

**REDIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE Y OPTIMIZACIÓN DE LA  
RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS PARA ALIMENTACIÓN DE MOTORES DE COMBUSTIÓN  
INTERNA EN ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO**

**NATALIA FERNANDA COLLAZOS RUEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS  
BUCARAMANGA**

**2013**

**REDIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE Y OPTIMIZACIÓN DE LA  
RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS PARA ALIMENTACIÓN DE MOTORES DE COMBUSTIÓN  
INTERNA EN ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO**

**NATALIA FERNANDA COLLAZOS RUEDA**

**Trabajo de Grado para optar al Título de  
Especialista en Ingeniería del Gas**

**Director**

**NICOLÁS SANTOS SANTOS**

**Ingeniero de Petróleos, Especialista en Ingeniería del Gas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS  
BUCARAMANGA**

**2013**

## DEDICATORIA

*A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este tiempo.*

*A mi madre por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por darme mi educación, tanto académica, como de la vida y por su incondicional apoyo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios quien me ha guiado y dado la fortaleza para seguir adelante.*

*A Luz Ángela Rueda, mi madre, por su apoyo permanente. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ti.*

*A todo el grupo de catedráticos por quienes he llegado a obtener todos los conocimientos para llegar a elaborar este documento y por compartir todas sus experiencias laborales dentro del aula de clase.*

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	135
1.GENERALIDADES .....	16
1.1OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	16
1.1.1Objetivo General .....	16
1.1.2Objetivos Específicos.....	16
1.2ALCANCE .....	16
1.3DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	17
1.3.1Sistema de Gas Combustible Existente.....	18
1.3.2Red de Distribución de Gas Combustible Existente .....	24
1.4BASES DE DISEÑO NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE .....	26
1.4.1Unidades de Medida .....	26
1.4.2Condiciones Ambientales .....	28
1.4.3Características del Gas.....	28
1.4.4Equipos de Combustión Interna.....	29
1.5CRITERIOS DE DISEÑO .....	30
1.5.1Flujo de Gas.....	30
1.5.2Velocidades de Flujo.....	31
1.5.3Velocidad Sónica .....	31
2.CAPACIDAD DE DISEÑO NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE.....	32
2.1CAPACIDAD SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE EXISTENTE.....	32
2.2CONSUMO DE EQUIPOS DE COMBUSTION INTERNA .....	32
2.3CÁLCULO CONSUMOS DE GAS.....	33
2.3.1Requerimientos Energéticos Equipos.....	35
2.4CAPACIDAD DE DISEÑO.....	35
3.ALTERNATIVAS DISEÑO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE .....	37
3.1ALTERNATIVA 1: AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE EXISTENTE .....	37
.....	37
3.2ALTERNATIVA 2: NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE CON CALENTAMIENTO ELÉCTRICO .....	38
3.3ALTERNATIVA 3: NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE CON CALENTAMIENTO INDIRECTO .....	40
3.4COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	41
3.5ALTERNATIVAS SISTEMA DE MEDICIÓN.....	42
3.5.1Medidor Tipo Turbina.....	42

3.5.2Medidor Tipo Ultrasónico .....	42
3.5.3Medidor Tipo Coriolis .....	42
3.5.4Comparación de Medidores .....	42
3.6ALTERNATIVA SELECCIONADA .....	43
4.DISEÑO NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE.....	44
4.1CONDICIONES GENERALES.....	47
4.2FILTROS .....	48
4.2.1Especificaciones de Construcción .....	49
4.2.2Accesorios.....	50
4.2.3Materiales.....	50
4.3CALENTADORES.....	50
4.3.1Especificaciones .....	51
4.3.2Dimensionamiento .....	52
4.3.3Accesorios.....	53
4.4REGULADORAS DE PRESIÓN.....	53
4.4.1Dimensionamiento .....	54
4.4.2Accesorios.....	56
4.5SCRUBBER .....	56
4.5.1Dimensionamiento .....	57
4.5.2Accesorios.....	60
4.6MEDICIÓN .....	60
4.6.1Accesorios.....	61
4.7SISTEMAS AUXILIARES.....	61
4.8CÁLCULO HIDRAULICO DE TUBERÍAS SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE.....	62
4.9DIAGRAMA DE PROCESO E INSTRUMENTACIÓN .....	62
4.10SKID SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE .....	62
4.11PRESUPUESTO NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE.....	62
5.OPTIMIZACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS.....	64
5.1CONEXIÓN A RED DE DISTRIBUCIÓN EXIXSTENTE .....	64
5.2OPTIMIZACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS.....	68
5.3PRESUPUESTO OPTIMIZACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS.....	72
6.CONCLUSIONES .....	73
BIBLIOGRAFIA.....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características Sistema de Gas Combustible Existente .....	19
Tabla 2. Especificaciones Separador de Polvo y Líquido.....	19
Tabla 3. Especificaciones Calentador de Gas .....	19
Tabla 4. Especificaciones Quemador - Calentador .....	20
Tabla 5. Especificaciones Válvulas Reguladoras de Presión.....	20
Tabla 6. Especificación Turbinas de Medición.....	20
Tabla 7. Condiciones de Operación Red de Distribución Existente .....	26
Tabla 8. Unidades de Medida .....	26
Tabla 9. Condiciones Ambientales Estación.....	28
Tabla 10. Composición del Gas .....	28
Tabla 11. Propiedades del Gas .....	29
Tabla 12. Waukesha – Especificación Calidad de Gas .....	29
Tabla 13. Capacidad Equipos Sistema Gas Combustible Existente .....	32
Tabla 14. Consumo de Gas - Equipos de Combustión Interna .....	32
Tabla 15. Consumo de Gas de la Estación .....	33
Tabla 16. Consumo de Gas Proyectado .....	34
Tabla 17. Requerimiento Energético de Equipos .....	35
Tabla 18. Capacidad Requerida Sistema de Gas Combustible .....	36
Tabla 19. Comparación de Alternativas.....	41
Tabla 20. Comparación Medidores .....	43
Tabla 21. Condiciones de Operación Nuevo Sistema de Gas Combustible .....	45
Tabla 22. Especificación Filtros Nuevos .....	49
Tabla 23. Materiales de Filtros.....	50
Tabla 24. Especificación Calentadores.....	50
Tabla 25. Dimensionamiento Calentadores.....	53
Tabla 26. Especificación Válvulas .....	54
Tabla 27. Calculo Válvulas de Control de Presión .....	55
Tabla 28. Dimensiones Válvulas de Control de Presión.....	55
Tabla 29. Dimensionamiento Scrubber.....	59
Tabla 30. Especificación Medidor .....	60
Tabla 31. Diámetros Tuberías Sistema de Gas Combustible Nuevo .....	62
Tabla 32. Presupuesto Nuevo Sistema de Gas Combustible.....	63
Tabla 33. Resultados Hidráulicos Conexión Nuevo Sistema a Red Existente .....	66
Tabla 34. Optimización Red de Distribución de Gas .....	69

Tabla 35. Resultados Hidráulicos Red de Distribución de Gas Optimizada..... 71  
Tabla 36. Presupuesto Optimización Red de Distribución de Gas..... 72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de Gas Combustible Existente .....	17
Figura 2. P&ID Sistema de Gas Combustible Existente .....	21
Figura 3. Calidad Entrega de Gas Sistema de Gas Combustible Existente.....	22
Figura 4. Simulación Sistema de Gas Combustible Existente.....	23
Figura 5. Red de Distribución de Gas Existente .....	24
Figura 6. Simulación Red de Distribución Existente .....	25
Figura 7. Pronostico Transporte en la Estación de Crudo Pesado .....	31
Figura 8. Alternativa 1: Ampliación sistema de Gas Combustible Existente .....	37
Figura 9. Alternativa 2: Nuevo Sistema de Gas Combustible con Calentamiento Eléctrico .....	39
Figura 10. Alternativa 3: Nuevo Sistema de Gas Combustible con Calentamiento Indirecto .....	40
Figura 11. Diagrama de Equipos Nuevo Sistema de Gas Combustible .....	44
Figura 12. Simulación Nuevo Sistema de Gas Combustible .....	46
Figura 13. Envoltorio de Calidad del Gas .....	47
Figura 14. Esquema Distribución de Equipos Nuevo Sistema de Gas Combustible .....	48
Figura 15. Dimensiones de Filtro .....	49
Figura 18. Dimensionamiento Scrubber .....	59
Figura 19. Medidor Tipo Turbina.....	60
Figura 20. Simulación Conexión Nuevo Sistema de Gas Combustible a Red Existente .....	65
Figura 21. Conexión Nuevo Sistema a Red de Distribución Existente.....	67
Figura 22. Red de Distribución de Gas Optimizada .....	70
Figura 23. Simulación Red de Distribución Optimizada .....	71

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. PLOT PLAN ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO .....	76
ANEXO B. HOJA DE DATOS FILTROS.....	77
ANEXO C. HOJA DE DATOS CALENTADORES .....	78
ANEXO D. HOJA DE DATOS VÁLVULAS DE CONTROL DE PRESIÓN .....	80
ANEXO E. HOJA DE DATOS SCUBBER.....	81
ANEXO F. HOJA DE DATOS MEDIDOR DE FLUJO.....	83
ANEXO G. P&ID NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE .....	84
ANEXO H. DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS.....	85

## RESUMEN

**TITULO:** REDIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS PARA ALIMENTACIÓN DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA EN ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO

**AUTOR:** NATALIA FERNANDA COLLAZOS RUEDA

**PALBRAS CLAVES:** Gas combustible, Motores de combustión interna, hidráulica, red de distribución.

Debido al aumento de la producción de crudos pesados en el país y la necesidad de ampliar el sistema de bombeo de una de las estaciones que lo conforma; se evidencia que el sistema de gas combustible existente en la estación se encuentra sub-especificado para los requerimientos de gas actuales, generando restricciones operativas, deficiencias hidráulicas en la distribución y calidad del gas, lo cual afecta directamente el funcionamiento de los motores de combustión interna de la estación y el transporte de crudo en el país. Por lo cual se hace necesario realizar el diseño de un nuevo sistema de gas combustible con su respectiva red de distribución que cumpla con los requerimientos actuales de la estación y la proyección de instalación de equipos nuevos que requieran gas.

En este trabajo de monografía se presenta el redimensionamiento del sistema de gas combustible en una estación de bombeo de crudos pesados; teniendo en cuenta, los requerimientos de gas que se presentarán según los pronósticos de evacuación de crudos de la cuenca de los llanos. Adicionalmente se desarrolla la optimización del diseño hidráulico de la red de distribución de gas existente en la estación; variando diámetros y longitudes de tubería, según la configuración hidráulica del sistema.

Obteniendo finalmente el diseño del sistema de gas combustible y la red de distribución más adecuado para la estación, teniendo en cuenta futuras expansiones.

---

\* Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos,  
Director: Ing. Nicolás Santos Santos.

## ABSTRACT

**TITLE:** SIZING A FUEL GAS SYSTEM AND OPTIMIZATION OF GAS DISTRIBUTION PIPING FOR POWER IGNITION ENGINES IN PUMPING STATION OF HEAVY OIL.

**AUTHOR:** NATALIA FERNANDA COLLAZOS RUEDA

**KEY WORDS:** Fuel gas, Power ignition engines, Hydraulic, Gas distribution piping.

By increasing of heavy oil production in the country and the need to expand the system of pumping stations which conforms, has been demonstrated that fuel gas system is insufficient for current requirements causing operational restrictions, hydraulic deficiencies in the distribution and quality of the gas, which affects directly the operation of power ignition engines of the station. Hence is necessary to design a new system with their respective fuel gas distribution piping that meets the current requirements of the station and the projection installation of new equipment.

This paper presents the sizing of fuel gas system in a pumping station of heavy oil with the requirements of gas present in the station are forecast crude evacuation of La Cuenca de los Llanos. Additionally develops hydraulic design optimization of the distribution gas piping in the station, changing pipe diameters and lengths, depending on configuration of the system hydraulics.

Finally the design of the fuel gas system and distribution gas piping more suitable for the station, considering future expansion, is presented. Considering that in the projection of heavy oil transportation in the country, the pumping stations are a focal point for the development of the oil industry in the country and this design contributes to increasing the capacity and reliability of the transport system of the country heavy oil.

---

\* Work Degree

\*\* Physicochemical Engineering Faculty, College of Petroleum Engineering,  
Manager: Ing. Nicolás Santos Santos

## INTRODUCCIÓN

Debido al aumento de la producción de crudos pesados en el país y la necesidad de ampliar el sistema de bombeo de una de las estaciones perteneciente a dicho sistema para cumplir con la proyección de transporte del país, se evidencia que en la estación se ha incrementado el consumo de gas por instalaciones de nuevos equipos, sin realizar modificaciones sobre el sistema de gas combustible existente; los nuevos motores de bombeo y generación eléctrica se han ido conectando a la red de distribución de la estación, sin tener en cuenta el comportamiento hidráulico de la red ni la capacidad de diseño de la misma.

El sistema de gas combustible existente en la estación se encuentra sub-especificado para los requerimientos de gas actuales, generando restricciones operativas, deficiencias hidráulicas en la distribución y calidad del gas, lo cual afecta directamente el funcionamiento de los motores de combustión interna de la estación. Por lo cual se hace necesario realizar el diseño de un nuevo sistema de gas combustible con su respectiva red de distribución que cumpla con los requerimientos actuales de la estación y la proyección de instalación de equipos nuevos que requieran gas.

