



Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

Facultad de Ingeniería

Proyecto de Ingeniería Química

Planta de deshidratación de gas dulce con TEG

Alumno: Oribones Gervasio

Docentes: Carpenco Joaquín y Bonifacio Gabriela

UNPSJB – Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería
Química

Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina

Marzo, 2024

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG		Documento: GSJ – CD1 – PTG – LD – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica		Fecha de emisión: 07/03/2024	
			Página 1 de 2	

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG

Listado de documentos

☐ APROBADO

☐ APROBADO CON COMENTARIOS

☐ RECHAZADO

☐ APTO PARA CONSTRUCCIÓN

☐ APTO PARA LICITACIÓN

☐ APTO PARA COMPRA

☐ EMITIR PROXIMA REVISION EN CERO

FIRMA

ACLARACIÓN

FECHA

A	07/03/2024	Aprobación	G.O.	J.C.	J.C.
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ

Rev.	Código	Nombre	Fecha	Estado de
------	--------	--------	-------	-----------

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG		Documento: GSJ – CD1 – PTG – LD – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica		Fecha de emisión: 07/03/2024	
			Página 2 de 2	

				aprobación
1	GSJ – CD1 – PTG – LD – 001 – R – A	Listado de documentos	07/03/24	Aprobado
2	GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Bases de Diseño	07/03/24	Aprobado
2	GSJ – CD1 – PTG – MC – 001 – R – B	Memoria de Cálculo: V – 100	07/03/24	Aprobado
2	GSJ – CD1 – PTG – MC – 002 – R – B	Memoria de Cálculo: líneas de gas	07/03/24	Aprobado
2	GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Memoria de Cálculo: TC – 100	07/03/24	Aprobado
1	GSJ – CD1 – PTG – FOP – 001 – R – A	Filosofía de Operación y Control	07/03/24	Aprobado
1	GSJ – CD1 – PTG – PID – 001 – R – A	Diagrama P&ID: TC – 100	07/03/24	Aprobado
1	GSJ – CD1 – PTG – LE – 001 – R – A	Listado de equipos	07/03/24	Aprobado
1	GSJ – CD1 – PTG – HD – 001 – R – A	Hoja de datos: TC – 100	07/03/24	Aprobado
1	GSJ – CD1 – PTG – DFP – 001 – R – A	Diagrama de Flujo de Proceso	07/03/24	Aprobado
1	GSJ – CD1 – PTG – BME – 001 – R – A	Balance de masa y energía	07/03/24	Aprobado
1	GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Evaluación Económica	07/03/24	Aprobado

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 1 de 35	

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG

Bases de Diseño

☐ APROBADO
☐ APROBADO CON COMENTARIOS
☐ RECHAZADO
☐ APTO PARA CONSTRUCCIÓN
☐ APTO PARA LICITACIÓN
☐ APTO PARA COMPRA
☐ EMITIR PROXIMA REVISION EN CERO

FIRMA

ACLARACIÓN

FECHA

B	07/03/2024	Aprobación	G.O.	J.C.	J.C.
A	24/10/2023	Revisión A	G.O.	J.C.	
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 2 de 35	

ÍNDICE

1	OBJETIVO.....	5
2	ACTUALIDAD DE LA PRODUCCIÓN GAS.....	5
2.1	Marco nacional.....	5
2.2	Marco regional.....	7
3	TRATAMIENTO DEL GAS NATURAL.....	8
3.1	Etapas de acondicionamiento del gas.....	8
3.2	Principales tecnologías para la deshidratación del gas.....	9
3.2.1	Absorción con glicoles.....	9
3.2.2	Uso de adsorbentes sólidos.....	10
3.2.3	Delicuescencia.....	11
3.2.4	Expansión – refrigeración.....	11
3.2.5	Permeación del gas.....	11
3.2.6	Separación ultrasónica.....	11
4	ALCANCE.....	12
5	EXCLUSIONES.....	12
6	SIGLAS Y ABREVIACIONES.....	12
7	LOCACIÓN.....	13
7.1	Ubicación geográfica.....	13
7.2	Condiciones de sitio.....	15
7.2.1	Datos topográficos.....	15
7.2.2	Condiciones estándar.....	15
7.2.3	Temperatura ambiente.....	15
7.2.4	Precipitaciones.....	15
7.2.5	Humedad relativa.....	15
7.2.6	Sismicidad.....	15
7.2.7	Velocidad del viento.....	15
7.2.8	Nieve.....	15
8	METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	16
9	PREMISAS DE DISEÑO.....	16
9.1	Condiciones de entrada.....	16

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 3 de 35	

9.1.1	Caracterización de la corriente de entrada.....	16
9.1.2	Condiciones operativas de la alimentación.....	16
9.2	Condiciones de salida.....	17
9.2.1	Caracterización de la corriente de salida.....	17
9.2.2	Condiciones operativas de la corriente de salida.....	17
9.3	Propiedades de los fluidos.....	17
9.3.1	Gas de entrada al sistema.....	18
9.3.2	Glicol de alimentación a la torre contactora.....	18
9.3.3	Gas seco que sale de la planta deshidratadora.....	18
10	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	19
10.1	Flujo del gas de alimentación.....	19
10.2	Flujo del glicol.....	19
11	CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO.....	20
11.1	Presión y temperatura de diseño.....	20
11.2	Separador de entrada (V – 100).....	20
11.3	Columna de absorción (TC – 100).....	21
11.4	Intercambiador de calor glicol/gas (E – 100).....	22
11.5	Calentador de glicol pobre (E – 101).....	22
11.6	Tanque de venteo (V – 101).....	23
11.7	Intercambiador de calor glicol rico/glicol pobre (E – 102).....	23
11.8	Unidad regeneradora (TR – 100).....	24
11.8.1	Condensador de la torre regeneradora (E – 101).....	24
11.8.2	Reboiler de la torre regeneradora (R – 100).....	25
11.9	Bomba (P – 100 A/B).....	25
11.10	Filtros.....	25
11.10.1	Filtros de partículas (F – 101 y F – 103 A/B).....	25
11.10.2	Filtro de carbón activado (F – 102).....	25
11.11	Dimensionamiento de líneas.....	26
11.11.1	Líneas de gas.....	26
11.11.2	Líneas de líquido.....	27
11.11.3	Líneas de flujo bifásico.....	27

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 4 de 35	

12	SERVICIOS AUXILIARES.....	27
12.1	Sistema de aire de instrumentos.....	27
12.2	Sistema de drenajes y venteos.....	27
12.3	Sistema de inyección de químicos.....	28
12.4	Sistema de gas combustible.....	28
12.5	Sistema de distribución de energía eléctrica.....	29
12.6	Sistema de protección contra incendios.....	29
13	CODIFICACIÓN.....	30
13.1	Identificación de equipos.....	30
13.2	Identificación de líneas.....	30
13.3	Identificación de instrumentos.....	31
13.4	Identificación de documentos.....	31
14	CLASES DE CAÑERÍA.....	32
15	UNIDADES DE MEDICIÓN.....	32
16	NORMATIVA APLICABLE.....	33
16.1	Leyes y reglamentaciones Nacionales y Provinciales.....	33
16.2	Normas ENARGAS.....	33
16.3	Normas de diseño.....	34
17	BIBLIOGRAFÍA.....	34

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 5 de 35	

1 OBJETIVO

El objetivo de este documento es establecer las bases y criterios de diseño adoptados para desarrollar la Ingeniería Básica de una planta de deshidratación de gas natural dulce por medio de trietilenglicol (TEG) en el yacimiento de Cerro Dragón, Chubut, Argentina. El agua se remueve con el fin de evitar efectos corrosivos, la formación de hidratos y la disminución en el poder calorífico del combustible. El objetivo primordial es acondicionar el gas en función de los parámetros de venta en Argentina establecidos, por legislación Nacional, en la NAG – 602 dictada por el ENARGAS.

2 ACTUALIDAD DE LA PRODUCCIÓN GAS

El Gas Natural es un combustible del tipo gaseoso que se encuentra en la naturaleza en reservas subterráneas de rocas porosas, estando formado por una mezcla de hidrocarburos, principalmente, metano y otros componentes, en función de su origen. En la actualidad, el Gas Natural sigue representando la tercera fuente de energía solo por detrás del petróleo y el carbón, respectivamente. Su consumo a nivel global es lo que justifica, en materia económica, el estudio de nuevos métodos de extracción y diseño e implementación de nuevas unidades de procesamiento con la finalidad de incrementar la producción del mismo.

2.1 Marco nacional

Actualmente, la República Argentina cuenta con 5 cuencas sedimentarias que producen hidrocarburos: Austral, Cuyana, Golfo San Jorge, Neuquina y Noroeste. En la Figura 1 se encuentra la evolución de la producción diaria de gas a nivel nacional entre los años 2014 y 2022 sectorizada por cuenca. Se puede observar una disminución progresiva en los últimos tres años, en concordancia a la reducción en la demanda global de gas producto de efectos socioeconómicos preponderantes recientemente.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 6 de 35	

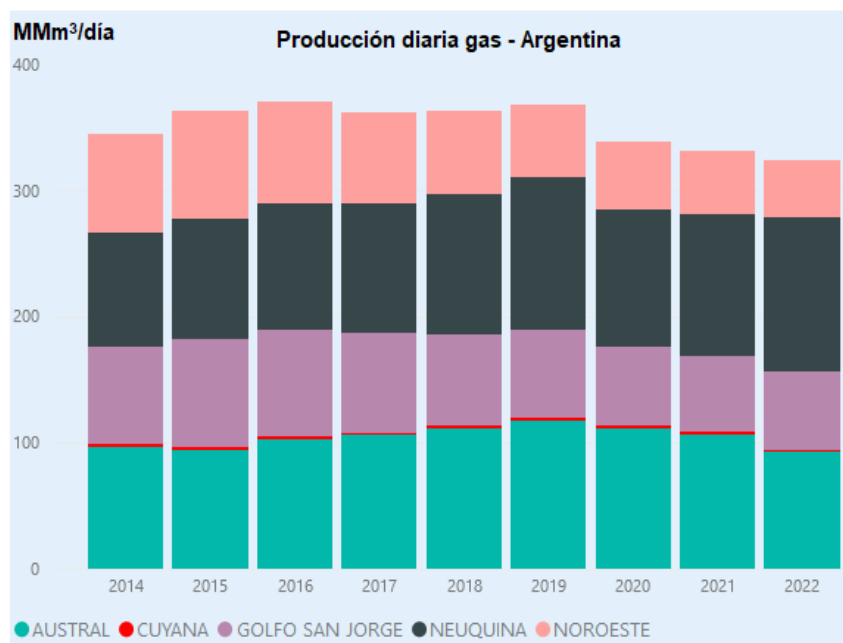


Figura 1- Producción diaria promedio de gas [MMm³/día] por cuenca en Argentina en los últimos 8 años ¹

Año	AUSTRAL	CUYANA	GOLFO SAN JORGE	NEUQUINA	NOROESTE
2014	96,40	2,34	76,68	91,19	78,18
2015	94,37	2,14	85,56	95,89	85,10
2016	102,48	2,03	84,96	100,85	79,99
2017	105,51	1,94	79,54	102,56	72,17
2018	111,01	1,96	72,70	111,94	65,23
2019	117,01	2,02	70,61	120,72	57,43
2020	111,34	2,00	63,03	108,14	54,67
2021	106,27	2,01	60,65	112,82	50,09
2022	92,18	2,10	62,07	121,99	45,13

Figura 2- Evolución en la producción diaria promedio de gas [MMm³/día] en las cuencas argentinas ¹

Para observar en detalle el aporte de cada cuenca se presenta a continuación, en la Figura 3, los porcentajes que representan cada zona. Se destaca el gran incremento de producción en la región neuquina en virtud de la explotación reciente de Vaca Muerta (en junio de 2023, la producción de shale gas de Vaca Muerta representó el 42% de la producción total de gas en el país)². Asimismo, en la zona del Golfo San Jorge, lugar donde se ubicará la unidad de deshidratación de gas propuesta en este proyecto, se visualiza una tendencia relativamente constante con un leve incremento en el año 2022.

¹ <https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/planeamiento-energetico/panel-de-indicadores/produccion-gas-prom-diaria-cuenca>

² <https://www.argentina.gob.ar/noticias/energia-confirmo-un-nuevo-record-de-produccion-de-gas-en-vaca-muerta>

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG		Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica		Fecha de emisión: 24/10/2023	
			Página 7 de 35	

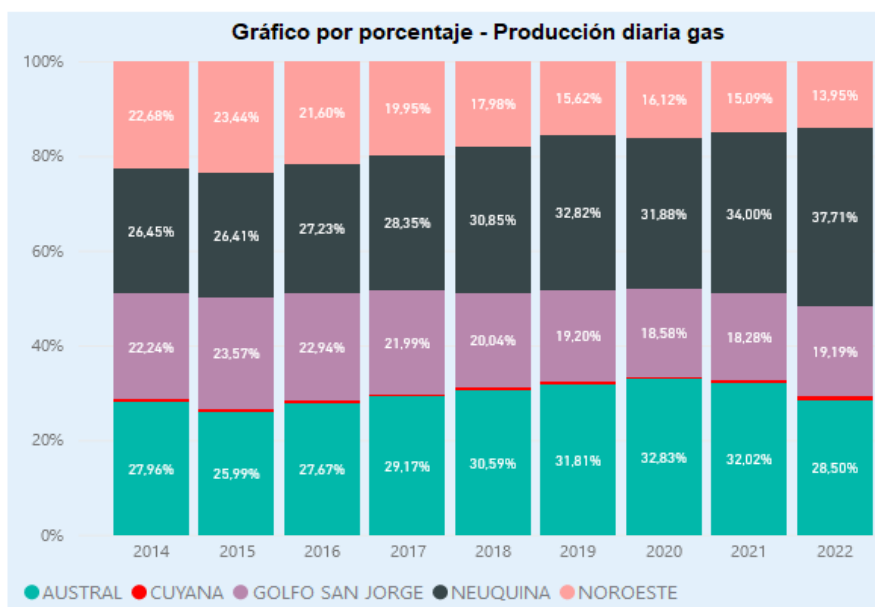


Figura 3- Gráfico por porcentaje de producción diaria de gas en cada cuenca nacional ¹

2.2 Marco regional

A partir de la Figura 4, se determina que la producción de gas en el yacimiento de Cerro Dragón ubicado en la cuenca del Golfo San Jorge ha ido mermando en los últimos años. Dicho fenómeno se corresponde con la situación global mencionada anteriormente. Asimismo, este escenario es el que permite considerar la necesidad de ampliar las unidades destinadas al procesamiento de gas natural, pensando en una recuperación en la demanda y consumo del combustible en periodos venideros.

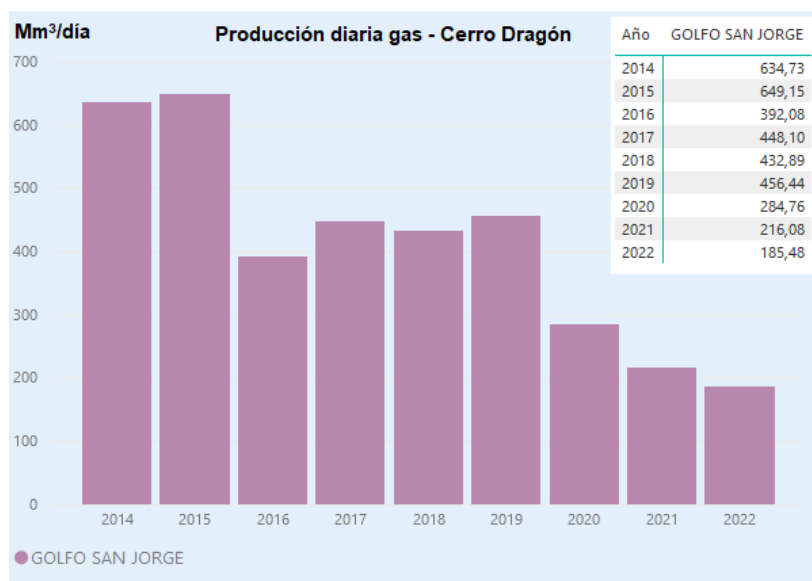


Figura 4- Producción diaria de gas [Mm³/día] en el yacimiento Cerro Dragón en los últimos 8 años ¹

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 8 de 35	

3 TRATAMIENTO DEL GAS NATURAL

3.1 Etapas de acondicionamiento del gas

El flujo de gas comienza con su extracción de los reservorios, estando compuesto, en un principio, por metano, proporciones variables de hidrocarburos y diversos contaminantes (ácido sulfhídrico, gas nitrógeno, dióxido de carbono, agua, mercurio, sulfuro de carbono, etc.). Estos contaminantes no solo producen problemas industriales como, por ejemplo, corrosión o disminución en el poder calorífico del gas; sino que también, son fuentes de efectos ambientales, en concreto, contribuciones al calentamiento global (altas emisiones de CO₂), deterioro de la capa de ozono (debido CH₄ sin combustionar) y aportes significativos a las lluvias ácidas (por presencia de compuestos azufrados). Por esta razón, el objetivo del procesamiento del gas natural es acondicionarlo, removiendo estas impurezas en función de los requisitos aguas abajo para, finalmente, separarlo en dos fracciones: gas natural seco (GNS) y líquidos de gas natural (LNG), cumpliendo, en cada caso, con las condiciones de calidad para su uso y comercialización.

Para cumplir con tal tarea, el gas con alto contenido de condensado extraído del reservorio es enviado a baterías de separadores bifásicos o trifásicos, estos últimos en casos donde haya gas, agua y petróleo. En estas baterías se realiza una separación física inicial de líquido y gas. Los líquidos obtenidos pueden enviarse a una etapa denominada estabilización de condensados con el fin de alcanzar sus especificaciones. Por otra parte, el gas suele pasar por un proceso de “endulzamiento” que consiste en la eliminación de compuestos ácidos (H₂S y CO₂) por medio, generalmente, de absorción en soluciones con aminas. Seguidamente, se realiza una deshidratación de la corriente del gas (ya dulce) a través, en la mayoría de los casos, del uso de glicol (regularmente, TEG).

Como parte final del procesamiento, el gas natural acondicionado es separado en una fase de gas seco, enviada por gasoductos para consumo o hacia nuevas plantas de tratamiento en función de su uso final, y otra fracción líquida que es transportada por poliductos o buques a plantas de tratamiento. Luego, los posteriores procesos fisicoquímicos de fraccionamiento permiten separar los componentes del LGN (etano, propano, butano, gasolinas naturales, aceites lubricantes, etc.) para su posterior envío como combustible o materia de partida en múltiples procesos dentro de la industria petroquímica.

Es importante destacar que toda esta serie de procesos industriales va a depender fuertemente de la localización del gas y la demanda del mercado, tanto en cuestiones de calidad como también en cantidad y características físicas y técnicas de los productos. El diseño de este procesamiento es sumamente complejo, requiriendo un análisis global de la economía existente, la disponibilidad prevista de las reservas de gas natural e hipotéticos escenarios futuros de los mercados.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 9 de 35	

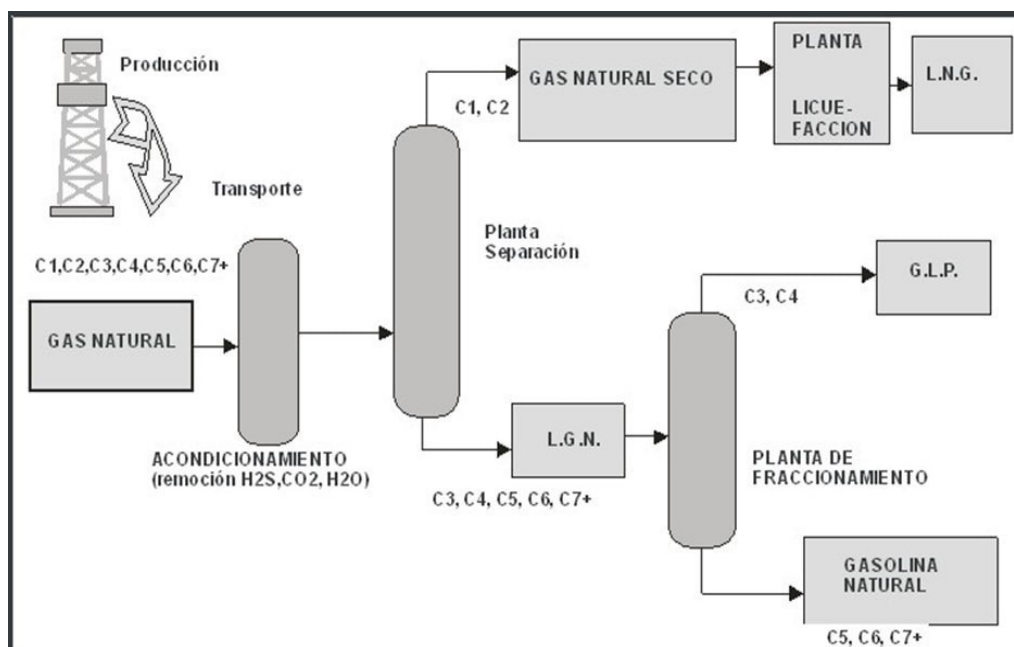


Figura 5- Esquema simplificado del procesamiento del gas natural ³

3.2 Principales tecnologías para la deshidratación del gas

3.2.1 Absorción con glicoles

El fenómeno de transferencia de masa desde una fase gaseosa hacia una fase líquida sustenta este tipo de técnica de deshidratación. Por medio de la adición de un líquido con alta higroscopicidad se logra remover el vapor del agua del gas, garantizando el contacto íntimo entre ambas sustancias en una torre de absorción. Los glicoles son los desecantes líquidos más efectivos, dado que sus propiedades se adaptan a gran parte de los criterios de aplicación comercial, entre las que se destacan:

- Alta capacidad para absorber agua.
- Son incoloros, inodoros, no volátiles e inmiscibles en hidrocarburos líquidos.
- Presentan cierta estabilidad en presencia de H_2S y CO_2 .
- No solidifican en soluciones concentradas, no son corrosivos y no forman precipitados con componentes del gas.

Por lejos, el desecante líquido más utilizado es el TEG. Se presenta en la Tabla 1 las principales características que ofrece este compuesto. Teniendo presente las ventajas mencionadas seguidamente y, considerando que se deshidratará un gas libre de H_2S con temperatura menor a $50^\circ C$ y a presión intermedia, se seleccionó como vehículo líquido secante al TEG.

³ <https://www.ssecoconsulting.com/procesamiento-de-gas-natural.html>

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 10 de 35	

Tabla 1- Ventajas y limitaciones técnicas del uso de TEG como absorbente en el tratamiento de gas natural

Comportamiento técnico y operativo del TEG frente a los otros glicoles
o Se regenera con mayor facilidad a concentraciones de 98 – 99% entre 170 – 200°C por su alto punto de ebullición y elevada temperatura de descomposición.
o Logra mayor depresión del punto de rocío, alrededor de 0°F (-17,8°C).
o Temperatura inicial de descomposición teórica (207°C) y flash point (177°C) mayores que las del MEG (164°C y 116°C, correspondientemente).
o Pérdidas por vaporización menores que las del MEG o DEG.
o Costos de capital y operativos menores.
o No son aptos para procesos criogénicos y son corrosivos si se contaminan con H₂S.

3.2.2 Uso de adsorbentes sólidos

La deshidratación con desecantes sólidos es un proceso que se basa en el principio de adsorción. Este consiste en la adhesión entre partículas del desecante y el vapor de agua contenido en el gas. Si bien la eficiencia de remoción de agua es mucho mayor que en el caso de técnicas de absorción, requiere grandes tamaños de equipos lo que limita sus aplicaciones, principalmente, a unidades de control de punto de rocío de hidrocarburos. Dentro de los desecantes sólidos comerciales más utilizados se encuentran: gel de sílice, alúmina y tamices moleculares.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 11 de 35	

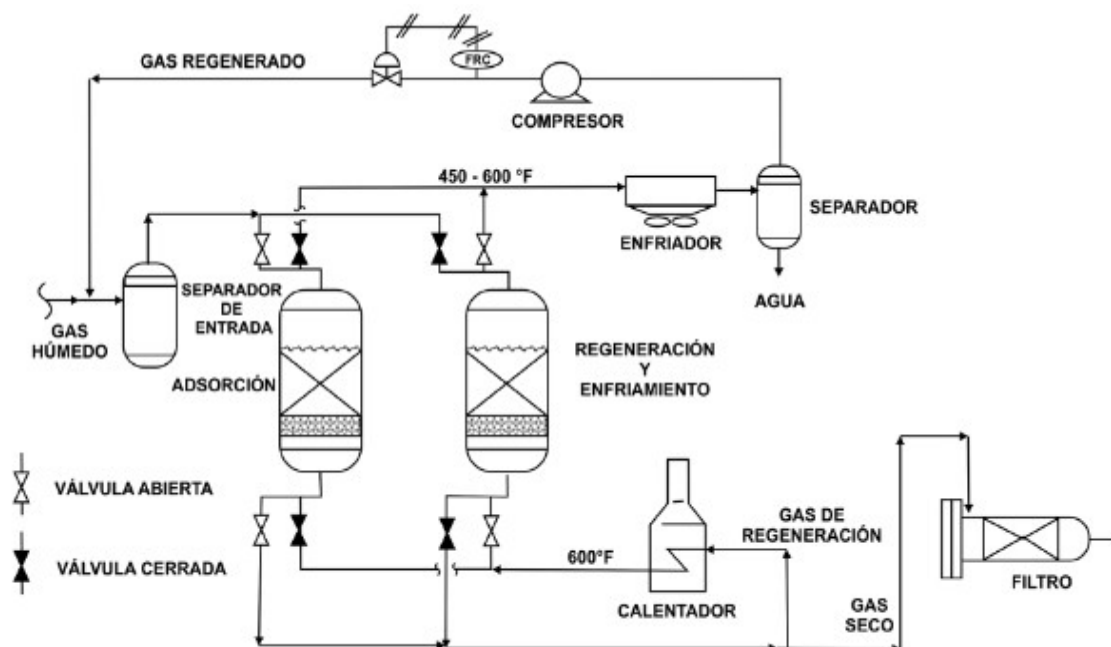


Figura 6- Esquema del proceso de deshidratación con desecantes sólidos ⁴

3.2.3 Delicuescencia

Un delicuescente es una sustancia que tiene la capacidad de atraer la humedad y disolverse lentamente, siendo, en gran parte de los casos, una sal. En este tipo de proceso se emplean sales de metales alcalinotérreos que permiten secar la corriente gaseosa a través de una torre de platos para absorción de vapor de agua en combinación con una unidad de lecho sólido fluidizable, siendo equipos de menor costo que los casos anteriores. Si bien, al ser un sistema cerrado no presenta problemas por emisiones de compuestos orgánicos volátiles, genera una salmuera concentrada cuya disposición final presenta un problema ambiental significativo. La principal sustancia delicuescente utilizada es el cloruro de calcio (CaCl_2) pero también se puede encontrar el cloruro férrico, de magnesio, de zinc o de potasio.

3.2.4 Expansión – refrigeración

La técnica consiste en pasar el gas por un reductor de presión, ocasionando la condensación del agua producto del enfriamiento por el efecto Joule – Thomson. El proceso puede darse con o sin inhibidor en función de si la expansión permite que el agua alcance la temperatura de rocío sin llegar a formar hidratos. Como inhibidores se usan metanol o glicol que, por razones técnicas y económicas, se recuperan posteriormente en una columna regeneradora.

⁴ GPSA Engineering Data Book, Gas Processors Suppliers Association, 12th Edition, 2004.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 12 de 35	

3.2.5 Permeación del gas

El proceso se basa en el principio de transferencia de masa por la difusión de gas a través de una membrana. Estas barreras semipermeables permiten eliminar dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y agua del gas natural. Ofrecen la gran ventaja de poseer un funcionamiento simple, ocupar poco espacio y ser de menor peso que los equipos tradicionales lo que los hace ideales para aplicaciones en pozos offshore. La principal desventaja es que requieren un pretratamiento de la corriente de alimentación ya que esta debe encontrarse libre de sólidos y gotas mayores a 3 micrones y tener una temperatura de, al menos, 10°C por encima del punto de rocío del agua. Debido a estas limitaciones, se suelen utilizar como unidades complementarias para el endulzamiento y deshidratación del gas.

3.2.6 Separación ultrasónica

Al igual que la permeación de gas, es muy atractiva su aplicación en plataformas marítimas por su simplicidad, pequeño tamaño y bajo peso. Los separadores supersónicos *twister* son una combinación de procesos físicos convencionales como expansión, separación ciclónica y etapas de recompresión. Son dispositivos compactos y tubulares que permiten condensar y separar. Se trata de un tipo de tecnología reciente, muy innovadora y con alto potencial ya que ofrece ventajas desde el punto de vista económico (reducción de costos tanto de inversión como de mantenimiento), técnico (la rapidez del fluido evita la formación de hidratos y deposición de sólidos por lo que no se necesitan inhibidores químicos) y ambiental (disminuye considerablemente la emisión de benceno, tolueno y xileno al ambiente).

