


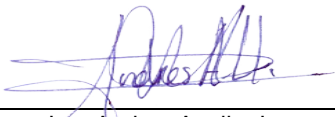

	TIPO DE DOCUMENTO: <b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	CÓDIGO DEL DOCUMENTO.: <b>IPE-2025-2977-F-MC-001</b>
	PROYECTO: <b>INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA 4TA Y 5TA UCG EN LA E°C° COLPA</b>	HOJA:  1 de 16
	TÍTULO:  <b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	

## ÍNDICE DE REVISIONES

Fecha	Revisión	Observaciones
08-09-2025	A	Para Revisión del Cliente

 <b>Ing. Kevin Vidovic E.</b> <b>Ingeniero de Proyecto</b> <b>ELABORADO POR</b>	 <b>Ing. Mileidy Severiche A.</b> <b>Especialista de Procesos</b> <b>REVISADO POR</b>	 <b>Ing. Andres Aguilar L.</b> <b>Gerente de Proyecto</b> <b>APROBADO POR</b>
<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE YPFB TRANSPORTE S.A. Y NO PODRÁ SER REPRODUCIDO O UTILIZADO PARA CUALQUIER FINALIDAD DIFERENTE DE AQUELLA PARA LA QUE HA SIDO SUMINISTRADO.</small>		

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>ipe-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA: 2 de 16
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	REV: <b>A</b>

## ÍNDICE

<b>1. OBJETIVO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. ALCANCE.....</b>	<b>3</b>
<b>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA, NORMAS Y ABREVIATURAS.....</b>	<b>3</b>
3.1. DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	3
<b>4. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>4</b>
<b>5. COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL.....</b>	<b>5</b>
<b>6. SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE.....</b>	<b>5</b>
<b>7. DEMANDA DE GAS COMBUSTIBLE.....</b>	<b>7</b>
<b>8. VERIFICACIÓN DE VÁLVULAS REGULADORAS .....</b>	<b>8</b>
<b>9. VERIFICACIÓN DE FORMACIÓN DE HIDRATOS.....</b>	<b>8</b>
<b>10. SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO .....</b>	<b>10</b>
10.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO .....	11
10.1.1. CÁLCULO DE NPSHA.....	11
10.1.2. CÁLCULO DE LA CABEZA DIFERENCIAL TOTAL.....	12
10.1.3. CÁLCULO DE PRESIÓN DE DESCARGA .....	12
10.1.4. POTENCIA HIDRÁULICA.....	13
10.1.5. POTENCIA MECÁNICA.....	13
<b>11. RESULTADOS .....</b>	<b>14</b>
<b>12. CONCLUSIONES .....</b>	<b>15</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>16</b>
ANEXO 1 .....	16
ANEXO 2 .....	16
ANEXO 3 .....	16
ANEXO 4 .....	16

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>ipe-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA: 3 de 16
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	REV: <b>A</b>

## 1. OBJETIVO

El objetivo del presente documento es realizar la verificación de los equipos o sistemas auxiliares existentes de la Estación Colpa considerando la implementación del UCG-04 y UCG-05.

## 2. ALCANCE

El alcance del documento cubre los siguientes puntos:


- Verificar el nuevo caudal requerido en el sistema de gas combustible y gas de arranque.
- Verificar el funcionamiento correcto de las válvulas reguladoras existentes
- Verificar la formación de hidratos en las etapas de regulación
- Verificar la bomba de agua de enfriamiento (P-100)

## 3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA, NORMAS Y ABREVIATURAS

### 3.1. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

A continuación, se detalla la documentación de referencia asociada a este documento:

<b>[Ref. 1.]</b>	ipe-2025-2977-G-MD-003	Bases de Diseño
<b>[Ref. 2.]</b>	BOL-E30-PR-00-03-01 de 02	Diagramas de Flujo de Procesos PFD
<b>[Ref. 3.]</b>	BOL-E30-PR-00-03-02 de 02	Diagramas de Tuberías e Instrumentación P&ID
<b>[Ref. 4.]</b>	BOL-E30-ME-00-08-01 de 01	Maqueta 3D Ing. Básica

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>IPE-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	4 de 16
		REV:
		<b>A</b>

#### 4. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La estación de compresión Colpa, está ubicada en el municipio de Colpa Bélgica, provincia Sara del departamento de Santa Cruz, con las siguientes coordenadas UTM: 471208 E y 8062399 S.