Teniendo en cuenta la proyección de transporte de crudos pesados del país en la cuenca de los llanos, las estaciones de bombeo son un punto neurálgico para el desarrollo de la industria petrolera en el país y este diseño aporta al incremento de la capacidad y confiabilidad del sistema de transporte de crudos pesados del país.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **1.1.1 Objetivo General**

Redimensionar un sistema de gas combustible en estación de bombeo de crudo pesado y optimizar el diseño hidráulico de la red de distribución de gas.

#### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la capacidad de diseño del nuevo sistema de gas combustible, teniendo en cuenta los pronósticos de transporte de crudo pesado y el consumo de la estación.
- Evaluar alternativas de diseño del nuevo sistema de gas combustible, una vez se seleccione la alternativa técnico-económica más viable proceder al diseño del nuevo sistema de gas combustible.
- Realizar el diseño detallado de todos los equipos requeridos para el nuevo sistema de gas combustible, de tal forma que se cumpla con los requerimientos de proceso de calidad y condiciones del gas para los motores a combustión interna de la estación de bombeo.
- Realizar el diseño de la red de distribución de gas a los motores de combustión interna, optimizando diámetros y longitudes de tubería, según el arreglo hidráulico de tubería seleccionado.
- Presentar el diseño final del nuevo sistema de distribución de gas combustible de la estación de bombeo de crudos pesados

### **1.2 ALCANCE**

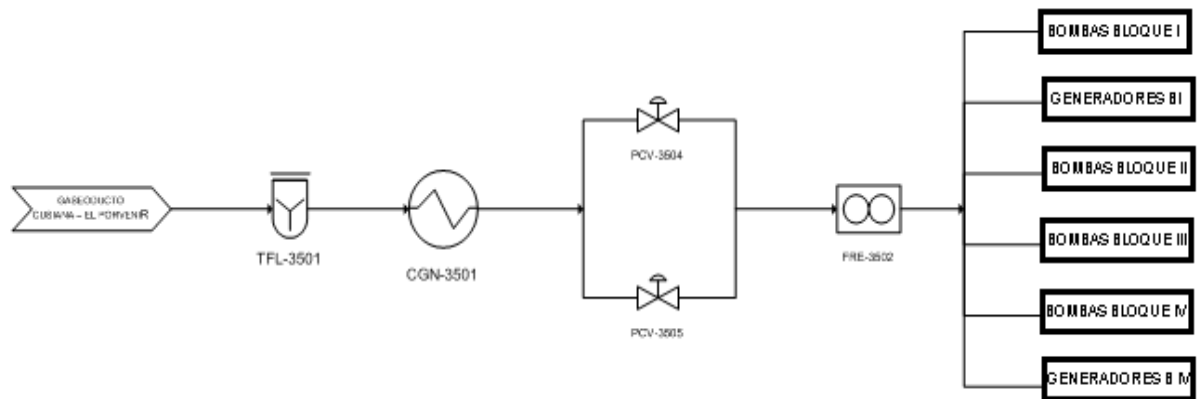
El alcance de este documento es presentar el redimensionamiento del sistema de gas combustible en una estación de bombeo de crudos pesados y la optimización del diseño hidráulico de la red de distribución de gas en la estación.

### 1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la estación de bombeo de crudos pesados cuenta con un sistema de gas combustible de 1 MMSCFD (Ver Figura 1) que suministra el gas a los motores de combustión interna de los sistemas de bombeo y generación eléctrica instalados en la planta. El sistema de gas combustible existente se diseñó hace 6 años cuando la proyección de la estación no superaba un consumo estimado de 1 MMSCFD. El gas de entrada al sistema de gas combustible es gas tomado del gasoducto Cusiana – El Porvenir – La Belleza de 14” de diámetro.

Sin embargo, debido al aumento de la producción de crudos pesados en el país y la necesidad de ampliar el sistema de bombeo en la estación para transportar dicho crudo, se ha incrementado el consumo de gas a 3 MMSCFD. Sin embargo, no se han realizado modificaciones sobre el sistema de gas combustible existente; los nuevos equipos de bombeo y generación eléctrica se han ido conectando a la red de distribución de la estación, sin tener en cuenta el comportamiento hidráulico de la red ni la capacidad de diseño de los equipos.

**Figura 1. Sistema de Gas Combustible Existente**



Fuente: Autor

Se tiene proyectado que la estación finalmente tendrá cuatro (4) bloques de bombas independientes y dos sistemas de generación eléctrica con motores a combustión interna, distribuidos así:

- Sistema de bombeo línea de 20” (Bloque III), impulsado por motores a gas.
  - Siete unidades operando.

- Sistema de bombeo línea de 12" (Bloque I), impulsado por motores a gas.
  - Seis unidades operando.
- Sistema de bombeo línea de 6" (Bloque II), impulsado por motores a gas.
  - Tres unidades, dos operando y una en stand-by.
- Planta generadora (Bloque I), con tres generadores con motores a gas
  - Dos operando y otro en stand-by.
- Sistema de bombeo línea de 6" (Bloque IV), impulsado por motores a gas.
  - Tres unidades, dos operando y una en stand by.
- Planta generadora (Bloque IV), con un generador con motores a gas.
  - Uno operando.

Cada uno de los equipos que consumen gas que se han sido instalados en la estación, han generado una carga adicional al sistema de gas combustible existente, que se ve reflejada en deficiencias en la distribución y calidad del gas que se le está suministrando a los motores; ya que se está evidenciando congelamiento de las tuberías de distribución, lo cual puede generar daños en los motores de los equipos, colapso de las tuberías y por ende daños a la propiedad, riesgo para el personal, riesgos ambientales y pérdidas económicas.

### **1.3.1 Sistema de Gas Combustible Existente**

El sistema de gas combustible existente se diseñó para manejar 1 MMSCFD y con la filosofía de operación de que el gas llega con una presión de 1.200 psig y una temperatura entre 70°F a 90°F a la entrada del sistema de gas combustible, el gas pasa por una etapa de filtración en el separador de polvo y líquido reteniendo partículas sólidas mayores a 3  $\mu\text{m}$ . Luego el gas es desviado a un calentador para incrementar la temperatura y de esta manera, evitar la condensación de líquidos en la línea cuando se reduzca la presión del flujo. En seguida el gas retorna al sistema pasando por las válvulas reductoras de presión de 1" en donde sale a 38 psig (Ver Figura 2). Por último el gas es conducido a la red de distribución de gas.

En general el sistema de gas combustible, según su ficha técnica, presenta las siguientes características:

**Tabla 1. Características Sistema de Gas Combustible Existente**

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	DATO
Presión de diseño	psig	1.480
Presión máxima de operación	psig	1.200
Presión mínima de operación	psig	300
Flujo máximo	SCFD	1.017.120

Fuente: Autor

Los equipos que conforman el sistema de gas combustible, presentan las siguientes especificaciones:

- Separador de Polvo y Líquido:

**Tabla 2. Especificaciones Separador de Polvo y Líquido**

CARACTERÍSTICA	DATO
Marca	ARMEC S.R.L.
Modelo	ASPL H8-2-600
Tipo	Filtro separador horizontal
Sistema	Doble barril
Presión máxima	84 bar (1.218 psig)
Presión mínima	21 bar (305 psig)
Caudal	1.200 m <sup>3</sup> /h (42.380 SCFH)
Sistema de filtrado	Caja chicanas – Cartuchos filtrantes
Micronaje	300μ
ΔP	0,032 bar (0,5 psi)

Fuente: Placa del equipo instalado en estación de bombeo de crudo pesado

- Calentador de Gas Indirecto

**Tabla 3. Especificaciones Calentador de Gas**

CARACTERÍSTICA	DATO
Sistema	Calentado indirecto baño de agua
Modelo	ACI-170-6-2-3
Capacidad calórica	42.840 kcal/h (170.000 BTU/h)
Presión de diseño	102 bar (1.479 psig)
Presión máxima	82 bar (1.194 psig)
Presión mínima	20,6 bar (299 psig)
Diámetro tubo de fuego	168,3 mm (6,6 in)
Temperatura agua	80°C (176 °F)
ΔP serpentín	1,5 bar (21,3 psig)

Fuente: Placa del equipo instalado en estación de bombeo de crudo pesado

**Tabla 4. Especificaciones Quemador - Calentador**

CARACTERÍSTICA	DATO
Marca	EQA
Tipo	625
Serie	1.474
Capacidad quemador	43.000 kcal/h (170.638 BTU/h)
Presión entrada	4,2 bar (61 psig)
Presión salida	1,2 bar (17 psig)
Diámetro de orificio	32 mm (1,3 in)

Fuente: Placa del equipo instalado ene estación de bombeo de crudo pesado

- Válvulas reguladoras de presión

**Tabla 5. Especificaciones Válvulas Reguladoras de Presión**

CARACTERÍSTICA	DATO
Marca	SATESA
Tipo	298T-JFSO
Serie	600
Cuerpo	2"
Orificio	33,3 mm (1,3 in)
Máxima presión	100 bar (1.450 psig)

Fuente: Placa del equipo instalado ene estación de bombeo de crudo pesado

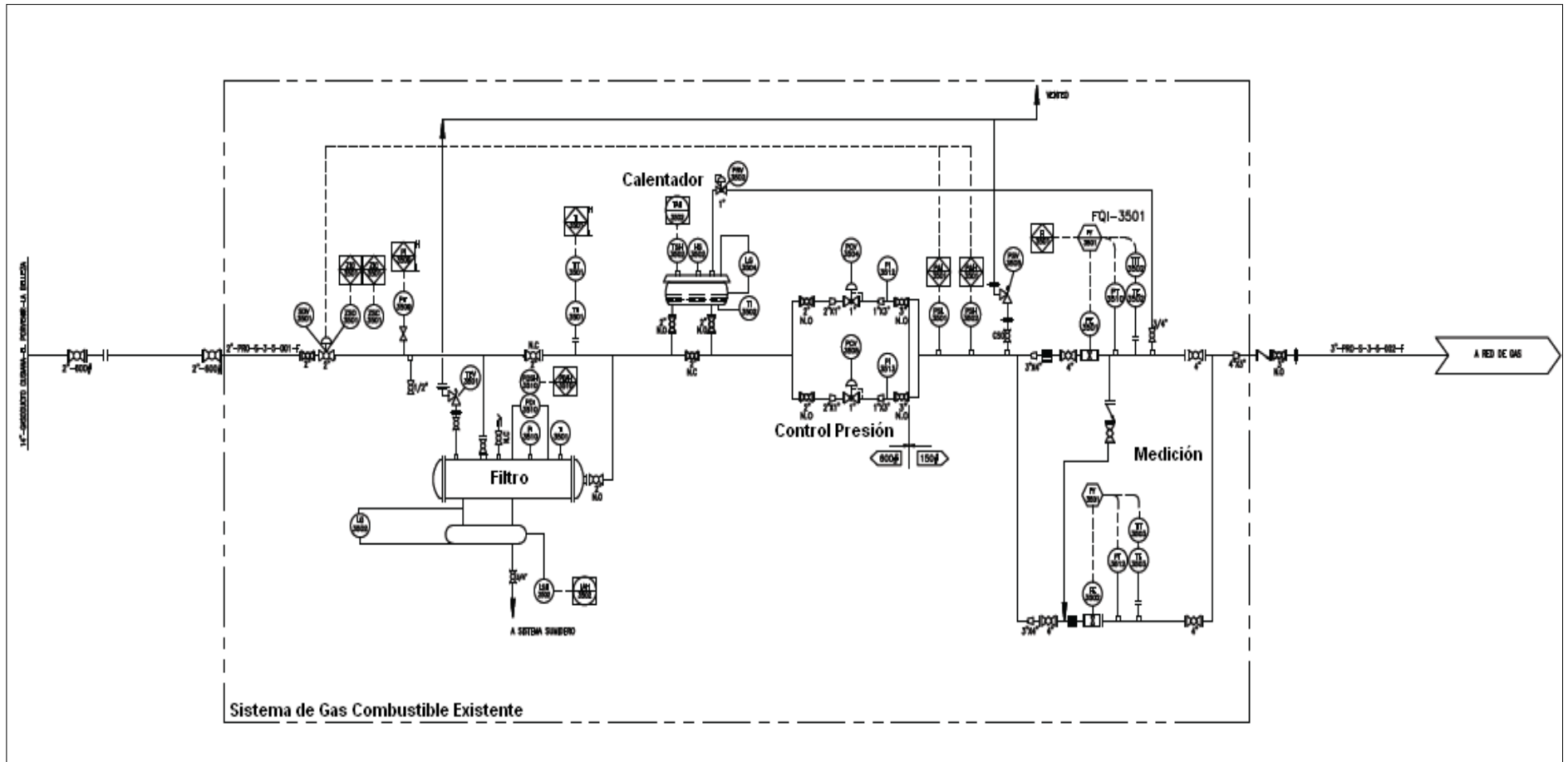
- Turbinas de Medición

**Tabla 6. Especificación Turbinas de Medición**

CARÁCTERÍSTICA	DATO
Marca	INSTROMENT
Modelo	Q-75
Tipo	Q-75-K-DN-100
Flujo máximo	650 m <sup>3</sup> /h (22.951 SCFH)
Flujo mínimo	32 m <sup>3</sup> /h (1.130 SCFH)
Presión máxima	16,7 bar (242 psig)
Temperatura mínima	-20°C (-4 °F)

Fuente: Placa del equipo instalado ene estación de bombeo de crudo pesado

Figura 2. P&ID Sistema de Gas Combustible Existente



Fuente: Diagrama de Proceso e Instrumentación (P&ID) Sistema de gas City-Gate-Estación de bombeo de crudo pesado