4 ALCANCE

El alcance del proyecto comprende la Ingeniería Básica asociada a los siguientes procesos:

- Deshidratación del gas natural mediante columna de absorción.
- Regeneración del TEG, utilizado para la deshidratación, mediante columna de destilación.

5 EXCLUSIONES

Los siguientes apartados quedan excluidos del alcance de este proyecto:

- Etapas de acondicionamiento previo.
- Diseño e implementación de unidades compresoras.
- Endulzamiento de la corriente.
- Control del punto de rocío.
- Procesos aguas abajo en la Planta de Tratamiento de Gas.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 13 de 35	

6 SIGLAS Y ABREVIACIONES

MEG	Metiletilenglicol
DEG	Dietilenglicol
TEG	Trietilenglicol
NAG	Norma Argentina de Gas
ENARGAS	Ente Nacional Regulador del Gas
GNS	Gas Natural seco
LGN	Líquidos de Gas Natural
CD	Yacimiento Cerro Dragón
PTG	Planta de Tratamiento de Gas
PCG	Planta Compresora de Gas
PDG	Planta Deshidratadora de Gas
CD1	Estación Cerro Dragón 1
AC	Acero al carbono
AI	Acero inoxidable

7 LOCACIÓN

7.1 Ubicación geográfica

- País: Argentina
- Provincia: Chubut
- Cuenca: Golfo San Jorge
- Yacimiento: Cerro Dragón
- Estación: Cerro Dragón 1

La planta estará ubicada en el centro – sur de la Provincia de Chubut, dentro del yacimiento Cerro Dragón, en la Cuenca del Golfo San Jorge, a 80 km al oeste de la ciudad de Comodoro Rivadavia. Latitud 45° 46' 7.68" S, longitud 68° 17' 44,16" O.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 14 de 35	

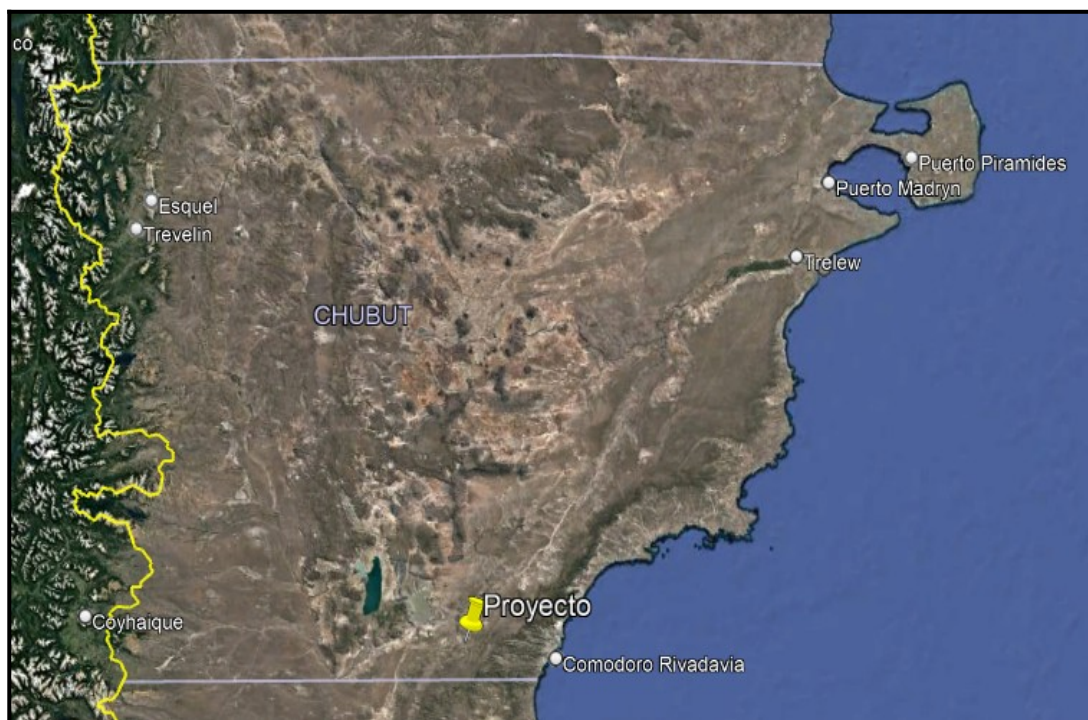


Figura 7- Imagen satelital de la ubicación del proyecto dentro de la Provincia de Chubut



Figura 8- Imagen satelital con rutas y localidades cercanas a la ubicación del proyecto

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 15 de 35	



Figura 9- Imagen de la PTG – CD1 donde se encontrará el proyecto. En rojo las líneas de ductos de gas

La elección de la locación del proyecto dentro de la Planta de Tratamiento de Gas ubicada en la Estación CD1 es estratégica ya que permite la recepción rápida del gas endulzado proveniente de esta misma PTG y, al mismo tiempo, asegura un transporte dinámico del gas tratado, para consumo final o a otra PTG aguas abajo, ya que en cercanías hay una red importante de gasoductos.

7.2 Condiciones de sitio

7.2.1 Datos topográficos

- Elevación: 559 msnm
- Accidente topográfico: no relevante en el área de implantación

7.2.2 Condiciones estándar

- Temperatura: 15°C
- Presión: 1,033 kg/cm²(a)

7.2.3 Temperatura ambiente

- Máxima extrema: 37°C
- Mínima extrema: -22°C
- Máxima media: 17,5°C
- Mínima media: 2,8°C
- Máxima promedio de verano: 25,7°C
- Mínima promedio de invierno: -3,1°C

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 16 de 35	

7.2.4 Precipitaciones

- Máxima: 300 mm
- Media anual: 223 mm

7.2.5 Humedad relativa

- Valor medio en verano: 45%
- Valor medio en invierno: 65%
- Valor máximo: 100%
- Mínimo absoluto de octubre a marzo: 4 a 5%
- Mínimo absoluto de abril a septiembre: 10 a 15%

7.2.6 Sismicidad

- Tipo de zona: 0 (peligrosidad sísmica muy reducida)
- Tipo de suelo: gravas y/o arenas de densidad media

7.2.7 Velocidad del viento

- Dirección predominante: oeste
- Velocidad máxima: 230 km/h
- Factor de importancia: 1,15
- Categoría de exposición: C (terrenos abiertos con obstrucciones dispersas)
- Categoría de edificios y otras estructuras: III

7.2.8 Nieve

- Carga a nivel del terreno: 0,9 kN/m²

8 METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para la verificación de cálculos, diseño y dimensionamiento de los equipos que conforman la Planta de Deshidratación, se emplea el Software de simulación *Aspen HYSYS V11*. El programa incluye un paquete termodinámico de glicol especialmente diseñado para la deshidratación con TEG. Asimismo, se utiliza el paquete de propiedades y ecuación de estado de Peng – Robinson, también disponible en el Software.

9 PREMISAS DE DISEÑO

9.1 Condiciones de entrada

9.1.1 Caracterización de la corriente de entrada

Se detalla la composición molar del gas húmedo dulce que se alimenta al proceso.

Tabla 2- Composición del gas húmedo dulce de alimentación

Componente	% molar
N₂	0,11
CO₂	0,13
H₂S	0,00

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 17 de 35	

CH₄	80,00
C₂H₆	10,32
C₃H₈	6,81
i – C₄H₁₀	1,12
n – C₄H₁₀	0,69
i – C₅H₁₂	0,32
n – C₅H₁₂	0,16
n – C₆H₁₄	0,08
n – C₇H₁₆	0,06
H₂O	0,20

9.1.2 Condiciones operativas de la alimentación

Tabla 3- Condiciones de operación de la corriente de entrada

Variable	Valor	Unidad
Caudal	6.763.200	Sm ³ /día
Presión	60,8	kg/cm ² (g)
Temperatura	35	°C

A partir del dato del caudal de ingreso, se fija la capacidad de la planta de deshidratación de gas proyectada.

9.2 Condiciones de salida

9.2.1 Caracterización de la corriente de salida

El gas se acondiciona de acuerdo con las especificaciones de transporte y distribución en Argentina fijado por la NAG – 620 del ENARGAS.

Tabla 4- Especificaciones de calidad de gas natural en condiciones básicas (Cap.5 NAG – 620 ENARGAS)

Parámetro	Condición básica	Unidad	Referencia de control
Dióxido de carbono (CO₂)	2 (*)	% molar	ASTM D 1945 / GPA 2261 / IRAM-IAP A 6852
Total de inertes (CO₂ + N₂)	4 (**)	% molar	ASTM D 1945 / GPA 2261 / ISO 6976 / IRAM-IAP A 6852
Oxígeno (O₂)	0,2	% molar	ASTM D 1945 / GPA 2261 / IRAM-IAP A 6852
Vapor de agua (H₂O)	65	mg/m ³	ASTM D 1142 / IRAM-IAPG A 6856
Sulfuro de hidrógeno	3	mg/m ³	GPA 2377 / IRAM-IAPG A

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 18 de 35	

(SH₂)			6860
Azufre entero (S_{TOT})	15	mg/m ³	GPA 2377 IRAM-IAPG A 6860 / IRAM-IAPG A 6861
Punto de rocío de hidrocarburo (PRHC)	<-4 @5500 kPa	°C	GPA 2286 y Ecuación de Estado
Poder calorífico superior (PCS)	8850 – 10200	kcal/m ³	GPA 2172 / ISO 6976 / IRAM-IAPG A 6854 / ASTM D3588
Índice de Wobbe (IW)	37,04 – 42,70	MJ/m ³	ISO 6976 / IRAM-IAPG A 6854
	11300 – 12470	kcal/m ³	
	47,30 – 52,20	MJ/m ³	
Temperatura máxima	50	°C	Medición in situ

(*) El límite puede ser superado por el Transportista, pero nunca por encima de 2,5% molar.

(**) El límite puede ser superado por el Transportista, pero nunca por encima de 4,5% molar.

9.2.2 Condiciones operativas de la corriente de salida

No se definen condiciones operativas particulares para la corriente de salida, dado que el gas tratado, aguas abajo, se enviará a la planta de tratamiento para terminar de acondicionarlo para su posterior venta. Solo se requiere que esté en especificación en cuanto al contenido de agua.

9.3 Propiedades de los fluidos

Las propiedades de las corrientes se estimaron a partir de la simulación realizada con el software *Aspen HYSYS V11*. A continuación, se detallan las más importantes.

9.3.1 Gas de entrada al sistema

Tabla 5- Propiedades físico – químicas del gas a deshidratar

Propiedades del gas húmedo	
Contenido de agua [mg/Sm³]	1524
Densidad [kg/m³]	58,7
Peso molecular	20,6
Factor de compresibilidad	0,812
Índice de Wobbe [MJ/m³]	55,3
Poder calorífico superior [MJ/m³]	46,7
Poder calorífico inferior [MJ/m³]	42,4

9.3.2 Glicol de alimentación a la torre contactora

Tabla 6- Propiedades físico – químicas TEG que alimenta la columna de absorción

Propiedades del TEG	
Porcentaje en masa de TEG	98,9%

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 19 de 35	

Densidad [kg/m³]	1116
Peso molecular	139,3
Viscosidad [cP]	17,16
Tensión superficial [dyna/cm]	43,96
Capacidad calorífica [kJ/kmol°C]	306,3
Temperatura de autoignición [°C]	349
Temperatura de descomposición [°C]	206

9.3.3 Gas seco que sale de la planta deshidratadora

Tabla 7- Propiedades físico – químicas del gas de salida

Propiedades del gas de salida	
Contenido de agua [mg/Sm³]	60,0
Densidad [kg/m³]	57,65
Peso molecular	20,6
Factor de compresibilidad	0,823
Índice de Wobbe [MJ/m³]	55,4
Poder calorífico superior [MJ/m³]	46,8
Poder calorífico inferior [MJ/m³]	42,5

10 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

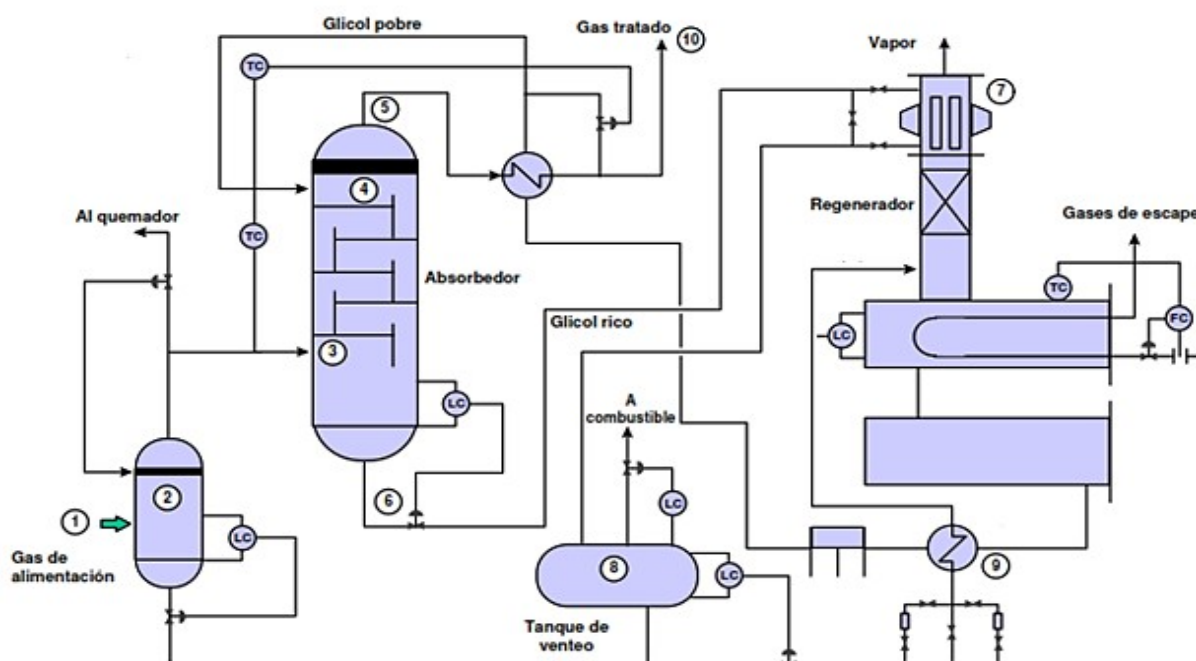


Figura 10- Diagrama de flujo clásico de una planta deshidratadora con TEG ⁵

5 Imagen extraída del Manual de Extracción de Líquidos del Gas Natural – IDPyT (página 4)

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 20 de 35	

10.1 Flujo del gas de alimentación

El gas húmedo de alimentación (1) ingresa al sistema circulando, en primer lugar, a través del separador de entrada (2) donde se desprende de algunas impurezas, agua libre e hidrocarburos líquidos. Después, ingresa a la columna absorbidora en su punto de rocío (3) e inicia un recorrido ascendente por los distintos platos, manteniendo un contacto íntimo con el TEG que, a su vez, desciende desde el tope del equipo (4). Durante el ascenso, el gas se seca y deja definitivamente la unidad por la parte superior como gas seco (5). Por último, intercambia calor con el TEG pobre que ingresa a la torre y es enviado por gasoducto aguas abajo (10) para consumo o, en su defecto, continuar con el tratamiento.

10.2 Flujo del glicol

El TEG rico en agua sale del fondo de la torre (6) para, posteriormente, reducir su presión a través de una válvula reguladora. Esta expansión permite desprender hidrocarburos que hayan sido absorbidos en la columna. Su camino sigue en la chimenea del regenerador (7), circulando en un serpentín y aumentando su temperatura, a la par, que se condensa el glicol remanente en el vapor de agua. Seguidamente, pasa a un tanque de venteo (8) en donde se eliminan los gases absorbidos. En este punto, el TEG rico se filtra e intercambia calor con el TEG pobre que proviene del acumulador (9). Después, la corriente rica alimenta al regenerador. En esta unidad, la temperatura crece considerablemente, promoviendo la separación de vapor de agua del TEG (11). El calor es proporcionado por un reboiler a fuego directo que utiliza, en parte, gas combustible del mismo sistema proveniente del tanque flash (8), impulsando un ahorro energético dentro del ciclo cerrado. El TEG regenerado pasa al acumulador (12) y de éste, al tren de intercambiadores de calor mediante bombeo. Se alimenta a la torre de absorción por el tope, repitiendo la secuencia de secado de la corriente gaseosa y su regeneración para así, finalmente, constituir el proceso de lazo cerrado de flujo.

11 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

11.1 Presión y temperatura de diseño

A partir de las presiones operativas, se puede identificar dos zonas dentro de la Planta:

- La zona de alta presión, que opera a presiones entre 60,74 y 60,8 kg/cm²(g) e involucra los siguientes equipos:
 - Separador de gas de entrada (V – 100)
 - Columna de absorción (TC – 100)
 - Intercambiador de calor gas/glicol (E – 100)
- La zona de baja presión, que opera a presiones entre 0 y 3,8 kg/cm²(g), abarcando los siguientes componentes:
 - Calentador de glicol rico a la salida de la torre de platos (E – 101)
 - Tanque de venteo (V – 101)

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 21 de 35	

- Intercambiador de calor glicol regenerado/glicol rico en agua (E – 102)
- Unidad regeneradora (TR – 100) con el reboiler (R – 100)

En cuanto a las temperaturas, se diseñará en función de los siguientes valores:

- Temperatura de entrada de gas a la torre contactora: 35°C
- Temperatura de entrada de glicol a la torre contactora: 40°C (se toma como criterio operativo una diferencia de 5°C por encima de la del gas)
- Temperatura de operación de la torre regeneradora: 200°C

Se considera que la temperatura del gas de salida de la Planta debe ser menor a 50°C, en función de la normativa. Para los diseños mecánicos, se establece una presión y temperatura de diseño de, como mínimo, 10% por encima de las variables de operación.

11.2 Separador de entrada (V – 100)

El separador de entrada V – 100 tiene como finalidad separar líquidos asociados a la corriente de gas de entrada, así como también sólidos e impurezas que dificulten el proceso dentro de la torre de absorción ya que el agua libre presente puede diluir el glicol y, en consecuencia, disminuir la eficiencia de la unidad contactora. Se selecciona un separador del tipo bifásico vertical con un interno *Wire Mesh* ya que el gas de entrada es un fluido limpio y, a su vez, esta configuración permite mejorar la coalescencia de las gotas y presenta baja caída de presión.

Al tratarse de una corriente de gas a alta presión con una relación gas/líquido muy elevada, el factor controlante en el diseño del volumen del separador es la capacidad de manejo de gas y, al mismo tiempo, estas condiciones son las que determinan la elección de un separador vertical.

Tabla 8- Parámetros de operación del separador V – 100

Variable	Valor	Unidad
Presión normal	60,8	kg/cm ² (g)
Caudal del gas	6763200	Sm ³ /día
Temperatura	35	°C

11.3 Columna de absorción (TC – 100)

La torre de absorción representa el principal equipo del proceso de deshidratación del gas. El gas a la entrada del equipo se encuentra en su punto más crítico durante todo el proceso (mayor porcentaje de agua y menor temperatura), por lo tanto, el correcto diseño de la columna es fundamental para alcanzar el objetivo del Proyecto. En la unidad, el agua que contiene el gas es absorbido por el TEG, que circula en contracorriente. El fenómeno se ve favorecido a altas presiones y bajas temperaturas. Como criterio se decide operar la columna a la presión de entrada del gas (60,8 kg/cm²(g)) y a una temperatura de ingreso del TEG 5°C por encima de la del gas húmedo ya que esto permite favorecer la absorción, al mismo tiempo, que se evita la condensación de hidrocarburos y pérdidas de absorbente en

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 22 de 35	

el gas de salida. Bajo este criterio, el glicol ingresa al equipo a unos 40°C que, a su vez, coincide con una temperatura máxima que se puede presentar en verano en la locación donde se encontrará la Planta. Por otro lado, esta temperatura no puede ser mucho más baja que lo establecido ya que puede dar lugar a la formación de hidratos y dificultades en la operación por elevadas viscosidades del glicol. En la sección superior de la Unidad, se instalará un eliminador de niebla del tipo *Demister* con el objetivo de garantizar la coalescencia de gotas de glicol que pueden ser arrastradas junto al gas seco de salida y, de esta forma, disminuir las pérdidas del fluido. La selección de este se basa en las especificaciones y características brindadas por el proveedor (S – Cube Mass Transfer⁶), partiendo del diseño previo de equipos que se encuentran en funcionamiento dentro del Yacimiento con condiciones operativas similares.

La elección del tipo de plato está vinculada a criterios operativos y económicos. Los platos perforados, frente a los de válvulas fijas o flotantes y capuchas de burbujeo, ofrecen gran ventaja en cuanto al costo, mantenimiento y limpieza. También operan satisfactoriamente a caudales de gas elevados (como es el caso) y en intervalos del 50% al 120% de la capacidad, siempre y cuando, se hayan diseñado correctamente lo que implica verificar que la columna no presente problemas de inundación por arrastre de líquido, inundación en bajantes ni un lloriqueo excesivo. La circulación de líquido sobre el plato será por flujo cruzado en un solo paso debido al bajo caudal de líquido frente a la corriente gaseosa.

El número de platos se fija a través de gráficos empíricos del manual de la GPSA, afectados por una eficiencia del 25% (valor común para contactoras con glicol a presión). Es importante destacar que, para determinar la cantidad de glicol a inyectar en la columna, se considera un factor de seguridad del 8% sobre la condición crítica de contenido de agua en el gas de salida fijada por normativa (65 mg/Sm³). Por lo tanto, para el diseño de la TC – 100 se toma como humedad de referencia en el gas seco 60 mg/Sm³. Este criterio se interpreta como un parámetro de seguridad global del proceso. El objetivo es que, bajo distintos problemas que se puedan dar en los equipos y líneas presentes en la Planta (fugas, incrustaciones, roturas, fallas en sistemas de control, inconvenientes por falta de limpieza, cambios en la composición del glicol, etc.), exista un margen operacional sobre el cual el gas de salida siga en especificación. A su vez, permite contar con el tiempo suficiente para acciones correctivas sin necesidad de llegar a corrientes sobreespecificadas, equipos excesivamente sobredimensionados, paradas de Planta no planificadas y/o pérdidas en la producción.

El diseño de los platos debe ser tal que se cumplan los siguientes criterios y condiciones:

- 1- El diámetro de la columna debe ser suficiente para permitir el flujo de gas sin que exista inundación por arrastre de glicol.

⁶ Demister Pad. S – Cube Mass Transfer PVT LTD. Página web: <https://s3dist.in/demister-pad/>

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 23 de 35	

- 2- La pérdida de carga total será tal que no provoque inundación de bajantes.
- 3- No haya purga/lloriqueo del líquido por los orificios del plato ya que este fenómeno produce una importante caída en la eficiencia de la transferencia de masa.
- 4- El factor de seguridad por inundación empleado no debe superar el 80%.
- 5- La altura del vertedero debe variar entre 1,5 y 3,5 pulgadas. Este es un parámetro de suma importancia ya que determina el volumen de líquido en el plato y, por lo tanto, la eficiencia de este. Sin embargo, valores muy altos implican grandes caídas de presión.
- 6- El área del ducto descendente (bajante) debe ser, como mínimo, un 10% del área total.

11.4 Intercambiador de calor glicol/gas (E – 100)

El objetivo de esta unidad es enfriar el glicol pobre, proveniente de la bomba, hasta su temperatura de ingreso a la torre de absorción (40°C). El gas, al tener un poder calorífico muy superior al del glicol, no va a sufrir un aumento importante en su temperatura, sin embargo, se debe controlar que esta no supere los 50°C.

11.5 Calentador de glicol pobre (E – 101)

Este calentador representa al fenómeno de intercambio de energía que se da en el tope de la columna de destilación. El mismo consiste en un serpentín que garantiza la condensación de glicol arrastrado con el vapor de agua calentando, a su vez, al glicol rico que sale por el fondo de la torre contactora hasta la temperatura deseada por operación del tanque de venteo. La descripción de la unidad E – 101 se da con más detalle dentro de la sección “Condensador de la torre regeneradora”.

11.6 Tanque de venteo (V – 101)

La función del tanque de venteo es eliminar por expansión y, posterior separación, aquellos compuestos livianos que pudieron haber sido absorbidos por el glicol en la columna de absorción. Esta corriente gaseosa es reincorporada al sistema como gas combustible para el reboiler del equipo de regeneración.

Para este tipo de gas tratado en particular, se determinó que la cantidad de hidrocarburos pesados en la corriente que ingresa al tanque flash es despreciable por lo que se diseña un separador bifásico con configuración horizontal. La disposición en horizontal se debe a los bajos caudales de trabajo, en comparación con el separador de entrada, y la separación del tipo bifásica porque se obtendrán dos corrientes de producto: glicol venteado y el gas.

En cuanto a las condiciones operativas, la presión de operación recomendada para este tipo de equipos varía entre 3 – 7 kg/cm²(g) donde, esta variable, determina la caída de presión necesaria en la válvula de control de presión (VLV – 100) ubicada a la salida de la torre de platos. Mientras que, en el caso de la temperatura, cuanto menor sea, genera menores pérdidas de TEG, pero mayor será la retención de hidrocarburos livianos en la fase líquida; sugiriéndose rangos de temperatura de 38 a 54°C. Bajo estos criterios mencionados, se fija la operación de la unidad V – 101 en 3,8 kg/cm²(g) y 43,2°C.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 24 de 35	

Tabla 9- Condiciones de operación del tanque flash V – 101

Separador horizontal bifásico V – 101		
Caudal de glicol	15,7	Am ³ /h
Presión	3,8	kg/cm ² (g)
Temperatura	43,2	°C

11.7 Intercambiador de calor glicol rico/glicol pobre (E – 102)

En este intercambiador se busca disminuir la temperatura del glicol pobre que sale de la unidad regeneradora. Esta corriente ingresará a la bomba de circulación (P – 100) y, si su temperatura fuera muy elevada, la presión de vapor del vapor aumentaría por lo que la Altura Neta Positiva en Aspiración disponible (ANPA_d) disminuiría, ocurriendo, en el peor de los casos, un fenómeno de cavitación. Esta caída en la temperatura se da a costa de un precalentamiento de la corriente de glicol rica en agua que ingresará a la unidad regeneradora. Este efecto también es buscado ya que, a mayor temperatura de alimentación, menor es la demanda térmica del reboiler. De igual modo, dicha temperatura no puede exceder los 150°C ya que podría causar una vaporización desmedida y velocidades excesivamente altas de alimentación. Para el diseño del equipo, únicamente se requiere fijar la temperatura de salida del glicol pobre la que, por factores previamente mencionados, es igual a 130°C.

Tabla 10- Criterio de diseño para el intercambiador de calor E – 102

Intercambiador de calor glicol/glicol E – 102		
Temperatura de salida del glicol pobre	130	°C

11.8 Unidad regeneradora (TR – 100)

El equipo de regeneración de glicol es una parte integral y fundamental para el proceso. En esta unidad se separa el agua del glicol mediante evaporación con el objetivo de devolverle su capacidad de absorción, obteniendo de esta forma como producto, por el fondo, TEG con más del 98,5% de pureza en masa. Este proceso se ve favorecido a bajas presiones y altas temperaturas, por lo que se opta por operar la torre a presión atmosférica y con una temperatura de alimentación fijada por el intercambio de calor en E – 102. Asimismo, al trabajar con caudales considerablemente más bajos que la torre contactora, se escoge una columna con relleno aleatorio, en particular, anillos Pall metálicos. Estos forman parte de los denominados “rellenos de segunda generación” brindando áreas superficiales entre 100 – 120 m²/m³ y porosidades de hasta el 96%.

Para el proceso de la Planta proyectada, se requiere una pureza del glicol en la entrada de la columna TC – 100 de 98,9% en masa. Este porcentaje se relaciona directamente con la temperatura del reboiler de la unidad TR – 100 ya que controla la concentración de agua en el glicol; a mayor temperatura del reboiler, mayor será la pureza alcanzada del TEG. Sin embargo, esta viene limitada por la temperatura a la que comienza a degradarse dicho fluido (aproximadamente, 206°C). Bajo este criterio, se fija la temperatura en el fondo de la columna en 200°C. En cuanto a la temperatura en el tope del

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 25 de 35	

equipo, la misma será de 102°C. La asignación de este valor se vincula con el proceso de condensación para recuperar glicol arrastrado por la corriente de vapor de agua. Dado que la operación es atmosférica, esta temperatura no puede ser menor a 100°C ya que se recondensaría parte del vapor, pudiéndose dar un fenómeno de inundación en el equipo y, al mismo tiempo, disminuiría la pureza del producto, demandando mayores requerimientos de calor y consumo de combustible. Asimismo, una temperatura del condensador muy por encima de los 100°C implicaría formación de sobrante de glicol y, por ende, pérdidas del mismo por el tope de la columna.