**Figura 1.** Ubicación Geográfica - E°C° Colpa



**Tabla 1.** Condiciones del Sitio

Temperatura ambiente mínima <sup>(1)</sup> :	15 °C
Temperatura ambiente máxima <sup>(1)</sup> :	48 °C
Elevación aproximada:	340 msnm
Humedad relativa máxima:	96%
Humedad relativa promedio:	45%
Humedad relativa mínima:	28%
Precipitación pluvial promedio:	167 mm
Velocidad media del viento:	14.5 km/h
Vientos predominantes:	N-O, S-E
Tipo de terreno	Arcilloso
<b>Notas:</b>	
1) Datos históricos registrados de los últimos años	

**Fuente:** SENAMHI

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>IPE-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	5 de 16
		REV:
		<b>A</b>

## 5. COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL

La composición referencial del gas a la entrada de la E°C° Colpa es la siguiente:

**Tabla 2.** Composición del Gas Natural


Compuesto	%
N2	1,45
CO2	0,018
CH4	87,44
C2H6	8,012
C3H8	2,88
iC4H10	0,062
nC4H10	0,097
iC5H12	0,014
nC5H12	0,0098
C6H14+	0,0073
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Gravedad Especifica</b>	<b>0,659</b>
<b>Poder Calorífico (BTU/PC)</b>	<b>1124,7</b>

**Fuente:** Bases de Diseño, Ref. 1

## 6. SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE

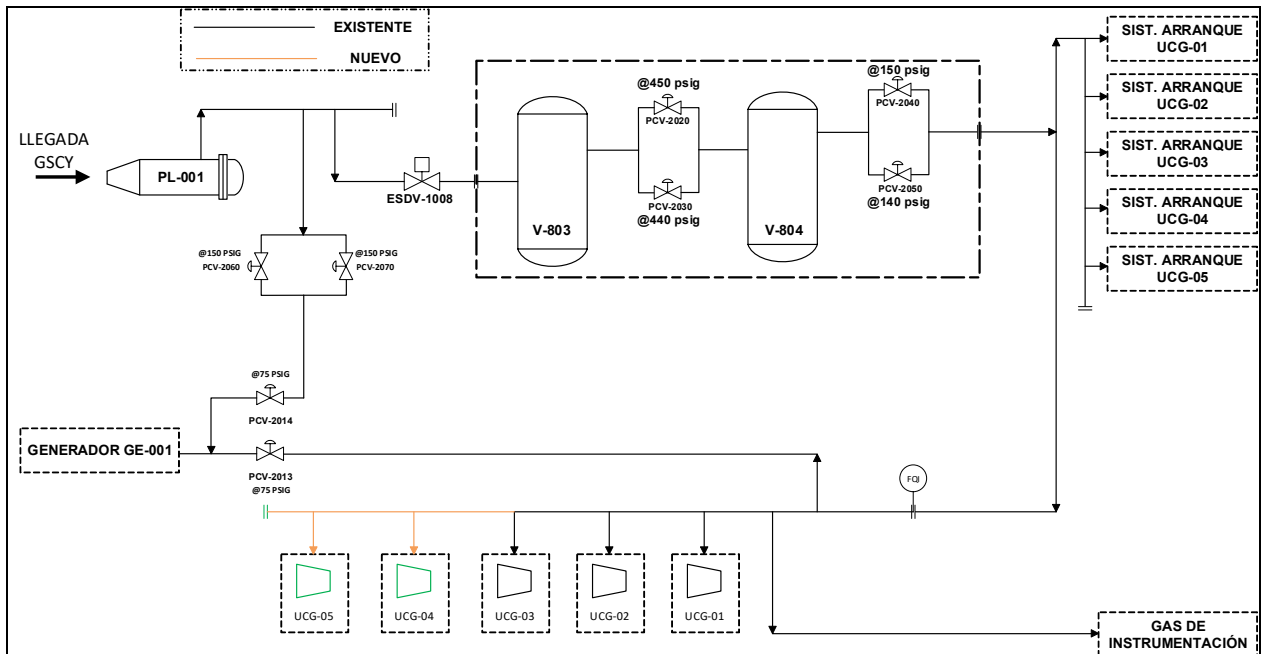
El suministro de gas de servicio en la Estación de Compresión Colpa (ECCo), proviene de la línea 16"-0.844-B(G-6)-1020 que deriva del manifold del GSCY; para llegar al cuadro de regulación o Skid de Regulación presenta 2 vías, la primera y principal es la que pasa por el Filtro F-100 con la línea de Ø: 12", una vez saliendo del F-100, deriva una línea de 2"-0.218-B-(G-6)-1043 a través de la válvula ESDV-1008, la 2da opción es el Bypass secundario al Filtro F-100, que sale de la misma línea de Ø: 12" anteriormente mencionada, por lo que nueva línea de Ø: 2" y que también es controlada por otra válvula ESDV-1007.