### 1.3.1.1 Simulación Sistema de Gas Combustible Existente

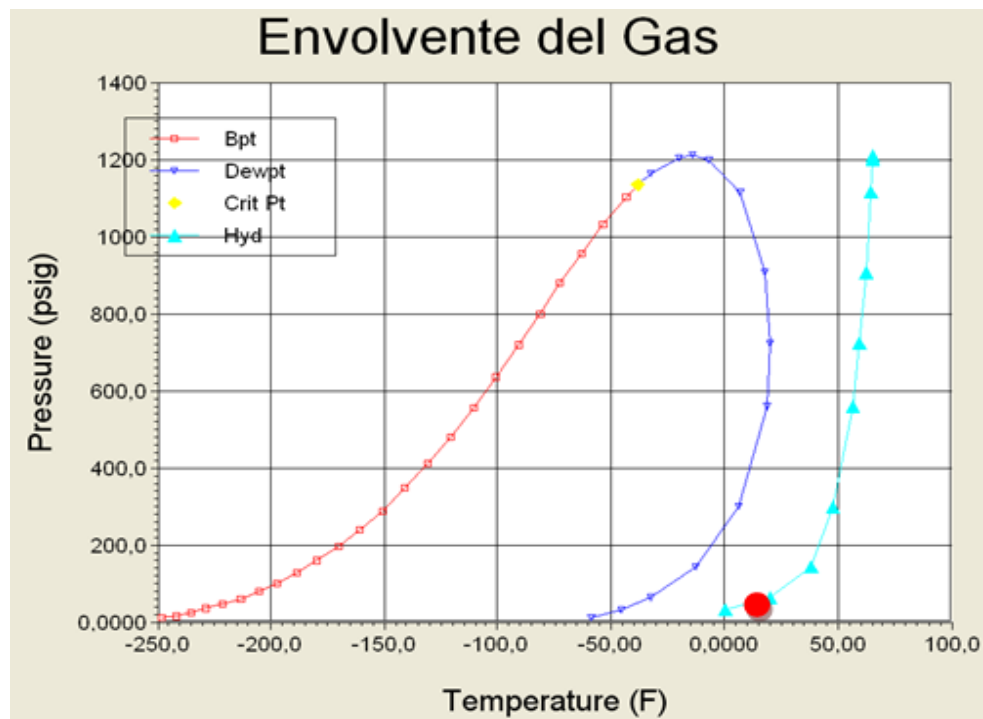
Se procede a realizar la simulación del sistema de gas combustible existente, con las condiciones de flujo requeridas por el sistema 3.185.000 SCFD, teniendo en cuenta los nuevos consumos (Ver numeral 2 del presente documento). La simulación se realizó usando el Software HYSYS 6.5.

Como se observa en la Figura 4 de reporte de la simulación, el sistema de gas combustible existente no tiene la capacidad para manejar las nuevas cargas de gas de la Estación ya que el sistema entregaría el gas a:

- Presión = 28 psig
- Temperatura = 15,79 °F

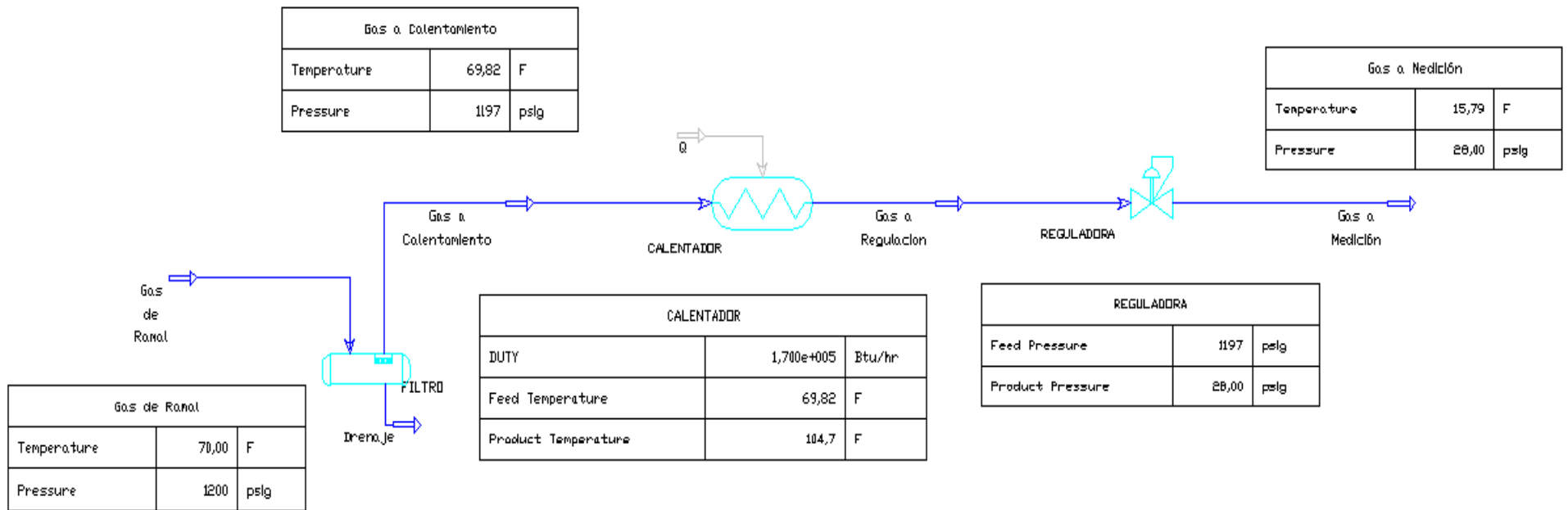
Lo cual no cumple con los requerimientos de los motores de combustión interna de la Estación, especificados en el numeral 1.4.4 del presente documento. Adicionalmente como se observa en la Figura 3 a estas condiciones de operación se tiene formación de hidratos en el gas.

**Figura 3. Calidad Entrega de Gas Sistema de Gas Combustible Existente**



Fuente: Reporte de simulación Hysys 6.5

Figura 4. Simulación Sistema de Gas Combustible Existente

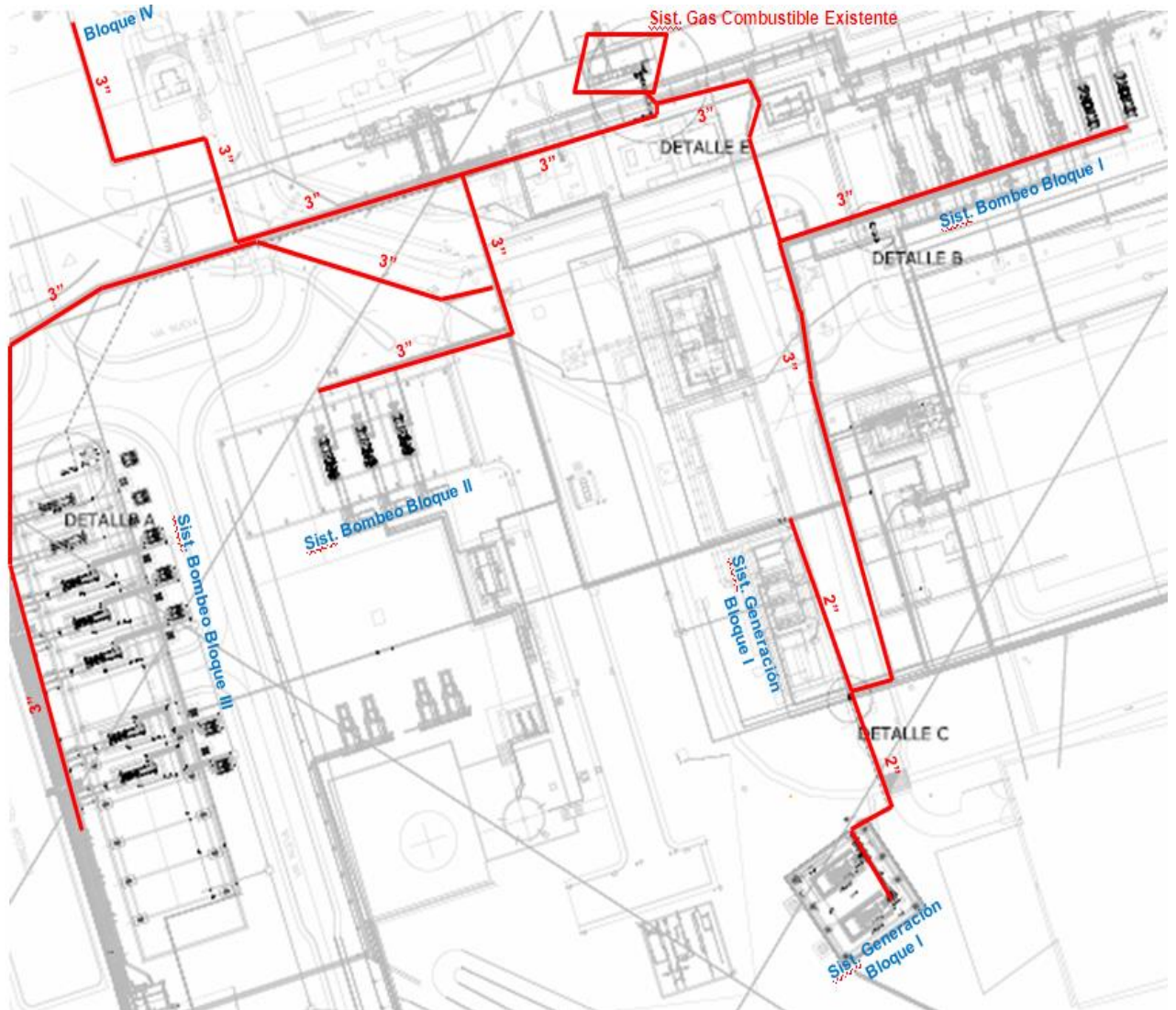


Fuente: Reporte de simulación Hysys 6.5

### 1.3.2 Red de Distribución de Gas Combustible Existente

Respecto a la red de distribución de gas existente como se mencionó anteriormente, los nuevos equipos de bombeo y generación eléctrica se han ido conectando a la red sin tener en cuenta el comportamiento hidráulico de la misma. Actualmente la configuración de la red se parece a una espina de pescado como se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Red de Distribución de Gas Existente

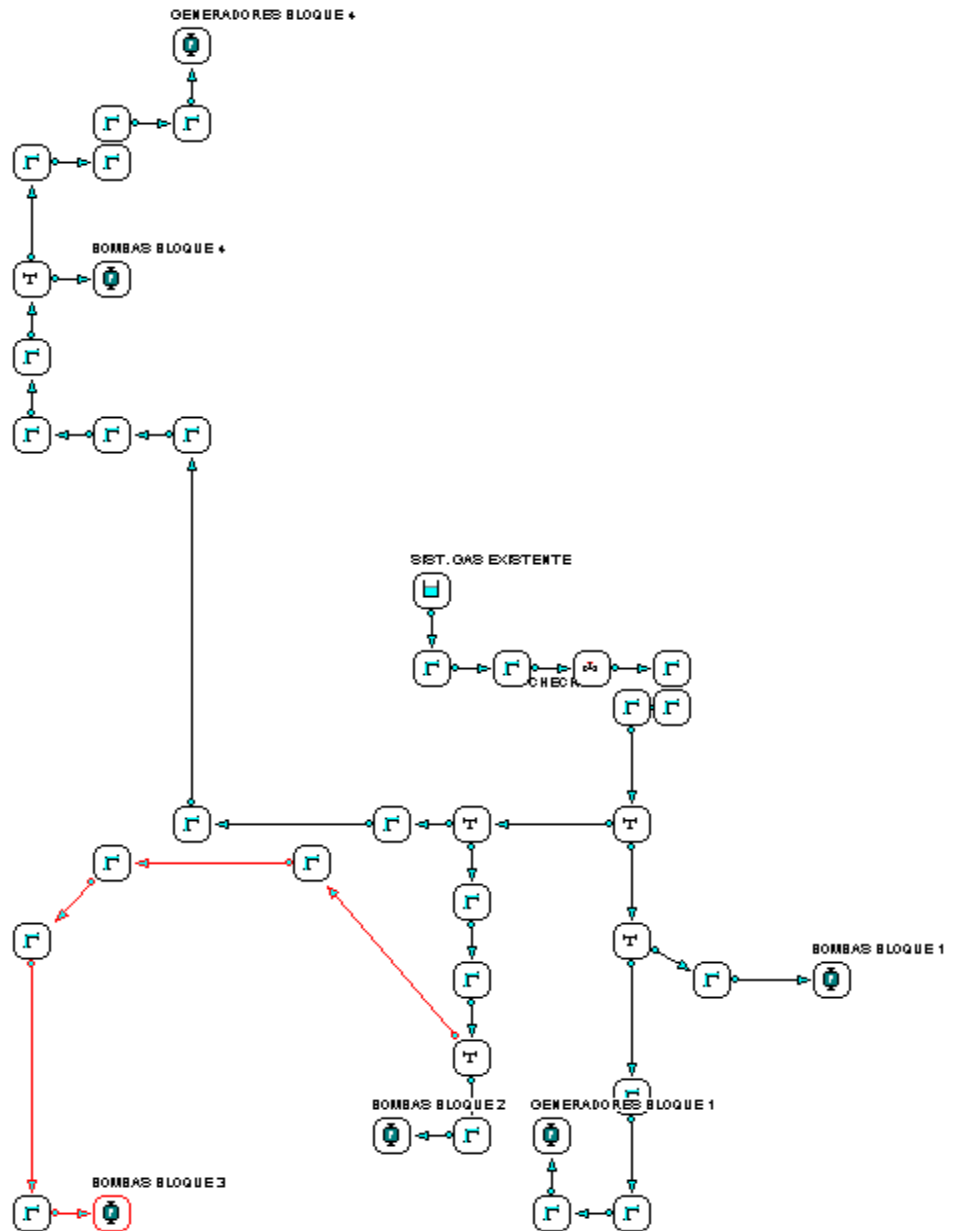


Fuente: Autor

### 1.3.2.1 Simulación Red de Distribución de Gas Combustible Existente

Se procede a realizar la simulación de la red, teniendo en cuenta las longitudes y diámetros de las líneas de la red de distribución de gas. Para realizar el cálculo hidráulico de la red se usó el Simulador Piping Systems FluidFlow 5.0.349.0, con la ecuación de flujo de Panhandle A. Ver Figura 6.