Tabla 11- Parámetros de operación y diseño del equipo TR – 100

Variable	Valor	Unidad
Presión de operación	1	atm(a)
Temperatura condensador	102	°C
Temperatura reboiler	200	°C
Pureza requerida del TEG	98,9	%

11.8.1 Condensador de la torre regeneradora (E – 101)

El condensador estará conformado por un serpentín donde circulará el glicol rico en agua que sale por el fondo del equipo TC – 100. Este accionar permitirá condensar y recuperar parte del glicol que es arrastrado por el vapor de agua en la columna regeneradora, a la vez, que se precalienta el glicol rico, generando una integración energética en el Proyecto. La operación es a 102°C, calentando el glicol rico desde 40,8°C a 43,2°C. El calentamiento queda identificado en la simulación por medio del equipo E – 101.

11.8.2 Reboiler de la torre regeneradora (R – 100)

Esta unidad calienta la corriente de glicol por medio de un tubo de fuego hasta los 200°C. Para satisfacer esta demanda térmica se utilizará como combustibles: la corriente de gas venteado del separador V – 101 y gas combustible proveniente de otro proceso aguas abajo.

11.9 Bomba (P – 100 A/B)

La bomba de circulación P – 100 se encarga de incrementar la presión de la corriente de TEG pobre (1,05 kg/cm²(g)) hasta la presión requerida para entrar a la columna de absorción (60,8 kg/cm²(g)). Este equipo no se diseña, sino que se selecciona a través del catálogo comercial de la empresa proveedora. Los principales factores a tener en cuenta para la elección de la bomba son: la presión mínima de descarga y succión, la temperatura de operación y el caudal total, siendo estos últimos, en condiciones normales, 118°C y 6,3 Am³/h, respectivamente. Se instalarán dos bombas de desplazamiento positivo, una para la operación continua y otra en paralelo como respaldo, con variadores de frecuencia para que, en caso de una caída en el caudal de gas a tratar, se puede disminuir el caudal de recirculación de glicol para evitar entregar un gas sobreespecificado. De esta forma, se busca optimizar el proceso desde un punto de vista tanto operativo como económico. Es

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 26 de 35	

importante destacar que la bomba es la única unidad con partes móviles dentro de toda la Planta, por lo que requiere especial cuidado en la instrumentación, las acciones de control implementadas, la frecuencia de los planes de mantenimiento preventivo y en la gestión de sus repuestos.

11.10 Filtros

La presencia de filtros es fundamental para una correcta operación de la unidad de deshidratación. Su utilización permite eliminar sólidos y contaminantes disueltos presentes en la corriente de glicol que, llegado el caso, pueden provocar formación indeseable de espuma, taponamientos en las válvulas y columna de destilación y daño por erosión en los pistones de la bomba. A su vez, estos fenómenos pueden llevar a resultados desfavorables como mantenimientos innecesarios del sistema (con el alto costo operativo que esto implica) y gas fuera de especificación. Para prevenir estas situaciones, se emplearán dos tipos de filtros que se detallan a continuación.

11.10.1 Filtros de partículas (F – 101 y F – 103 A/B)

Los filtros tipo canasto se usan para eliminar sólidos presentes en la corriente de glicol rico y pobre. El F – 101 se instalará a la salida del tanque de venteo y los F – 103 A/B se ubicarán sobre la línea de succión de las bombas, evitando el ingreso de partículas a los equipos TR – 100 y P – 100A/B, respectivamente. Los filtros contendrán mallas con capacidad de remover el 99% de impurezas con diámetro mayor a 5 micrones. En ambos casos, se contará con un sistema de medición de la presión diferencial, fijando como valores máximo 0,75 y 0,15 kg/cm²(g), correspondientemente. Superado esos parámetros de set, se deberá realizar mantenimiento a los mismos siguiendo las instrucciones del fabricante.

11.10.2 Filtro de carbón activado (F – 102)

El filtro de carbón activado tiene como fin adsorber contaminantes disueltos en la corriente de glicol rico a la entrada de la torre regeneradora. Se instalará en la línea de alimentación de la TR – 100 dado que, el intercambio de calor en la unidad E – 102, puede producir una descomposición parcial del TEG cuyos productos generarían espuma no deseada en la etapa de regeneración.

11.11 Dimensionamiento de líneas

Para el cálculo de los diámetros de las cañerías se tiene en cuenta la naturaleza de los fluidos circulantes, la presión, el caudal, la pérdida de carga admisible y el riesgo de erosión del conducto. En el dimensionamiento de las múltiples líneas se considera la condición crítica para cada caso, realizando las verificaciones sobre los escenarios más extremos.

La elección del material de las cañerías se realiza considerando el potencial de corrosión, tanto interno como externo, y los problemas asociados a la erosión de las sustancias transportadas. El espesor de estas se elige a partir de la presión y temperatura de diseño, el material seleccionado y la máxima corrosión admisible.

La velocidad de erosión no debe verse en ningún caso superada siendo, por lo tanto, un criterio más para el diseño de las líneas. La misma es definida a partir de la norma API

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 27 de 35	

RP 14E, siendo ρ_m la densidad de la mezcla del fluido y C una constante empírica que depende del tipo de servicio. Por las características de la planta, se considera flujo continuo libre sólidos.

$$v_e = \frac{C}{\sqrt{\rho_m}}$$

Ecuación 1- Velocidad de erosión (norma API 14E)

11.11.1 Líneas de gas

El dimensionamiento de gas se hará en base a los siguientes criterios:

- Velocidad superficial máxima permitida dentro de la tubería: 25 m/s (valor típico recomendado para diseño).
- Máximo valor del parámetro ρv^2 : 10000 Pa. Fijado en función de la máxima presión de operación (60,8 kg/cm²(g)). Esta condición permite evitar que las líneas se vean sometidas a fuerzas excesivas de reacción y altos niveles de vibración.
- Máxima caída de presión por unidad de longitud: 2,7 kg/cm²/km. Igualmente, este valor está sujeto a la compatibilidad con las condiciones de servicio.

Tabla 12- Criterios de dimensionamiento para las líneas de gas en función de la presión de operación

Presión de operación [kg/cm²(g)]	$v_{\max}$ [m/s]	$\Delta P/L$ [kg/cm²/km]	ρv^2 [Pa]
0 – 7	25	< 0,4	< 6000
7 – 35	25	< 1,1	< 7500
35 – 140	25	< 2,7	< 10000
>140	25	< 3,0	< 15000

En el caso particular de la tubería de alimentación, al contener agua libre, se dimensiona como líneas de gas, pero verificando que su velocidad no supere el 90% de la velocidad de erosión.

11.11.2 Líneas de líquido

Las líneas de líquido son verificadas y dimensionadas según el criterio de velocidades recomendadas, pérdidas de carga admisibles y relación respecto a la velocidad erosional. En la Tabla 13 se detallan estos límites en función del servicio y procedencia de la línea.

Tabla 13- Criterios considerados para dimensionar líneas de líquido

Servicio	$v_{\min}$ [m/s]	$v_{\max}$ [m/s]	$\Delta P/L$ [kg/cm²/km]	v/v_e
Salida del fondo de recipientes	1,2	1,8	< 1,4	< 90%
Succión de bombas	1	1,2	< 1,1	< 90%
Descarga de bombas	2	3,5	< 4,5	< 90%
Servicio general	2	2,5	< 0,5	< 90%

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 28 de 35	

11.11.3 Líneas de flujo bifásico

El criterio de dimensionamiento para conductos con flujo bifásico es que, en ningún caso, la velocidad en la cañería debe superar el valor máximo de la velocidad de erosión (fijado como el 90% de este parámetro).

12 SERVICIOS AUXILIARES

12.1 Sistema de aire de instrumentos

Su objetivo es suministrar el fluido necesario para asistir a todos los instrumentos neumáticos dentro de Planta, entre ellos, válvulas de control, actuadores neumáticos de shutdown, etc. Este sistema está constituido por:

- Compresores: toman aire del ambiente y lo comprimen hasta la presión necesaria.
- Filtros de aire: retienen partículas sólidas y pequeñas gotas de aceite provenientes del compresor.
- Secador de aire: eliminan la humedad del aire, evitando congelamiento y corrosión en las líneas.
- Pulmón de aire: es un equipo de almacenamiento que permite abastecer, en caso de parada de compresores, el aire demandado por el sistema en un determinado tiempo de autonomía (15 a 30 minutos).

La presión de suministro de aire se encuentra entre 8 y 10 kg/cm²(g). La calidad de aire debe reunir los requerimientos establecidos en normativa ISA 7.0 y 7.3, estando libre de partículas con tamaños mayores a 40 micrómetros, contaminantes corrosivos y gases peligrosos.

12.2 Sistema de drenajes y venteos

El objetivo del sistema de drenajes operativos es canalizar la disposición segura y aceptable de estos por su impacto ambiental, evitando la liberación de cantidades considerables de gas al ambiente, la generación de atmósferas inflamables y reduciendo la pérdida de hidrocarburos remanentes en el proceso por su valor económico. Teniendo presente que se cuenta con: el drenaje cerrado (drenajes presurizados de la Planta correspondientes a equipos y tanques) y el abierto (drenajes despresurizados provenientes de toma muestras) y que, a su vez, el sistema de drenaje de la Planta de Gas estará asociado a un sistema de venteo con quema, integrado por los siguientes elementos:

- Sistema de drenaje pluvial: recepción de agua de lluvias y contra incendios contaminada.
- Subcolectores.
- Colectores de drenajes cerrados y drenajes abiertos.
- KOD: tanque sumidero de drenajes cerrados.
- Tanque sumidero de drenajes abiertos.
- Sellos hidráulicos: interrumpen la continuidad de la fase gaseosa.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 29 de 35	

- Antorcha: compuesta por el pico de quemado, pilotos, panel de ignición y la chimenea.

La disposición de los venteos y drenajes de la Planta dependerá de las normativas locales y la Ley Nacional N°13.660 relativa a la seguridad de instalaciones que manipulan combustibles minerales.

12.3 Sistema de inyección de químicos

Los sistemas de inyección de químicos en puntos clave del proceso tienen la finalidad de almacenar, distribuir e inyectar los productos químicos en el proceso con el objetivo de garantizar la integridad de la Planta e instalaciones. En términos generales, en un módulo de dosificación se distinguen los siguientes componentes: bombas dosificadoras, tanques plásticos de almacenaje, inyectoras, gabinetes y resguardos.

Para el funcionamiento adecuado de este tipo de sistemas es fundamental fijar con precisión las condiciones de operación: caudales (función del tipo de químico y características del fluido y proceso) y presiones (establecidas a partir de las presiones de operación de la Planta). La eficiencia de los agentes químicos inyectados no solo va a depender de sus propiedades, cantidad añadida y las propiedades del fluido de proceso, sino también de la manera en que se aplica y las condiciones de operación del sistema. Entre los aditivos que se pueden llegar a inyectar en la Planta Deshidratadora de Gas se destacan:

- Inhibidores de corrosión: dada la naturaleza de los fluidos y equipos que componen el proceso, se eligen inhibidores base aceite/solvente que forman barreras protectoras para prevenir el contacto del agua con las superficies metálicas.
- Inhibidores de formación de hidratos: se emplean inhibidores termodinámicos (metanol o MEG) que permiten reducir la temperatura de formación de hidratos.
- Antiespumantes: suprimen la espuma alterando la tensión superficial del líquido contenido de la burbuja para inhibirlas en su formación. Los más comunes son a base de siliconas o poliglicoles.

12.4 Sistema de gas combustible

El gas de servicio se utilizará para la alimentación de los quemadores del regenerador de TEG. Los requerimientos de este gas es que sea seco y se distribuya a una presión alrededor de 7 kg/cm². Se le provee, en parte, por la línea de salida del tanque flash V – 101 y, otro porcentaje, por gas de venta.

Tabla 14- Composición del gas combustible proveniente del tanque de venteo V – 101

Componente	% molar
N ₂	0,42
CO ₂	0,80
H ₂ S	0,00
CH ₄	62,24
C ₂ H ₆	18,00

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 30 de 35	

C₃H₈	15,39
i – C₄H₁₀	1,24
n – C₄H₁₀	0,83
i – C₅H₁₂	0,28
n – C₅H₁₂	0,15
n – C₆H₁₄	0,06
n – C₇H₁₆	0,03
H₂O	0,57

Tabla 15- Propiedades físico – químicas del gas combustible

Gas combustible (salida V – 101)	
Peso molecular	24,35
Densidad [kg/m³]	3,50
Factor de compresibilidad	0,98
Índice de Wobbe [MJ/m³]	58,1
Poder calorífico superior [MJ/m³]	53,4
Poder calorífico inferior [MJ/m³]	48,6

12.5 Sistema de distribución de energía eléctrica

Es el sistema auxiliar encargado de proveer energía eléctrica tanto a los equipos de procesos como a sistemas secundarios (sistemas de control, oficina y consumos varios). La PDG proyectada se acoplará al sistema de energía eléctrica ya existente en de la PTG – CD1. Esta misma cuenta de generadores, transformadores, tableros y shelters eléctricos.

12.6 Sistema de protección contra incendios

La Planta Deshidratadora de Gas se anexará al sistema de lucha contra incendios de la PTG – CD1. Para su adecuación y respectiva actualización, tanto en diseño como dimensionamiento del sistema, se tomará como referencia la Ley Nacional N°13.660 y las Normas Internacionales NFPA correspondientes. Los elementos principales del sistema son:

- Tanque de agua de incendio.
- Sistemas de bombeo independientes.
- Red de incendio húmeda a presión: aplicable para Plantas grandes con tanques de almacenamiento, como es el caso.
- Bombas Jockey: presurizan la red y la mantienen a la presión determinada.
- Sistema de espumas.

13 CODIFICACIÓN

13.1 Identificación de equipos

Para identificar los equipos se utilizará la siguiente codificación:

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 31 de 35	

TTMM – XXX

Siendo:

TTMM Código de equipo (ver Tabla 16)

XXX Número secuencial

Tabla 16- Codificación de los equipos

Código de equipo	Descripción
V	Separadores
TC	Torre contactora
VLV	Válvula de expansión
E	Intercambiadores de calor
TR	Torre de regeneración
R	Reboiler
P	Bomba
F	Filtro

13.2 Identificación de líneas

Para identificar las líneas se utilizará la siguiente codificación:

D – CF – XXXX – XXX – YE

Siendo:

D Diámetro nominal [in]

CF Código del fluido (ver Tabla 17)

XXXX Número secuencial

XXX Código clase de cañería (ver Tabla 19)

Y Tipo de aislación (ver Tabla 18)

E Espesor de aislación [in]

Tabla 17- Códigos de cada fluido presente en el proceso

Código de fluido	Descripción
GP	Gas de proceso
GE	Gas en especificación
PG	Glicol pobre

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 32 de 35	

RG	Glicol rico
DC	Drenaje de condensados
DG	Drenaje de glicol
W	Vapor de agua separado
V	Venteo (gas)
IA	Aire de instrumentos
FW	Agua de red contra incendios

Tabla 18- Tipos de aislación en líneas

Tipo de aislación	Descripción
B	Sin aislación
C	Aislación por frío
E	Aislación y tracing eléctrico
H	Aislación por calor
P	Protección personal

13.3 Identificación de instrumentos

Para la identificación de los instrumentos se utilizará la siguiente codificación:

FC – XXXX

Siendo:

FC Código funcional del instrumento (la primera letra representa la variable operacional sobre la cual trabaja el instrumento y el resto de las letras identifican la función que ejecuta el instrumento)

XXXX Número de lazo o instrumento (vinculado al TAG del equipo al que pertenece)

13.4 Identificación de documentos

Para la identificación de los documentos se utilizará la siguiente codificación:

GSJ – CD1 – PTG – XX – XXX – R – X

Siendo:

GSJ Unidad del Golfo San Jorge

CD1 Estación Cerro Dragón 1

PTG Planta de Tratamiento de Gas Natural

XX Tipo de documento

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 33 de 35	

XXX Número secuencial

R Revisión

X Letra correspondiente al número de revisión

14 CLASES DE CAÑERÍA

La selección de la clase de cañería se realiza en función del tipo de fluido, su tendencia corrosiva y condiciones operativas, usando como referencia el documento ET – G – 016 – 7 “Clases de cañerías – Especificación Técnica” de la empresa Pan American Energy.

Tabla 19- Clases de cañería en función del servicio que cumplen

Clase	Servicio	Serie de brida	T [°C]	P máx. [kg/ cm²(g)]	Adicional corrosión [mm]	Materia I
CB80	Hidrocarburos gaseosos o líquidos corrosión moderada	600# RF	-29 a 204	80	3,2	AC
CB20	Glicol a baja presión	150# RF	-29 a 204	20	3,2	AC
CA20	Gas combustible	150# RF	-29 a 150	20	1,6	AC
CA20	Venteos y drenajes	150# RF	-29 a 150	20	1,6	AC
CA20	Aire de instrumentos	150# RF	-29 a 150	20	1,6	AC
CA20	Gas de inertización	150# RF	-29 a 150	20	1,6	AC
SD16	Aceite lubricante alta corrosión	15# RF	-29 a 150	16	0	AI

15 UNIDADES DE MEDICIÓN

Seguidamente se enumeran las unidades utilizadas en este Proyecto para cada tipo de medición.

Tabla 20- Unidades de medición

Variable	Descripción
Temperatura	°C
Presión absoluta	kg/cm ² (a) // atm(a)
Presión relativa	kg/cm ² (g)
Caudal volumétrico gas	Sm ³ /día // m ³ /h
Caudal volumétrico líquido	Am ³ /h

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 34 de 35	

actual	
Caudal másico	kg/h
Densidad	kg/m ³
Índice de Wobbe	MJ/m ³
Poder calorífico superior	MJ/m ³
Poder calorífico inferior	MJ/m ³
Tensión superficial	dyna/cm
Viscosidad cinemática	cSt
Viscosidad dinámica	cP
Capacidad calorífica	kJ/kmol°C
Contenido de agua en el gas	mg/Sm ³
Longitud	mm // m // in // ft
Área	m ²
Volumen	m ³
Velocidad	m/s // ft/s // m/h
Calor	kJ
Flujo de calor	kW
Potencia	kW

16 NORMATIVA APLICABLE

16.1 Leyes y reglamentaciones Nacionales y Provinciales

- Ley Nacional N°13.660 y su decreto N°10877/60.

16.2 Normas ENARGAS

- NAG 602 – Especificaciones de calidad del Gas Natural.
- NAG 100 – Normas mínimas de Seguridad para el Transporte y Distribución de Gas Natural.
- NAG 108 – Revestimientos anticorrosivos de tuberías y accesorios.
- NAG 123 – Normas de colores de seguridad para instalaciones y lugares de trabajo.
- NAG 125 – Seguridad en plantas de acondicionamiento, tratamiento y proceso de Gas Natural.

16.3 Normas de diseño

Tabla 21- Normas empleadas para el diseño de cada equipo

Equipo	Estándar
Separador de entrada (V – 100)	API 12J – Manual GPSA
Columna de absorción (TC – 100)	Procedimiento de Fair – Manual GPSA – ASTM A516 – ASME VIII Div.1
Dimensionamiento de líneas de gas	NAG 100 – API 14E – ASME B31.3

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 35 de 35	

17 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Economía de la República Argentina – Planeamiento Energético (s. f.). Producción de gas promedio diaria por cuenca y yacimiento. Consultado el 17 de julio de 2023. <https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/planeamiento-energetico/panel-de-indicadores/produccion-gas-prom-diaria-cuenca>
- [2] Santillana, J. y Salinas, J. (2019, 1 de diciembre). Ingeniería de procesos en la industria de gas natural y condensado. <https://www.ssecoconsulting.com/procesamiento-de-gas-natural.html>
- [3] Gas Processors Suppliers Association (2004). Engineering data book (12° ed., vol. I y II).
- [4] Ribón, H., Santos, N. y Ortiza, O. (2010) Métodos de deshidratación de gas natural. Revista Fuentes – El Reventón Energético, Vol. 8 N°2, 55 – 64.
- [5] Flores, J. (et al.) (2022). Planta de deshidratación de gas con TEG [proyecto final, Instituto Tecnológico de Buenos Aires]. Repositorio Institucional ITBA. <https://ri.itba.edu.ar/entities/proyecto%2520final%2520de%2520grado/8d4dd6aa-e84c-440c-bfcc-aa4748abea8f/full>
- [6] Instituto de Desarrollo Profesional y Técnico (s. f.) Extracción de líquidos del Gas Natural – Deshidratación con TEG. Consultado el 15 de julio de 2023.
- [7] Documento ET – G – 001 – 2 (2020, 26 de junio). Parámetros ambientales, sísmicos y geográficos de yacimientos en el Golfo San Jorge. Pan American Energy LLC.
- [8] Perry, R. y Green, D. (1999). Perry's Chemical Engineers' Handbook. Séptima edición. Editorial McGraw Hill – Estados Unidos.
- [9] Treybal, R. (1995). Operaciones de transferencia de masa. Segunda edición. Editorial McGraw Hill – España.
- [10] Sinnott, R. y Towler, G. (2012). Diseño en Ingeniería Química. Quinta edición. Editorial Reverté – Barcelona, España.
- [11] Mokhatab, S., Poe, W., Speight, J, (2006). Handbook of natural gas transmission and processing. Editorial Elsevier – Estados Unidos.
- [12] Acosta, V. Teoría de Equipos de transferencia de masa (2022). Ficha Interna de cátedra. Operaciones Físicas III. Facultad de Ingeniería – UNPSJB.
- [13] Smith, B. D. (1983). Design of Equilibrium Stage Processes. Editorial McGraw Hill – Estados Unidos.
- [14] Wankat, P. (2008). Ingeniería de procesos de separación. Segunda edición. Editorial Pearson – México.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 36 de 35	

[15] Laudal, D. (2009, 13 de febrero). Gas dehydration – Thermodynamic simulation of the water/glycol mixture [master thesis, Aalborg University Esbjerg (AAUE)].
<https://zlibrary.to/dl/gas-dehydration-thermodynamic-simulation-of-the-waterglycol-mixture>

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 1 de 5	

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS
 DULCE CON TEG

Memoria de Cálculo: Separador V – 100

☐ APROBADO
☐ APROBADO CON COMENTARIOS
☐ RECHAZADO
☐ APTO PARA CONSTRUCCIÓN
☐ APTO PARA LICITACIÓN
☐ APTO PARA COMPRA

☐ EMITIR PROXIMA REVISION EN CERO

FIRMA

ACLARACIÓN

FECHA

B	07/03/2024	Aprobación	G.O.	J.C.	J.C.
A	24/10/2023	Revisión A	G.O.	J.C.	
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 2 de 5	

ÍNDICE

1	OBJETIVO.....	3
2	ALCANCE.....	3
3	DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.....	3
4	NORMAS APLICADAS.....	3
5	PREMISAS DE DISEÑO.....	3
5.1	Datos de proceso.....	3
5.2	Dimensionamiento.....	3
5.2.1	Diámetro.....	3
5.2.2	Altura.....	4
5.2.3	Volumen.....	4
5.3	Capacidad de separación de líquido.....	4
6	RESULTADOS.....	5

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 3 de 5	

1 OBJETIVO

El documento pretende detallar los cálculos realizados para dimensionar el separador de gas a la entrada de la Planta de Deshidratación de Gas Natural con TEG.

2 ALCANCE

El alcance de este documento contempla el diseño del equipo:

Tabla 22- Equipo presente en la Memoria de Cálculo

Identificación	Descripción
V – 100	Separador vertical bifásico de gas de entrada

3 DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

- Bases de diseño del Proyecto: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B.

4 NORMAS APLICADAS

Para el diseño del equipo se toma como referencia las recomendaciones y procedimientos determinados en Engineering Data Book de la Gas Processors Suppliers Association (GPSA) y la norma para separadores API 12J.

5 PREMISAS DE DISEÑO

5.1 Datos de proceso

Tabla 23- Condiciones operativas del separador V – 100

Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad
Temperatura	T	35,0	°C
Presión	P	60,8	kg/cm ² (g)
Caudal de gas	Q _G	4180	Am ³ /h
Caudal de líquido	Q _L	0,18	Am ³ /h
Densidad del gas	ρ _G	58,68	kg/m ³
Densidad del líquido	ρ _L	1002	kg/m ³

5.2 Dimensionamiento

5.2.1 Diámetro

En primer lugar, se calcula la máxima velocidad superficial del gas que no provoque arrastre de líquido, dada por la ecuación de Souders y Brown. En este caso, se adopta un

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 4 de 5	

valor de K de 0,104 m/s (0,34 ft/s) correspondiente a un separador con interno tipo Mesh Wire y ajustado por la alta presión de operación (865 psi).

$$V_t = K * \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}}$$

Ecuación 2-Expresión de la velocidad terminal de Souders y Brown

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_G}{\pi * V_t}}$$

Ecuación 3- Expresión del cálculo del diámetro del equipo

- Velocidad terminal del gas: $V_t = 0,42 \text{ m/s} = 1512 \text{ m/h}$

5.2.2 Altura

Para el cálculo de la altura, se toma un criterio constructivo de relación altura – diámetro de 3, a partir de las recomendaciones de Engineering Data Book GPSA (Sección 7). Para la distancia respecto del suelo de la conexión de ingreso de gas, se considera L/3.

- Relación altura – diámetro adoptado: $H/D = 3$

5.2.3 Volumen

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * H$$

Ecuación 4- Volumen del separador cilíndrico vertical

- Volumen del separador: $V = 10,4 \text{ m}^3$

5.3 Capacidad de separación de líquido

Se determina el volumen necesario para el manejo de líquido a partir de la norma API 12J, considerando un tiempo de residencia de la fase líquida de 4 minutos (adoptado en función de recomendación del manual de la GPSA para separaciones de gas natural y agua).

$$V_L = Q_L * t$$

Ecuación 5- Volumen por capacidad de manejo de líquido

- Tiempo de residencia del líquido: $t = 4 \text{ min}$
- Volumen necesario para el manejo de líquido: $V_L = 0,012 \text{ m}^3$

Dado que se trata de una separación de gas húmedo a alta presión con una relación gas/líquido muy elevada, el factor controlante del diseño es la capacidad del gas, representando el volumen por capacidad de líquido, tan solo, un 0,12% del volumen total. A su vez, la alta relación G/L es lo que justifica la elección de un separador vertical.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 001 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 5 de 5	

6 RESULTADOS

En la siguiente tabla, se presentan los datos relevantes del diseño y dimensionamiento del separador V – 100.

Tabla 24- Características constructivas del separador V – 100

SEPARADOR V – 100	
Descripción	Separador de gas de entrada
Tipo	Vertical bifásico con interno Wire Mesh
Diámetro interior [mm]	1876
Longitud efectiva [mm]	5628
Diámetro boca ingreso [in]	14
Diámetro salida gas [in]	14
Diámetro salida líquido [in]	1
Altura conexión ingreso de gas [mm]	1876
Altura conexión salida de gas [mm]	Tope
Conexión salida de líquido	Fondo

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 002 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 1 de 7	

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG

Memoria de Cálculo: Dimensionamiento de las líneas de gas

☐	APROBADO
☐	APROBADO CON COMENTARIOS
☐	RECHAZADO
☐	APTO PARA CONSTRUCCIÓN
☐	APTO PARA LICITACIÓN
☐	APTO PARA COMPRA
☐	EMITIR PROXIMA REVISION EN CERO
FIRMA ACLARACIÓN FECHA	

B	07/03/2024	Aprobación	G.O.	J.C.	J.C.
A	24/10/2023	Revisión A	G.O.	J.C.	
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 002 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 2 de 7	

ÍNDICE

1	OBJETIVO.....	3
2	ALCANCE.....	3
3	DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.....	3
4	NORMAS APLICADAS.....	3
5	CRITERIOS DE DISEÑO.....	3
6	DIMENSIONAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE GAS.....	4
6.1	Condiciones de diseño.....	4
6.2	Diámetro.....	5
6.3	Espesor de pared.....	5
6.4	Pérdidas de carga.....	6
7	RESULTADOS.....	7

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 002 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 3 de 7	

1 OBJETIVO

El presente documento tiene como objetivo detallar los cálculos realizados para el dimensionamiento de las cañerías por donde fluye gas y que forman parte de la Planta de Deshidratación de Gas Natural con TEG.

2 ALCANCE

El alcance de este documento contempla el diseño de las siguientes líneas:

Tabla 25- Líneas dimensionadas en la Memoria de Cálculo

Identificación	Desde	Hasta	Flujo	Descripción
14 – GP – 1000 – CB80 – B	Inicio	V – 100	Bifásico	Gas húmedo ingreso a Planta
14 – GP – 1001 – CB80 – B	V – 100	TC – 100	Gas	Entrada al absorbedor
14 – GP – 1002 – CB80 – B	TC – 100	E – 101	Gas	Gas seco de salida de la torre
14 – GE – 1000 – CB80 – B	E – 101	Aguas abajo	Gas	Gas seco en especificación
01 – V – 1000 – CA20 – B	V – 101	TR – 100	Gas	Gas venteado

3 DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

- Bases de diseño del Proyecto: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B.

