemplar la posibilidad de realizar consultas que permitan:
 - Crear los informes de costes necesarios para situar el estado de la explotación.
 - Deberá disponer de un filtro que permita la búsqueda rápida bien sea por equipos, fecha, tipo de coste, orden, Gama, zona de trabajo,.. así como la posibilidad de visualizar la información agrupada por fecha, mes, equipo, unidad, según convenga.
 - Consultar la evolución de los parámetros de lectura que se han ido tomando en las operaciones de mantenimiento.
 - Mostrar los tiempos de respuesta de solicitud y de resolución para las órdenes de correctivo y otros trabajos que se generen.
 - **Módulo de solicitudes:** Un módulo específico que permite a sus usuarios la comunicación, mediante solicitudes, con el departamento de mantenimiento, dando la opción a que estas se conviertan en órdenes de trabajo o ser rechazas. Deberá permitir la creación de un número ilimitado de solicitantes. Estos deberán recibir notificación de estado de solicitudes enviadas.
-



16. CRITERIOS DE MEDICIÓN DE LAS INSTALACIONES

Toda medición deberá ser reproducible admitiendo márgenes de error tolerables. Se emplearán los instrumentos de medición de uso normal en una obra (reglas rígidas o cintas métricas) en aquellos casos en que sea posible hacerlo.

La unidad de medida será la que se exprese en el Estado de Mediciones o la que la Dirección Facultativa dictamine, en caso de duda.

Los elementos discretos se medirán por unidades instaladas.

Las tuberías se medirán por su eje, según el recorrido real, incluyendo tramos rectos y curvas, sin descontar de la medición la longitud ocupada por válvulas y demás accesorios.

No se admitirán suplementos por injertos, derivaciones, mermas, etc.

El aislamiento de tuberías se medirá según el mismo criterio que las tuberías, e incluirá la valvulería, curvas y accesorios. No se admitirán suplementos por estos conceptos ni por mermas de material.

La medición de conductos se realizará normalmente en metros cuadrados, en base a sus dimensiones nominales, midiendo sobre el recorrido real, incluyendo tramos rectos y curvas. Los codos y curvas se medirán por su parte exterior. Las reducciones se medirán en su longitud real y aplicando la mayor de las secciones. No se admitirán suplementos de medición por curvas, injertos, embocaduras, derivaciones, etc. o por mermas de material.

El aislamiento de conductos se medirá siguiendo los mismos criterios indicados para los conductos, pero tomando como base las dimensiones nominales del conducto que se aísla.

Los tubos para cableado eléctrico se medirán por su eje, siguiendo su recorrido real, incluyendo tramos rectos, sin descontar de la medición la longitud ocupada por cajas de empalme y derivación. No se admitirán suplementos por curvas, derivaciones, empalmes, etc. ni por mermas de material.

Las bandejas para cableado eléctrico se medirán por su eje, siguiendo su recorrido real, incluyendo tramos rectos y curvas. Los codos y las curvas se medirán por su parte exterior. No se admitirán suplementos de medición por curvas, injertos, derivaciones, etc. ni por mermas de material. El cableado eléctrico y de comunicaciones (que no esté incluido en conceptos como punto de conexionado) se medirá por su recorrido real desde borna a borna de conexión. No se admitirán suplementos de medición por derivaciones, empalmes, reservas o mermas de material.



17. CERTIFICACIONES

Durante la ejecución de las obras, se establecerán mensualmente relaciones valoradas de las obras ejecutadas.

Dichas certificaciones serán preparadas por el Contratista según formato establecido por la Dirección Facultativa o la Propiedad y constarán de las siguientes partes:

- Valor al origen de la obra realizada valorada con precios unitarios de acuerdo con el presupuesto base.
- Relación numerada y valorada al origen de las variaciones surgidas dentro del contexto de la obra contratada y referidos a cada capítulo del presupuesto.
- Valor al origen de nuevas partes de obra que han sido objeto de nuevos presupuestos.
- Valor al origen de obras realizadas por administración con detalle de partes de trabajo y relación de materiales valorados y suscritos por persona autorizada.

La certificación deberá presentarse a la Dirección Facultativa que dará su conformidad o reparos en el plazo de 15 días. En este último caso, el Contratista los subsanará no cabiendo reclamación alguna hasta la liquidación definitiva.