**Figura 6. Simulación Red de Distribución Existente**



Fuente: Reporte de simulación Piping Systems FluidFlow

Se realiza el cálculo hidráulico del sistema teniendo en cuenta las condiciones de salida del sistema de gas combustible obtenidas en el numeral 1.3.1 y los requerimientos de gas de cada Bloque (Ver numeral 2.1). Los resultados obtenidos de la simulación evidencian que las condiciones de llegada del gas a cada bloque de bombeo y generación con la red de distribución existente serían:

**Tabla 7. Condiciones de Operación Red de Distribución Existente**

EQUIPO	CONSUMO DE GAS (SCFH)	DIÁMETRO LÍNEA	VELOCIDAD (ft/s)	PRESIÓN LLEGADA (psig)
Generadores Bloque I	16.557	3" – 2"	35,96 – 79,37	18,7
Bombas Bloque II	10.938	3"	27,06	14,7
Bombas Bloque I	29.394	3"	63,53	18,1
Bombas Bloque III	55.522	3"	1315,6*	11,9
Generador Bloque IV	5.570	3"- 2"	13,32 – 29,33	15,7
Bombas Bloque IV	14.697	3"	35,09	15,8

\*Para el caso de la línea de gas hacia Bloque III, se generan velocidades sónicas.

Fuente: Autor

Los resultados de la Tabla 7, evidencian que la red de distribución existente en la Estación es deficiente para las condiciones de operación requeridas, por lo cual, se hace necesario la optimización de dicha red según las necesidades de la Estación.

## 1.4 BASES DE DISEÑO NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE

### 1.4.1 Unidades de Medida

En la siguiente tabla se muestran las unidades de medida a utilizar, con su respectiva expresión y símbolo.

**Tabla 8. Unidades de Medida**

PARÁMETRO	EXPRESIÓN (Unidad)	SÍMBOLO
Longitud	Metro	m
	Kilómetro	km
	Pie	ft
Diámetro de tuberías	Pulgada	in , "
Espesores	Pulgada	in , "
	Milímetro	mm
Área	Metro cuadrado	m <sup>2</sup>

PARÁMETRO	EXPRESIÓN (Unidad)		SÍMBOLO	
Volumen	Galón		gal	
	Pie cúbico		pc , ft <sup>3</sup>	
Masa	Libra		Lb	
Tiempo	Segundo		s	
	Minuto		min	
	Hora		h	
	Día		d	
Presión	Libra por pulgada cuadrada	Diferencial	lb/in <sup>2</sup>	psi
		Absoluta		psia
		Manométrica		psig
Temperatura	Grado Fahrenheit		°F	
	Grado Celsius		°C	
	Grado Rankine		°R	
Flujo Gas Natural	Standard Cubic Feet per Hour		SCFH	
	Standard Cubic Feet per Day		SCFD	
	Millon Standard Cubic Feet per Day		MMSCFD	
Caudal	Barriles por hora		BPH	
	Barriles por día		BPD	
	Galones por minuto		gpm	
Concentración	Partículas por millón		ppm	
Densidad	Libra / pie cúbico		lb/ft <sup>3</sup>	
Velocidad	Metro/ / segundo		m/s	
	Pie / segundo		ft/s	
Velocidad angular	Revoluciones por minuto		rpm	
Aceleración	Pie / segundo cuadrado		ft/s <sup>2</sup>	
Potencia	Caballo de potencia		HP	
Energía	British Thermal Unit		BTU	
Viscosidad dinámica/absoluta ( $\mu$ )	Centipoise		cP	
Viscosidad cinemática (n)	Centistoke		cSt	

Fuente: Autor

#### 1.4.2 Condiciones Ambientales

Las principales condiciones ambientales de la estación se presentan a continuación:

**Tabla 9. Condiciones Ambientales Estación**

<b>PROPIEDAD FÍSICA</b>	<b>DATO</b>
Temperatura ambiente, °C	27
Presión atmosférica, psia	13,812
Humedad Relativa, %	80
Velocidad del viento, m/s	3
Precipitación anual, mm	2.642
Elevación, m.s.n.m.	520
Aceleración pico efectivo horizontal máxima (Aa)	0,3

Fuente: Autor

#### 1.4.3 Características del Gas

El gas suministrado a la estación es un gas tratado que se toma por una derivación de 2" del Gasoducto Cusiana – El Porvenir – La Belleza, este tipo de gas es predominante en metano pero con una proporción de hidrocarburos livianos como etano, propano, butanos y en menor proporción hidrocarburos pesados como pentanos, hexanos y otros. A continuación se presentan las características del gas.

**Tabla 10. Composición del Gas**

<b>COMPONENTE</b>	<b>COMPOSICIÓN (% Peso)</b>	<b>COMPOSICIÓN (% Molar)</b>
CO <sub>2</sub>	3,48	1,60
N <sub>2</sub>	1,79	1,29
C1	62,33	78,43
C2	21,07	14,14
C3	6,29	2,88
iC4	1,61	0,56
nC4	2,13	0,74
iC5	0,68	0,19
nC5	0,45	0,13
C6+	0,19	0,04
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Tabla 11. Propiedades del Gas**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DATO</b>
Peso molecular promedio (lb/lbmol)	24,2785
Factor de compresibilidad	0,9953
Gravedad específica del gas	0,8383
Gravedad específica (real)	0,8422
Poder calorífico bruto BTU/lb	1.327,77
Poder calorífico bruto (real) BTU/ft <sup>3</sup>	1.144,4
Presión de vapor Reid (rvp) KPa	4.342,36

Fuente: Autor

#### 1.4.4 Equipos de Combustión Interna

Los equipos de combustión interna instalados en la estación tienen motor Waukesha, cuyas especificaciones generales de calidad de gas son:

**Tabla 12. Waukesha – Especificación Calidad de Gas**

<b>COMPOSITION</b>	
Methane content	93% by volume minimum
Non-combustible inerts (N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , He, etc.)	3% by volume maximum
Non-methane hydrocarbon mass fraction	0.15 (15% by mass) maximum
Liquid hydrocarbons (Typically C <sub>5</sub> +) )	2% by volume maximum
Oxygen	0.2% by volume maximum
Water vapor	100% relative humidity
<b>PERFORMANCE CHARACTERISTICS</b>	
Saturated lower heating value	900 BTU/std. ft <sup>3</sup> (60° F, 14.696 psia) approx. 35.38 [25, V(0; 101.325)] MJ/m <sup>3</sup> approx.
Waukesha Knock Index®	91 minimum
Stoichiometric air/fuel ratio	16.08:1 by mass, approx.
Hydrogen/carbon ratio	3.85:1 approx.

Fuente: Especificación motores Waukesha.

Adicionalmente se debe tener en cuenta que las condiciones de entrada del gas combustible requeridas por los motores Waukesha L5497 GSI son:

- Presión: 40 - 70 psig
- Temperatura: 50 - 140 °F

## **1.5 CRITERIOS DE DISEÑO**

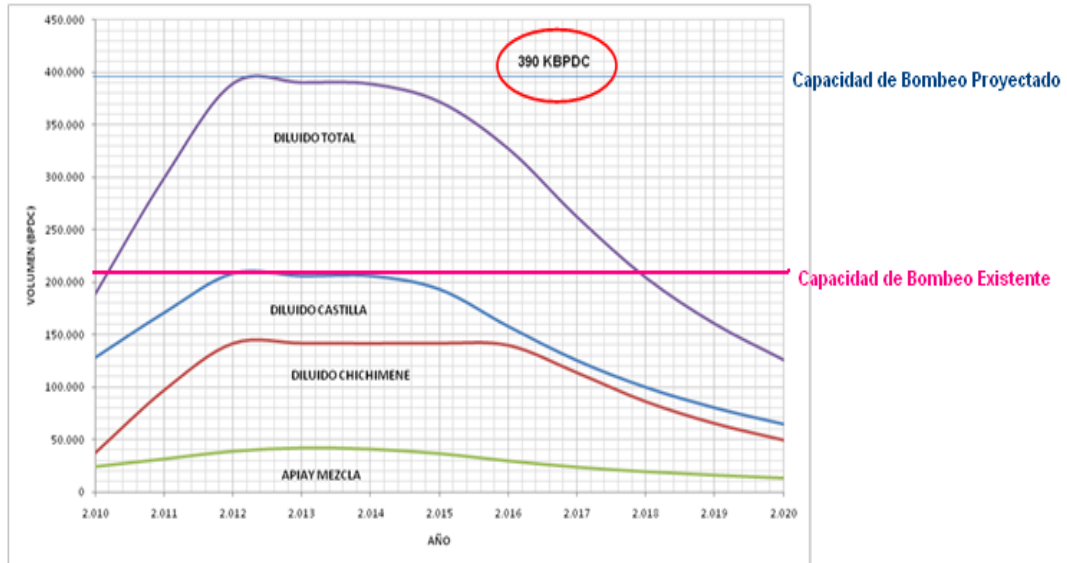
### **1.5.1 Flujo de Gas**

El flujo de gas a manejar en la estación es proporcional al caudal de crudo a transportar en la estación, que se manejará con los (4) bloques de bombeo a operar en la estación:

- Sistema de bombeo línea de 20" (Bloque III), impulsado por motores a gas.
  - Siete unidades operando.
  
- Sistema de bombeo línea de 12" (Bloque I), impulsado por motores a gas.
  - Seis unidades operando.
  
- Sistema de bombeo línea de 6" (Bloque II), impulsado por motores a gas.
  - Tres unidades, dos operando y una en stand-by.
  
- Sistema de bombeo línea de 6" (Bloque IV), impulsado por motores a gas.
  - Tres unidades, dos operando y una en stand by.

Con sus respectivas plantas generadores, con motores de combustión interna.

**Figura 7. Pronostico Transporte en la Estación de Crudo Pesado**



Fuente: Pronostico de transporte crudo de Estación de bombeo de crudo pesado

### 1.5.2 Velocidades de Flujo

De acuerdo a la literatura<sup>1</sup>, para líneas que transportan gas se recomiendan los siguientes criterios en dimensionamiento:

- Velocidad mínima: 10 –15 ft/seg, para evitar acumulación de condensados en puntos bajos.
- Velocidad máxima: 60 ft/seg para minimizar el ruido.

### 1.5.3 Velocidad Sónica

Para el transporte de gas se debe cumplir el límite de la velocidad sónica, que no debe ser excedido. Éste límite se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Vs = 233.33 \sqrt{\frac{\text{Temperatura } (^{\circ}\text{R})}{\text{Peso Molecular}}}$$

<sup>1</sup> ARNOLD Kern. Surface production operations. Volume 1- Design of Oil - Handling Systems and Facilities. Gulf Publishing Company. Huston, Texas. 1986.

## 2. CAPACIDAD DE DISEÑO NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE

### 2.1 CAPACIDAD SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE EXISTENTE

La capacidad de los equipos que conforman el sistema de gas combustible en la estación se presenta a continuación:

**Tabla 13. Capacidad Equipos Sistema Gas Combustible Existente**

EQUIPO	CAPACIDAD	UNIDAD
Separador de polvo líquido (TFL-3501)	42.000	SCFH
Calentador indirecto (CGN-3501)	42.000	SCFH
Válvulas reguladoras (PCV-3504/3505)	42.000	SCFH
Turbina de medición (FNE-3501)	22.950	SCFH

Fuente: Autor

### 2.2 CONSUMO DE EQUIPOS DE COMBUSTION INTERNA

A continuación se listan los consumos de gas de cada uno de los equipos que existen y que se instalarán en la estación, para cumplir con el pronóstico de transporte de crudos pesados (numeral 1.5.1).

**Tabla 14. Consumo de Gas - Equipos de Combustión Interna**

EQUIPO	CANTIDAD	CONSUMO ( $\dot{V}_i$ )	UNIDAD
Generador Bloque I (existente)	1	1.278	SCFH
Generadores Bloque I (nuevo)	2	5.570	SCFH
Bombas Bloque II (existente)	3	3.646	SCFH
Bombas Bloque I (existente)	6	4.899	SCFH
Bombas Bloque III (nuevo)	7	4.899	SCFH
Generador Bloque IV (nuevo)	1	5.570	SCFH
Bombas Bloque IV (nuevo)	3	4.899	SCFH

Fuente: Especificaciones técnicas motores Waukesha

Para efectos prácticos, se considera despreciable el consumo de gas del sistema de calentamiento de gas.

### 2.3 CÁLCULO CONSUMOS DE GAS

El consumo total de gas en el punto de operación máximo requerido a futuro en la estación, se obtiene como:

$$\dot{V}_{op} = C_{op} \times \dot{V}_i \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,  $\dot{V}_{op}$ : Consumo de gas en el punto máximo de operación, SCFH

$C_{op}$ : Cantidad de equipos en operación normal

$\dot{V}_i$ : Consumo de gas por cada equipo, SCFH

El consumo de diseño en la estación, es:

$$\dot{V}_D = C_T \times \dot{V}_i \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,  $\dot{V}_D$ : Consumo de gas de diseño, SCFH

$C_T$ : Cantidad de equipos instalados

$\dot{V}_i$ : Consumo de gas por cada equipo, SCFH

Se reemplazan los datos de la Tabla 14, en las ecuaciones 1 y 2. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 15.