4 NORMAS APLICADAS

- NAG 100 (1993). Normas Argentinas Mínimas de seguridad para el transporte y distribución de gas natural y otros gases por cañerías.
- API RP 14 E (1991, 5° edición). Recommenden Practice for Design and Installation of Offshore Production Platform Piping System.
- ASME B31.3 (2010). Tuberías de proceso – Código ASME para tuberías a presión.

5 CRITERIOS DE DISEÑO

Es importante destacar que, en ningún momento de la operación, la velocidad superficial del gas en el interior del conducto puede superar los 25 m/s.

Tabla 26- Criterios de dimensionamiento para las líneas de gas

Presión de operación [kg/cm ² (g)]	$\Delta P/L$ [kg/cm ² /km]	$p v^2$ [Pa]
0 – 7	< 0,4	< 6000
7 – 35	< 1,1	< 7500
35 – 140	< 2,7	< 10000
>140	< 3,0	< 15000

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 002 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 4 de 7	

En el caso particular de la línea 14 – GP – 1000 – CB80 – B, al contener el gas cierta cantidad de líquido libre arrastrado, además de verificar las condiciones previamente mencionadas, su velocidad debe ser menor al 90% de la velocidad erosional (Ecuación 6).

$$v_e = \frac{C}{\sqrt{\rho_m}} \left[\frac{ft}{s} \right]$$

Ecuación 6- Velocidad máxima por erosión ⁷

- Constante empírica: C = 100 (flujo continuo libre de sólidos)

6 DIMENSIONAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE GAS

Para el diseño de todas las líneas de gas se considerará las condiciones más adversas para cada caso. Las verificaciones se realizarán sobre los escenarios más críticos. En función del tipo de fluido circulante, se selecciona como material de construcción, para todas las líneas, acero al carbono sin costura ASTM A53 grado B. Debido a las temperaturas moderadas, se considera, para los trayectos mencionados, líneas sin aislación.

6.1 Condiciones de diseño

Tabla 27- Condiciones de diseño para el dimensionamiento de la línea de 14 – GP – 1000 – CB80

Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad
Temperatura	T	35,0	°C
Presión	P	60,8	kg/cm ² g
Caudal	Q	4180	Am ³ /h
Densidad	ρ	58,72	kg/m ³
Viscosidad	μ	0,0134	cP
Velocidad del gas	v	< 25	m/s
Gravedad específica del gas	G	0,711	/
Factor de compresibilidad	Z	0,817	/
Relación máxima de velocidades	v/v _e	90	%

Tabla 28- Condiciones de diseño para el dimensionamiento de las líneas de gas

Línea	T [°C]	P [kg/cm ² (g)]	Q [Am ³ /h]	ρ [kg/m ³]	μ [cP]	G	Z	v [m/s]
14 – GP – 1001 – CB80 – B	35,0	60,8	4180	58,68	0,0134	0,711	0,817	< 25
14 – GP – 1002 – CB80 – B	36,0	60,74	4203	58,28	0,0134	0,711	0,820	< 25
14 – GE – 1000 – CB80 – B	37,8	60,74	4259	57,65	0,0134	0,711	0,823	< 25

⁷ Ecuación extraída de la norma API RP 14E (página 21).

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 002 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 5 de 7	

01 – V – 1000 – CA20 – B	43,2	3,8	9,5	3,5	0,0130	0,841	0,984	< 25
--------------------------	------	-----	-----	-----	--------	-------	-------	------

6.2 Diámetro

El diámetro interno mínimo requerido de las líneas de gas se establece a partir de la velocidad máxima fijada por requerimiento de ρv^2 , siempre y cuando, este valor sea menor a 25 m/s; si no es así, se dimensiona la cañería considerando $v_{adm} = 25$ m/s.

$$v_{adm} = \sqrt{\frac{\rho v_{máx}^2}{\rho}}$$

Ecuación 7- Velocidad máxima admisible dentro de la cañería

$$D_i = \sqrt{\frac{4 * Q_G}{\pi * v_{adm}}}$$

Ecuación 8- Cálculo del diámetro interno mínimo para las líneas de gas

Seguidamente se presentan los resultados de las velocidades admisibles para cada línea.

Tabla 29- Velocidad máximas admisibles y diámetros internos mínimos para cada línea

Línea	v_{adm} [m/s]	D_i^* [mm]
14 – GP – 1000 – CB80 – B	13,05	337
14 – GP – 1001 – CB80 – B	13,06	337
14 – GP – 1002 – CB80 – B	13,10	337
14 – GE – 1000 – CB80 – B	13,17	339
01 – V – 1000 – CA20 – B	25	12

6.3 Espesor de pared

El espesor de pared requerido para tramos rectos de tubos a presión interna se calcula mediante la Ecuación 9 (norma ASME B31.3).

$$t = \frac{PD}{2 * (SEW + PY)} + c$$

Ecuación 9- Espesor de pared requerido para tubo rectos a presión interna ⁸

- Presión de diseño interna manométrica: P
- Diámetro externo del tubo: D
- Esfuerzo máximo del acero al carbono ASTM A53B: S = 20000psi = 1407 kg/cm²(g)
- Parámetro en función de la junta de soldadura: W = 1 (caño sin costura)
- Factor de calidad de fundición: E = 0,6 (valor conservador)

⁸ Ecuación extraída de la norma ASME B31.3 – 2010 (sección 304 – página 20).

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 002 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 6 de 7	

- Coeficiente función de la temperatura de trabajo: $Y = 0,4$ (para aceros hasta 480°C)
- Variable que considera potenciales disminuciones de espesor de pared por corrosión u otros factores: $c = 2\text{mm}$ (valor típico)

Tabla 30- Espesor de pared mínimo para cada una de las líneas

Línea	t [mm]
14 – GP – 1000 – CB80 – B	3,60
14 – GP – 1001 – CB80 – B	3,60
14 – GP – 1002 – CB80 – B	3,60
14 – GE – 1000 – CB80 – B	3,60
01 – V – 1000 – CA20 – B	2,00

A partir del cálculo del mínimo diámetro de cañería y del espesor de pared requerido, se adopta un determinado diámetro nominal con su correspondiente Schedule tal que:

- Diámetro interno: $D_i > D_i^*$
- Espesor de pared real: $e = (D - D_i)/2 > t$

6.4 Pérdidas de carga

Para la determinación de la caída de presión, en primer lugar, es necesario determinar el factor de fricción. A partir de este valor, se halla la caída de presión por unidad de longitud.

$$f = \left[-1,8 * \log \left(\left(\frac{\varepsilon / D_i}{3,7} \right)^{1,1} + \frac{6,9}{\text{Re}} \right) \right]^{-2}$$

Ecuación 10- Expresión de Haaland para el cálculo del factor de fricción

- Rugosidad relativa: $\varepsilon = 0,0457 \text{ mm}$ (valor típico para acero al carbono)

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{12,6 * G * Q_G^2 * Z * T * f}{P * D_i^5}$$

Ecuación 11- Caída de presión por unidad longitud en unidades inglesas ⁹

- Gravedad específica del gas: G
- Caudal de gas: Q_G [MMscfd]
- Factor de compresibilidad: Z
- Temperatura de operación: T [$^{\circ}\text{R}$]
- Presión de operación: P [psia]
- Diámetro interno: D_i [in]

⁹ Ecuación extraída de la norma API RP 14E (página 21).

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 002 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 7 de 7	

- Caída de presión por unidad de longitud: $\Delta P/L$ [psi/ft]

7 RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados del dimensionamiento de las líneas de gas. Se verifican los requerimientos operativos respecto a las máximas velocidades superficiales en el interior de la cañería, las caídas de presión, las relaciones pv^2 y, para el caso de flujo bifásico, el requerimiento sobre la velocidad de erosión (< 90%).

Tabla 31- Resultados y dimensiones de las líneas de gas

Línea	Diámetro nominal	Sch.	v_e [m/s]	v [m/s]	$\Delta P/L$ [kg/cm ² /km]	pv^2 [Pa]
14 – GP – 1000 – CB80 – B	14"	20	15,92	12,81	1,88	9621
14 – GP – 1001 – CB80 – B	14"	20	15,92	12,81	1,88	9621
14 – GP – 1002 – CB80 – B	14"	20	15,98	12,88	1,88	9668
14 – GE – 1000 – CB80 – B	14"	20	16,07	13,05	1,91	9818
01 – V – 1000 – CA20 – B	1"	40	65,21	4,73	0,40 (*)	78,3

(*) Si bien el valor de pérdida de carga en la línea de venteo de gas está en el límite (conducto a baja presión de operación), este tramo será de corta longitud y, a la vez, el fluido transportado será comprimido hasta 7 kg/cm²(g) para su uso posterior como gas combustible en el reboiler del generador; por lo tanto, no representa una situación crítica.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 1 de 19	

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG

Memoria de Cálculo: Columna TC – 100

☐	APROBADO
☐	APROBADO CON COMENTARIOS
☐	RECHAZADO
☐	APTO PARA CONSTRUCCIÓN
☐	APTO PARA LICITACIÓN
☐	APTO PARA COMPRA
☐	EMITIR PROXIMA REVISION EN CERO
FIRMA ACLARACIÓN FECHA	

B	07/03/2024	Aprobación	G.O.	J.C.	J.C.
A	24/10/2023	Revisión A	G.O.	J.C.	
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ

ÍNDICE

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 2 de 19	

1	OBJETIVO.....	4
2	ALCANCE.....	4
3	DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.....	4
4	PREMISAS DE DISEÑO.....	4
4.1	Datos de entrada.....	4
4.2	Material.....	4
4.3	Espesor de pared.....	5
4.4	Cálculos preliminares.....	5
4.4.1	Caudal volumétrico de glicol a inyectar.....	5
4.4.2	Diámetro.....	6
4.4.3	Número de platos.....	7
4.4.4	Altura.....	7
5.	METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE LOS PLATOS PERFORADOS.....	8
5.1	Estimación del diámetro.....	9
5.2	Pérdidas de carga.....	9
5.2.1	En el dispersor (h_d).....	9
5.2.2	Al pasar el gas por el glicol (h_i).....	10
5.2.3	Total en un plato (h_l).....	11
5.2.4	En las bajantes (h_{da}).....	11
5.2.5	Total en la columna (h_T).....	11
5.3	Verificación del comportamiento hidráulico del equipo.....	11
5.3.1	Análisis de inundación por bajantes.....	11
5.3.2	Evaluación de lloriqueo.....	13
6	RESULTADOS.....	14
6.1	Corrientes de proceso.....	14
6.2	Dimensiones de la columna y los platos.....	15
6.3	Áreas del plato.....	16
6.4	Criterio de inundación por arrastre de líquido.....	17
6.5	Pérdidas de carga.....	17
6.6	Verificación de inundación por bajantes.....	17
6.7	Verificación de lloriqueo.....	18

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 3 de 19	

6.7.1	Método analítico.....	18
6.7.2	Método gráfico.....	18
7	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	19

1 OBJETIVO

El presente documento tiene como objetivo detallar los cálculos realizados para el dimensionamiento de la columna de absorción de la Planta de Deshidratación de Gas Natural con TEG.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 4 de 19	

2 ALCANCE

El alcance de este documento contempla el diseño del siguiente equipo:

- TC – 100: Torre contactora de platos perforados.

3 DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

- Bases de diseño del Proyecto: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B.

4 PREMISAS DE DISEÑO

4.1 Datos de entrada

Tabla 32- Datos operativos de entrada a la Columna TC – 100

		Gas	Glico I	
Presión	P	60,8	60,8	kg/cm ² (g)
Temperatura de gas	T _G	35,0	/	°C
Temperatura del líquido	T _L	/	40,0	°C
Caudal volumétrico de gas	Q _G	4180	/	Am ³ /h
Porcentaje en masa del glicol	%W _G	0	98,9	%
Contenido de agua	W _w	896	/	mg/Sm ³
Densidad del gas	ρ _G	58,68	/	kg/m ³
Densidad del líquido	ρ _L	/	1116	kg/m ³
Peso molecular del gas	M _G	20,59	/	kg/kmol
Peso molecular del líquido	M _L	/	139,3	kg/kmol
Tensión superficial	σ	/	43,96	dyn/cm

Para el diseño del equipo se considera las condiciones de las corrientes de entrada al equipo: gas en el fondo y glicol en el tope. Para mejorar la eficiencia del proceso de transferencia de masa y, en función de los bajos caudales de glicol en comparación con el gas, se diseña una torre de platos con flujo cruzado/transversal de un único paso.

4.2 Material

La elección del material de construcción de la columna y los platos se realiza bajo la consideración de que existe la posibilidad de fenómenos de corrosión en el proceso. El gas que ingresa a la torre puede contener oxígeno que, en presencia del glicol, reacciona formando óxidos. Asimismo, la operación a alta presión exige un material con la capacidad de soportar las elevadas tensiones asociadas. Teniendo presente estas contemplaciones, se selecciona acero ASTM A516 Grado 70 para la instalación de la unidad.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 5 de 19	

4.3 Espesor de pared

El espesor de pared requerido para recipientes a presión se calcula mediante la norma ASME VIII – División 1. La Ecuación 12 es aplicable, siempre y cuando, el espesor no exceda la mitad del radio de la torre, la presión de diseño no sobrepase la relación de $0,385 \cdot S \cdot E$, la unidad esté sometida a presión interna y los esfuerzos sean longitudinales. Todas estas condiciones se cumplen para el equipo TC – 100.

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + c$$

Ecuación 12- Espesor de pared requerido para recipientes sometidos a presión interna y estrés circunferencial ¹⁰

- Presión de diseño interna manométrica: $P = 67 \text{ kg/cm}^2(\text{g})$ (10% de margen de seguridad sobre la presión normal de operación)
- Radio interno de la torre: R
- Esfuerzo máximo del acero al carbono ASTM A516 Gr.70: $S = 1407 \text{ kg/cm}^2(\text{g})$
- Parámetro en función de la junta de soldadura: $E = 0,85$ (valor típico)
- Sobreepesor por corrosión: $c = 3,2 \text{ mm}$ (en función de las características del proceso)

4.4 Cálculos preliminares

4.4.1 Caudal volumétrico de glicol a inyectar

En principio, se determina la cantidad de agua a remover (W_r) considerando un margen de seguridad del 8% sobre los 65 mg/Sm^3 (máxima cantidad de agua que puede tener el gas por normativa). Por lo tanto, el diseño se hará en función de un contenido de agua deseado de 60 mg/Sm^3 como máximo.

$$W_r = \frac{Q_G \cdot (W_i - W_o)}{24} = 6757622 \frac{\text{Sm}^3}{\text{día}} \cdot (896 - 60) \frac{\frac{\text{mg}}{\text{Sm}^3} \cdot 1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

Ecuación 13- Cálculo del agua que se debe remover

Considerando una relación de TEG y agua recomendada en la GPSA de 3 galones de TEG por libra de agua removida ($0,0250 \text{ m}^3 \text{ TEG/kg H}_2\text{O}$), se calcula la cantidad de caudal de glicol necesaria para el proceso.

$$Q_{\text{TEG}} = G \cdot W_r = 0,0250 \frac{\text{m}^3 \text{ TEG}}{\text{kg agua a remover}} \cdot W_r$$

Ecuación 14- Caudal volumétrico de TEG necesario

- Caudal de agua a remover: $W_r = 235,4 \text{ kg agua/h}$
- Caudal volumétrico de TEG: $Q_{\text{TEG}} \approx 5,9 \text{ Am}^3 \text{ TEG/h}$

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 6 de 19	

4.4.2 Diámetro

En primer lugar, se calcula la máxima velocidad superficial del gas que no provoque arrastre de líquido, dada por la ecuación de Souders y Brown. En este caso, se adopta un valor de espaciamiento entre platos de 24 pulgadas (estándar para columnas de platos a presión). A partir de este valor y de la tensión superficial, se calcula la constante C con el Gráfico 1. Mediante el valor de la velocidad máxima, se calcula el diámetro, aproximado, de la torre de absorción.

$$V_t = C * \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}}$$

Ecuación 15- Expresión de la velocidad terminal de Souders y Brown

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_G}{\pi * V_t}}$$

Ecuación 16- Expresión del cálculo del diámetro del equipo

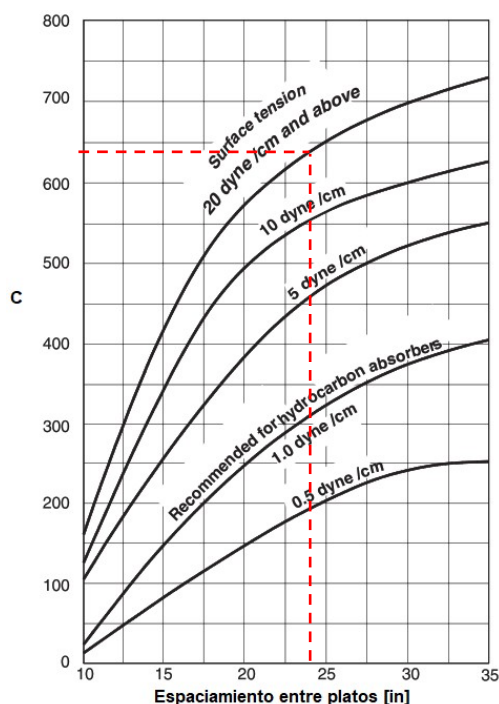


Gráfico 1- Correlación de Souders – Brown para aproximar las dimensiones de la torre ¹¹

- Constante de Souders y Brown: $C = 640 \text{ ft/h} \approx 195,1 \text{ m/h}$
- Velocidad terminal del gas: $V_t = 828,2 \text{ m/h} \approx 0,23 \text{ m/s}$
- Diámetro preliminar de la torre TC – 100: $D^* = 2535 \text{ mm} \approx 8,3 \text{ ft}$

¹¹ Gráfico extraído del Manual de la GPSA (sección 19 – 10).

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 7 de 19	

4.4.3 Número de platos

Para la cantidad de platos teóricos, se realiza una determinación estimada a partir de los gráficos de la GPSA de remoción de agua vs tasa de circulación de TEG. Se calcula el porcentaje de remoción de agua y, con los datos de pureza del TEG de alimentación y la tasa fijada de 3 galones de TEG por libra de agua removida, se establece el número de platos ideales en función de que gráfico ajusta mejor a las variables de diseño.

$$\% W_r = \frac{(W_i - W_o)}{W_i} * 100 \%$$

Ecuación 17- Porcentaje de remoción de agua

- Porcentaje de agua removida: $\%W_r = 93,5\%$

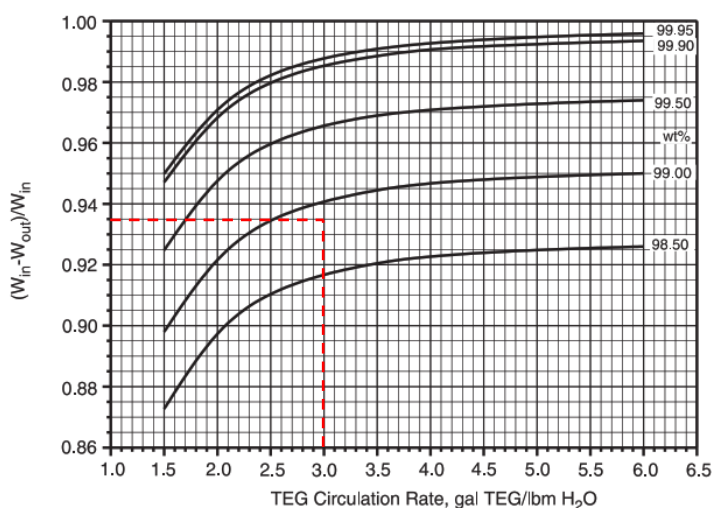


Gráfico 2- Fracción de agua removida vs tasa de circulación de TEG para 2,5 platos teóricos ¹²

- Número de platos teóricos: $N^* = 2,5$
- Eficiencia de los platos: $\eta = 25\%$ (valor recomendado para torre con glicol)
- Número de platos reales: $N = 10$

4.4.4 Altura

En cuanto a la estimación de la altura total de la columna, se tiene en cuenta el número de platos con el respectivo espaciado entre ellos y se adicionan 4 pies por encima del plato superior para separar el líquido arrastrado, a través del eliminador de niebla tipo Demister, y 10 pies por debajo del plato de fondo para garantizar cierta capacidad de remansamiento.

¹² Gráfico extraído del Manual de la GPSA (sección 20 – 36).

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 8 de 19	

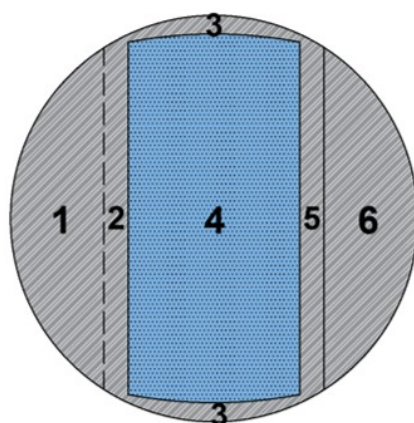
$$H = E_p * (N - 1) + 4 \text{ ft} + 10 \text{ ft}$$

Ecuación 18- Cálculo de la altura total de la torre

- Altura de la columna: $H = 32 \text{ ft} \approx 9754 \text{ mm}$
- Relación altura respecto al diámetro preliminar: $H/D^* = 3,85$

5. METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE LOS PLATOS PERFORADOS

Para el cálculo de las variables que intervienen en el diseño del plato perforado se utilizaron distintas correlaciones, reglas prácticas y recomendaciones propuestas por diversos autores. Estas consideraciones se detallan en el procedimiento de cálculo de cada factor constructivo y de diseño.



- 1) Llegada del líquido
- 2) Zona de distribución
- 3) Área periférica
- 4) Área activa
- 5) Zona de desenganche
- 6) Salida del líquido

Ilustración 1- Regiones de un plato con circulación de líquido a flujo cruzado

Tabla 33- Distintas áreas involucradas en un plato perforado

Áreas del plato		Descripción	Esquema
Total	A_T	Sección transversal de la torre	
Ducto	A_D	Área de ducto descendente	
Activa	A_A	Región donde se da la transferencia de masa	
Neta	A_N	Sección neta de flujo de gas	
Orificios	A_H	Área total de perforaciones	

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 9 de 19	

5.1 Estimación del diámetro

La determinación del diámetro efectivo del equipo es a través de la correlación de Fair para evaluar la inundación por arrastre de líquido (Ecuación 19), cuyo resultado es afectado, posteriormente, por factores de seguridad sobre el valor de inundación (constante A^*) y correctivos vinculados a la tendencia del glicol a formar espuma (constante B). La constante C_{sb} de inundación se determina gráficamente, siendo función del espaciamiento entre platos y la relación másica de caudales. A partir del valor de U_{nf} corregido, se puede estimar el diámetro de la columna. Este valor será redondeado hasta el incremento 0,5ft más cercano¹³.

$$U_{nf} = C_{sb, inundación} * \left(\frac{\sigma}{20} \right)^{0,2} * \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0,5}$$

Ecuación 19- Velocidad del vapor para provocar inundación por arrastre (Fair, 1985)

$$v_n = U_{nf} * A^* * B \text{ siendo } A^* \text{ y } B \text{ factores de seguridad}$$

Ecuación 20- Cálculo de la velocidad neta de trabajo

- Factor de seguridad sobre la inundación: $A^* = 80\%$
- Factor de seguridad por formación de espuma: $B = 70\%$ (alta tendencia para glicol).

$$A_T = \frac{A_N * A_T}{A_N} = \frac{\left(\frac{Q_G}{v_n} \right) * 1}{1 - \frac{A_D}{A_T}}$$

Ecuación 21- Expresión del área total en función del área neta y el área de ducto

- Relación de diseño: $A_D/A_T = 12\%$ (valor típico para torres de platos comerciales)

$$D^* = \sqrt{\frac{4 * A_T}{\pi}} \text{ este valor será redondeado al } 0,5 \text{ ft siguiente y se recalculará el factor } A$$

Ecuación 22- Determinación del diámetro del equipo a partir del área total

5.2 Pérdidas de carga

Para su cálculo se tomó como guía el desarrollo de ecuaciones y gráficos presentados en el 'Manual del Ingeniero Químico' de los autores Perry y Green (1999). A continuación, es detallada cada caída de presión en particular.

¹³ Recomendación de los autores Ludwig y Kister.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 10 de 19	

5.2.1 En el dispersor (h_d)

$$h_d = K_1 + K_2 * \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right) * U_h^2 \text{ siendo } K_1 = 0, K_2 = \frac{0,165}{C_v^2} \text{ y } U_h = \frac{Q_G}{A_H}$$

Ecuación 23- Cálculo de la caída de presión en el dispersor

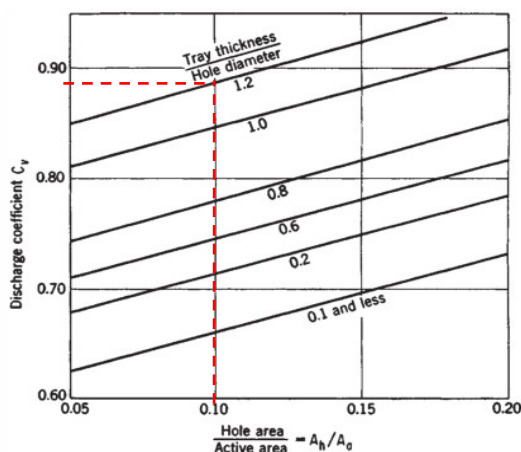


Gráfico 3- Determinación del valor de C_v ¹⁴

- Constante $K_1 = 0$ (para platos perforados)
- Relación área orificio y área activa: $A_H/A_A = 10\%$ (valor típico promedio)
- Relación espesor de plato y diámetro del orificio: $e/d_o = 1,2$
- Constante $C_v = 0,875$ (determinación gráfica)
- Constante $K_2 = 0,216$

5.2.2 Al pasar el gas por el glicol (h_l)

Esta pérdida de carga es función del factor de aireación β (se establece por Gráfico 4), la altura del vertedero (h_w) y altura de la cresta sobre el vertedero (h_{w0}), siendo estas últimas determinadas por criterios constructivos.

$$h_l = \beta * (h_w + h_{w0})$$

Ecuación 24- Cálculo de la caída de presión que sufre el gas al pasar por el glicol

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 11 de 19	

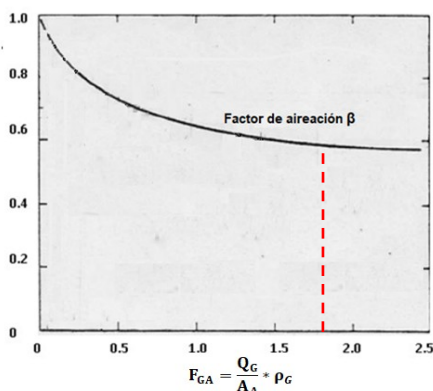


Gráfico 4- Determinación del factor de aireación ¹⁵

- Factor de aireación: $\beta = 0,59$ (determinación gráfica)
- Altura del vertedero: $h_w = 2,40$ in (10% del espaciamento entre platos)
- Altura de la cresta de líquido sobre el vertedero: $h_{w0} = 0,23$ in

5.2.3 Total en un plato (h_t)

Equivale a la suma de las dos caídas mencionadas anteriormente. Se recomienda un valor entre 2 y 2,75 pulgadas de líquido.

$$h_t = h_d + h_l$$

Ecuación 25- Caída de presión total en un plato

5.2.4 En las bajantes (h_{da})

Este término depende del caudal másico de líquido (W_L [gal/min]) y el área por donde pasa el líquido del ducto al plato (A_{da}).

$$h_{da} = 0,03 * \left(\frac{W_L}{100 * A_{da}} \right)^2 \text{ siendo } A_{da} = \text{longitud vertedero} * (h_w - \text{sello hidráulico})$$

Ecuación 26- Pérdida de carga en las bajantes

- Caudal másico de glicol: $W_L = 26,3$ galones/min
- Área $A_{da} = 0,49$ ft²

5.2.5 Total en la columna (h_T)

La caída de presión total en el equipo va a venir dada como el número de platos por la caída de presión en cada plato (h_t). Vale recordar que este tipo de equipo presenta pérdidas de carga muy bajas frente a otras configuraciones, en especial, las de campana y capuchas de burbujeo.

$$h_T = N * h_t$$

Ecuación 27- Caída de presión total en la torre

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 12 de 19	

5.3 Verificación del comportamiento hidráulico del equipo

5.3.1 Análisis de inundación por bajantes

Para verificar que la torre no se inunda en las bajantes se debe cumplir que la altura del líquido en la bajante (h_{dc}) es menor que la suma del espaciamiento entre platos y la altura del vertedero, y la relación entre ambas variables menor al 80%. Asimismo, la velocidad de líquido en la bajante (v_{Lb}) debe ser menor a 0,2 ft/s con un tiempo de residencia (t_r), para el glicol, mayor a los 7 segundos.