Todas las certificaciones serán al origen, acumulándose cada una de las anteriores y se entenderán siempre como anticipo a cuenta de la liquidación final. Dado que las certificaciones se llevarán al origen, teniendo carácter de buena cuenta, todos los errores que pudieran aparecer no serán motivo para demorar el plazo de comprobación. En tal supuesto deberán ser devueltas indicando los errores o reparos, para ser subsanados en la certificación siguiente.

Se establece el mismo criterio para certificaciones extraordinarias por adicionales o trabajos por administración. La Dirección Facultativa podrá requerir del Contratista documentación acreditativa de estar al corriente de pago de los suministradores, como condición imprescindible para aprobar una certificación.

Los materiales a certificar deberán estar instalados (montados y en funcionamiento). No se abonarán certificaciones por acopio de materiales.



PARTE V. PRESUPUESTO





1. PRESUPUESTO DEL TANQUE EDALMACENAMIENTO 100-TA

1.1. Costes unitarios

COSTE UNITARIO MATERIALES			COSTE MATERIALES	
Material	Unidades	Valor	Material	Valor
Chapa Acero 9%Ni	[€/ton]	8200	Chapa Acero 9%Ni	11.906.400,00 €
Acero Corrugado	[€/ton]	1750	Acero Corrugado	19.176.500,00 €
Hormigón	[€/m ³]	570	Hormigón	10.689.780,00 €

COSTE UNITARIO DE OBRA	
Concepto	Valor [€/día]
Soldadura	80
Electricista	80
Topógrafo	95
Operarios	45

1.2. Duración de la obra

DÍAS DE TRABAJO	
Concepto	Días
Grúa de Ruedas	64
Máquina Soldadora	94
Cisterna Perlita	41
Grúa Torre	89
Hormigonera	56
Grúa Cadenas	84
Instalación Eléctrica	60
Pintura y acabado	40
Montaje Bombas Criogénicas	20
Topografía	7
Colocación Hormigón y Montado	79
Test Fugas y Vibración	62
Instalación Dispositivos	72
Otros	119
Mano de Obra	887



1.3. Materiales

MATERIALES		
Material	Unidades	Valor
Chapa Acero 9%Ni	ton	1452
Acero Techado (cúpula + barras de sujeción)	ton	10246
Vigas Acero (estructura, escaleras)	ton	712
Muro Hormigón	m ³	18754
Aislamiento Interior (perlita)	m ³	810
Briquetas de foamglass base tanque	m ³	12621
Mantas Lana de Vidrio techo	m ²	25470
Mantas de lana de vidrio paredes laterales	m ²	16700
Arena Limpia (fondo)	m ²	935

1.4. Coste total

COSTES TOTALES	
Parámetro	Valor
Materiales	41.772.680,00 €
Coste Ingeniería	175.000,00 €
Electricista	4.800,00 €
Coste Mano de obra (40 operarios)	1.596.600,00 €
Topógrafo	665,00 €
Equipo Grúas (8 operarios)	90.000,00 €
Instaladores (5 operarios)	54.000,00 €
Tests (12 operarios)	33.480,00 €
Resto Acciones (28 operarios)	149.940,00 €
TOTAL	43.877.165,00 €



2. SISTEMA DE COMPRESORES 110-CA/CB Y 120-CC

<i>Presup. Compresores BOG</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL	
Parámetro		Valor
Compresores duales inyección BOG red e instalaciones asociadas (x3)		16.500.000,00 €
Nave de compresores		350.000,00 €
Obra civil y estructura		1.700.000,00 €
Montaje, equipos y tuberías		2.250.000,00 €
Resto de equipos (ERM, cromatógrafos...)		700.000,00 €
Ingeniería, supervisión de obra, permisos, intereses intercalarios...		2.600.000,00 €
TOTAL		24.100.000,00 €

3. SEPARADOR 120-SE

<i>Presup. Separador 120-SE</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL	
Parámetro		Valor
Operarios [€/día]		45
Nº Operarios		4
Días Instalación		6
Coste Mano Obra		1.080,00 €
Ingeniería		1.326,00 €
Equipo		426.871,00 €
TOTAL		429.277,00 €

4. BOMBAS DE GNL

<i>Presup. Bombas GNL</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL		
Tipo Bomba	Unidades	Precio Unitario	Total
Bombas 120-SA/SB/SC/SD	4	123.000,00 €	492.000,00 €
Bombas 120-RA/RB/RC/RD/RE	5	98.456,00 €	492.280,00 €
Bombas 110-BA/BB/BC/BD/BE	5	245.250,00 €	1.226.250,00 €
Bomba 110-BF	1	136.250,00 €	136.250,00 €
TOTAL			2.346.780,00 €