**Tabla 15. Consumo de Gas de la Estación**

EQUIPO	CONSUMO EN EL PUNTO DE OPERACIÓN MÁXIMO	CONSUMO DE GAS DE DISEÑO
Generador Bloque I (existente)	0	1.278
Generadores Bloque I (nuevo)	5.570	11.140
Bombas Bloque II (existente)	7.292	10.938
Bombas Bloque I (existente)	29.394	29.394
Bombas Bloque III (nuevo)	34.293	34.293
Generador Bloque IV (nuevo)	5.570	5.570
Bombas Bloque IV (nuevo)	9.798	14.697

EQUIPO	CONSUMO EN EL PUNTO DE OPERACIÓN MÁXIMO	CONSUMO DE GAS DE DISEÑO
<b>TOTAL, SCFH</b>	<b>91.917</b>	<b>107.310</b>
<b>TOTAL, SCFD</b>	<b>2.206.008</b>	<b>2.575.440</b>

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta las proyecciones de aumento de transporte de crudo a 390.000 BPD (Ver Figura 7), se estima el consumo de gas, asumiendo que la demanda de gas se incrementaría en el bloque III y en los generadores.

Se estima el consumo de gas futuro, como:

$$\dot{V}_{\text{Futuro}} = \dot{V}_D \times \frac{\dot{Q}_P}{\dot{Q}_D} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde  $\dot{V}_{\text{Futuro}}$ : Consumo de gas proyectado, SCFH

$\dot{V}_D$ : Consumo de gas de diseño

$\dot{Q}_D$ : Bombeo de crudo de diseño, BPD

$\dot{Q}_P$ : Bombeo de crudo proyectado, BPD

Reemplazando en la Ecuación 3, los datos del consumo de gas de diseño de las bombas del bloque III y de los generadores, se obtiene el consumo proyectado de gas:

**Tabla 16. Consumo de Gas Proyectado**

EQUIPO	CONSUMO DE GAS PROYECTADO (SCFH)
Generadores Bloque I	16.557
Bombas Bloque II	10.938
Bombas Bloque I	29.394
Bombas Bloque III	55.522
Generador Bloque IV	5.570
Bombas Bloque IV	14.697
<b>TOTAL, SCFH</b>	<b>132.678</b>
<b>TOTAL, SCFD</b>	<b>3.185.000</b>

Fuente: Autor

### 2.3.1 Requerimientos Energéticos Equipos

Se procede a calcular la energía requerida por cada equipo:

$$\dot{E} = \frac{\dot{V} \times PC}{1000} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde  $\dot{E}$  : Flujo de energía, MBTU/día

$\dot{V}$  : Consumo de gas de diseño, SCFD

PC : Poder calorífico del gas, 1.144,4 BTU/SCF

Se reemplazan los datos de la Tabla 14, en la ecuación 4. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

**Tabla 17. Requerimiento Energético de Equipos**

EQUIPO	REQUERIMIENTO DE ENERGÍA EN EL PUNTO DE OPERACIÓN MÁXIMO (MBTU/d)	REQUERIMIENTO DE ENERGÍA DE DISEÑO (MBTU/d)
Generador Bloque I (existente)	0	1.462
Generadores Bloque I (nuevo)	6.372	12.744
Bombas Bloque II (existente)	8.342	12.513
Bombas Bloque I (existente)	33.627	33.627
Bombas Bloque III (nuevo)	39.231	39.231
Generador Bloque IV (nuevo)	6.372	6.372
Bombas Bloque IV (nuevo)	11.208	16.813
<b>TOTAL, MBTU/d</b>	<b>105.152</b>	<b>122.762</b>
<b>TOTAL, MMBTU/d</b>	<b>105</b>	<b>123</b>

Fuente: Autor

### 2.4 CAPACIDAD DE DISEÑO

Finalmente se obtiene la capacidad requerida de tratamiento del nuevo sistema de gas combustible:

**Tabla 18. Capacidad Requerida Sistema de Gas Combustible**

<b>CRITERIO</b>	<b>DATO (SCFD)</b>
Capacidad Sistema Existente	1.008.000
Consumo de gas de diseño	2.575.440
Consumo de gas proyectada	3.185.000

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se realizará el diseño de un nuevo Sistema de Gas Combustible de **4.000.000 SCFD**, para atender el consumo de gas proyectado en la estación y posibles incrementos inesperados.

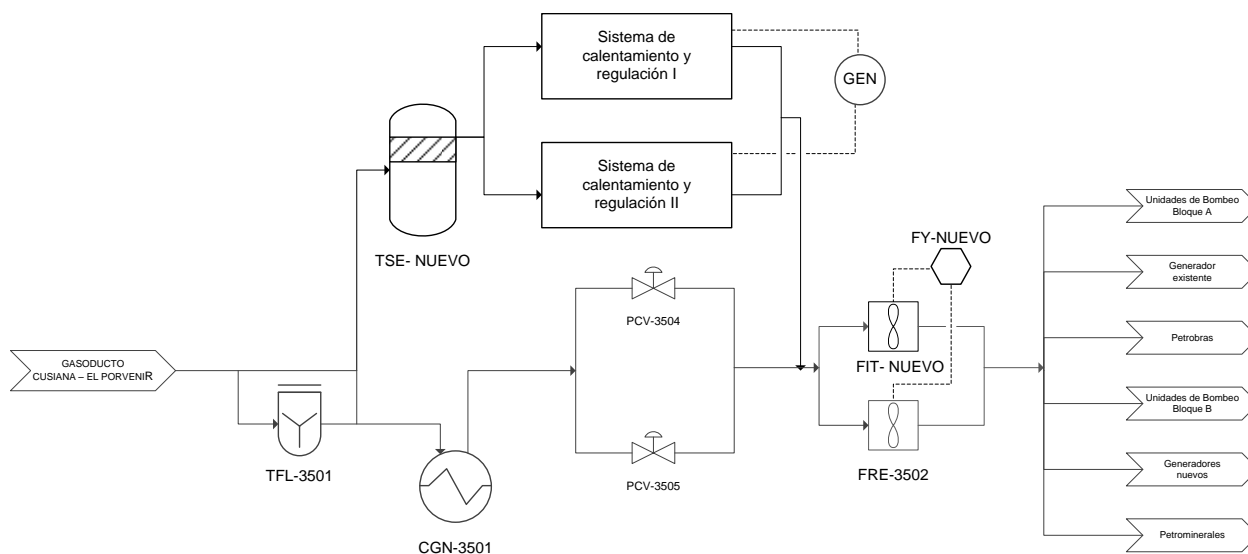
### 3. ALTERNATIVAS DISEÑO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE

Teniendo en cuenta las condiciones actuales del sistema de gas combustible de la estación y los requerimientos operacionales de gas de los motores de combustión interna, se presentan las siguientes alternativas para poder manejar 4.000.000 SCFD.

#### 3.1 ALTERNATIVA 1: AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE EXISTENTE:

Teniendo en cuenta las características de los componentes del sistema de gas combustible existente, se propone aumentar la capacidad del sistema con la instalación de nuevos equipos, como se muestra en la Figura 8:

**Figura 8. Alternativa 1: Ampliación sistema de Gas Combustible Existente**



Fuente: Autor

La alternativa 1 consta de los siguientes equipos:

- Filtro separador de polvo y líquido existente (TFL-3501).
- Scrubber (TSE-Nuevo). Equipo en el cual se retirarán el agua y los condensados que hayan sido arrastrados por el gas hasta la estación.
- Sistema nuevo de calentamiento y regulación: Reduce la presión del gas de 1.200 a 70 psig y se asegura una temperatura mayor a 50 °F a la salida del sistema para cumplir con

los requerimientos de los motores de combustión interna. Se instalarían dos paquetes de regulación con una capacidad de 2.000.000 SCFD cada uno.

Presión de diseño de 3.600 psig, presión de operación 1.200 psig. Cada unidad consta de un sistema de calentamiento de aceite por resistencias eléctricas (4) con capacidad de 103.200 BTU/h por serpentín con baño de aceite, con una potencia de 35 kW (50 HP). La regulación es efectuada por cuatro válvulas reguladoras por campana presostática con salida a 70 psig. La energía para el calentador será suministrada por el generador de Bloque I.

- Medidor de turbina existente (FRE-3502).
- Computador de flujo nuevo (FY – Nuevo). Este equipo debe ser compatible con el medidor de turbina existente y con el nuevo.
- Medidor de flujo nuevo (FIT- Nuevo<sup>2</sup>). Este equipo debe ser aceptado para operaciones de transferencia en custodia de gas, respaldado por un fabricante reconocido y cumplir con los reportes AGA correspondientes.

La alternativa 1, estaría localizada en la ubicación actual del sistema de gas combustible. Por cuestiones de espacio es necesario para esta alternativa ampliar la placa existente (Ver Anexo A - Plot Plan de la Estación).

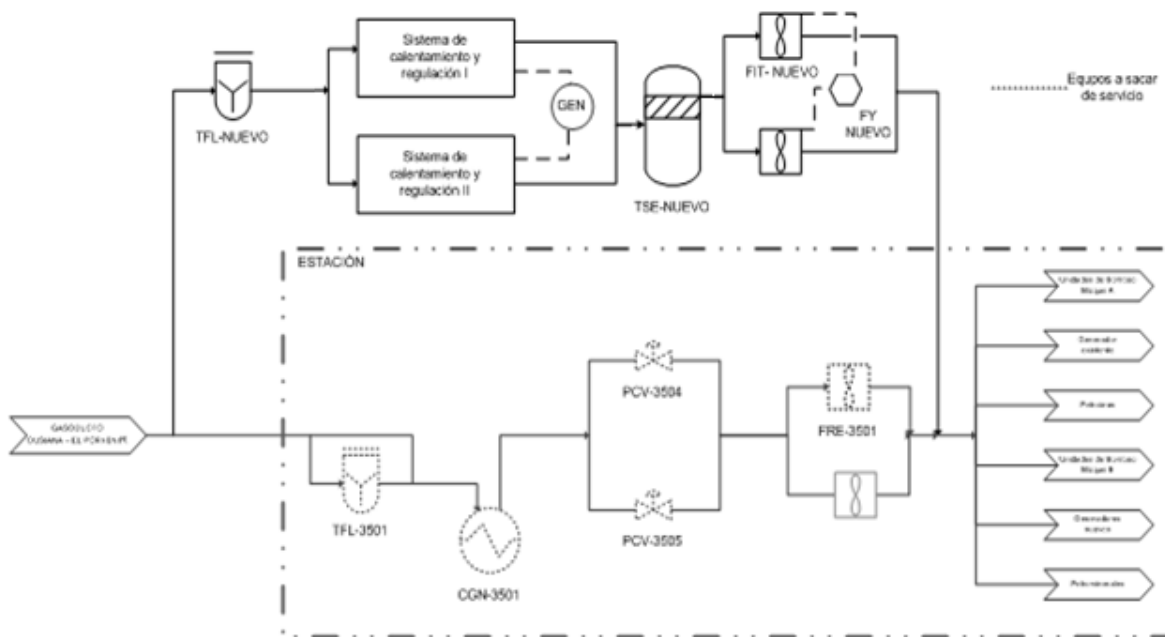
### **3.2 ALTERNATIVA 2: NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE CON CALENTAMIENTO ELÉCTRICO**

Se propone instalar un nuevo sistema de gas combustible, por fuera del encerramiento de la estación, en un lote perteneciente a la estación como se muestra a continuación (Ver Anexo A - Plot Plan de la Estación).

---

<sup>2</sup> En la Tabla 20 se presenta un análisis de los diferentes tipos de medidores de flujo válidos para transferencia en custodia.