El skid de regulación de gas combustible recibe el suministro de gas colectado de las dos válvulas ESDV-1007 y ESDV-1008, ahora bien, reduce la presión de gas en dos etapas; el gas colectado ingresa al scrubber de entrada (V-803), donde se tiene una presión


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>IPE-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	6 de 16
		REV:
		<b>A</b>

aproximada de 800 psig, en una primera etapa regula por dos ramales paralelos (un ramal de stand-by) a 450 psig (PCV-2020) y 445 psig (PCV-2030), a continuación el gas regulado ingresará al filtro coalescente (V-804) a continuación está la segunda etapa de regulación donde se reduce la presión en otros dos ramales paralelos (un ramal de stand-By y regula la presión a 150 psig (PCV-2040) y 145 psig (PCV-2050) respectivamente cada ramal.

**Figura 2.** Esquema general del sistema de gas combustible.



**Fuente:** Elaboración Propia.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>IPE-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA: 7 de 16
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	REV: <b>A</b>

## 7. DEMANDA DE GAS COMBUSTIBLE

En la siguiente tabla se describen los consumos requeridos de gas de servicio combustible:


**Tabla 3.** Consumos del sistema de gas combustible.

SISTEMA		Consumo de gas de servicio	CANTIDAD COMPONENTE	TOTAL
		SCFH		(SCFH)
Existente	Generador de energía eléctrica auxiliar	766,85	1	766,85
	Válvulas ESDV's	0,15	15	2,25
	Válvulas EBDV's	0,15	3	0,45
	Válvula SDV	0,15	2	0,3
	UCG-01	10602	1	10602
	UCG-02	5365	1	5365
	UCG-03	10602	1	10602
Nuevo	UCG-04	10602	1	10602
	UCG-05	5365	1	5365
	Válvulas ESDV's	0,15	6	0,9
TOTAL				43307
TOTAL + 10%				47638

**Fuente:** Elaboración Propia.

El consumo de gas requerido para el compresor UCG-01/03/04 se definió según las especificaciones del modelo del motor L5794GSI de la marca Waukesha, **Anexo 1**.

El consumo de gas requerido para el compresor UCG-02/05 se definió según las especificaciones del modelo del motor F3521GL de la marca Waukesha, **Anexo 2**.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>IPE-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA: 8 de 16
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	REV: <b>A</b>

## 8. VERIFICACIÓN DE VÁLVULAS REGULADORAS

En la verificación de las válvulas reguladoras de primer y segunda etapa se considera como caudal máximo el consumo total de la demanda de gas combustible (47637 SCFH) y un caudal mínimo considerando la demanda de gas combustibles de los equipos existentes (27339 SCFH).

**Tabla 4.** Resultados de verificación de válvulas reguladoras.

	Unidades	1er Etapa		2da Etapa	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Flow Rate	[SCFH]	27339	47637	27339	47637
Inlet Pressure	[Psig]	740	740	430	430
Outlet Pressure	[Psig]	450	450	150	150
Temperature	[°F]	67	67	64	64
Calculated Cg	[adim]	<b>32,66</b>	<b>56,91</b>	<b>49,77</b>	<b>86,73</b>
<b>Regulator Selection</b>					
<i>Size</i>		2"	2"	2"	2"
<i>Valve Model</i>		627H	627H	627H	627H
<i>Valve Cg</i>		115	115	115	115
<i>Orifice Size</i>		3/8	3/8	3/8	3/8
<i>Actual Operation</i>		<b>28,4%</b>	<b>49,5%</b>	<b>43,3%</b>	<b>75,4%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