5. RECONDENSADOR 120-RE


<i>Presup. Recondensador 120-RE</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL	
Parámetro		Valor
Operarios [€/día]		45
Nº Operarios		3
Días Instalación		3
Coste Mano Obra		405,00 €
Ingeniería		1.126,00 €
Equipo		356.100,00 €
TOTAL		357.631,00 €

6. INTERCAMBIADORES DE CALOR

<i>Presup. Intercambiadores</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016		PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL					
INTERCAMBIADOR 120-IC		HEATER 130-HA		HEATER 130-HB		HEATER 130-HC	
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Operarios [€/día]	75	Operarios [€/día]	75	Operarios [€/día]	75	Operarios [€/día]	75
Nº Operarios	7	Nº Operarios	8	Nº Operarios	8	Nº Operarios	9
Días Instalación	39	Días Instalación	21	Días Instalación	21	Días Instalación	20
Coste Mano Obra	20.475,00 €	Coste Mano Obra	12.600,00 €	Coste Mano Obra	12.600,00 €	Coste Mano Obra	13.500,00 €
Ingeniería	24.567,00 €	Ingeniería	2.658,00 €	Ingeniería	2.658,00 €	Ingeniería	2.658,00 €
Equipo	123.857,00 €	Equipo	65.214,00 €	Equipo	65.214,00 €	Equipo	65.214,00 €
TOTAL	168.899,00 €	TOTAL	80.472,00 €	TOTAL	80.472,00 €	TOTAL	81.372,00 €
COSTES TOTALES						411.215,00 €	




7. ESTACIÓN DE VAPORIZACIÓN

Presup. Vaporización Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL	
Parámetro		Valor
QUEMADOR		
Fabricante	VECTRON	
Modelo	VGL06.2100 DUO PLUS	
Precio	35.300,00 €	
Recogida Humos	23.650,00 €	
TUBERÍAS Y VÁLVULAS		
Precio	126.980,00 €	
LLENADO DE AGUA		
Bombas (x2)	24.000,00 €	
Tuberías y Válvulas	1.324,00 €	
CIRCUITO DE AIRE		
Compresor	1.263.587,00 €	
Conductos	16.982,00 €	
Base de la Estructura	325.987,00 €	
Carcasa	236.987,00 €	
TOTAL (1 unidad)	2.054.797,00 €	
TOTAL (3 unidades)	6.164.391,00 €	



8. SISTEMA DE ANTORCHA

<i>Presup. Sist. Antorcha</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016			<i>PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL</i>					
Concepto		Unidades		Importe				
Quemador		1		75.600,00 €				
Sello Molecular y Fuste		1		60.000,00 €				
Plataforma Y Montaje		-		640.000,00 €				
Analizador de O2		1		23.640,00 €				
Cortafuegos		-		4.840,00 €				
Sistema Conexiones		-		1.900,00 €				
Nipple		-		900,00 €				
Termopares		4		25.600,00 €				
Fabricación		-		18.000,00 €				
Panel de Control		-		28.000,00 €				
Pilotos		2		236.050,00 €				
TOTAL				1.114.530,00 €				
KNOCK-OUT DRUM								
Depósito KO-Drum		1		345.620,00 €				
IMPORTE TOTAL				1.460.150,00 €				



9. TUBERÍAS

<i>Presup. Tuberías</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL				
Descripción	Material	Diámetro	Longitud [m]	Precio Unitario [€/m]	Precio Total
Tubería de 2" de diámetro	SS	2"	15	12,5	187,50 €
Tubería con 50 mm de aislamiento C3	SS	4"	12	17,50	210,00 €
Tubería con 120 mm de aislamiento C3	SS	6"	14	24,50	343,00 €
Tubería con 130 mm de aislamiento C3	SS	8"	213	34,30	7.305,90 €
Tubería con 140 mm de aislamiento C3	SS	10"	246	48,02	11.812,92 €
Tubería con 160 mm de aislamiento C3	SS	12"	351	67,23	23.597,03 €
Tubería con 170 mm de aislamiento C3	SS	18"	4	94,12	376,48 €
Tubería con 180 mm de aislamiento C3	SS	20"	13	131,77	1.712,97 €
Tubería con 190 mm de aislamiento C3	SS	24"	202	184,47	37.263,67 €
Tubería con 200 mm de aislamiento C3	SS	28"	5	258,26	1.291,32 €
Tubería con 210 mm de aislamiento C3	SS	36"	12	361,57	4.338,82 €
TOTAL TUBERIAS C3				88.439,60 €	
Tubería con 50 mm de aislamiento H3	SS	4"	14	12,37	173,18 €
Tubería con 75 mm de aislamiento H3	SS	8"	6	19,79	118,75 €
Tubería con 85mm de aislamiento H3	SS	12"	16	25,73	411,67 €
Tubería con 100 mm de aislamiento H3	SS	20"	4	33,45	133,79 €
Tubería con 110 mm de aislamiento C3	SS	24"	52	43,48	2.261,12 €
TOTAL TUBERIAS H3				3.098,52 €	
IMPORTE TOTAL				91.538,12 €	