**Figura 9. Alternativa 2: Nuevo Sistema de Gas Combustible con Calentamiento Eléctrico**



Fuente: Autor

La alternativa 2 contiene los siguientes equipos:

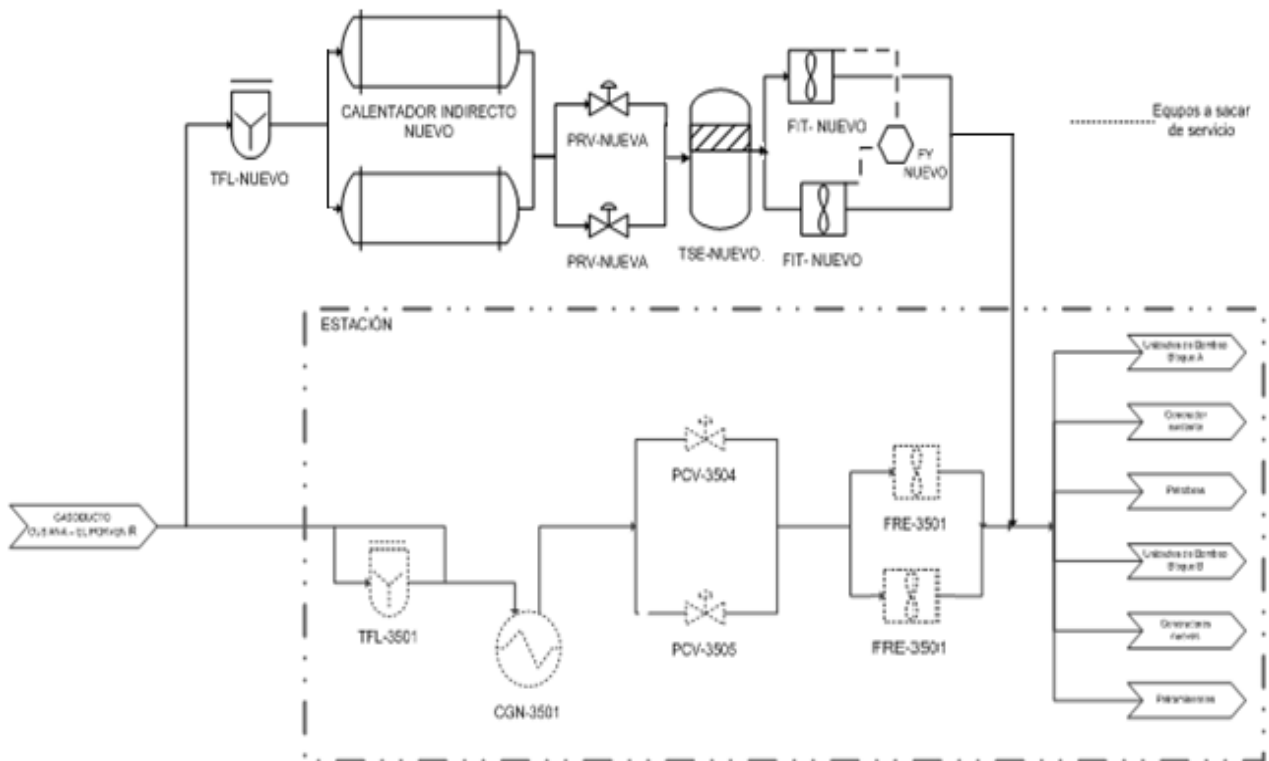
- Filtro separador de polvos y líquido nuevo (TFL-Nuevo). Para retirar partículas sólidas con un diámetro mayor a 100  $\mu\text{m}$ .
- Scrubber (TSE-Nuevo). En el cual se retirarán el agua y los condensados que sean arrastrados por la corriente del gas hasta la estación.
- Calentamiento eléctrico. Reduce la presión del gas de 1.200 a 70 psig y se asegura una temperatura mayor a 50  $^{\circ}\text{F}$ . Son dos patines de regulación con una capacidad de hasta 2.000.000 SCFD, cada una. Presión de diseño de 3.600 psig, presión de operación 1.200 psig. Cada una consta de un sistema de calentamiento de aceite por resistencias eléctricas (4) con capacidad de 103.200 BTU/h por serpentín con baño de aceite, con una potencia de 35 kW (50 HP). La regulación es efectuada por cuatro válvulas reguladoras por campana presostática con salida a 70 psig. La energía para el calentador será suministrada por el generador de Bloque IV.
- Medidores de flujo nuevos (FIT-Nuevo<sup>3</sup>). Este equipo debe ser aceptado para operaciones de transferencia en custodia de gas, respaldado por un fabricante reconocido y cumplir con los reportes AGA correspondientes.
- Computador de flujo nuevo (FY- Nuevo).

<sup>3</sup> Idem 2

### 3.3 ALTERNATIVA 3: NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE CON CALENTAMIENTO INDIRECTO

La instalación del nuevo sistema de gas combustible, se efectuaría por fuera del encerramiento de la estación, en lote perteneciente a la estación como se muestra a continuación (Ver Anexo A - Plot Plan de la Estación).

**Figura 10. Alternativa 3: Nuevo Sistema de Gas Combustible con Calentamiento Indirecto**



Fuente: Autor

La alternativa 3 contiene los siguientes equipos:

- Filtro separador de polvos y líquido nuevo (TFL-Nuevo). Idéntico al de la alternativa 2.
- Scrubber (TSE-Nuevo). Idéntico al de la alternativa 2.
- Calentamiento indirecto a gas: Es un sistema que se compone de calentador a gas indirecto y válvulas reguladoras de presión, de forma independiente. El sistema de calentamiento cumple con la norma API 12K y consta de un calentador indirecto horizontal, en baño de agua, que permite elevar la temperatura del gas mediante la combustión del

mismo gas. El gas circula a través de serpentinas internas. El equipo cuenta con un sistema totalmente automatizado de regulación de la temperatura de salida mediante un controlador modulante que ajusta el caudal de gas suministrado al quemador, así como también con los sistemas de seguridad necesarios para evitar contingencias en el caso de fallar en la provisión de gas. Se instalarían dos (2) calentadores, uno operando y otro en stand by.

- Regulación de presión (2 PRV-Nuevas): La regulación de presión del gas, se efectúa con válvulas multietapa con un diámetro de orificio de 1", que regulan la presión a 70 psig.
- Medidores de flujo nuevos (FIT-Nuevo). Idéntico al de la alternativa 2.
- Computador de flujo nuevo (FY- Nuevo). Idéntico al de la alternativa 2.

### 3.4 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

Se realiza la comparación de las alternativas propuestas, según los criterios de la Tabla 19:

**Tabla 19. Comparación de Alternativas**

CRITERIO	ALTERNATIVA 1 AMPLIACIÓN SISTEMA EXISTENTE	ALTERNATIVA 2 NUEVO SISTEMA CON CALENTAMIENTO ELECTRICO	ALTERNATIVA 3 NUEVO SISTEMA CON CALENTAMIENTO INDIRECTO	UNIDAD
Capacidad de gas a calentar	4.000.000	3.834.000	4.000.000	SCFD
Cantidad equipos a instalar	2	2	1	Und
Eficiencia	80	80	70	%
Operación	0,9	0,9	0,8	(0 - 1)
Confiabilidad	0,7	0,7	0,9	(0 - 1)
Se recomienda equipo de respaldo?	si	si	si	
Disponibilidad de repuestos	0,7	0,7	0,9	(0 - 1)
Tiempo de entrega	inmediata	inmediata	2,5	Meses
Área de instalación	6 (adicionales al área existente)	6	8	m <sup>2</sup>
Vida útil	15 a 20	15 a 20	15 a 20	Años
Inversión calentador	\$ 320.000.000	\$ 320.000.000	\$ 329.000.000	\$COP
Válvulas reguladoras	incluidas	incluidas	2	Und
Inversión válvulas	incluidas	incluidas	\$ 56.000.000	\$COP
Requerimiento energético	74	74	n.a.	kW
<b>Inversión total</b>	<b>\$ 640.000.000,00</b>	<b>\$ 640.000.000,00</b>	<b>\$ 385.000.000,00</b>	<b>\$COP</b>

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la Tabla 19 de comparación de alternativas se escoge la Alternativa 3: Nuevo Sistema de Gas Combustible con Calentamiento Indirecto instalado por fuera del cerramiento de la Estación.

### **3.5 ALTERNATIVAS SISTEMA DE MEDICIÓN**

Adicionalmente se evalúa el sistema de medición a instalar teniendo en cuenta los requerimientos de transferencia en custodia que es necesario cumplir en el sistema de gas combustible nuevo.

#### **3.5.1 Medidor Tipo Turbina**

El medidor de turbina es un medidor volumétrico, recomendado por su facilidad de calibración en Colombia, su bajo costo y su poco tiempo de entrega. Sin embargo, este tipo de medidores requiere un mayor mantenimiento que las otras opciones.

#### **3.5.2 Medidor Tipo Ultrasónico**

El medidor ultrasónico es un medidor volumétrico. Su exactitud es afectada por el ruido causado por la regulación de presión. Por ende, para su instalación, es necesario tener en cuenta las adecuaciones que se deban hacer para mitigar el impacto.

#### **3.5.3 Medidor Tipo Coriolis**

El medidor tipo coriolis es un medidor másico. Teniendo en cuenta que el RUT (Reglamento Único de Transporte de Gas Natural) establece que la medición debe ser volumétrica, por consiguiente, la instalación de un medidor tipo coriolis implica realizar medición de densidad para corrección. La exactitud en conjunto del coriolis y el densitómetro o gravitómetro debe ser menor a 1%.

#### **3.5.4 Comparación de Medidores**

Se realiza la evaluación económica de la instalación de las tecnologías de medición de transferencia en custodia, según los criterios de la Tabla 20.

**Tabla 20. Comparación Medidores**

<b>CRITERIO</b>	<b>CORIOLIS*</b>	<b>ULTRASÓNICO</b>	<b>TURBINA</b>	<b>UNIDAD</b>
TIEMPO DE ENTREGA	14	14	8	Semanas
COSTO FIJO	\$ 131.000.000	\$ 80.000.000	\$ 36.000.000	\$COP
COMPUTADOR DE FLUJO	\$ 6.000.000	\$ 18.000.000	\$ 6.000.000	\$COP
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	<b>\$ 137.000.000</b>	<b>\$ 98.000.000</b>	<b>\$ 42.000.000</b>	<b>\$COP</b>

\*Nota 1: Para el medidor tipo Coriolis se incluye el costo del medidor y un gravitómetro para determinar la densidad.

Fuente: Autor

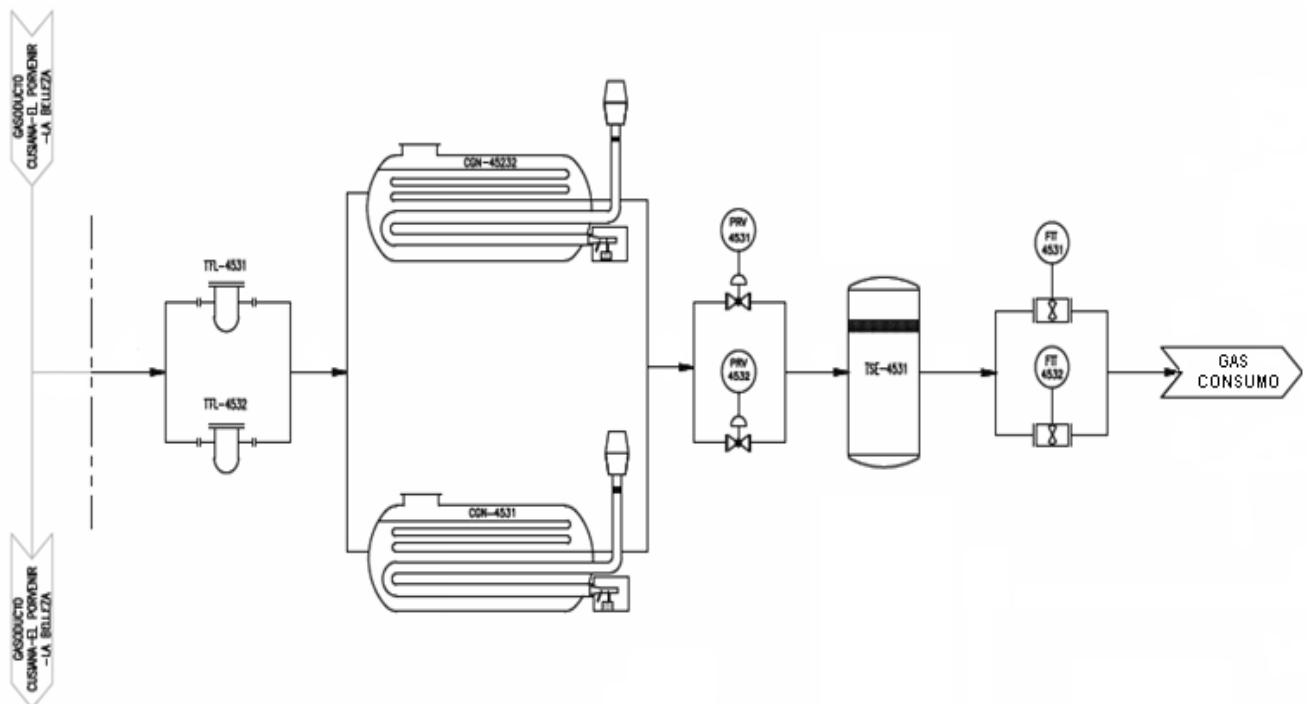
### **3.6 ALTERNATIVA SELECCIONADA**

Según las evaluaciones desarrolladas se determinó que la alternativa más conveniente para la estación es un Nuevo Sistema de Gas Combustible con Medidor de Turbina, ubicado en fuera del cerramiento actual de la estación. Por lo tanto, se procede a desarrollar el diseño detallado del nuevo sistema de gas combustible de la estación.

#### 4. DISEÑO NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE

Una vez definida la mejor alternativa para el sistema de gas combustible de la estación se procede a realizar el diseño del sistema empleando el Software HYSYS 6.5, donde se simuló la configuración general del sistema para obtener las características de los equipos, según el siguiente diagrama de flujo del sistema:

Figura 11. Diagrama de Equipos Nuevo Sistema de Gas Combustible



Fuente: Autor

Para el desarrollo de los cálculos de equilibrio de fases y propiedades físicas en los diferentes procesos a realizar para tratar el gas se escogió el paquete de propiedades de **Peng-Robinson**; el cual es el modelo termodinámico más recomendado para mezclas de hidrocarburos a altas presiones.