$$h_{dc} = \frac{h_t + h_w + h_{wo} + h_{da}}{\phi}$$

Ecuación 28- Altura de líquido en la bajante corregida por formación de espuma

$$v_{Lb} = \frac{Q_L}{A_D}$$

Ecuación 29- Velocidad de líquido en la bajante

$$t_r [s] = \frac{3600 * A_D [ft^2] * h_{dc} [ft] * \rho_L [lb/ft^3]}{12 * (L [lbmol/h] + e [lbmol/h]) * M_L [lb/lbmol]} \text{ siendo } e(\text{arrastre}) = \frac{\Psi * L}{1 - \Psi}$$

Ecuación 30- Cálculo del tiempo de residencia del líquido en la bajante

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 13 de 19	

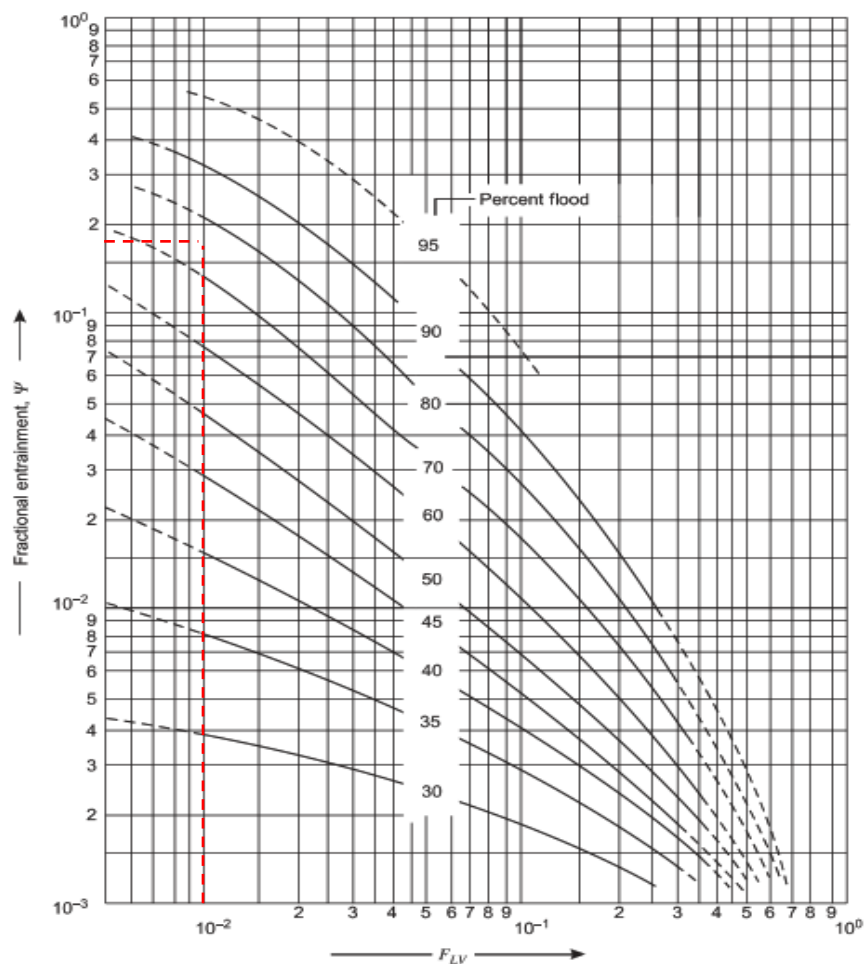


Gráfico 5- Determinación de la fracción de arrastre Ψ ¹⁶

- Densidad relativa de la espuma: $\phi = 0,3$ ¹⁷
- Factor de seguridad de inundación recalculado: $A = 74\%$
- Parámetro de flujo: $F_{LV} = (W_L/W_G) * (\rho_G/\rho_L)^{0,5} = 0,01$
- Fracción de arrastre: $\Psi = 0,18$
- Arrastre absoluto: $e = 10,4 \text{ lbmol/h}$

Condiciones que deben cumplirse para verificar que no hay inundación por bajantes:

$$h_{dc} < \frac{(E_p + h_w)^{h_{dc}}}{E_p + h_w} < 80\%_{Lv} < 0,2 \frac{ft}{s_r^t} > 7 \text{ segundos}$$

16 Gráfico extraído de Ingeniería de los Procesos de Separación, Wankat, P. (página 318).

17 Valor sugerido en Distillation Design, Kister, H. (1992).

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 14 de 19	

5.3.2 Evaluación de lloriqueo

El estudio analítico del lloriqueo se realizó mediante la Ecuación 31, donde K se determina por método gráfico. La condición por verificar, en este caso, es que el caudal de gas por área de perforaciones (Q_G/A_H) sea mayor que la velocidad mínima del gas ($U_{h,min}$).

$$U_{h,min} = \frac{K - 0,9 * (25,4 - d_o)}{\rho_G^{0,5}}$$

Ecuación 31- Velocidad mínima de gas por lloriqueo ¹⁸

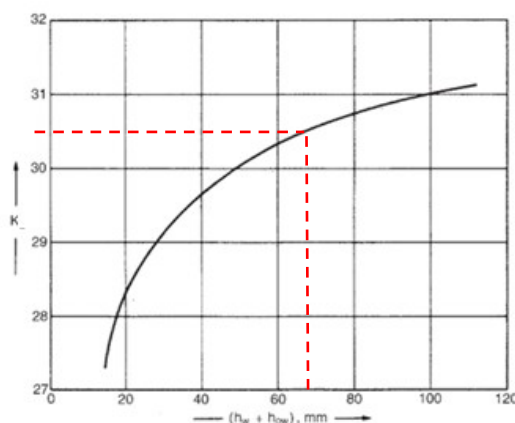


Gráfico 6- Determinación de K para evaluación del lloriqueo ¹⁹

- Sumatoria $h_w + h_{wo} = 67\text{mm}$
- Constante de lloriqueo: $K = 30,4$

Condición que se debe verificar para evitar lloriqueo excesivo:

$$Q_n = \frac{Q_G}{A_H} > U_{h,min}$$

Asimismo, la influencia del lloriqueo puede evaluarse gráficamente a través de la sumatoria de la pérdida de carga en el dispersor (h_d) y la pérdida por formación de burbujas (h_o). Se debe cotejar que el punto de intersección ($h_w+h_{wo}; h_d+h_o$) se encuentre por encima de la recta correspondiente a la relación de área orificio y área activa.

$$h_o = \frac{0,04 * \sigma}{\rho_L * d_o}$$

Ecuación 32- Expresión de la pérdida de carga por formación de burbuja

¹⁸ Correlación de velocidad mínima de gas para evitar lloriqueo excesivo (Eduljee, 1959).

¹⁹ Gráfico extraído de Diseño en Ingeniería Química, Sinnott, R. (2012 – página 747).

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 15 de 19	

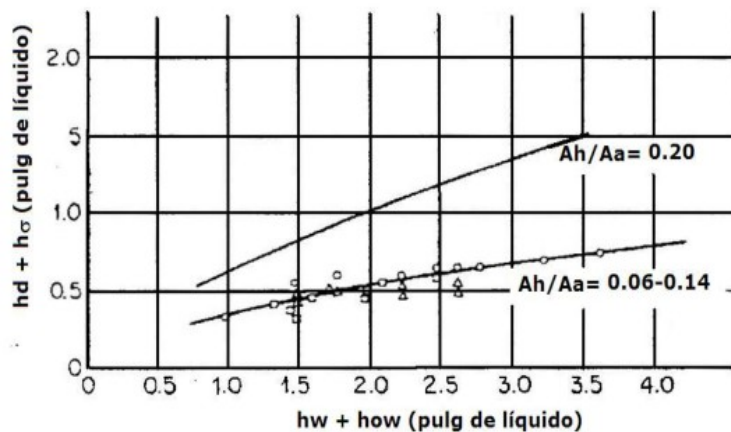


Gráfico 7- Verificación gráfica del lloriqueo del equipo ²⁰

6 RESULTADOS

6.1 Corrientes de proceso

Tabla 34- Resultados operacionales en las corrientes de tope y fondo del equipo

		Topo	Fondo	
Presión del gas	P_G	60,7 4	60,8	kg/cm ² (g)
Presión del glicol	P_L	60,8	60,8	kg/cm ² (g)
Temperatura del gas	T_G	36,0	35,0	°C
Temperatura del líquido	T_L	40,0	35,7	°C
Caudal volumétrico de gas	Q_G	4203	4180	Am ³ /h
Caudal volumétrico de líquido	Q_L	5,90	6,20	Am ³ /h
Porcentaje en masa del glicol en el líquido	%W _G	98,9	95,0	%
Contenido de agua en el gas	W _w	60,0	896,2	mg/Sm ³
Densidad del gas	ρ_G	58,2 8	58,68	kg/m ³
Densidad del líquido	ρ_L	1116	1107	kg/m ³
Peso molecular del gas	M_G	20,6 0	20,59	kg/kmol
Peso molecular del líquido	M_L	139, 3	110,8	kg/kmol
Tensión superficial	σ	43,9 6	43,96	dyn/cm

20 Gráfico extraído de Design of Equilibrium Stage Process, Smith, B. D (1963).

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 16 de 19	

6.2 Dimensiones de la columna y los platos

Tabla 35- Resultados constructivos del equipo y los platos perforados

Referencia	Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad
1	Diámetro del plato	D	2,6	m
2	Espaciamiento entre platos	E_p	24	in
3	Espesor del plato	e_p	0,225	in
/	Arreglo de los orificios	/	Triangular	/
4	Diámetro de orificio	d_o	3/16	in
5	Espaciamiento entre orificios	e_o	9/16	in
/	Número de orificios	N_o	22666	/
6	Sello hidráulico	S_h	1,5	in
7	Longitud del vertedero	L_w	78	in
8	Altura del vertedero	h_w	2,40	in
9	Ancho de la bajante	H_b	18	in
10	Longitud de la bajante	L_b	25,5	in
11	Separación orificio-coraza	x	2	in
12	Separación orificio-bajante	y	4	in
13	Separación orificio-vertedero	z	4	in
/	Números de platos	N	10	/
/	Altura del equipo	H	9,8	m
/	Material del plato y la torre	/	ASTM A516 Gr.70	/
/	Espesor de la envolvente	e_t	78,6	mm

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 17 de 19	

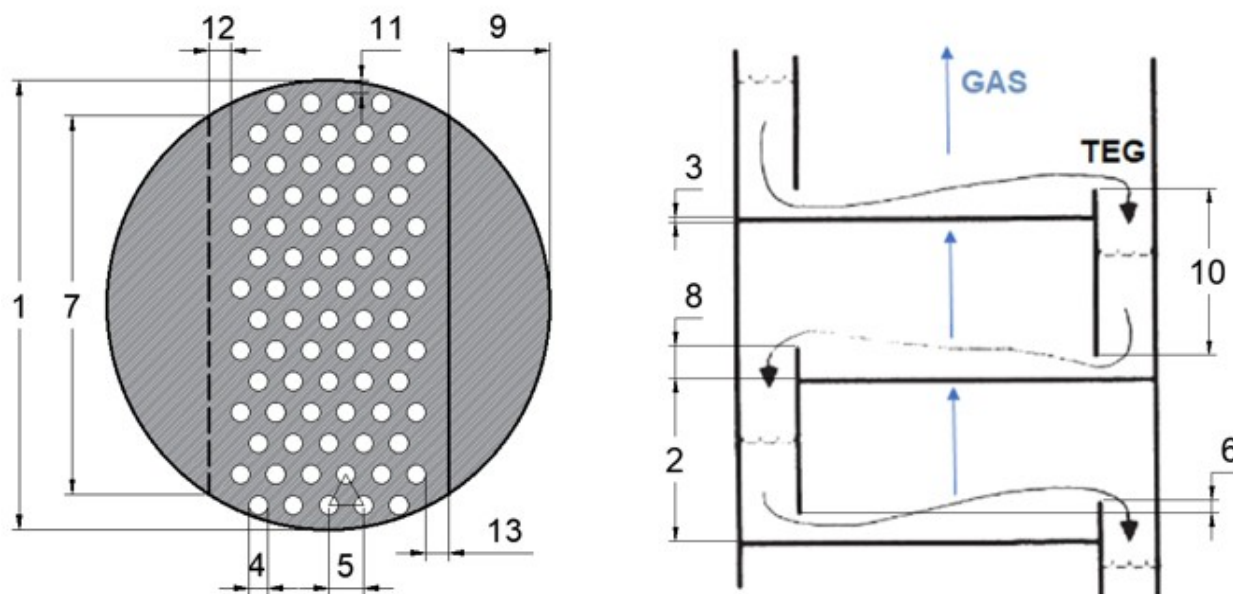


Ilustración 2- Sección transversal del plato perforado (izq.) y vista lateral de la torre (der.) con sus respectivas referencias. Esquemas representativos realizados en AutoCAD.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 18 de 19	

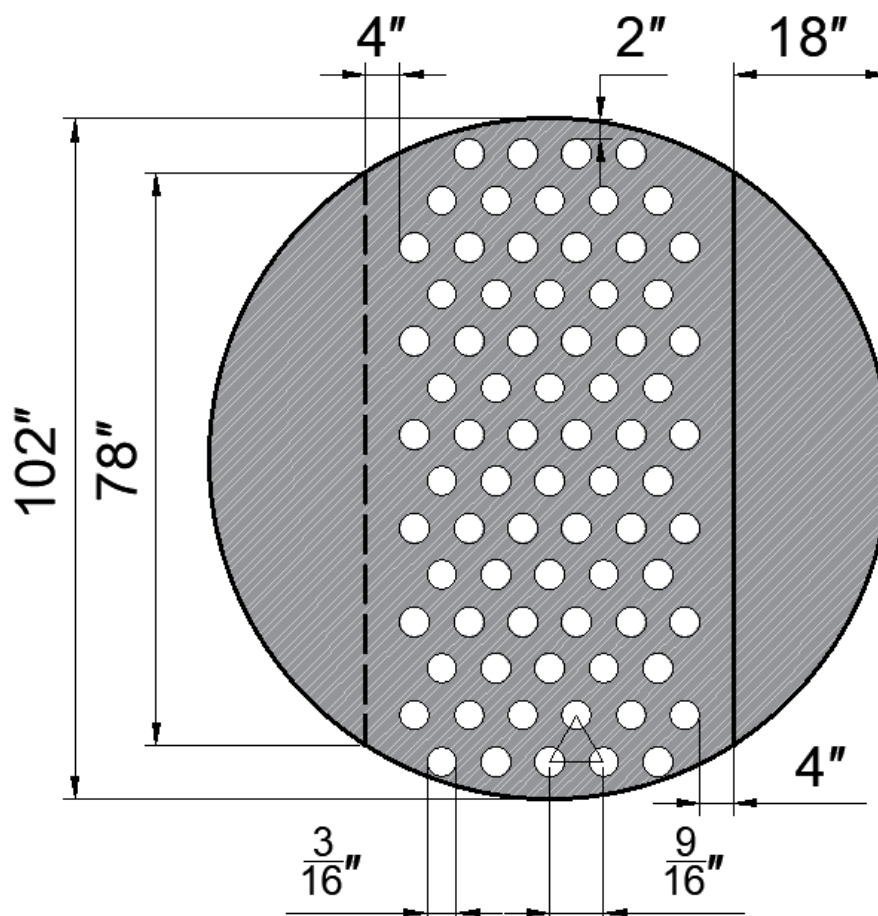


Ilustración 3- Dimensiones del plato perforado. Esquema representativo realizado en AutoCAD.

6.3 Áreas del plato

Tabla 36- Valores de las áreas del plato

Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad
Área ducto/área total	A_D/A_T	12	%
Área orificios/área activa	A_H/A_A	10	%
Área total	A_T	57	ft ²
Área ducto	A_D	6,8	ft ²
Área neta	A_N	50	ft ²
Área activa	A_A	43	ft ²
Área orificios	A_H	4,4	ft ²

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 19 de 19	

6.4 Criterio de inundación por arrastre de líquido

Tabla 37- Determinación del diámetro por análisis de inundación

Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad
Velocidad de inundación – Fair	U_{nf}	1,6	ft/s
Factor de seguridad por inundación inicial	A^*	80	%
Factor de corrección por formación de espuma	B	70	%
Velocidad neta de trabajo inicial	v_n^*	0,9	ft/s
Diámetro estimado inicial	D^*	8,2	ft
Diámetro redondeado	D	8,5	ft
Factor de seguridad de inundación recalculado	A	74	%
Velocidad neta de trabajo efectiva	v_n	0,83	ft/s

6.5 Pérdidas de carga

Tabla 38- Resultados de las pérdidas de carga calculadas

Pérdida de carga	Nomenclatura	Valor	Unidad
En el dispersor	h_d	1,0	in H ₂ O
Gas al pasar por el líquido	h_l	1,6	in H ₂ O
Total en un plato	h_t	2,6	in H ₂ O
En las bajantes	h_{da}	0,01	in H ₂ O
Total de la columna	h_T	26	in H ₂ O

- Se comprueba que la caída de presión total en un plato se encuentra entre los valores recomendados (2 a 2,75 pulgadas de agua)

6.6 Verificación de inundación por bajantes

Tabla 39- Resultados necesarios para determinar si existe inundación por bajantes

Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad	Verificación
Sumatoria de $E_p + h_w$	$E_p + h_w$	26,4	in	$> h_{dc}$
Altura de líquido en la bajante	h_{dc}	17,3	in H ₂ O	$< (E_p + h_w)$
Relación $h_{dc}/(E_p + h_w)$	$h_{dc}/(E_p + h_w)$	66	%	$< 80\%$
Velocidad de líquido en la bajante	v_{da}	0,01	ft/s	$< 0,2$ ft/s
Tiempo de residencia del líquido	t_r	41	s	$> 7s$

- Se corrobora el cumplimiento de las verificaciones, por lo que no habrá inundación de bajantes.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 20 de 19	

6.7 Verificación de Iloriqueo

6.7.1 Método analítico

Tabla 40- Determinación analítica del fenómeno de Iloriqueo

Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad	Verificación
Caudal de gas por área de orificio	Q_n	9,5	ft/s	$> U_{h,min}$
Velocidad mínima del gas	$U_{h,min}$	5,1	ft/s	$< Q_n$

6.7.2 Método gráfico

Tabla 41- Determinación gráfica del fenómeno de Iloriqueo

Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad
Pérdida por formación de burbuja	h_σ	0,14	in H ₂ O
Sumatoria $h_\sigma + h_d$	$h_\sigma + h_d$	1,2	in H ₂ O
Sumatoria $h_w + h_{wo}$	$h_w + h_{wo}$	2,6	in H ₂ O
Verificación: el punto (2,6;1,6) debe encontrarse por encima de la recta inferior			

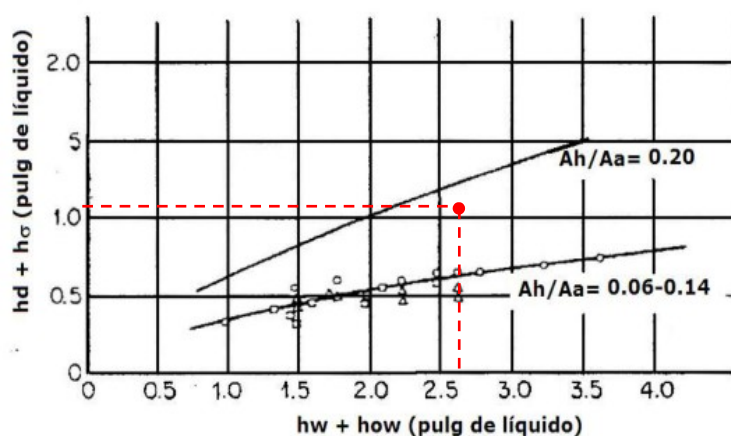


Gráfico 8- Verificación gráfica del Iloriqueo en el plato

- Se verifican las condiciones por ambos métodos; por lo tanto, el plato perforado diseñado no presenta inconvenientes por Iloriqueo.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – MC – 003 – R – B	Rev.: B
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 24/10/2023	
		Página 21 de 19	

7 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- [1] Engineering Data Book de la (2004). Gas Processors Suppliers Association (GPSA).
- [2] ASME Section VIII – División 1 (2017). Rules for Construction of Pressure Vessels.
- [3] Mokhatab, S., Poe, W., Speight, J, (2006). Handbook of natural gas transmission and processing.
- [4] Perry, R. y Green, D. (1999). Perry's Chemical Engineers' Handbook 7° Ed.
- [5] Cálculo del diámetro de la torre mediante el procedimiento Fair (1985) de inundación por arrastre líquido.
- [6] Sinnott, R. y Towler, G. (2012). Diseño en Ingeniería Química 5° Ed.
- [7] Smith, B. D. (1983). Design of Equilibrium Stage Processes.
- [8] Wankat, P. (2008). Ingeniería de los Procesos de Separación. Segunda edición.
- [9] Acosta, V. (2022). Teoría de equipos de transferencia de masa. Ficha interna de Cátedra. Operaciones Físicas III. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – FOP – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/11/2023	
		Página 1 de 11	

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG

Filosofía de Operación y Control

☐	APROBADO
☐	APROBADO CON COMENTARIOS
☐	RECHAZADO
☐	APTO PARA CONSTRUCCIÓN
☐	APTO PARA LICITACIÓN
☐	APTO PARA COMPRA
☐	EMITIR PROXIMA REVISION EN CERO
_____ _____ _____ FIRMA ACLARACIÓN FECHA	

A	13/11/2023	Aprobación	G.O.	J.C.	J.C.
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – FOP – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/11/2023	
		Página 2 de 11	

ÍNDICE

1	OBJETIVO.....	3
2	ALCANCE.....	3
3	EXCLUSIONES.....	3
4	ABREVIATURAS.....	4
5	DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.....	5
6	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	5
7	FILOSOFÍA DE CONTROL.....	5
7.1	Separador de entrada V – 100.....	5
7.2	Columna de absorción TC – 100.....	6
7.2.1	Descripción operativa.....	6
7.2.2	Instrumentos de medición local.....	7
7.2.3	Instrumentos de medición del sistema de control.....	7
7.2.4	Dispositivos electrónicos del sistema de control.....	7
7.2.5	Dispositivos de seguridad local.....	7
7.2.6	Instrumentos de seguridad electrónicos.....	8
7.2.7	Válvulas de control.....	8
7.2.8	Válvulas de cierre y descarga.....	8
7.3	Intercambiador de calor gas/glicol (E – 100).....	8
7.4	Salida de Planta a Gasoducto.....	8
7.5	Tanque de venteo (V – 101).....	9
7.6	Intercambiador de calor glicol/glicol (E – 102).....	9
7.7	Torre regeneradora (TR – 100).....	9
7.7.1	Condensador de la torre regeneradora (E – 101).....	10
7.7.2	Reboiler de la torre regeneradora (R – 100).....	10
7.8	Bomba de circulación de glicol (P – 100).....	10

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – FOP – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/11/2023	
		Página 3 de 11	

1 OBJETIVO

El objetivo del presente documento es describir la Filosofía de Operación y Control que se implementará para el correcto funcionamiento de la Planta de Deshidratación de Gas mediante TEG a instalar dentro de la PTG en la Estación Cerro Dragón 1 en el Yacimiento Cerro Dragón, Chubut, Argentina.

2 ALCANCE

El alcance de este documento contempla el detalle de los métodos de control del sistema de proceso principal que contiene los equipos nombrados a continuación:

- Separador de entrada (V – 100)
- Columna de absorción (TC – 100)
- Intercambiador de calor gas/glicol (E – 100)
- Condensador de la torre regeneradora (E – 101)
- Tanque flash (V – 101)
- Intercambiador de calor glicol/glicol (E – 102)
- Columna regeneradora (TR – 100)
- Reboiler de la columna regeneradora (R – 100)
- Bomba de circulación de glicol (P – 100)

Se hará especial énfasis en el equipo de transferencia de masa TC – 100 ya que es la unidad de mayor influencia sobre las características finales del gas de salida y el proceso en general.

3 EXCLUSIONES

La Planta de Deshidratación de Gas se anexará a sistemas secundarios existentes dentro de la PTG – CD1, por lo que quedan excluidos del Documento los análisis de control de los siguientes servicios auxiliares:

- Sistema de gas combustible.
- Sistema de aire de instrumentos.
- Sistema de drenajes.
- Sistema de venteos abiertos.
- Sistema de inyección de químicos: inhibidores de corrosión y formación de espumas e hidratos.
- Sistema de distribución de energía eléctrica.
- Sistema de protección contra incendios.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – FOP – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/11/2023	
		Página 4 de 11	

4 ABREVIATURAS

Tabla 42- Nomenclatura de la instrumentación empleada en la Planta de Deshidratación de Gas

Código	Descripción
PI	Indicador de presión
PIC	Controlador Indicador de presión
PIT	Transmisor Indicador de presión
PDIT	Transmisor Indicador de presión diferencial
PAL	Alarma de presión baja
PAH	Alarma de presión alta
PDAH	Alarma de presión diferencial alta
PDAHH	Alarma de presión diferencial muy alta
TI	Indicador de temperatura
TT	Transmisor de temperatura
TIT	Transmisor Indicador de temperatura
TW	Termopozos vacíos
TAL	Alarma de temperatura baja
TAH	Alarma de temperatura alta
LT	Transmisor de nivel
LG	Mira de nivel
LC	Controlador de nivel
LIC	Controlador Indicador de nivel
LIT	Transmisor Indicador de nivel
LAL	Alarma de nivel bajo
LALL	Alarma de nivel muy bajo
LAH	Alarma de nivel alto
FI	Indicador de flujo
ME	Sensor de humedad
MVIT	Transmisor Indicador multivariable
PV	Válvula de control de presión
PCV	Válvula autorreguladora de presión
LV	Válvula de control de nivel
TV	Válvula de control de temperatura
SDV	Válvula de cierre (Shut Down)
SBV	Válvula de descarga (Blow Down)
PSV	Válvula de alivio de presión (de seguridad)
FC	Cierra a falla
FO	Abre a falla

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – FOP – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/11/2023	
		Página 5 de 11	

5 DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

- GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B. Bases de diseño del Proyecto.
- GSJ – CD1 – PTG – HD – 001 – R – A. Hoja de Datos de la TC – 100.
- GSJ – CD1 – PTG – PID – 001 – R – A. Diagrama P&ID de la TC – 100.

6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El gas húmedo proveniente de aguas arriba ingresa al sistema, circulando por el separador de entrada V – 100. Posteriormente, accede a la columna de absorción (TC – 100) para abandonar la unidad por el tope como gas seco. Esta corriente intercambia calor en la unidad E – 100 con el glicol de alimentación a la columna para, finalmente, ser enviada aguas abajo mediante gasoducto. El TEG que sale por el fondo de la torre de platos con cierto contenido de agua, reduce su presión en una válvula de expansión (VLV – 100) y aumenta su temperatura al pasar por el serpentín de la parte superior de la torre regeneradora (E – 101). Seguidamente, pasa al tanque flash (V – 101) donde se ventean los hidrocarburos remanentes. Este glicol venteado elimina los contaminantes sólidos a través del filtro F – 101 para posteriormente, en la unidad E – 102, intercambiar calor con el TEG pobre proveniente de la columna de regeneración (TR – 100). Por último, el TEG rico calentado se vuelve a filtrar en un filtro de carbón activado (F – 102) e ingresa a la torre regeneradora, saliendo por el fondo de esta ya seco producto del suministro de energía térmica por el reboiler R – 100. Este flujo pasa por el filtro de partículas F – 103 y es bombeado por el equipo P – 100 a los distintos intercambiadores, ingresando, en última instancia, a la torre de absorción por el tope y repitiendo, de esta manera, la secuencia de secado de gas y regeneración de glicol.

7 FILOSOFÍA DE CONTROL

7.1 Separador de entrada V – 100

El separador bifásico de entrada es un recipiente vertical con un interno Demister (malla de alambres). El equipo tiene como finalidad separar los líquidos que pudieran haberse arrastrado aguas arriba logrando, de esta forma, minimizar el ingreso de líquido a las unidades aguas abajo y garantizar el correcto funcionamiento de la Planta.

La presión puede ser monitoreada en forma local por medio del manómetro PI – 1000. A su vez, la unidad cuenta con un lazo de control de sobrepresión PIC – 1000 que mantiene al sistema en un nivel de presión máxima a partir del valor de set ($70 \text{ kg/cm}^2(\text{g})$). En caso de superar la presión de set, el controlador actúa sobre la válvula de control PV – 1000 del tipo FO, abriéndola y aliviando hacia el sistema de venteos con el objetivo de atenuar las variaciones operativas de presión. El transmisor posee alarmas por alta presión PAH – 1000 y baja presión PAL – 1000.

En cuanto a la temperatura, puede ser monitoreada en forma local a través de un termómetro TI – 1000 o, remotamente, en la sala de control por el sensor TT – 1000.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – FOP – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/11/2023	
		Página 6 de 11	

El control de nivel de líquido se efectúa gracias al lazo LIC – 1000, que actúa sobre la válvula de control LV – 1000 ubicada en la línea de salida del condensado y posee alarmas por alto nivel LAH – 1000 y bajo nivel de líquido LAL – 1000.