10. VÁLVULAS

<i>Presup. Válvulas</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL				
Descripción	Material	Diámetro	Unidades	Precio Unitario	Precio Total
Válvula Drenaje	SS	3/4"	38	34,51 €	1.311,38 €
Válvula Drenaje	SS	2"	10	48,31 €	483,14 €
Válvula Antirretorno	SS	2"	21	67,64 €	1.420,43 €
Válvula Antirretorno	SS	24"	6	247,84 €	1.487,04 €
Válvula Antirretorno	SS	36"	2	346,98 €	693,95 €
Válvula de Corte	SS	2"	28	23,40 €	655,20 €
Válvula de Corte	SS	4"	3	35,10 €	105,30 €
Válvula de Corte	SS	6"	5	52,65 €	263,25 €
Válvula de Corte	SS	8"	4	78,98 €	315,90 €
Válvula de Corte	SS	10"	14	118,46 €	1.658,48 €
Válvula de Corte	SS	12"	12	177,69 €	2.132,33 €
Válvula de Corte	SS	18"	3	266,54 €	799,62 €
Válvula de Corte	SS	20"	3	399,81 €	1.199,43 €
Válvula de Corte	SS	24"	16	599,72 €	9.595,46 €
Válvula de Corte	SS	36"	3	899,57 €	2.698,72 €
Boca de Manguera de Nitrógeno	SS	2"	18	84,51 €	1.521,18 €
Válvula de Mariposa	SS	2"	21	42,16 €	885,36 €
Válvula Reguladora Caudal	SS	4"	5	34,87 €	174,35 €
Válvula Reguladora Caudal	SS	8"	3	52,31 €	156,92 €
Válvula Reguladora Caudal	SS	12"	2	78,46 €	156,92 €
Válvula Reguladora Caudal	SS	18"	2	117,69 €	235,37 €
Válvula Reguladora Caudal	SS	24"	11	200,07 €	2.200,73 €
Válvula Reguladora Caudal	SS	36"	4	340,11 €	1.360,45 €
Válvula Tarado	SS	4"	2	67,60 €	135,20 €
Válvula Tarado	SS	6"	2	101,40 €	202,80 €
Válvula Tarado	SS	12"	7	152,10 €	1.064,70 €
Válvula Tarado	SS	20"	2	228,15 €	456,30 €
Válvula de Tres Vías	SS	2"	6	382,30 €	2.293,80 €
Válvula de Tres Vías	SS	8"	6	726,37 €	4.358,22 €
Válvula de Tres Vías	SS	12"	8	944,28 €	7.554,25 €
Válvula de Tres Vías	SS	24"	5	1.038,71 €	5.193,55 €
IMPORTE TOTAL				52.769,73 €	



11. PRESUPUESTO TOTAL

<i>Presup. Final</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016		PROYECTO TÉCNICO- ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL			
Concepto		Importe			
Tanque de Almacenamiento		43.877.165,00 €			
Estación de Compresores		24.100.000,00 €			
Separador		429.277,00 €			
Bombas de GNL		2.346.780,00 €			
Recondensador		357.631,00 €			
Intercambiadores de Calor		411.215,00 €			
Sistema de Vaporización		2.054.797,00 €			
Sistema de Antorcha		1.460.150,00 €			
Tuberías		91.538,12 €			
Válvulas		52.769,73 €			
INVERSIÓN INICIAL		90.217.587,42 €			