Las condiciones generales de operación del sistema son:

**Tabla 21. Condiciones de Operación Nuevo Sistema de Gas Combustible**

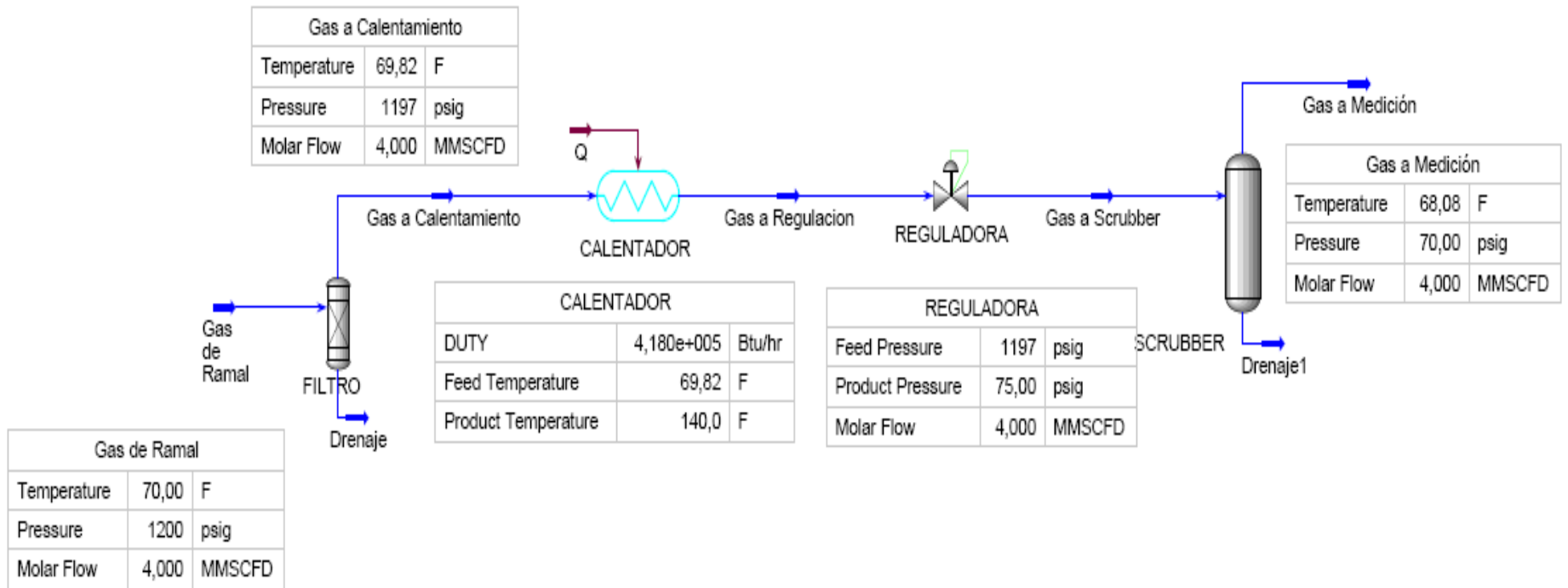
<b>SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE</b>	
CAPACIDAD	4 MMSCFD
PRESIÓN MAX. ENTRADA	1.200 psig
TEMPERATURA MIN. ENTRADA	70 °F
PRESIÓN SALIDA	70 psig
TEMPERATURA MIN. SALIDA	50 °F
CLASE	ANSI 600#

Fuente: Autor

La filosofía de operación del sistema es un filtro, un calentador, una válvula de regulación y un medidor operando, y cada uno de estos equipos tiene en paralelo un equipo en stand by para operaciones de mantenimiento y tener mayor confiabilidad del sistema. Por lo tanto, la simulación se realiza solo para los equipos de operación normal y los de stand by se especificarán igual a los calculados mediante el software.

A continuación se presenta el diagrama de la simulación, donde se presentan las principales condiciones de operación del sistema.

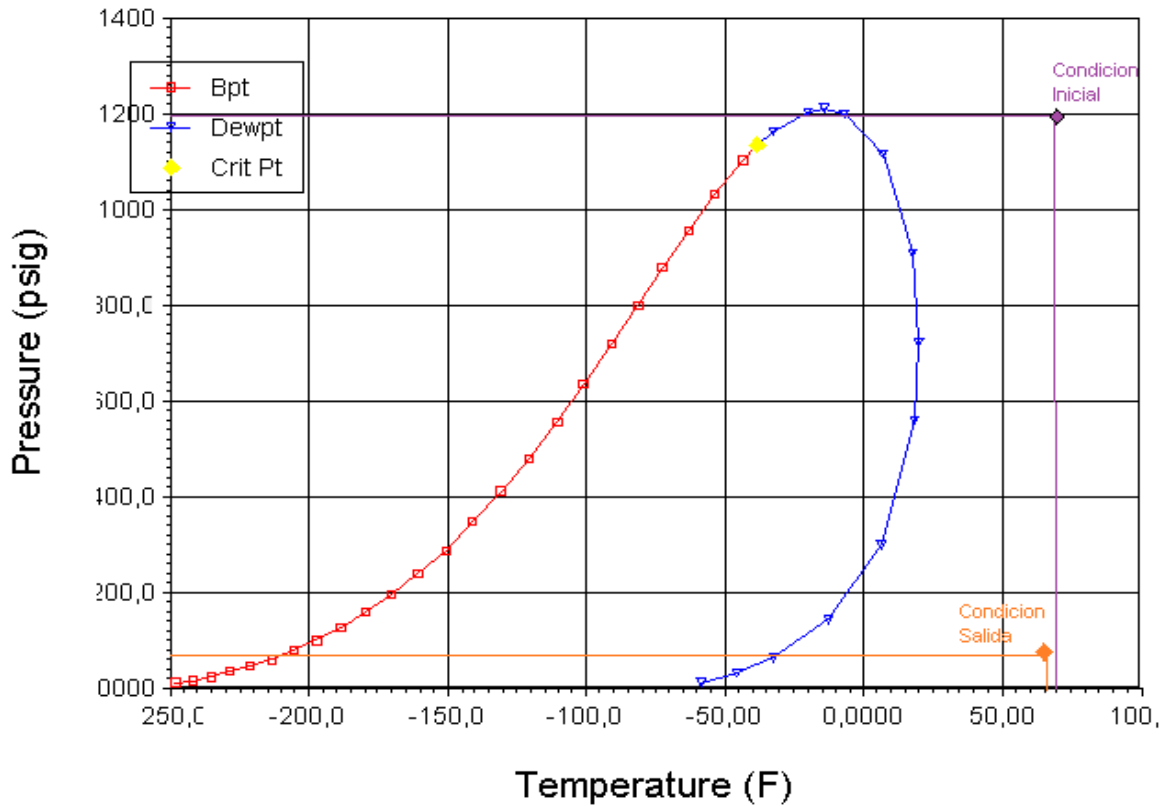
Figura 12. Simulación Nuevo Sistema de Gas Combustible



Fuente: Reporte de simulación Hysys 6.5

Se obtiene la envolvente del gas y las condiciones de operación del sistema para corroborar que no se presentarán líquidos en las líneas de distribución de gas combustible y por ende se aseguran la correcta operación de los motores de combustión interna.

**Figura 13. Envolvente de Calidad del Gas**



Fuente: Reporte de simulación Hysys 6.5

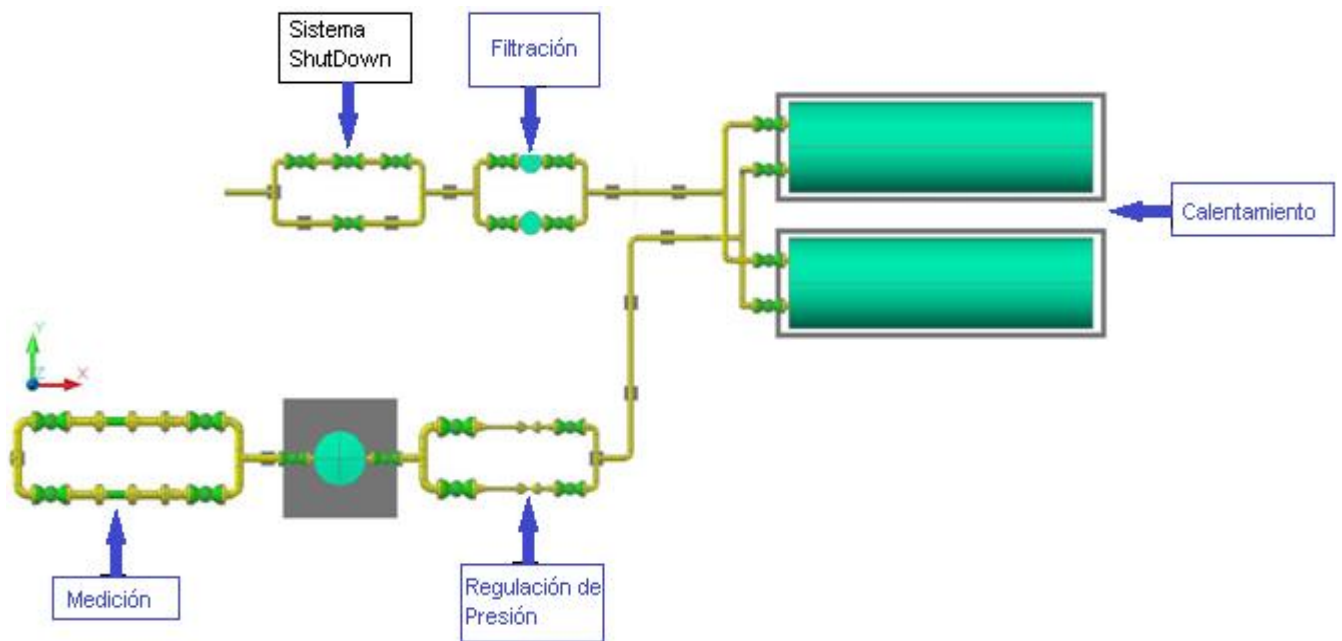
Teniendo en cuenta, las condiciones de operación y datos obtenidos de la simulación del proceso se procede a realizar el diseño detallado de los equipos que conforman el nuevo sistema de gas combustible de la Estación.

#### 4.1 CONDICIONES GENERALES

El sistema dispone de diferentes elementos ubicados de forma que permitan realizar recibo, filtración, calentamiento, regulación, medición y despacho de gas, éste sistema está compuesto por:

- Válvula de Shut-Down.
- Válvulas de alivio.
- Válvulas de corte.
- Filtros tipo canastilla.
- Calentadores indirectos
- Válvulas reguladoras de presión.
- Scrubber ó separador de condensados.
- Medidores tipo turbina
- Instrumentación para medición de temperatura, presión y nivel.
- Válvula de doble bloqueo y purga.

**Figura 14. Esquema Distribución de Equipos Nuevo Sistema de Gas Combustible**



Fuente: Autor

## 4.2 FILTROS

La filtración del gas, se hará mediante filtros tipo canasta con cartucho interno, para retener las partículas sólidas de diámetro superior a 5  $\mu\text{m}$ , según requerimientos del AGA 7 y la NTC 3949 para medidores de Turbina. Se instalarán dos, uno en operación y otro stand-by en caso de paradas por mantenimiento.

**Tabla 22. Especificación Filtros Nuevos**

FILTROS	
CAPACIDAD	4 MMSCFD
PRESIÓN	1.200 psig
TEMPERATURA	80 °F
TIPO	Canasta
CLASE	ANSI 600#

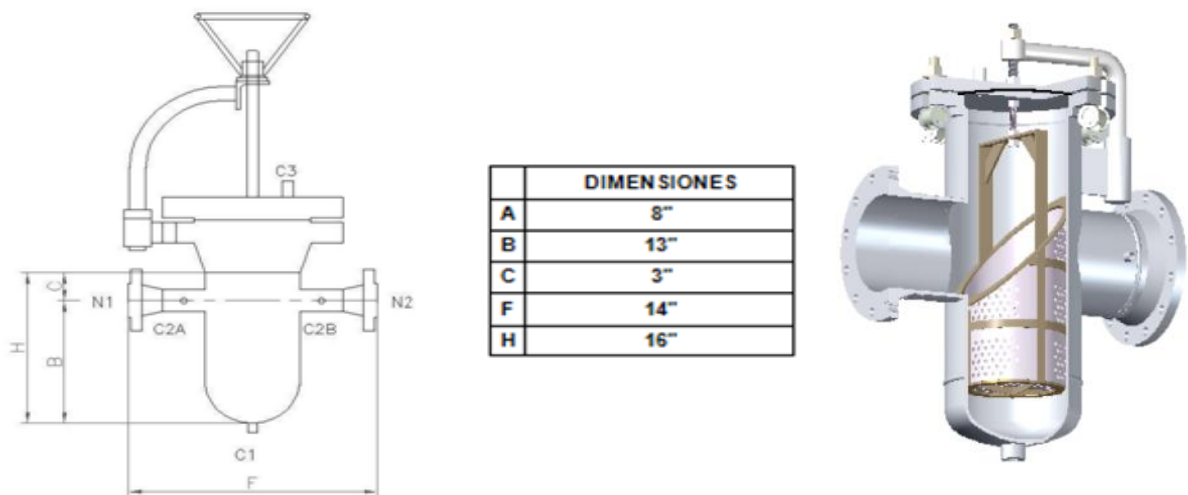
Fuente: Autor

#### 4.2.1 Especificaciones de Construcción

Los filtros tipo canasta son para uso continuo. Deben venir montados sobre piernas de soporte, tapa de apertura rápida y con *Davit* para sostener la tapa durante la limpieza.

El área de la canasta debe tener como mínimo 10 veces el área de flujo de la tubería de entrada al filtro, para garantizar la operación del filtro del cartucho seleccionado. (Ver hoja de datos de filtros en el Anexo B).

**Figura 15. Dimensiones de Filtro**



Fuente: Oferta proveedor nacional

Se establece que las caídas de presión permisibles son:

- Filtro Limpio 3 psi
- Filtro Sucio 10 psi

#### 4.2.2 Accesorios

Cada uno de los filtros contarán con líneas de drenajes de 1", válvulas de corte tipo bola y transmisor indicador de presión diferencial (PDIT), para detectar la caída de presión máxima para el mantenimiento.

#### 4.2.3 Materiales

Los materiales de construcción del filtro serán:

**Tabla 23. Materiales de Filtros**

MATERIALES FILTRO	
CARCASA	ASTM A 106 GR.B
TAPAS/CUBIERTA	ASTM A 516 Gr 70
SOPORTES	ASTM A-36
RUANAS DE REFUERZO	ASTM A 106 GR.B
CANASTA	Lámina A-240 Tipo 316

Fuente: Autor

#### 4.3 CALENTADORES

Se debe calentar el gas mínimo a 140°F con el fin de evitar temperaturas muy bajas aguas abajo de la válvula de regulación. Serán dos calentadores tipo indirecto de inmersión, uno operación y otro en stand by, en caso de paradas por mantenimiento. Para el calentamiento se consumirá gas tomado en la línea de baja presión.