El gas que sale por el tope de la unidad es enviado a la Columna Contactora TC – 100 para su deshidratación. En esta línea de salida, se cuantifica la cantidad de gas mediante el transmisor de caudal multivariable (MVIT – 1000) que posee compensación por presión y temperatura.

7.2 Columna de absorción TC – 100

7.2.1 Descripción operativa

El gas proveniente del separador V – 100 ingresa a la Torre Contactora TC – 100 donde se deshidratará hasta especificación mediante la absorción del agua en glicol.

La presión de ingreso a la columna se mide con el PIC – 1001 vinculado a alarmas de alta y baja presión (PAH – 1001 y PAL – 1001, respectivamente). En caso de que la presión alcance los valores de set, tanto máximo como mínimo, se produce el bloqueo de ingreso de gas por cierre de válvula de control de presión PV – 1001. Conjuntamente, la presión en el ingreso se puede medir de manera local con el instrumento PI – 1001. Para el análisis de las pérdidas de carga en el equipo, se cuenta con el sensor PDIT – 1001 que cuenta con indicación y alarmas por alta (PDAH – 1001) y muy alta presión diferencial (PDAHH – 1001).

El nivel de glicol en la torre es regulado por un lazo de control conformado por el controlador de nivel LC – 1001A que, en base a la magnitud censada por el transmisor de nivel LT – 1001A, modifica la apertura de la válvula de control LV – 1001A. El transmisor tiene asociado alarmas por alto nivel LAH – 1001A y bajo nivel de glicol LAL – 1001A. De forma complementaria, la unidad cuenta con medición local de nivel de glicol por LG – 1001A. Asimismo, dentro del diseño del equipo, se consideró la posibilidad de que el gas de ingreso arrastre cierta cantidad de condensado no eliminado en el separador V – 100. Para el control de nivel de condensado, se cuenta con indicación local por LG – 1001B y un controlador de nivel LC – 1001B ubicado en el fondo del equipo que funciona en forma análoga al controlador de nivel de glicol. El controlador LC – 1001B, en caso de detectar valores por fuera de los de set a través del transmisor de nivel LT – 1001B, abre la válvula de control de nivel de condensado LV – 1001B ubicada sobre la línea de drenaje. De igual manera, el nivel de condensado cuenta con alarmas: LAH – 1001B (alto nivel) y LAL – 1001B (bajo nivel).

Para la medición de temperatura, la torre cuenta con indicación local (TI – 1001A) en el fondo del equipo y medición remota por el TT – 1001. La temperatura de ingreso de glicol pobre se puede medir a través del sensor TI – 1001B, y la del gas de salida se mensura aguas arriba antes de ingresar al intercambiador gas/glicol (E – 100) mediante el instrumento TI – 1001C. Adicionalmente, se cuenta con 4 conexiones de termopozos vacíos

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – FOP – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/11/2023	
		Página 7 de 11	

(TW) ubicadas estratégicamente a lo largo de la longitud de la unidad para, en ocasiones deseadas, poder colocar un sensor y medir in – situ la temperatura en esa altura de la torre.

Como protecciones de seguridad, la torre dispone de dos válvulas de alivio de presión PSV – 1001 A/B seteadas a 67 kg/cm²(g) y dimensionadas para proteger al sistema ante un eventual escenario de fuego.

7.2.2 Instrumentos de medición local

Tabla 43- Instrumentos de medición local en la unidad TC – 100

Identificación	Función
PI – 1001	Indicación de presión del gas de alimentación
LG – 1001A	Indicación de nivel de glicol
LG – 1001B	Indicación de nivel de condensado en el fondo
TI – 1001A	Indicación de temperatura en la columna
TI – 1001B	Indicación de temperatura de ingreso de glicol
TI – 1001C	Indicación de temperatura de gas de salida

7.2.3 Instrumentos de medición del sistema de control

Tabla 44- Instrumentos de medición del sistema de control en TC – 100

Identificación	Función	Alarmas
PDIT – 1001	Medición de diferencia de presión del gas a la entrada y a la salida	PDAH – 1001: 0,1 kg/cm ² (g) PDAHH – 1001: 0,25 kg/cm ² (g)
LT – 1001A	Medición de nivel de glicol en la columna	LAL – 1001A LAH – 1001A
LT – 1001B	Medición de nivel de condensado en el fondo del equipo	LAL – 1001B LAH – 1001B

7.2.4 Dispositivos electrónicos del sistema de control

Tabla 45- Dispositivos electrónicos del sistema de control de TC – 100

TAG	Función	Medición de variable de proceso	Elemento final de control	
			TAG	Posición en falla
LC – 1001A	Control de nivel de glicol	LIT – 1001A	LV – 1001A	FO
LC – 1001B	Control de nivel de condensado en el fondo	LIT – 1001B	LV – 1001A	FO

7.2.5 Dispositivos de seguridad local

Tabla 46- Dispositivos de seguridad local de TC – 100

Identificación	Función	Valor de set
PSV – 1001A/B	Alivio de presión	67 kg/cm ² (g)

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – FOP – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/11/2023	
		Página 8 de 11	

7.2.6 Instrumentos de seguridad electrónicos

Tabla 47- Dispositivos de seguridad electrónicos en TC – 100

Identificación	Función	Alarmas
PIT – 1001	Medición de presión en ingreso	PAL – 1001: 58 kg/cm ² (g) PAH – 1001: 64 kg/cm ² (g)

7.2.7 Válvulas de control

Tabla 48- Válvulas de control en TC – 100

Identificación	Función	Posición a falla
PV - 1001	Control de presión ingreso de gas	FC
LV – 1001A	Control de nivel de glicol	FO
LV – 1001B	Control de nivel de condensado	FO

7.2.8 Válvulas de cierre y descarga

Tabla 49- Válvulas de Shut Down, Blow Down y actuadas en TC – 100

Identificación	Función	Posición a falla
SDV – 1001	Válvula solenoide de cierre en línea de ingreso de gas	FC
SBV – 1001A	Válvula solenoide de descarga en línea de salida de TEG	FO
SBV – 1001B	Válvula solenoide de descarga en línea de drenaje de condensado	FO

7.3 Intercambiador de calor gas/glicol (E – 100)

La unidad E – 100 permite, a través del intercambio de calor con el gas que sale de la TC – 100, el enfriamiento deseado del glicol hasta la temperatura de ingreso a la torre contactora. Este equipo no posee ningún control en particular, pero cuenta con medidores locales de temperatura para regular manualmente su operación: TI – 1001C (ingreso de gas), TI – 1002C (salida de gas), TI – 1002B (ingreso de TEG) y TI – 1001B (salida de TEG) y medidores de presión locales para poder monitorear la caída de presión y detectar posibles ensuciamientos: PI – 1001C (ingreso de gas), PI – 1002C (salida de gas), PI – 1002B (ingreso de TEG) y PI – 1001A (salida de TEG).

7.4 Salida de Planta a Gasoducto

El gas acondicionado a la salida del intercambiador E – 100 es enviado por gasoducto aguas abajo. En la salida de la planta se cuenta con distintos instrumentos: un medidor de caudal FI – 1003 que, a su vez, cuenta con indicación de presión local a través del PI – 1002C, el transmisor de caudal multivariable MVIT – 1003 (posee compensación por temperatura y presión) y un sensor de humedad ME – 1003 que establece el contenido de agua en el gas de salida.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – FOP – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/11/2023	
		Página 9 de 11	

Para controlar la presión de operación en esta línea, se dispone de un transmisor de presión (PIT – 1003) que posee alarmas por alta y baja presión y se encuentra asociado al controlador PIC – 1003. Este último, en caso de detectar anomalías en los valores, actúa sobre la válvula de control y regulación de presión PV – 1003. Por otra parte, para paradas de planta, se cuenta con una válvula Shut Down SDV – 1003 con bypass para presurización normal.

7.5 Tanque de venteo (V – 101)

La presión del separador flash se mantiene por medio del lazo de control de presión asociado al PIC – 1004 instalado en la parte superior de la unidad y vinculado a alarmas de alta y baja presión (PAH – 1004 y PAL – 1004, respectivamente). En la línea de salida de gas se coloca la válvula autorreguladora de presión PCV – 1004 seteada en 3,5 kg/cm²(g). Por cuestiones de seguridad, el equipo cuenta con una válvula de alivio PSV – 1004 con una presión set de 5 kg/cm²(g).

La temperatura del equipo no posee ningún lazo de control, se mide localmente a través de TI – 1004.

Para el control de nivel en el equipo se tiene un controlador de nivel LC – 1004 asociado a la válvula de control LV – 1004 que regula el nivel dentro del separador abriéndola o cerrándola, según el valor censado por el transmisor LT – 1006 que posee alarmas por alto nivel LAH – 1004 y bajo nivel LAL – 1004.

En la línea de salida del glicol, se encuentra el filtro de partículas tipo canasto F – 101 que cuenta con un transmisor de presión diferencial (PDIT – 1004) asociado a un tablero con indicación y a una alarma por alta presión diferencial ubicada en la sala de control. El valor de set es una caída de presión de 0,75 kg/cm²(g). Si se alcanza esa magnitud, se debe realizar mantenimiento al filtro por acumulación de sólidos en el mismo.

7.6 Intercambiador de calor glicol/glicol (E – 102)

En forma análoga a lo implementado en el intercambiador E – 100, la unidad E – 102 no posee ningún control en particular, pero cuenta con medidores locales de temperatura para regular manualmente su operación: TI – 1005A (ingreso de glicol rico), TI – 1005B (salida de glicol rico), TI – 1005C (ingreso de glicol pobre) y TI – 1005D (salida de glicol pobre) y manómetros para poder monitorear la caída de presión y detectar posibles ensuciamientos: PI – 1005A (ingreso de glicol rico), PI – 1005B (salida de glicol rico), PI – 1005C (ingreso de glicol pobre) y PI – 1005D (salida de glicol pobre).

7.7 Torre regeneradora (TR – 100)

La torre regeneradora tiene como finalidad evaporar el agua absorbida por el TEG durante el proceso de deshidratación del gas. El equipo opera a presión atmosférica ya que la evaporización se ve favorecida a presiones menores para no superar la temperatura de degradación del glicol (106°C). Por estas razones, no hay control sobre la presión de la torre ya que la misma resulta de la caída de presión en el relleno. Sin embargo, para evitar

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – FOP – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/11/2023	
		Página 10 de 11	

ingreso de contaminantes que pueden provocar formación de espuma, se cuenta con un filtro de carbón activado F – 102 en el ingreso del glicol rico en agua.

En cuanto al nivel en el interior de la unidad, se tiene un LG – 1006 para observar el nivel de forma local y un sensor LIT – 1006 con alarmas por alto nivel (LAH – 1006), bajo nivel (LAL – 1006) y muy bajo nivel (LALL – 1006). Las alertas están vinculadas, principalmente, a condiciones de mínima ya que bajos niveles de glicol pueden dañar las bombas aguas abajo del sistema y generar puntos calientes en cañerías y posible fallo estructural, producto de dejar al descubierto los tubos por donde circulan los gases de combustión.

Sobre la temperatura, el control debe ser riguroso por las posibles pérdidas de glicol por el tope (vinculado a bajas temperaturas) y la degradación térmica del mismo (asociado a altas temperaturas). A continuación, se detallan los controles de temperatura empleados en las zonas críticas de operación.

7.7.1 Condensador de la torre regeneradora (E – 101)

Es fundamental mantener la temperatura del condensador ubicado en el tope de la Torre Regeneradora TR – 100 en 102°C para evitar excesivas pérdidas de glicol por la chimenea. Manualmente, se puede controlar por un bypass ubicado en el condensador del equipo y, en forma complementaria, se cuenta con un transmisor de temperatura TIT – 1006A con indicación y alarmas por alta (TAH – 1006A) y baja (TAL – 1006A) temperatura, que permite el monitoreo desde la sala de control.

7.7.2 Reboiler de la torre regeneradora (R – 100)

La temperatura del reboiler debe encontrarse en 200°C para disminuir el contenido de agua absorbida en el glicol sin correr riesgo de descomposición térmica. Para el control de la misma, se emplea un lazo que contiene el sensor TIT – 1006B y un controlador TC – 1006B con acción sobre la válvula de control TV – 1006B ubicada en la línea de gas combustible antes de ingresar al quemador. El sensor cuenta con alarmas por alta temperatura (TAH – 1006B) que si se superan los 202°C se apaga el quemador y muy alta temperatura (TAHH – 1006B) que apaga la regeneradora en forma remota, superado los 206°C, para evitar la degradación del glicol.

7.8 Bomba de circulación de glicol (P – 100)

El sistema de bombeo se compone de dos bombas en paralelo (P – 100 A/B). Cada una cuenta con variadores de frecuencia para poder regular las RPM y, de esta forma, cambiar el caudal de circulación de TEG en función del caudal de gas a deshidratar. Se tiene indicadores de presión a la entrada (PI – 1007A) y salida (PI – 1007B) en cada bomba. En la succión de las bombas se cuenta con PIT – 1007A/B asociado a una alarma de baja presión (PAL – 1007) que reporta, directamente, a la sala de control.

La medición local de temperatura se realiza a través de arreglos de control e instrumentación de equipos detallados con anterioridad. La temperatura de succión se censa

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – FOP – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/11/2023	
		Página 11 de 11	

con el TI – 1005C y la de descarga con el TI – 1002B. Se adiciona un TIT – 1007 para determinar si la temperatura aumenta más de lo debido por el bombeo, ya que una temperatura elevada de ingreso de glicol a la torre puede ocasionar un gas despachado fuera de especificación.

Para evitar el ingreso de partículas sólidas que pueden dañar, por abrasión, los pistones de la bomba, se instalan dos filtros canasto F – 103 A/B en la succión de cada uno de los equipos con sus respectivos transmisores de presión diferencial (PDIT – 1007 A/B). En este caso, el valor máximo seteado es 0,15 kg/cm²(g) ya que se trata de tramos de muy baja presión y se considera que, en esta zona de la planta, el glicol se encuentra libre de contaminantes. Asociado a los transmisores se tiene indicadores de presión diferencial y las alarmas que reportan, directamente, en la sala de control.

Por último, se tiene un caudalímetro FIT – 1007A/B del tipo placa orificio que mide el caudal de glicol y permite calibrar automáticamente la operación de las bombas a través del FIC – 1007 A/B. De manera local se puede medir el caudal de TEG a través del FI – 1007A/B.

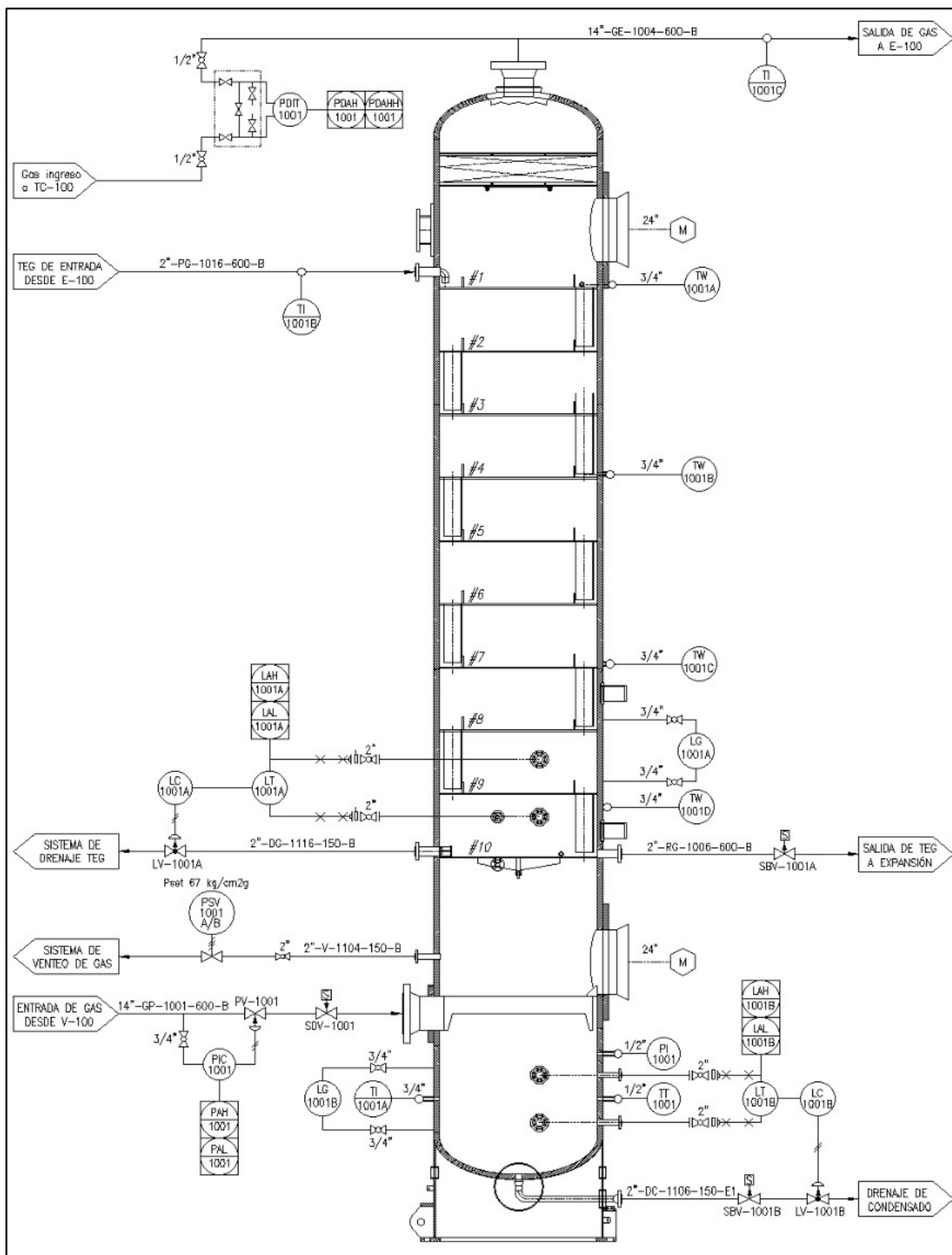
	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG		Documento: GSJ – CD1 – PTG – PID – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica		Fecha de emisión: 13/11/2023	
			Página 1 de 2	

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG

P&ID de la Columna de absorción (TC – 100)

☐	APROBADO
☐	APROBADO CON COMENTARIOS
☐	RECHAZADO
☐	APTO PARA CONSTRUCCIÓN
☐	APTO PARA LICITACIÓN
☐	APTO PARA COMPRA
☐	EMITIR PROXIMA REVISION EN CERO
_____	_____
FIRMA	ACLARACIÓN FECHA

A	13/11/2023	Aprobación	G.O.	J.C.	J.C.
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ



	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – PID – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/11/2023	
		Página 3 de 2	



Proyecto: Planta de deshidratación de
gas dulce con TEG

Documento:
GSJ – CD1 – PTG –
LE – 001 – R – A

Rev.: A

Fase: Ingeniería Básica

Fecha de emisión: 13/11/2023

Página 1 de 3

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG

Listado de equipos

- ☐ APROBADO
- ☐ APROBADO CON COMENTARIOS
- ☐ RECHAZADO
- ☐ APTO PARA CONSTRUCCIÓN
- ☐ APTO PARA LICITACIÓN
- ☐ APTO PARA COMPRA
- ☐ EMITIR PROXIMA REVISION EN CERO

FIRMA

ACLARACIÓN

FECHA

A	13/11/2023	Aprobación	G.O.	J.C.	J.C.
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – LE – 001 – R – A
		Fecha de emisión: 13/11/2023
	Fase: Ingeniería Básica	Revisión: A
		Página 2 de 3

COLUMNAS												
TAG	Servicio	Cant.	Número de platos/Relleno	Material	Dimensiones		Presión		Temperatura		P&ID	Hoja de Datos
					Diámetro	Altura	Oper.	Diseño	Oper.	Diseño		
					mm		kg/cm²(g)		°C			
TC – 100	Columna de absorción	1	10 platos perforados	ASTM A516 Gr. 70	2600	9800	60,8	67	40	80	GSJ – CD1 – PTG – PID – 001 – R – A	GSJ – CD1 – PTG – HD – 001 – R – A
TR – 100	Torre regeneradora	1	Anillos Pall metálicos 1,5"	ASTM A106 Gr. B	353	3000	0	1,5	200	220	–	–

SEPARADORES												
TAG	Servicio	Cant.	Tipo	Material	Dimensiones		Presión		Temperatura		P&ID	Hoja de Datos
					Diámetro	Altura	Oper.	Diseño	Oper.	Diseño		
					mm		kg/cm²(g)		°C			
V – 100	Separador de entrada	1	Vertical bifásico	ASTM A516 Gr. 70	1876	3752	60,8	70	35	60	–	–
V – 101	Tanque flash	1	Horizontal bifásico	ASTM A516 Gr. 70	1850	1000	3,8	5	43,2	60	–	–

INTERCAMBIADORES															
TAG Servicio		Cant.	Tipo	Material	Calor transfer.	Área de transf.	Dimensiones			Presión operac.		Temper. operac.		P&ID	HD
							Ø _o	L tubos	N	Casco	Tubos	Casco	Tubos		
					kcal/h	m ²	mm	tubos	kg/cm ² (g)	°C					
E – 100	Gas seco/glicol pobre	1	Casco y tubo AEL	Envolvente: ASTM A106 Gr. B Tubos: ASTM 179	287.500	60,3	739	6000	160	60,8	60,74	116,5	36	–	–
E – 101	Condensador de glicol	1	Serpentín	Envolvente: ASTM A106 Gr. B Tubos: ASTM 213 TP 316L	9001	4	40	637	50	0	3,8	102	40,8	–	–
E – 102	Glicol rico/glicol pobre	1	Casco y tubo NEN	Envolvente: ASTM A106 Gr. B Tubos: ASTM 179	365.700	80,4	824	4000	200	3,8	0	43,2	200	–	–
R – 100	Reboiler	1	Tubo de fuego	ASTM A106 Gr. B	440.670	8,7	921	3000	1	0	0	200	A definir	–	–

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – LE – 001 – R – A
		Fecha de emisión: 13/11/2023
	Fase: Ingeniería Básica	Revisión: A
		Página 3 de 3

BOMBAS												
TAG	Servicio	Cant.	Tipo	Material	Motor		Presión		Temperatura		P&ID	Hoja de Datos
					Tipo	Potencia nom.	Succión	Descarga	Succión	Descarga		
						kW	kg/cm²(g)		°C			
P – 100	Circulación de glicol	2	Desplazamiento positivo	A definir por proveedor	Neumática	13,7	0	60,8	117,9	116,5	–	–

FILTROS												
TAG	Descripción	Cant.	Tipo	Retención de partículas	Caída de presión		Temperatura		Caudal másico	Presión de diseño	P&ID	Hoja de Datos
					Máxima	Operativa	Diseño	Operativa				
					kg/cm²(g)		°C					
F – 101	Filtro TEG rico	1	Canasto	< 5 micrones	0,75	0,25	80	43,2	6826	10	–	–
F – 102	Filtro TEG rico	1	Carbón activado	–	0,15	0,05	180	130	6826	5	–	–
F – 103	Filtro TEG pobre	2	Canasto	< 5 micrones	0,15	0,05	150	118	6583	5	–	–



**Proyecto: Planta de deshidratación de
gas dulce con TEG**

Documento:
GSJ – CD1 – PTG –
HD – 001 – R – A

Rev.: A

Fase: Ingeniería Básica

Fecha de emisión: 13/11/2023

Hoja 1 de 3

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG

Hoja de Datos: Columna TC – 100

- ☐ APROBADO
- ☐ APROBADO CON COMENTARIOS
- ☐ RECHAZADO
- ☐ APTO PARA CONSTRUCCIÓN
- ☐ APTO PARA LICITACIÓN
- ☐ APTO PARA COMPRA
- ☐ EMITIR PROXIMA REVISION EN CERO

FIRMA

ACLARACIÓN

FECHA

A	13/11/2023	Aprobación	G.O.	J.C.	J.C.
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ

1	Cliente:	Pan American Energy
2	Localización:	Yacimiento Cerro Dragón, Chubut, Argentina

3	Estación:	Cerro Dragón 1 (CD1)							
4	Planta:	Planta de Tratamiento de Gas (PTG)							
5	Ítem equipo (TAG):	TC - 100							
6	Descripción del equipo:	Torre contactora de platos perforados							
7	Servicio de proceso:	Deshidratación del gas mediante TEG							
8	Referencia (P&ID):	GSJ - CD1 - PTG - PID - 001 - R - A							
9	Condiciones de Sitio (Nota 1)								
10									
11			Valor	Unidad					
12	Temperatura ambiente (Mínima / Máxima)		-22 / 37	°C					
13	Velocidad del viento (Máxima / Dirección)		230 O	km/h					
14	Elevación		559	msnm					
15	Categoría de Exposición - Factor de importancia		C	-					
16	Zona sísmica		0	-					
17	Carga de Nieve		0,9	kN/m²					
18	Condiciones de operación								
19									
20		Tope		Fondo					
21		Valor	Unidad	Valor	Unidad				
22	Presión del gas	60,74	kg/cm²(g)	60,80	kg/cm²(g)				
23	Presión del glicol	60,80	kg/cm²(g)	60,80	kg/cm²(g)				
24	Temperatura del gas	36,0	°C	35,0	°C				
25	Temperatura del glicol	40,0	°C	35,7	°C				
26	Caudal volumétrico actual del gas	4203	Am³/h	4180	Am³/h				
27	Caudal volumétrico actual del glicol	5,90	Am³/h	6,20	Am³/h				
28	Densidad del gas	58,28	kg/m³	58,68	kg/m³				
29	Densidad del glicol	1116	kg/m³	1107	kg/m³				
30	Viscosidad dinámica del gas	0,0134	cP	0,0134	cP				
31	Viscosidad dinámica del glicol	17,16	cP	15,25	cP				
32	Tensión superficial	43,96	dyn/cm	43,96	dyn/cm				
33	Condiciones de Diseño Mecánico								
34									
35		Valor	Unidad	Valor	Unidad				
36	Presión de diseño	67	kg/cm²(g)	Sobreespesor por corrosión	3,2 mm				
37	Temperatura de diseño	80	°C	Eficiencia de juntas	0,85 -				
38	Construcción y Materiales								
39									
40		Valor	Unidad	Valor	Unidad				
41	Diámetro interno de la columna	2,6	m	Altura de la columna	9,8 m				
42	Material de la columna	ASTM A516 Gr. 70		Espesor de pared	78,6 mm				
43	Tipo de plato	Perforado		Número de platos	10				
44	Material del plato	ASTM A516 Gr. 70		Número de pasos	1				
45	Espaciamiento entre platos	610	mm	Espesor del plato	5,7 mm				
46	Orificios por plato	22666		Diámetro de orificio	4,8 mm				
47	Arreglo de los orificios	Triangular		Espaciamiento entre orificios	14,4 mm				
48	Relación área orificio/área total	10	%	Relación área ducto/área total	12 %				
49	Longitud de la bajante	647,7	mm	Ancho de la bajante	457,2 mm				
50	Longitud del vertedero	1981,2	mm	Altura del vertedero	61,0 mm				
51	Separación orificio - coraza	50,8	mm	Separación orificio - bajante	101,6 mm				
52	Separación orificio - vertedero	101,6	mm	Sello hidráulico	3,81 mm				
53	Caída de presión por plato	6,5	mbar (g)						
54	Eliminador de niebla (Nota 2)								
55									
56	Tipo	Demister Wire Mesh (malla)		Ubicación	Sección superior				
57	Geometría	Circular		Dirección de flujo	Vertical ascendente				
58		Valor	Unidad	Valor	Unidad				
59	Diámetro del alambre	0,275	mm	Superficie específica	265 m²/m³				
60	Densidad de la malla	145	kg/m³	Eficiencia	98,2% @ 8µm				
HOJA DE DATOS COLUMNA DE ABSORCIÓN TC - 100			 PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG						
						FECHA	Nº DE DOCUMENTO	HOJA	REV.
						13/11/2023	GSJ - CD1 - PTG - HD - 001 - R - A	2 de 3	A