12. COSTES VARIABLES

CÁLCULO COSTES VARIABLES		
Concepto	Unidades	Valor
Costes de Aprovisionamiento		
Precio GNL	€/MWh	21
Calor Intercambiado	MW	87,52
Horas Operación	horas	4520
Coste Anual Uso de GNL		8.307.398,40 €
Coste de Transporte GNL		
Coste Transporte Unitario	€/m ³	14
Nº días en un año	días	365
Nº Días Festivos	días/año	96
Nº Días Hábiles	días/año	269
Cadencia llegada de barcos	días	14
Días de descarga	días	19
Duración máxima descarga	horas	8
Caudal descarga	m ³ /h	18500
Volumen por descarga	m ³ /día	148000
Volumen anual descargado	m ³ /año	2843714
Coste anual transporte		39.812.000,00 €
COSTES VARIABLES TOTALES		48.119.398,40 €



13. COSTES FIJOS

CALCULO COSTES FIJOS		
Concepto	Unidades	Valor
Costes de Mantenimiento		
Estimación (sobre ingresos)	-	0,50%
Costes Anuales Mantenimiento	-	380.721,76 €
Consumo Eléctrico		
Estimación (aprovisionamiento)	-	0,05%
Coste Electricidad	-	4.153,70 €
Coste de Seguros		
Estimación (sobre ingresos)	-	0,01%
Coste de Seguros	-	7.614,44 €
Costes de Mano de Obra		
Plantilla	operarios	40
Sueldo medio anual	€/año	22000
Coste Anual Plantilla	-	880.000,00 €
Total Costes Fijos		1.272.489,89 €

14. COSTES TOTALES

COSTES TOTALES	
Costes Variables Anuales	48.119.398,40 €
Total Costes Fijos	1.272.489,89 €
COSTES TOTALES	49.391.888,29 €



15. INGRESOS ANUALES

<i>Ingresos Anuales</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016			<i>PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL</i>					
Concepto	Unidades	Valor	Concepto	Unidades	Valor			
Precio Venta	€/MWh	56,7	PCS	kWh/m ³	12,4			
Caudal SCV	m ³ /h	7018	% a Combustión	-	2,00%			
Caudal a Venta	m ³ /h	6877,64	Caudal BOG a Venta	m ³ /h	6660			
Caudal a Venta Total	m ³ /h	13537,64	Horas Operación	horas	8000			
Producción Anual Gas Natural	m ³	108301120	Producción Anual Gas Natural	MWh	1342933,88			
Ventas Anuales					76.144.351,45 €			

16. ANÁLISIS DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS Y FLUJOS DE CAJA

DATOS PARTIDA	
Impuestos	34%
Inflación	3,50%
Intereses	10%
Vida Útil [años]	20
Amortización	6.347.806,60 €



Flujo de Caja Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL				
Año	1	2	3	4	5
Ventas	76.144.351,45 €	78.809.403,75 €	81.567.732,88 €	84.422.603,53 €	87.377.394,66 €
Costes de Explotación	48.119.398,40 €	49.803.577,34 €	51.546.702,55 €	53.350.837,14 €	55.218.116,44 €
EBIT	28.024.953,05 €	29.005.826,41 €	30.021.030,33 €	31.071.766,39 €	32.159.278,22 €
Amortización	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €
Intereses (10%)	-2.802.495,30 €	-2.900.582,64 €	-3.002.103,03 €	-3.107.176,64 €	-3.215.927,82 €
EBT	18.874.651,15 €	19.757.437,17 €	20.671.120,70 €	21.616.783,16 €	22.595.543,80 €
Impuestos (34%)	-6.417.381,39 €	-6.717.528,64 €	-7.028.181,04 €	-7.349.706,27 €	-7.682.484,89 €
Beneficio Neto	12.457.269,76 €	13.039.908,53 €	13.642.939,66 €	14.267.076,88 €	14.913.058,91 €
Dotación a la Amortización	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €
Flujo de Caja	18.805.076,35 €	19.387.715,13 €	19.990.746,26 €	20.614.883,48 €	21.260.865,50 €
Valor Acumulado	-71.412.511,06 €	-52.024.795,93 €	-32.034.049,68 €	-11.419.166,20 €	9.841.699,31 €
Flujo de Caja VAN	18.169.155,90 €	18.098.639,53 €	18.030.507,77 €	17.964.679,98 €	17.901.078,26 €
Año	6	7	8	9	10
Ventas	90.435.603,47 €	93.600.849,59 €	96.876.879,33 €	100.267.570,10 €	103.776.935,06 €
Costes de Explotación	57.150.750,52 €	59.151.026,78 €	61.221.312,72 €	63.364.058,67 €	65.581.800,72 €
EBIT	33.284.852,95 €	34.449.822,81 €	35.655.566,61 €	36.903.511,44 €	38.195.134,34 €
Amortización	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €
Intereses (10%)	-3.328.485,30 €	-3.444.982,28 €	-3.565.556,66 €	-3.690.351,14 €	-3.819.513,43 €
EBT	23.608.561,06 €	24.657.033,93 €	25.742.203,35 €	26.865.353,70 €	28.027.814,31 €
Impuestos (34%)	-8.026.910,76 €	-8.383.391,54 €	-8.752.349,14 €	-9.134.220,26 €	-9.529.456,86 €
Beneficio Neto	15.581.650,30 €	16.273.642,39 €	16.989.854,21 €	17.731.133,44 €	18.498.357,44 €
Dotación a la Amortización	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €
Flujo de Caja	21.929.456,90 €	22.621.448,99 €	23.337.660,81 €	24.078.940,04 €	24.846.164,04 €
Valor Acumulado	31.771.156,20 €	54.392.605,19 €	77.730.266,00 €	101.809.206,03 €	126.655.370,07 €
Flujo de Caja VAN	17.839.627,31 €	17.780.254,42 €	17.722.889,31 €	17.667.464,08 €	17.613.913,14 €