## 9. VERIFICACIÓN DE FORMACIÓN DE HIDRATOS

El margen de seguridad con respecto a la curva de formación de hidratos se estableció una diferencia (DTHS) “Differential Temperature Hydrate Security” de 5 ° F (3 ° C) entre la temperatura de formación de hidratos y la temperatura mínima posible del fluido, ambas a la misma presión. El valor de DTHS consideró la inexactitud del simulador de procesos en la predicción de hidratos y las posibles variaciones de presión y temperatura del punto de operación, superior a este valor se tomó como región sin riesgo de formación de hidratos.





TIPO DE DOCUMENTO:

**MEMORIA DE CÁLCULO**

TÍTULO:

**MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y  
DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS**

CÓDIGO DEL DOCUMENTO:

**IPE-2025-2977-F-MC-001**

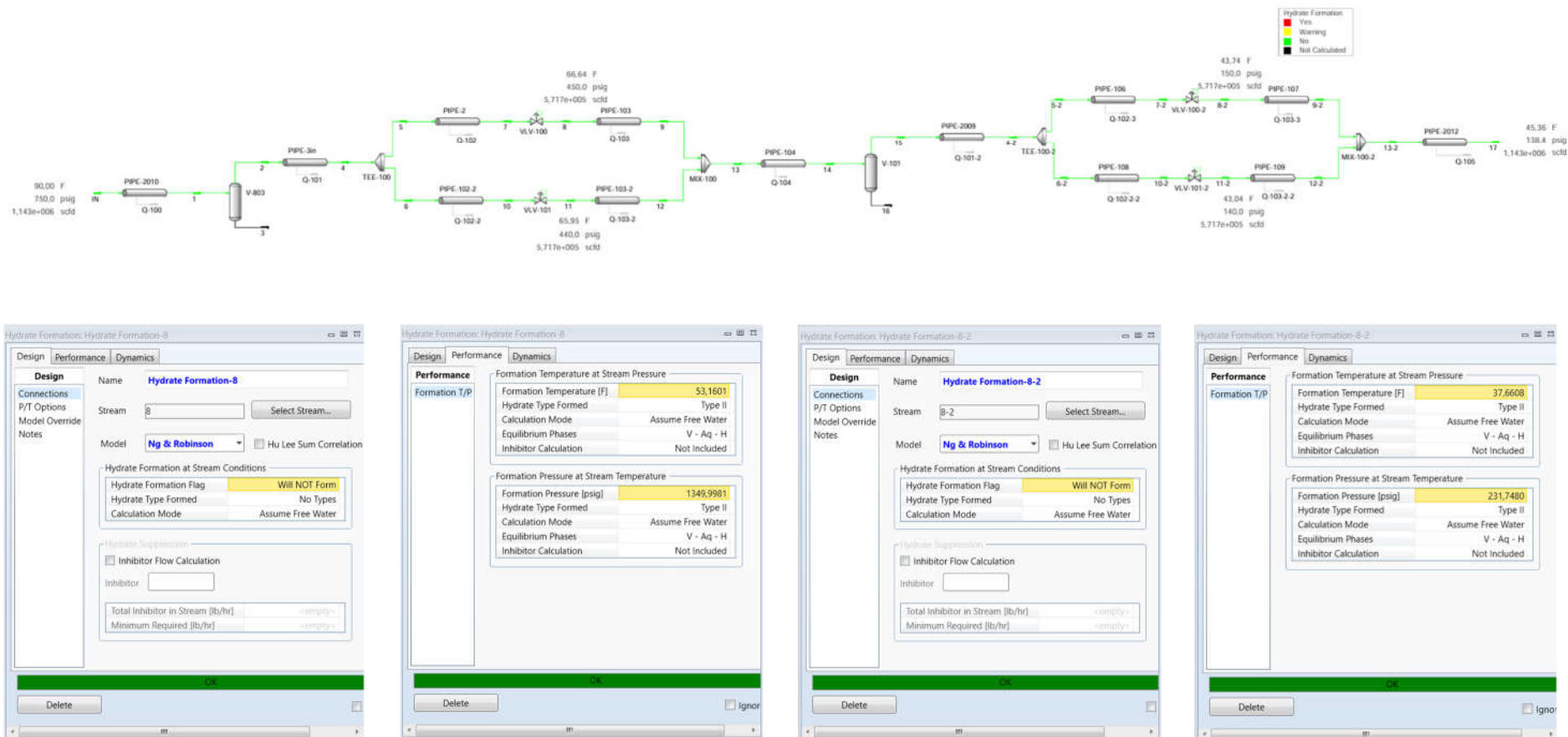
HOJA:

9 de 16

REV:


**A**

**Figura 3. Resultados de verificación de formación de hidratos.**



**Fuente: Elaboración Propia**



	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>IFE-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA: 11 de 16
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	REV: <b>A</b>

## 10.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

### 10.1.1. CÁLCULO DE NPSHA

Para el cálculo de la altura de succión positiva disponible se utilizan las siguientes fórmulas:

$$NPSH_a = H_A \pm H_Z - H_F - H_{VP} \quad \text{Ec. 1}$$

$$H_F = H_L + H_{ACC}$$

Donde:

$NPSH_A$  = Altura Neta de Succión Positiva Disponible [m]

$H_A$  = Altura equivalente por presión atmosférica [m]

$H_Z$  = Altura vertical entre la superficie del líquido y el centro de la bomba [m]

$H_F$  = Altura equivalente por pérdidas de fricción [m]

$H_L$  = Altura equivalente por pérdida por fricción en línea [m]


$H_{ACC}$  = Altura equivalente por pérdida por accesorios [m]

$H_{VP}$  = Altura equivalente por presión de vapor del fluido a ser bombeado [m]

NPSH Requerido ( $NPSH_R$ ): Es un valor que representa la presión necesaria para que el líquido fluya sin vaporizarse desde la entrada de la bomba hasta el impulsor, es puramente una función del diseño de la bomba

Para verificar que el  $NPSH_A$  para el flujo de operación requerido cumpla con la curva de la bomba existente, se deberá comparar con el NPSH requerida de las bombas.

$$NPSH_A > NPSH_R$$

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>IPE-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA: 12 de 16
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	REV: <b>A</b>

### 10.1.2. CÁLCULO DE LA CABEZA DIFERENCIAL TOTAL

Para el cálculo de la cabeza total diferencial total (TDH) por sus siglas en ingles de un fluido incompresible se realiza un balance de energía mecánica entre un punto “1” a otro “2” a través de la ecuación de Bernouilli, la cual se muestra a continuación:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 * g} + H_L \text{ Ec. 2}$$

Donde:

H = Cabeza total de descarga (TDH)	[m]
P <sub>2</sub> = Presión en el Punto 2 (Inicial)	[kPa]
P <sub>1</sub> = Presión en el Punto 1 (Final)	[kPa]
γ = Peso específico del fluido	[kN/m <sup>3</sup> ]
z <sub>2</sub> = Altura vertical entre el punto 2 y el suelo	[m]
z <sub>1</sub> = Altura vertical entre el punto 1 y el suelo	[m]
v <sub>2</sub> = Velocidad del fluido en el punto 2	[m/s]
v <sub>1</sub> = Velocidad del fluido en el punto 1	[m/s]
g = Aceleración gravitacional	[m/s <sup>2</sup> ]
HL = Altura equivalente por pérdida por fricción entre el punto 1 y 2	[m]


### 10.1.3. CÁLCULO DE PRESIÓN DE DESCARGA

El cálculo de la presión de descarga de la bomba se efectúa con la siguiente ecuación:

$$Pd = \frac{TDH * SG}{2,31} \text{ Ec. 3}$$

Donde:

Pd = Presión de Descarga	[bar]
TDH= Cabeza máxima de la bomba	[m]
SG = Gravedad Específica	[-]

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>IPE-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	13 de 16
		REV:
		<b>A</b>

#### 10.1.4. POTENCIA HIDRÁULICA

El cálculo de la potencia hidráulica de la bomba se efectúa con la siguiente ecuación:

$$P_H = \rho * g * Q * H \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$P_H$ = Potencia hidráulica	[W]
$\rho$ = Densidad	[kg/m <sup>3</sup> ]
$g$ = Aceleración de la gravedad	[m/s <sup>2</sup> ]
$Q$ = Caudal	[m <sup>3</sup> /s]
$H$ = Carga total de descarga	[m]