2																	
3	Sigla	Cant.	DN	Sch.	Clase	Servicio											
4	N1	1	14"	20	600#	Entrada de gas											
5	N2	1	14"	20	600#	Salida de gas											
6	N3	1	2"	-	600#	Entrada de TEG											
7	N4	1	2"	-	600#	Salida de TEG											
8	N5	1	2"	-	150#	Drenaje de condensado											
9	N6	1	2"	-	600#	Válvula de seguridad											
10	N7	1	2"	-	150#	Drenaje de TEG											
11	L1	2	2"	-	600#	Alarma de nivel de TEG											
12	L2	2	2"	-	600#	Alarma de nivel de cond.											
13	L3	2	3/4"	-	600#	Indicador nivel de TEG											
14	L4	2	3/4"	-	600#	Indicador nivel de cond.											
15	P1	1	1/2"	-	600#	Manómetro											
16	T	1	3/4"	-	6000#	Sensor de temperatura											
17	T1	1	3/4"	-	6000#	Termómetro											
18	TW	4	3/4"	-	6000#	Termopozos vacíos											
19	M	2	24"	-	600#	Entrada de hombre											
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	
40																	
41																	
42																	
43																	
44																	
45																	
46																	
47																	
48																	
49																	
50																	
51																	
52																	
53																	
54																	
55																	
56								Notas									
57																	
58	1 – Para más detalle de la locación, consultar Bases de Diseño del Proyecto (GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B).																
59	2 – Se selecciona el eliminador de niebla Demister a partir de la experiencia en equipos existentes dentro de la PTG.																
60	3 – El esquema de la Hoja 3 es ilustrativo.																
HOJA DE DATOS COLUMNA DE ABSORCIÓN TC – 100											PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG						
							FECHA	Nº DE DOCUMENTO				HOJA	REV.				
							13/11/2023	GSJ – CD1 – PTG – HD – 001 – R – A				3 de 3	A				



**Proyecto: Planta de deshidratación de
gas dulce con TEG**

Documento:
GSJ – CD1 – PTG –
DFP – 001 – R – A

Rev.: A

Fase: Ingeniería Básica

Fecha de emisión: 13/11/2023

Página 1 de 2

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG

Diagrama de Flujo de Proceso

- ☐ APROBADO
- ☐ APROBADO CON COMENTARIOS
- ☐ RECHAZADO
- ☐ APTO PARA CONSTRUCCIÓN
- ☐ APTO PARA LICITACIÓN
- ☐ APTO PARA COMPRA

- ☐ EMITIR PROXIMA REVISION EN CERO

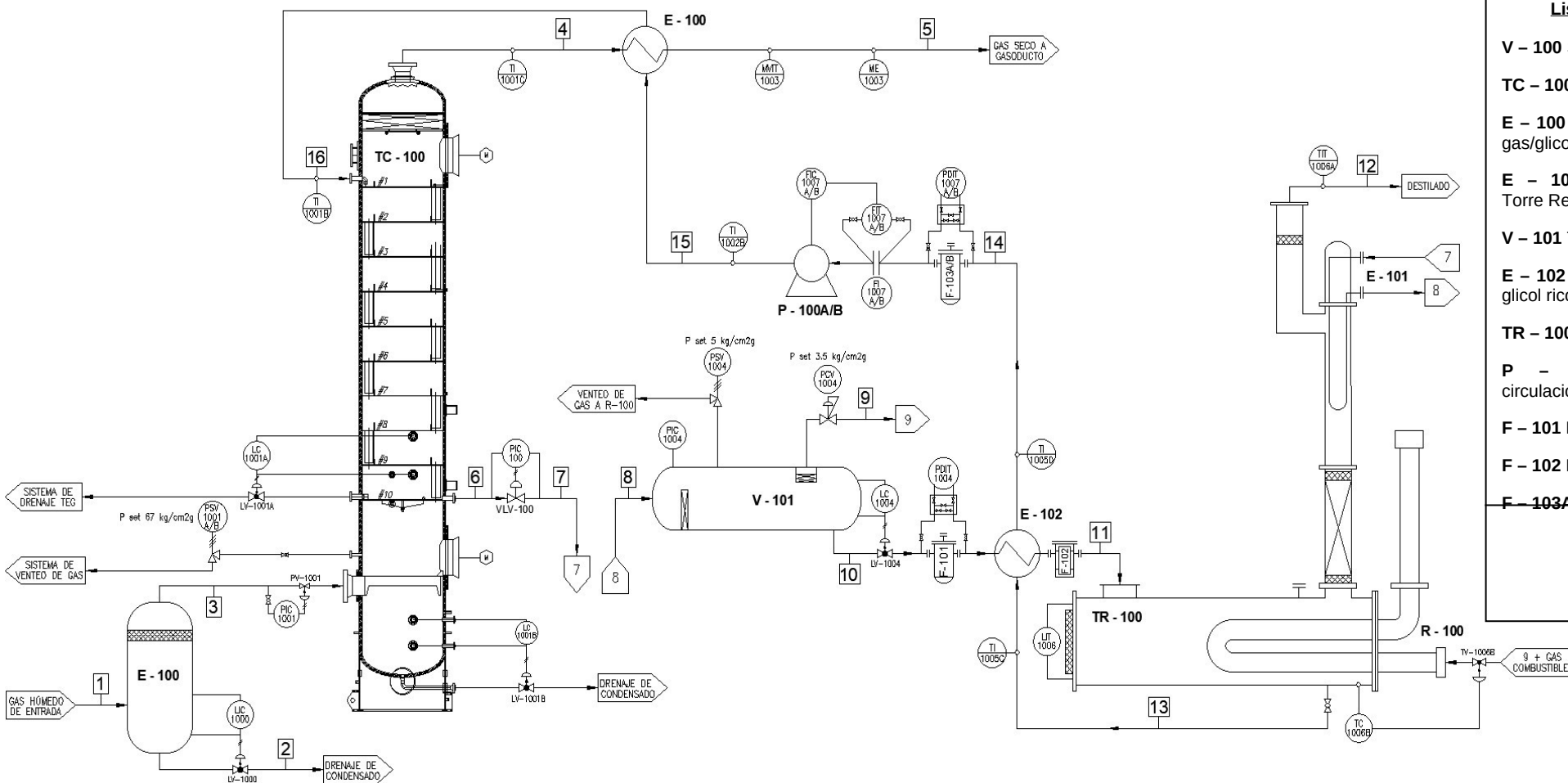
FIRMA

ACLARACIÓN

FECHA

A	13/11/2023	Aprobación	G.O.	J.C.	J.C.
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ

Descripción	Corrientes															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Parámetro	Gas húmedo	Drenaje V – 100	Gas a columna	Gas seco frío	Gas de salida	TEG rico fondo	TEG a baja P	TEG a V – 101	Gas venteado	TEG rico a E – 102	TEG a TR – 100	Destilado	TEG pobre	TEG a P – 100	TEG a E – 100	TEG a TC – 100
Presión [kg/cm ² (g)]	60,80	60,80	60,80	60,74	60,74	60,80	3,80	3,80	3,80	3,80	0,3	0	0	0	60,80	60,80
Temperatura [°C]	35,0	35,0	35,0	35,9	37,8	35,7	40,8	43,2	43,2	43,2	130,0	102,0	200,0	117,9	116,5	40,0
Caudal volumétrico act. [Am ³ /h]	4180	0,18	4180	4203	4249	6,2	15,6	15,7	9,5	6,2	15,7	405,4	6,8	6,3	6,2	5,9
Fracción másica de gas [%]	99,93	0	100	100	100	0	0,5	0,5	100	0	0,13	100	0	0	0	0
Densidad (gas/líquido) [kg/m ³]	58,7/1002	1002	58,68	58,28	57,65	1107	3,5/1104	3,5/1104	3,5	1102	0,95/1027	0,6	966,2	1042	1056	1116
Viscosidad (gas/líquido) [cP]	0,01/0,72	0,72	0,013	0,013	0,013	15,25	0,01/14,1	0,01/13,2	0,013	13,24	0,01/1,8	0,009	0,62	2,45	2,55	17,16



Listado de Equipos

V – 100 Separador Entrada

TC – 100 Columna Contactora

E – 100 Intercambiador de calor gas/glicol

E – 101 Condensador de la Torre Regeneradora TR – 100

V – 101 Tanque Flash

E – 102 Intercambiador de calor glicol rico/glicol pobre

TR – 100 Torre Regeneradora

P – 100A/B Bomba de circulación

F – 101 Filtro canasto

F – 102 Filtro carbón activado

F – 103A/B Filtro canasto

Comentarios



Proyecto: Planta de deshidratación de
gas dulce con TEG

Documento:
GSJ – CD1 – PTG –
BME – 001 – R – A

Rev.: A

Fase: Ingeniería Básica

Fecha de emisión: 13/11/2023

Página 1 de 3

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG

Balance de masa y energía

- ☐ APROBADO
- ☐ APROBADO CON COMENTARIOS
- ☐ RECHAZADO
- ☐ APTO PARA CONSTRUCCIÓN
- ☐ APTO PARA LICITACIÓN
- ☐ APTO PARA COMPRA
- ☐ EMITIR PROXIMA REVISION EN CERO

FIRMA

ACLARACIÓN

FECHA

A	13/11/2023	Aprobación	G.O.	J.C.	J.C.
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ

Número de corriente		1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción del flujo		Gas húmedo	Drenaje V – 100	Gas a TC – 100	Gas seco frío	Gas de salida	TEG rico fondo	TEG expandido	TEG a V – 101
Parámetro									
Fase	–	G – L	L	G	G	G	L	G – L	G – L
Presión	kg/cm ² (g)	60,80	60,80	60,80	60,74	60,74	60,80	3,80	3,80
Temperatura	°C	35,0	35,0	35,0	35,9	37,8	35,7	40,8	43,2
Caudal másico	kg/h	245420,7	177,1	245243,6	244968,3	244968,3	6859,3	6859,3	6859,3
Caudal volumétrico actual	Am ³ /h	4180	0,18	4180	4203	4249	6,2	15,6	15,7
Fracción másica de gas	%	99,93	0	100	100	100	0	0,5	0,5
Densidad (gas/líquido)	kg/m ³	58,7/1002	1002	58,68	58,28	57,65	1107	3,5/1104	3,5/1104
Viscosidad (gas/líquido)	cP	0,01/0,72	0,72	0,013	0,013	0,013	15,25	0,01/14,1	0,01/13,2
Flujo de calor	kJ/kg	- 9,70*10 ⁸	- 2,81*10 ⁶	- 9,67*10 ⁸	- 9,63*10 ⁸	- 9,62*10 ⁸	- 3,95*10 ⁷	- 3,95*10 ⁷	- 3,94*10 ⁷
Capacidad calorífica	kJ/kg°C	2,648	4,307	2,647	2,641	2,633	2,312	2,344	2,355
Entalpía	kJ/kg	- 3952	- 15840	- 3943	- 3931	- 3926	- 5755	- 5755	- 5749

Número de corriente		1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción del flujo		Gas húmedo	Drenaje V – 100	Gas a TC – 100	Gas seco frío	Gas de salida	TEG rico fondo	TEG expandido	TEG a V – 101
Composición másica									
Nitrógeno (N ₂)	%	0,15	0,00	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00
Dióxido de carbono (CO ₂)	%	0,28	0,01	0,28	0,28	0,28	0,01	0,01	0,01
Ácido sulfhídrico (SH ₂)	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Metano (CH ₄)	%	62,33	0,00	62,37	62,44	62,44	0,21	0,21	0,21
Etano (C ₂ H ₆)	%	15,07	0,00	15,08	15,09	15,09	0,13	0,13	0,13
Propano (C ₃ H ₈)	%	14,58	0,00	14,59	14,60	14,60	0,19	0,19	0,19
i – Butano (i – C ₄ H ₁₀)	%	3,16	0,00	3,16	3,17	3,17	0,02	0,02	0,02
n – Butano (n – C ₄ H ₁₀)	%	1,95	0,00	1,95	1,95	1,95	0,01	0,01	0,01
i – Pentano (i – C ₅ H ₁₂)	%	1,12	0,00	1,12	1,12	1,12	0,01	0,01	0,01
n – Pentano (n – C ₅ H ₁₂)	%	0,56	0,00	0,56	0,56	0,56	0,00	0,00	0,00
n – Hexano (n – C ₆ H ₁₄)	%	0,33	0,00	0,34	0,34	0,34	0,00	0,00	0,00
n – Heptano (n – C ₇ H ₁₆)	%	0,29	0,00	0,29	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00
Agua (H ₂ O)	%	0,17	99,99	0,10	0,01	0,01	4,45	4,45	4,45
Glicol (TEG)	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,95	94,95	94,95

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG					Documento: GSJ – CD1 – PTG – BME – 001 – R – A			
						Fecha de emisión: 13/11/2023			
	Fase: Ingeniería Básica					Revisión: A			
						Página 4 de 3			

Agua (H₂O)	%	0,42	4,47	4,47	0,9670	1,07	1,07	1,07	1,06
Glicol (TEG)	%	0,00	95,42	95,42	0,25	98,93	98,93	98,93	98,94

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 1 de 18	

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE GAS DULCE CON TEG

Evaluación Económica

☐	APROBADO
☐	APROBADO CON COMENTARIOS
☐	RECHAZADO
☐	APTO PARA CONSTRUCCIÓN
☐	APTO PARA LICITACIÓN
☐	APTO PARA COMPRA
☐	EMITIR PROXIMA REVISION EN CERO
_____	_____
FIRMA	ACLARACIÓN FECHA

A	13/12/23	Aprobación	G.O.	J.C.	J.C.
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ

ÍNDICE

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 2 de 18	

1	OBJETIVO.....	7
2	ALCANCE.....	7
3	DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.....	7
4	METODOLOGÍA.....	7
5	ESTIMACIÓN DE COSTOS.....	7
5.1	Cálculo del CAPEX.....	8
5.1.1	Costos directos.....	8
5.1.2	Costos indirectos.....	13
5.1.3	Costo de capital total.....	13
5.2	Cálculo del OPEX.....	14
5.2.1	Reposición de TEG.....	14
5.2.2	Parada de Planta.....	14
5.2.3	Consumo de gas combustible en el reboiler.....	14
5.2.4	Costo de operadores.....	15
5.2.5	Costo operativo total.....	15
6	RENTABILIDAD DEL PROYECTO.....	15
6.1	Flujo de caja y pay – off.....	16
6.2	Grado de Apalancamiento Operativo.....	17
6.3	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	18
6.4	Valor Actual Neto (VAN).....	18
7	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	18
8	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	22

1 OBJETIVO

El presente documento tiene como objetivo detallar el análisis económico de la Planta de Deshidratación de Gas Natural con TEG ubicada en Yacimiento Cerro Dragón.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 3 de 18	

2 ALCANCE

El alcance de este documento contempla la estimación de costos con su respectiva diferenciación entre gastos de capital (CAPEX) y gastos operativos (OPEX), el estudio de rentabilidad del proyecto a través de la determinación del flujo de caja y el cálculo del periodo de repago, grado de apalancamiento y, principalmente, la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN). A partir de estas últimas dos variables, se realiza el análisis de sensibilidad frente a potenciales cambios de factores que pueden llegar a darse en distintos escenarios económicos.

3 DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

- Bases de diseño del Proyecto: GSJ – CD1 – PTG – BD – 001 – R – B.
- Listado de equipos: GSJ – CD1 – PTG – LE – 001 – R – A.
- Hoja de datos de la unidad TC – 100: GSJ – CD1 – PTG – HD – 001 – R – A.
- Diagrama de flujo de proceso: GSJ – CD1 – PTG – DFP – 001 – R – A.

4 METODOLOGÍA

Para el estudio económico del proyecto se toma como referencia la metodología y criterios presentados en los libros *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* de Peters, M. y Timmerhaus, K. y *Product and Process Design Principles* de Seider, W., Seader, J. y Lewin, D. Asimismo, para contrastar las estimaciones de costos calculados a partir de la bibliografía, se hace uso de dos páginas webs: Matches y McGraw Hill – Education, esta última tiene como base de datos la información del libro de los autores Peters y Timmerhaus.

5 ESTIMACIÓN DE COSTOS

Para una mejor comprensión y detalle en el estudio económico del Proyecto, se realizará una diferenciación entre los distintos costos presentes en una planta de procesamiento de gas de este tipo. En cuanto a la estimación de estos, se actualizarán los valores de referencia de las fuentes bibliográficas considerando un IPC (Índice de Precios al Consumidor) de 3% interanual, referenciando, aproximadamente, la inflación promedio de las potencias mundiales en los últimos 20 años. La unidad monetaria utilizada en el estudio económico es el dólar estadounidense (\$).

5.1 Cálculo del CAPEX

Los CAPEX son gastos de capital asociados a costos de adquisición, mantenimiento, desarrollo y/o mejora de activos fijos. En términos generales, se refieren a los costos de

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 4 de 18	

inversión que tienen como fin comprometer recursos en el presente esperando obtener beneficios en el futuro. Este tipo de gastos pueden depreciarse con el tiempo. Para el análisis realizado en el documento, se considerará una depreciación de los bienes del tipo lineal.

5.1.1 Costos directos

Los costos directos son los que se pueden medir y asignar a un producto en particular, conociendo, de esta forma, el valor unitario del mismo. Están relacionados con la producción y el producto, siendo fácilmente identificables y se asignan de manera inequívoca al objetivo de coste. A continuación, se detallan los porcentajes de costos directos que se considerarán.

Tabla 50- Distribución estimada de los costos directos ²¹

Costo directo	Porcentaje [%]
Equipos de proceso	30
Instalación de equipos	8
Instrumentación y control	4
Instalación de cañerías	12
Instalación eléctrica	2
Materiales de estructuras	10
Instalaciones de servicios	6
Mejoras en el terreno	2
TOTAL	74

La estimación de los costos de cada uno de los equipos se realizará por medio de gráficos de curvas de costos extraídos del reporte final *Process Equipment Cost Estimation* (2002) presentado por el Departamento de Energía de Estados Unidos. A partir del gasto total actualizado al año 2023 de las unidades de proceso, se aplicarán los porcentajes y, de esta forma, se determinará los otros costos directos.

En la Tabla 51 se presentan los valores calculados y la cuota de depreciación anual lineal de cada una de las unidades. Como criterio para definir la vida útil de cada unidad, se tomó un tiempo estándar de 20 años para los equipos sometidos a condiciones operativas normales y 15 años para los que se encuentran sujetos a escenarios más exigentes (mayores presiones y/o temperaturas, caudales de operación elevados, etc.). En cuanto al valor residual/de reventa, se considera un 20% del valor inicial de cada bien.

- Separador vertical bifásico de entrada V – 100 con volumen de 10,4m³ (2750 galones).

²¹ Porcentajes de costos directos recomendados en el libro *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (1991) [sección Estimation Cost – página 167]

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 5 de 18	

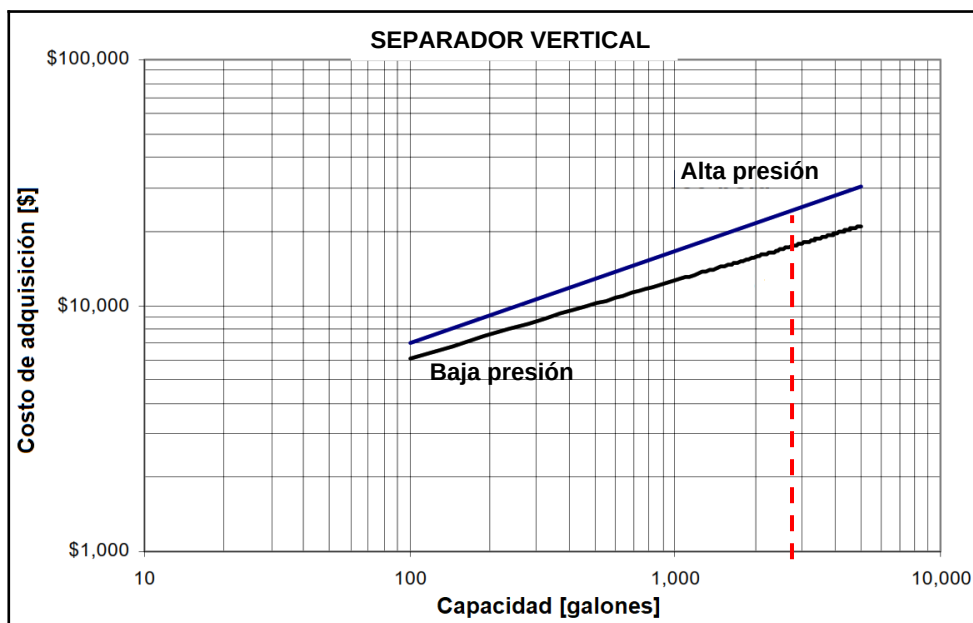


Gráfico 9- Costo estimado del separador de entrada V – 100

- Torre contactora TC – 100 de 10 platos perforados y diámetro 2,6 metros (8,5 pies).

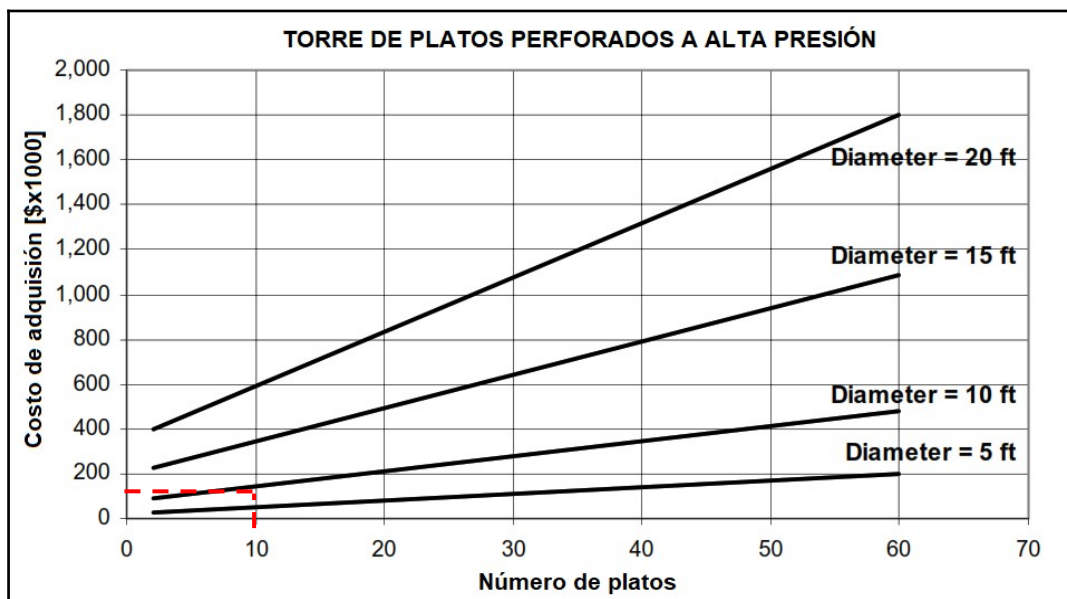


Gráfico 10- Estimación de costo de la columna de absorción TC - 100

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 6 de 18	

- Intercambiadores de calor de tubo y coraza: gas/glicol AEL E – 100 (650 ft²) y glicol/glicol NEN E – 102 (865ft²)

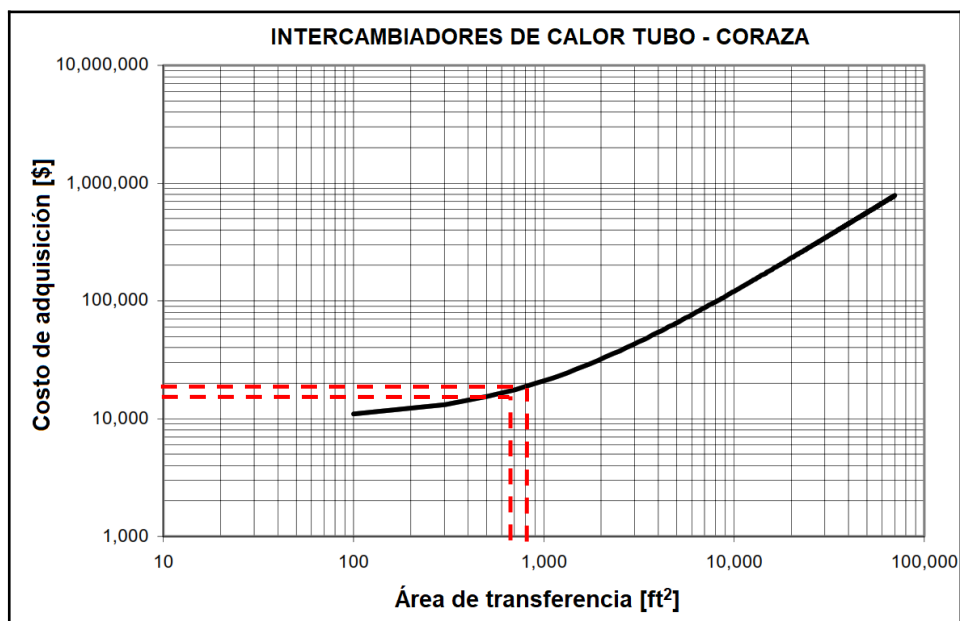


Gráfico 11- Costos estimados de los intercambiadores de calor E – 100 y E – 102

- Separador flash horizontal a baja presión V – 101, capacidad de 2,7m³ (710 galones).

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 7 de 18	

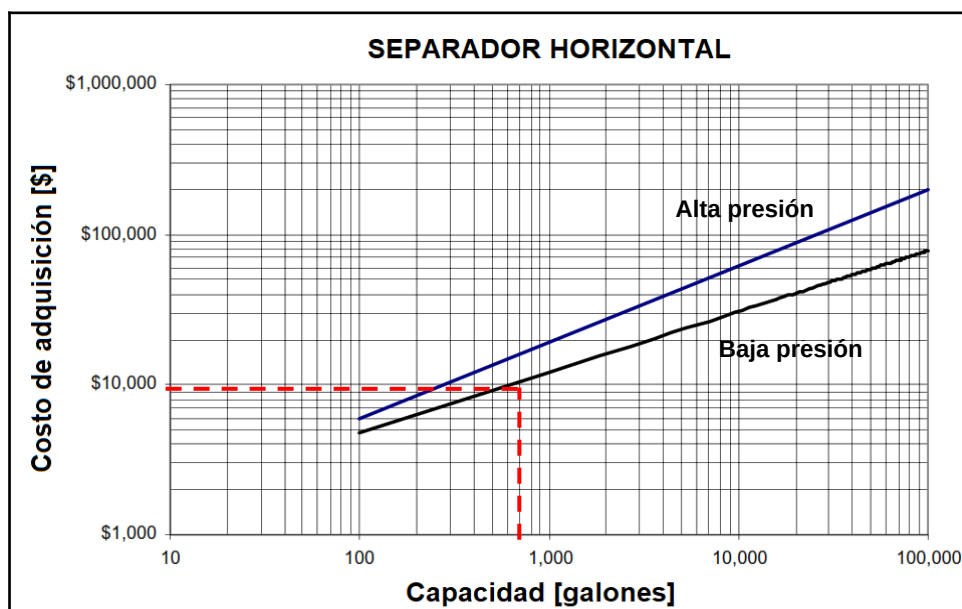


Gráfico 12- Cálculo de costo del tanque de venteo V – 101

- Torre atmosférica regeneradora de glicol TR – 100 con altura de relleno de 3 metros (9,8 pies) y diámetro de 0,35 metros (1,15 pies).