<i>Flujo de Caja</i> Autor: Alberto Escobar Rico Fecha: 17 de junio de 2016	PROYECTO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL				
Año	11	12	13	14	15
Ventas	107.409.127,78 €	111.168.447,26 €	115.059.342,91 €	119.086.419,91 €	123.254.444,61 €
Costes de Explotación	67.877.163,74 €	70.252.864,48 €	72.711.714,73 €	75.256.624,75 €	77.890.606,61 €
EBIT	39.531.964,04 €	40.915.582,78 €	42.347.628,18 €	43.829.795,16 €	45.363.837,99 €
Amortización	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €
Intereses (10%)	-3.953.196,40 €	-4.091.558,28 €	-4.234.762,82 €	-4.382.979,52 €	-4.536.383,80 €
EBT	29.230.961,04 €	30.476.217,91 €	31.765.058,76 €	33.099.009,05 €	34.479.647,60 €
Impuestos (34%)	-9.938.526,75 €	-10.361.914,09 €	-10.800.119,98 €	-11.253.663,08 €	-11.723.080,18 €
Beneficio Neto	19.292.434,29 €	20.114.303,82 €	20.964.938,78 €	21.845.345,97 €	22.756.567,42 €
Dotación a la Amortización	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €
Flujo de Caja	25.640.240,88 €	26.462.110,41 €	27.312.745,38 €	28.193.152,57 €	29.104.374,01 €
Valor Acumulado	152.295.610,95 €	178.757.721,37 €	206.070.466,75 €	234.263.619,32 €	263.367.993,33 €
Flujo de Caja VAN	17.562.173,09 €	17.512.182,71 €	17.463.882,82 €	17.417.216,27 €	17.372.127,81 €
Año	16	17	18	19	20
Ventas	127.568.350,17 €	132.033.242,43 €	136.654.405,91 €	141.437.310,12 €	146.387.615,97 €
Costes de Explotación	80.616.777,85 €	83.438.365,07 €	86.358.707,85 €	89.381.262,62 €	92.509.606,81 €
EBIT	46.951.572,32 €	48.594.877,35 €	50.295.698,06 €	52.056.047,49 €	53.878.009,16 €
Amortización	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €
Intereses (10%)	-4.695.157,23 €	-4.859.487,74 €	-5.029.569,81 €	-5.205.604,75 €	-5.387.800,92 €
EBT	35.908.608,50 €	37.387.583,02 €	38.918.321,66 €	40.502.636,15 €	42.142.401,65 €
Impuestos (34%)	-12.208.926,89 €	-12.711.778,23 €	-13.232.229,36 €	-13.770.896,29 €	-14.328.416,56 €
Beneficio Neto	23.699.681,61 €	24.675.804,80 €	25.686.092,30 €	26.731.739,86 €	27.813.985,09 €
Dotación a la Amortización	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €	6.347.806,60 €
Flujo de Caja	30.047.488,20 €	31.023.611,39 €	32.033.898,89 €	33.079.546,45 €	34.161.791,68 €
Valor Acumulado	293.415.481,53 €	324.439.092,92 €	356.472.991,81 €	389.552.538,27 €	423.714.329,95 €
Flujo de Caja VAN	17.328.564,08 €	17.286.473,52 €	17.245.806,31 €	17.206.514,32 €	17.168.551,05 €

VAN	262.134.114,27 €
TIR	12,1%
Payback (tiempo de retorno)	5,2