#### 10.1.5. POTENCIA MECÁNICA

El cálculo de la potencia mecánica de la bomba se efectúa con la siguiente ecuación:

$$P_{mec} = \frac{P_H}{n} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$P_{mec}$ = Potencia mecánica	[W]
$P_H$ = Potencia hidráulica	[W]
$n$ = Eficiencia de la bomba	[adm]

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>IPE-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA: 14 de 16
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	REV: <b>A</b>

## 11.RESULTADOS

Los resultados de la bomba de agua de enfriamiento (P-100) se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 5.** Resultados de verificación de bomba de agua de enfriamiento P-100.

Parámetros	Unidades	P-100
Fluido	Agua de enfriamiento	
Caudal (m³/h)	GPM	19,93
Presión de columna hidrostática	Psig	0,89
NPSH <sub>A</sub> (m)	m	9,43
Carga Total sobre la bomba	m	21,98
Presión de descarga	Psig	30
Potencia hidráulica	Hp	0,36
Potencia mecánica	Hp	0,65

**Fuente:** Elaboración propia.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>IFE-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	15 de 16
		REV:
		<b>A</b>

## 12. CONCLUSIONES


Según el análisis realizada el sistema de gas de combustible y el sistema de agua de enfriamiento se tienen las siguientes conclusiones:

### Sistema de Gas Combustible

- La verifíco el nuevo caudal requerido de gas combustible considerando la implementación de los compresores UCG-04 / 05 y válvulas ESDV's, la cual se tiene un nuevo caudal del sistema de 47638 SCFH.
- Se verifíco el comportamiento de operación de las válvulas reguladoras existentes de primer y segunda etapa en la **tabla 4**, considerando el consumo máxima la nueva demanda total de gas combustible y el consumo mínimo la demanda de solo los equipos existentes, se verifíco que las válvulas reguladoras operan en un rango recomendado de 20% a 80% de apertura.
- Se verifíco que el incremento de consumo en el sistema de combustible no va afectar con efectos de formación hidratos, considerando los puntos más críticos aguas debajo de las etapas de regulación debido al la perdida de energía generada por las válvulas reguladoras. La temperatura de operación es superior a la temperatura de formación de hidratos analizados en las etapas de regulación.

### Sistema de Agua de Enfriamiento

- Se pudo verificar la bomba P-100 considerando la alimentación de agua de enfriamiento hacia los compresores UCG-03 / UCG-04 / UCG-05 con un caudal individual de 6,38 GPM dando un caudal total de 19,93 GPM.
- La bomba P-100 presenta un NPSHA de **9,43 m**, se deberá verificar que el NPSHR de la bomba seleccionada sea, como mínimo, **1 m menor** que el NPSHA disponible, garantizando así un margen de seguridad adecuado para prevenir cavitación. El resultado de la potencia mecánica determina que la bomba requiere una potencia en el eje de **0,65 Hp**, la cual debe ser suministrada por el motor seleccionado.
- La alimentación de agua de enfriamiento es un servicio discontinuo por lo cual no se considera un evento de simultaneidad de alimentación a los 5 compresores al mismo tiempo.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	<b>IPE-2025-2977-F-MC-001</b>
	TÍTULO:	HOJA: 16 de 16
	<b>MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	REV: <b>A</b>

## ANEXOS

### ANEXO 1

Especificación del consumo de gas combustible de los compresores UCG-01/03/04



ANEXO 1 -  
IPE-2025-2977-F-MC-(

### ANEXO 2

Especificación del consumo de gas combustible de los compresores UCG-02/05



ANEXO 2 -  
IPE-2025-2977-F-MC-(

### ANEXO 3

Simulación del sistema de gas combustible elaborado en Aspen Hysys



ANEXO 3 -  
IPE-2025-2977-F-MC-(

### ANEXO 4

Simulación del sistema de agua de enfriamiento elaborado en Pipe Flo



ANEXO 4 -  
IPE-2025-2977-F-MC-(



ANEXO 4 -  
IPE-2025-2977-F-MC-(