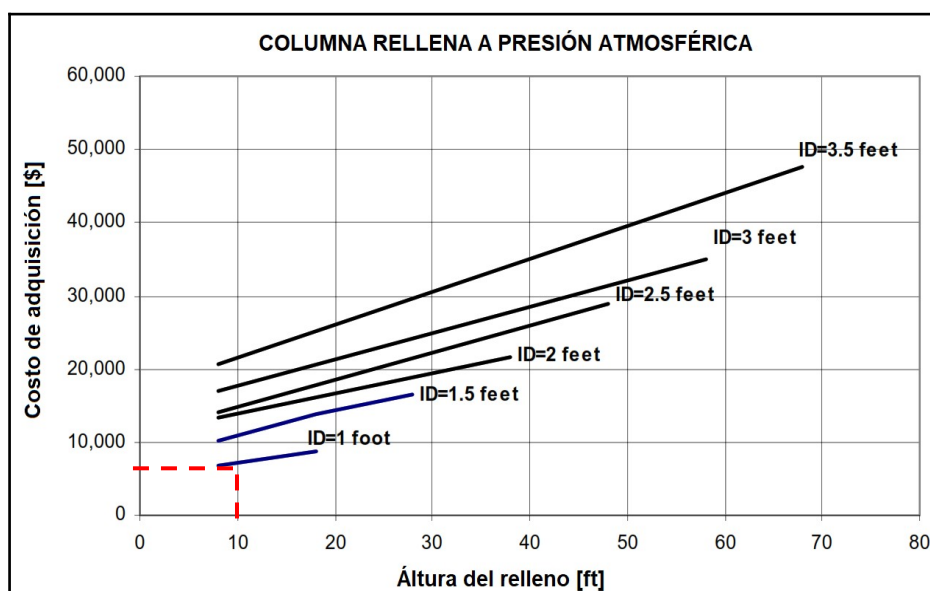


Gráfico 13- Estimación del costo de la columna de regeneración de glicol TR – 100

- Reboiler de tubo de fuego R – 100 con calor de transferencia de 440.670 kcal/h (1,75 MMBTU/h)

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 8 de 18	

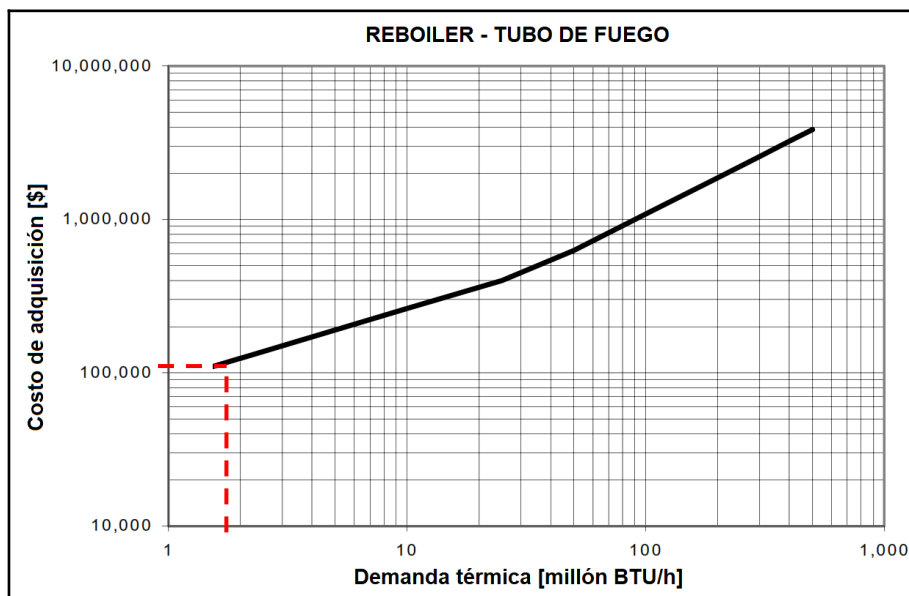


Gráfico 14- Curva de costo correspondiente al reboiler tipo tubo de fuego R – 100

- Bombas de desplazamiento positivo P – 100 A/B con capacidad de circulación de glicol de 6,3 m³/h (28 galones/minuto)

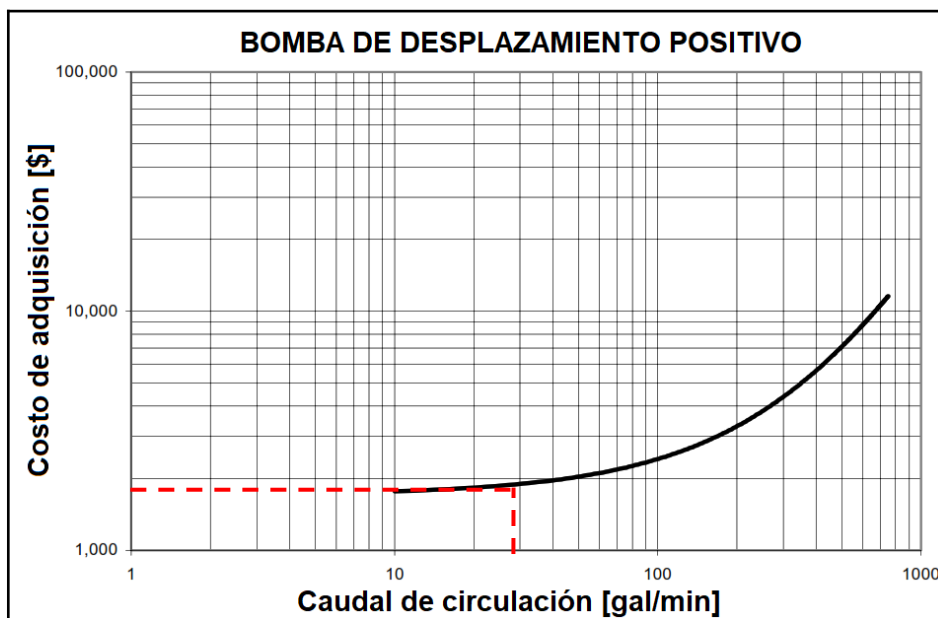


Gráfico 15- Estimación del costo de cada bomba de desplazamiento positivo P – 100 empleadas

Tabla 51- Costos actualizados y depreciación de los equipos utilizados en la Planta

Equipo	Costo	Costo	Vida útil	Valor	Depreciación
--------	-------	-------	-----------	-------	--------------

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 9 de 18	

	(2002)	(2023)	[años]	Residual	anual
Separador V – 100	\$ 25.000	\$ 40.750	15	\$ 8.150	\$ 2.173
Columna contactora TC – 100	\$ 180.000	\$ 293.400	20	\$ 58.680	\$ 11.736
Intercambiador E – 100	\$ 18.000	\$ 29.340	15	\$ 5.868	\$ 1.565
Tanque flash V – 101	\$ 10.000	\$ 16.300	15	\$ 3.260	\$ 869
Torre regeneradora TR – 100	\$ 7.000	\$ 11.410	20	\$ 2.282	\$ 456
Condensador glicol E – 101 ²²	\$ 3.500	\$ 5.705	20	\$ 1.141	\$ 228
Reboiler R – 100	\$ 120.000	\$ 195.600	15	\$ 39.120	\$ 10.432
Intercambiador E – 102	\$ 20.000	\$ 32.600	15	\$ 6.520	\$ 1739
Bombas P – 100 A/B	\$ 3.800	\$ 6.195	20	\$ 1.239	\$ 249
TOTAL	\$ 387.300	\$ 631.300	–	–	\$ 29.447/año

Tabla 52- Gastos CAPEX de costo directo

Costo directo	Porcentaje [%]	Gasto
Equipos de proceso	30	\$ 631.300,0
Instalación de equipos	8	\$ 168.346,7
Instrumentación y control	4	\$ 84.173,3
Instalación de cañerías	12	\$ 252.520,0
Instalación eléctrica	2	\$ 42.086,7
Materiales de estructuras	10	\$ 210.433,3
Instalaciones de servicios	6	\$ 126.260,0
Mejoras en el terreno	2	\$ 42.086,7
TOTAL	74	\$ 1.557.206,7

5.1.2 Costos indirectos

Los costos indirectos afectan el proceso producción de forma global y, por su naturaleza, no se pueden asignar directamente a un solo producto sin el uso de un criterio económico. En general, estos costos hacen referencia al trabajo previo a la instalación de los equipos de planta. Seguidamente, se detalla los porcentajes recomendados por autores y los gastos correspondientes.

²² Se considera un 50% del valor de compra de la unidad TR – 100 para el costo del condensador de glicol E – 101 ubicado en la parte superior de este equipo.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 10 de 18	

Tabla 53- Distribución y valor estimado de los costos CAPEX indirectos ²³

Costo indirecto	Porcentaje [%]	Gasto
Ingeniería y supervisión	8	\$ 168.346,7
Construcción y contratista	14	\$ 294.606,7
Plan de contingencia	4	\$ 84.173,3
TOTAL	26	\$ 547.126,7

5.1.3 Costo de capital total

Los costos CAPEX totales van a venir dado como la suma de los costos directos e indirectos. Al existir un alto grado de incertidumbre en la estimación de los costos, se toma como criterio un 100% de margen sobre el valor del CAPEX, esto garantiza un estudio del tipo conservador, lo que, a su vez, permite disminuir la influencia de las desviaciones en las variables reales.

$$CAPEX\ total = (costos\ directos + costos\ indirectos) * 2$$

Ecuación 33- Determinación de los costos totales asociados a gastos CAPEX

- Costos CAPEX totales = \$ 4.208.666,7

5.2 Cálculo del OPEX

Los costos de operación u OPEX son gastos permanentes y necesarios para el funcionamiento del sistema. Se caracterizan por estar aparentados a las actividades rutinarias en la planta. Entre estas se destacan: caudal de circulación de TEG, mantenimiento de los equipos, uso de gas combustible en el reboiler y costo de operadores. La planta se anexará a la red de distribución eléctrica ya existente en la PTG por lo que el consumo de energía, al estar ya estipulado, queda fuera del alcance de este documento.

5.2.1 Reposición de TEG

Es conveniente considerar un determinado caudal de reposición de glicol fresco y con una pureza mayor del 99,5% en masa. Como criterio, se considera un agregado constante del 0,5% del caudal normal de operación de TEG.

Tabla 54- Costo operativo anual asociado a la reposición de TEG fresco

Variable	Magnitud
Caudal de TEG de reposición	33 kg/h
Costo de TEG >99,5% m/m ²⁴	\$ 1.250/ton
Costo anual por reposición TEG	\$ 361.350,0/año

²³ Porcentajes de costos indirectos recomendados en el libro *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (1991) [sección Estimation Cost – página 167]

²⁴ Precio de lista del proveedor EAPPEARL CHEM.

https://es.made-in-china.com/co_eapearlchem/product_Chemical-Teg-Tri-Ethylene-Glycol-Triethylene-Glycol-Manufacturers-Price_uoyeyheoig.html

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 11 de 18	

5.2.2 Parada de Planta

Se prevé una parada técnica por año. La misma tiene como objetivo efectuar tareas de mantenimiento, limpieza, reparaciones generales, sustituciones de piezas y rediseños de máquinas (overhaul). Para esta situación se proyecta un gasto operativo de \$200.000/año.

5.2.3 Consumo de gas combustible en el reboiler

Si bien parte de la demanda energética del reboiler R – 100 es satisfecha por el gas obtenido en el venteo de la corriente de glicol dentro de la unidad V – 101, esta alimentación solo representa el 6,3% de la cantidad de energía térmica necesaria. Por lo tanto, se debe incorporar gas combustible externo para garantizar el efecto de regeneración del glicol a través del calor aportado por el tubo de fuego. Suponiendo un precio de gas de \$2,6/MMBTU²⁵, se puede estimar el costo asociado a esta compra.

Tabla 55- Estimación del gasto OPEX por consumo de gas combustible

Variable	Magnitud
Requerimiento energético del reboiler	42 MMBTU/día
Aporte por corriente interna de gas	2,65 MMBTU/día
Costo anual por consumo de gas combustible	\$ 37.343,1/año

5.2.4 Costo de operadores

Por la capacidad de la planta y, a la vez, el alto grado de automatización del proceso, se cree necesario emplear 8 trabajadores con un salario mensual promedio de \$5000. Esto implica un gasto anual de \$480.000.

5.2.5 Costo operativo total

El gasto OPEX total es la suma de los costos operativos detallados anteriormente.

Tabla 56- Evaluación de los gastos OPEX

Costo operativo	Gasto anual
Caudal de TEG de reposición	\$ 361.350,0/año
Parada de Planta	\$ 200.000,0/año
Consumo de gas combustible	\$ 37.343,1/año
Salario de trabajadores	\$ 480.000,0/año
TOTAL	\$ 1.078.693,1/año

6 RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Para la evaluación del flujo de caja y las medidas de rentabilidad se considerará un horizonte de estudio de 5 años. Este tiempo, relativamente corto, se elige con el fin de simplificar el análisis evitando el impacto de factores externos como: reinversiones de gran

²⁵ Precio promedio de venta de gas natural estándar registrado en el año 2023.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 12 de 18	

erogación económica, caídas en la curva de explotación del yacimiento, depletación de los pozos productores, etc. En cuanto al financiamiento del proyecto, al tratarse de una ampliación de instalaciones ya existentes, se considera que se financia el 100% con capital propio de la empresa. Con relación al cálculo del flujo de fondos se considera una tasa de impuestos del 25% y una tasa de corte, deseada por los accionistas, del 35%.

Para poder estimar la ganancia en virtud del desarrollo del proyecto, se supone un precio de venta del gas despachado. Este es un valor ficticio ya que el gas que sale de la planta, aun cuando cumple con la especificación de humedad y no contiene compuestos ácidos, no ha sido tratado en su totalidad, por lo tanto, no es apto para su consumo final. Teniendo presente este concepto, se fija como precio de venta del gas despachado un 30% de su precio de venta final (\$2,6/MMBTU). Este porcentaje, pese a que tiende a parecer bajo, tiene sentido ya que una gran proporción del valor agregado al producto se lo dan los tratamientos aguas abajo, fundamentalmente, el control de punto rocío, el fraccionamiento en Turbo Expander y los procedimientos de licuefacción.

Tabla 57- Datos de producción y precio de venta fijados

Caudal de gas despachado	6.749.312	STDm³/ día
Precio de venta de gas natural	\$ 2,6	/MMBTU
Precio de venta del gas que sale de la planta	\$ 0,65	/MMBTU

6.1 Flujo de caja y pay – off

El flujo de caja representa la acumulación neta de activos en un determinado periodo, constituyendo un indicador fundamental para evaluar la liquidez del proyecto. Para este estudio en particular, se destaca desde el año cero (inversión inicial) hasta el quinto año de producción. La determinación matemática del flujo de fondos se detalla en la Ecuación 34. Se debe tener presente el término de depreciación dado que, pese a no involucrar erogaciones, influye en el cálculo de los impuestos porque son costos que pueden deducirse de la ganancia.

$$F = (1 - t) * (S - C) + t * D$$

Ecuación 34- Cálculo del flujo de activos

Siendo,

F: flujo de caja [\$ /año]

S: ingresos anuales por gas despachado [\$ /año]

C: costos operativos anuales (OPEX) [\$ /año]

D: suma de las cuotas de depreciación anual [\$ /año]

t: tasa de impuestos

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 13 de 18	

Respecto al periodo de repago (pay – off) es un criterio muy simple y más de riesgo que de rentabilidad. Indica al cabo de cuánto tiempo de la puesta en marcha se recupera el capital invertido. Se puede determinar de forma muy sencilla, graficando el flujo de fondos acumulado versus el tiempo de análisis.

Tabla 58- Flujo de caja proyectado a 5 años

	Año de proyecto					
	0	1	2	3	4	5
Flujo de caja	- \$4.208.666,7	\$3.091.614,3	\$3.091.614,3	\$3.091.614,3	\$3.091.614,3	\$3.091.614,3
Flujo de caja acumulado	- \$4.208.666,7	- \$1.117.052,4	\$1.974.562,0	\$5.066.176,3	\$8.157.790,6	\$11.249.404,9

Rápidamente, se puede establecer que el flujo de caja acumulado pasa de pérdida (negativo) a ganancia (positivo) entre los años 1 y 2, por lo que el periodo de recuperación del capital se encontrará en este intervalo. A través del Gráfico 16, se determina que el pay – off es de 1,4 años.



Gráfico 16- Determinación gráfica del periodo de repago (pay – off)

6.2 Grado de Apalancamiento Operativo

El Grado de Apalancamiento Operativo (GAO) permite analizar la sensibilidad de los beneficios de la empresa ante cambios en el nivel de ventas o producción, mostrando como los costos fijos y variables afectan al resultado y la capacidad para incrementar beneficios.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 14 de 18	

El GAO sirve para tomar decisiones empresariales de costos y fijación de precios. Cuanto mayor sean los costos fijos, mayor será el índice resultante del apalancamiento operativo. Esta situación puede conducir a mayores ganancias en momento de crecimiento de ventas, pero también puede aumentar el riesgo en épocas de caídas productivas. Debido a la inestabilidad característica de la industria petrolera y la economía en Argentina, se recomienda para el proyecto un índice cercano a 1.

$$GAO = \frac{\text{margen de contribución}}{\text{utilidades}} = \frac{(\text{precio venta} - \text{costo variable}) * \text{producción}}{\text{ingresos} - \text{costo fijos}} = 1,3$$

Ecuación 35- Expresión para la determinación del índice de Apalancamiento Operativo

Este GAO de 1,3 se traduce en qué si el precio de venta o la cantidad de gas enviada aguas abajo aumenta en 1%, las utilidades de la empresa crecen en un 1,3%.

6.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es el método más usado para medir la rentabilidad. Se interpreta como la máxima tasa de interés que se pagaría sobre fondos para financiar la Planta, si el capital interno invertido se paga directamente con los retornos de la producción, sin perder ni ganar. Es un indicativo del rendimiento global del proyecto, se desea que sea lo más alto posible y, obviamente, mayor a la tasa de corte establecida. En este caso, la TIR es de 54%.

6.4 Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es el valor actual del flujo neto de los egresos e ingresos actualizados a una tasa de corte, considerada por los inversores como mínima. Es una herramienta de determinación directa de la viabilidad del proyecto.

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

Ecuación 36- Determinación del Valor Actual Neto (VAN)

Siendo,

F_j : flujo de fondos anual sobre año j [\$]

i : tasa de corte

I : inversión inicial (CAPEX) [\$]

El VAN determinado es \$ 3.071.251. En consecuencia, el proyecto será rentable dentro de las simplificaciones que se han tenido en cuenta.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 15 de 18	

7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Teniendo en consideración la fluctuación en el precio del gas, el dinamismo propio de la industria y la volatilidad de la economía nacional es necesario realizar un análisis de sensibilidad sobre las principales medidas de rentabilidad. Posteriormente, se expone el estudio de sensibilidad sobre la TIR y la VAN, variando en un margen de -20 a 20% el precio de venta del gas (equivale a considerar cambios en la producción), los gastos de capital CAPEX y los gastos operativos OPEX.

Esta evaluación complementa el estudio técnico – económico del proyecto ya que permite definir las variables controlantes, establecer el cambio que sufre la solución del problema al variar ciertos datos y determinar los límites de variación de estos parámetros tal que no se llegue a cambios indeseados en los resultados.

Para una correcta visualización de las respuestas, se construye los *Spider – diagrams* donde en ordenada se tiene la medida de rentabilidad y en abscisa el porcentaje de variación de la variable elegida. La pendiente del gráfico muestra el grado de sensibilidad.

Tabla 59- Análisis de sensibilidad de la TIR y el VAN respecto a cambios en el precio de venta del gas

Precio de venta del gas		TIR	VAN
Variación	Valor [\$/MMBTU]		
- 20%	2,08	27%	- \$ 1.115.419
- 16%	2,18	33%	- \$ 278.085
- 12%	2,29	39%	\$ 559.249
- 8%	2,39	44%	\$ 1.396.583
- 4%	2,50	49%	\$ 2.233.917
0%	2,60	54%	\$ 3.071.251
4%	2,70	59%	\$ 3.908.585
8%	2,81	64%	\$ 4.745.919
12%	2,91	69%	\$ 5.583.253
16%	3,02	73%	\$ 6.420.587
20%	3,12	78%	\$ 7.257.922

Tabla 60- Análisis de sensibilidad en función de los gastos CAPEX

Gastos CAPEX		TIR	VAN
Variación	Valor		
- 20%	\$ 3.366.933	78%	\$ 5.781.600
- 16%	\$ 3.535.280	72%	\$ 5.239.530
- 12%	\$ 3.703.627	67%	\$ 4.697.460
- 8%	\$ 3.871.973	63%	\$ 4.155.391
- 4%	\$ 4.040.320	58%	\$ 3.613.321

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 16 de 18	

0%	\$ 4.208.667	54%	\$3.071.251
4%	\$ 4.377.013	50%	\$ 2.529.181
8%	\$ 4.545.360	47%	\$ 1.987.112
12%	\$ 4.713.707	43%	\$ 1.445.042
16%	\$ 4.882.053	40%	\$ 902.972
20%	\$ 5.050.400	37%	\$ 360.902

Tabla 61- Cambios en TIR y VAN a partir de variaciones en los costos OPEX

Gastos OPEX		TIR	VAN
Variación	Valor [\$/año]		
- 20%	\$ 862.954	59%	\$ 3.941.239
- 16%	\$ 906.102	58%	\$ 3.767.241
- 12%	\$ 949.250	57%	\$ 3.593.244
- 8%	\$ 992.398	56%	\$ 3.419.246
- 4%	\$ 1.035.545	55%	\$ 3.245.249
0%	\$ 1.078.693	54%	\$3.071.251
4%	\$ 1.121.841	53%	\$ 2.897.254
8%	\$ 1.164.989	52%	\$ 2.723.256
12%	\$ 1.208.136	51%	\$ 2.549.258
16%	\$ 1.251.284	50%	\$ 2.375.261
20%	\$ 1.294.432	49%	\$ 2.201.263

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 17 de 18	

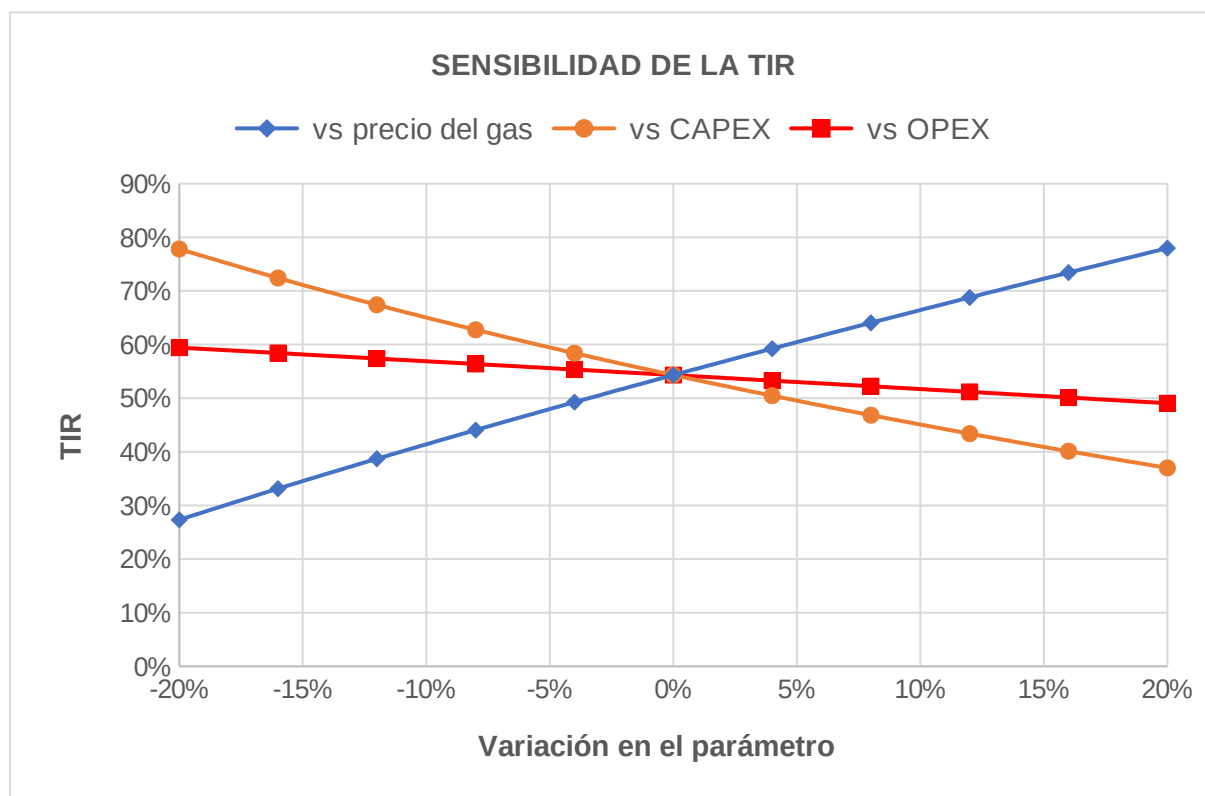


Gráfico 17- Spider diagram de la TIR respecto al cambio en los parámetros seleccionados

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 18 de 18	

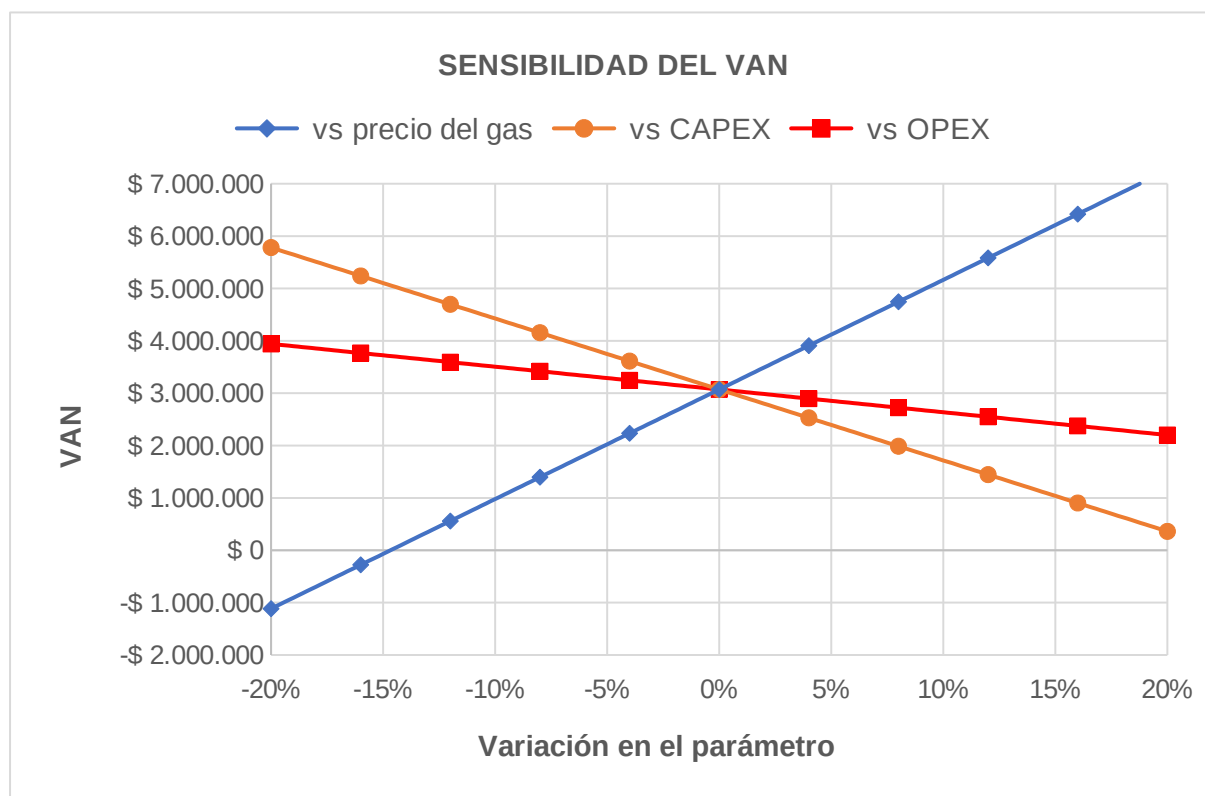


Gráfico 18- Spider diagram del VAN en función de los cambios en los datos

Los gastos CAPEX y OPEX, a diferencia del precio de venta de gas, presentan pendientes decrecientes ya que una variación negativa en los mismos implica una situación favorable. A su vez, a partir de los gráficos, se puede precisar que las medidas de rentabilidad son más sensibles a la variación en el precio de venta de gas ya que, en ambos casos, es la recta de mayor pendiente. Asimismo, es la única de las variables que da valores no deseados (TIR menor a la tasa de corte (35%) y VAN negativo). Las fluctuaciones en los gastos CAPEX son la segunda variable en importancia, teniendo una influencia similar en los dos índices de rentabilidad.

A modo de conclusión y considerando lo antes mencionado, los recursos técnicos y económicos de la empresa deberían estar destinados a maximizar el precio de venta del gas. Si bien esta no es una variable controlable por la compañía, si se puede optimizar la producción de gas deshidratado en la Planta. Aumentar este parámetro tendrá un efecto positivo directo sobre las utilidades obtenidas, proporcional al que se tendría ante un hipotético incremento en el precio de venta del gas natural. Sin embargo, mayor capacidad de producción implica mayores gastos de capital (CAPEX) y operativos (OPEX) pero, como se observó en el análisis de sensibilidad, el beneficio debería imponerse en el resultado final.

	Proyecto: Planta de deshidratación de gas dulce con TEG	Documento: GSJ – CD1 – PTG – EE – 001 – R – A	Rev.: A
	Fase: Ingeniería Básica	Fecha de emisión: 13/12/2023	
		Página 19 de 18	

8 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Peters, M. y Timmerhaus, K. (1991). Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Cuarta Edición. Editorial McGraw Hill – Estados Unidos.
- [2] Seider, W., Seader, J. y Lewin, D. (2003). Product & Process Design Principles. Segunda Edición. Editorial Wiley – Estados Unidos.
- [3] *Matches* (2014). Process Equipment Cost Estimates. Página web. <https://www.matche.com/equipcost/Default.html>
- [4] *McGraw Hill – Education. Cost Estimator.* Página web. <https://www.mhhe.com/engcs/chemical/peters/data/ce.html>
- [5] Santana, E. (2002). Ingeniería Económica para Ingenieros Químicos. Universidad Tecnológica de la Habana. <https://www.researchgate.net/publication/321038156>
- [6] Lyons, J. y White, C. (enero, 2002). Process Equipment Cost Estimation. Departamento de Energía de Estados Unidos. DOE/NETL-2002/1169
- [7] Flores, J. (et al.) (2022). Planta de deshidratación de gas con TEG [proyecto final, Instituto Tecnológico de Buenos Aires]. Repositorio Institucional ITBA. <https://ri.itba.edu.ar/entities/proyecto%2520final%2520de%2520grado/8d4dd6aa-e84c-440c-bfcc-aa4748abea8f/full>
- [8] Garriga, M. Teoría de medidas de rentabilidad (2023). Ficha Interna de cátedra. Optimización. Facultad de Ingeniería – UNPSJB.