**Tabla 24. Especificación Calentadores**

CALENTADORES	
CAPACIDAD	4 MMSCFD
PRESIÓN	1.200 psig
TEMPERATURA MIN ENTRADA	70 °F
TEMPERATURA MIN SALIDA	140 °F
TRANSFERENCIA DE CALOR	420.000 BTU/h
TIPO	CALENTADOR INDIRECTO
MEDIO DE CALENTAMIENTO	AGUA
CLASE	ANSI 600#

Fuente: Autor

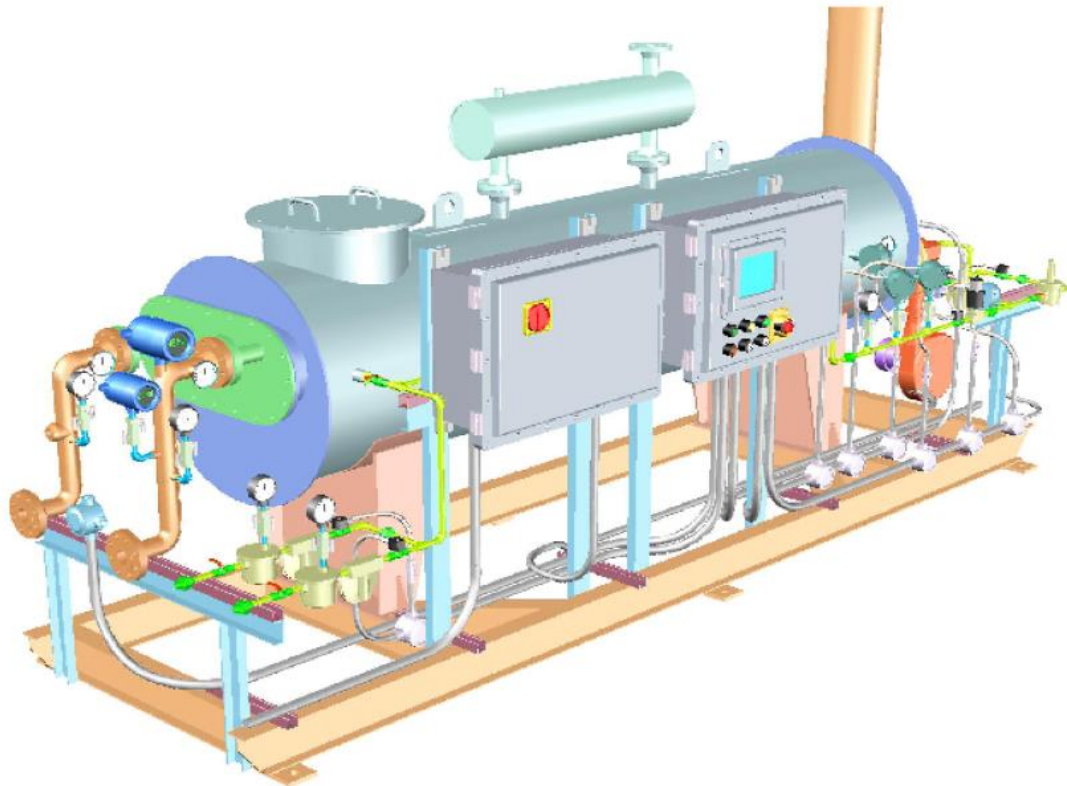
#### 4.3.1 Especificaciones

Los calentadores funcionarán por medio del mecanismo explicado a continuación: El fluido de proceso, es decir el gas a calentar, pasa por un haz de tubos en forma de serpentín, embebido en agua (fluido térmico) que ocupará todo el espacio disponible entre la carcasa y los tubos, será calentada por convección natural por un tubo de fuego en forma de U, donde se quemará el gas dispuesto para la combustión. (Ver hoja de datos de calentadores en el Anexo C).

La zona de combustión tendrá boquillas para entrada de la mezcla aire-gas y salida de gases de combustión.

El quemador cuenta con controlador de llama para dosificar el gas de combustión por medio de una válvula con actuador.

**Figura 16. Esquema Calentadores**



Fuente: Oferta proveedor nacional

Se seleccionó este tipo de calentadores por su aplicación en la industria y porque representan un bajo costo.

#### 4.3.2 Dimensionamiento

El dimensionamiento del calentador se realizó con el software HTFS Exchangers de Aspen Hysys 6.5. El calor total transferido entre el tubo y la coraza puede ser definido en términos del coeficiente de transferencia de calor, el área disponible para intercambio de calor, y la diferencia de temperatura media logarítmica:

$$Q = UA\Delta T_{LM}F_t \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde Q: Flujo de Calor

U : Coeficiente de transferencia de calor

A : Área

$T_{LM}$ : Diferencia de temperatura media logarítmica

$F_t$  : Factor de corrección de temperatura

Como ecuaciones básicas para determinar las características de los tubos y de la coraza del calentador se tiene:

$$M_{shell}(H_{in} - H_{out})_{shell} - Q_{loss} + Q = \rho \frac{d(VH_{out})_{shell}}{dt} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$M_{tube}(H_{in} - H_{out})_{tube} - Q = \rho \frac{d(VH_{out})_{tube}}{dt} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde M: Flujo de fluido

H : Entalpia

Q : Transferencia de calor

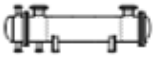
$Q_{Loss}$ : Perdida de calor

$\rho$  : densidad

V : Volumen

Con base en las Ecuaciones 5, 6 y 7, se realiza el dimensionamiento del calentador, obteniendo:

**Tabla 25. Dimensionamiento Calentadores**

CONSTRUCTION OF ONE SHELL						Sketch			
		Shell Side		Tube Side					
Design/Test pressure	psi	100 / Code		1050 / Code					
Design temperature	F	390		220					
Number passes per shell		1		8					
Corrosion allowance	in	0,0625		0,0625					
Connections	In	16 / 150 ANSI		2 / 600 ANSI					
	Out	16 / 150 ANSI		2 / 600 ANSI					
	Intermediate	/ 150 ANSI		/ 600 ANSI					
Tube No.	102	OD	0,75	0,065	in	Length	10 ft	Pitch	0,9375 in
Tube type	Plain		Material		CS		Tube pattern	30	
Shell	CS	ID	OD	18	in	Shell cover			

Fuente: Reporte de simulación HTFS Exchangers

### 4.3.3 Accesorios

Cada uno de los calentadores contarán con:

- Control de temperatura
- Control de nivel de agua
- Controlador del quemador
- Válvulas de seguridad
- Switchs de alta y baja presión
- Manómetros
- Termocuplas

### 4.4 REGULADORAS DE PRESIÓN

El gas será regulado hasta una presión de 70 psig, según requerimiento de motores de combustión. El sistema constará de dos válvulas de control, una en stand by en caso de paradas por mantenimiento y estará dotada de válvulas de corte para aislar el sistema. (Ver hoja de datos de válvulas de control en el Anexo D).

**Tabla 26. Especificación Válvulas**

<b>VÁLVULAS CONTROL DE PRESIÓN</b>	
CAPACIDAD	4 MMSCFD
PRESIÓN ENTRADA	1.200 psig
PRESIÓN SALIDA	70 psig
TEMPERATURA ENTRADA	140 °F
TEMPERATURA SALIDA	70 °F
CLASE	ANSI 600#

Fuente: Autor

#### 4.4.1 Dimensionamiento

El dimensionamiento de la válvula de control de presión del sistema se realiza para determinar el tamaño de válvula, que viene dado por su diámetro, el método de cálculo utilizado es el conocido como el Procedimiento de Cv. Donde el Cv es el coeficiente de flujo de la válvula y depende del tipo, diámetro y grado de apertura de esta. La fórmula básica para el cálculo de Cv de la válvula para gas es:

$$Q=1360Cv\sqrt{\frac{\Delta P_v (P_1+P_2)}{G T_1}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde Q: Caudal. (SCF/seg)

$\Delta P_v$ : Pérdida de carga en la válvula en (psig)

$P_1$ : Presión aguas arriba (psia)

$P_2$ : Presión aguas abajo (psia)

G: Densidad relativa del gas respecto al aire a 60 °F y 14.7 psia

$T_1$ : Temperatura del gas a la entrada de la válvula

Teniendo en cuenta la Ecuación 8 que proporciona el Cv requerido de la válvula, se procede a realizar el dimensionamiento de la válvula con el Software Circor Select V.2.3.1, ya que las dimensiones de las válvulas de control dependen de cada fabricante, obteniendo:

**Tabla 27. Calculo Válvulas de Control de Presión**

Fluid:	Natural gas	Units	Max	Norm	Min
Flow Rate	scfd		4000000	3184000	2755000
Inlet Pressure	psig		1200	1200	1200
Outlet Pressure	psig		70	70	70
Inlet Temperature	°F		140	140	140
Specific Heat Ratio			1.28	1.28	1.28
Molecular Weight, M			24.3	24.3	24.3
Compressibility Factor			0.978	0.978	0.978
Outlet Specific Volume	ft³/lb		0.3204	0.3204	0.3204
Inlet Velocity			Normal	Normal	Normal
Body Velocity			Normal	Normal	Normal
Outlet Velocity			Normal	Normal	Normal
Required Cv			4.06	3.23	2.79
Travel	%		7.1	5.7	4.9
Allow. / Pred. SPL, IEC	dba		85 / 90	85 / 87	85 / 85
Noise			High	High	Normal
Flow Condition			High Noise	High Noise	Normal

Fuente: Reporte cálculo Circor Select V.2.3.1

**Tabla 28. Dimensiones Válvulas de Control de Presión**

<b>VALVE/BODY/BONNET</b>	Type	Globe, Linear	
	Body Size	NPS 2"	
	Pressure Class	600 ANSI	
	Dsgn Press	1200 psig	<b>Dsgn Temp</b> 140 °F
	Mfr. / Model	Leslie Controls / AEROFLOW	
	Model No.	AF1CEE1E1AA1AXX00	
	Body/Bonnet Mat'l	Carbon Steel, ASTM A216 Gr WCB	
	End Conn. In	2" RF Flange	
	End Conn. Out	2" RF Flange	
	Fig. Face Finish	Std. 125 - 250 rms	
	End Ext. Mat'l		
	Flow Direction	Flow Under Seat	
	Type of Bonnet	Standard	
Packing Mat'l	BTG (Braided Teflon Graphite)		
<b>TRIM</b>	Type	UBP - Unbalanced Plug Throttling	
	Cage Type	Standard	
	Characteristic	Linear	
	Travel / Stroke	Standard - 1.5"	
	Rated Cv	57 (100%-STD)	
	Plug Mat'l	AISI 420 Stainless Steel	
	Seat Mat'l Anillo	AISI 440C Stainless Steel	
	Cage Mat'l	AISI 440 SST	
Stem Mat'l	ASTM A276 Nitronic 60		

Fuente: Reporte cálculo Circor Select V.2.3.1

#### 4.4.2 Accesorios

Como se observa en la Tabla 27 en la válvula se puede presentar ruido de hasta 90 dBA, por lo cual la válvula debe contar con una caja de Whisper para atenuación de ruido, este elemento consiste en un dispositivo con múltiples orificios con determinada forma, tamaño y espaciamiento, que rompen las corrientes de flujo turbulento reduciendo las interacciones de ruido que se producen.

#### 4.5 SCRUBBER

El scrubber se instalará posterior a la regulación de presión con el fin de garantizar que el gas esté libre de líquidos en el proceso de regulación, éstos pueden formarse por condensación de los componentes más pesados de gas a tratar, a las condiciones de presión y temperatura de operación no se presentan cambios de fase, sin embargo se debe disponer para asegurar la calidad del gas. (Ver hoja de datos de scrubber en el Anexo E).

**Figura 17. Esquema Scrubber**



Fuente: Oferta proveedor nacional

#### 4.5.1 Dimensionamiento

La evaluación de los equipos de separación gas-liquido, se realiza con base a la Ley de Stokes, expresada en las siguientes ecuaciones:

Separación Gas- Líquido:

$$V_t = 0,0119 \left( \frac{(\rho_l - \rho_g) d_m}{\rho_g C_D} \right)^{1/2} \quad \text{Ecuación 9}$$

Dimensionamiento Scrubber

$$dL_{Eff} = 420 \left( \frac{TZQ_g}{P} \right) \left( \frac{(\rho_l - \rho_g) d_m}{\rho_g C_D} \right)^{1/2} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde	$V_t$	: Velocidad terminal de asentamiento, ft/s.
	$\rho_l$	: Densidad del líquido, lb/ft <sup>3</sup> .
	$\rho_g$	: Densidad del gas, lb/ft <sup>3</sup> .
	$d_m$	: Diámetro de separación de partícula, micrones. El diámetro de partícula mínimo ( $d_m$ ) de separación se establece a partir de datos típicos para estas aplicaciones, 150 $\mu$ m.
	$C_D$	: Coeficiente de Dragg
	$d$	: Diámetro interno, in
	$L_{Eff}$	: Longitud efectiva, ft
	$T$	: Temperatura de operación, °R
	$Z$	: Compresibilidad del gas
	$Q_g$	: Caudal de gas, MMSCFD
	$P$	: Presión de operación, psia

El coeficiente de Drag C (coeficiente de arrastre), se determina, como referencia de  $C(Re)^2$ :

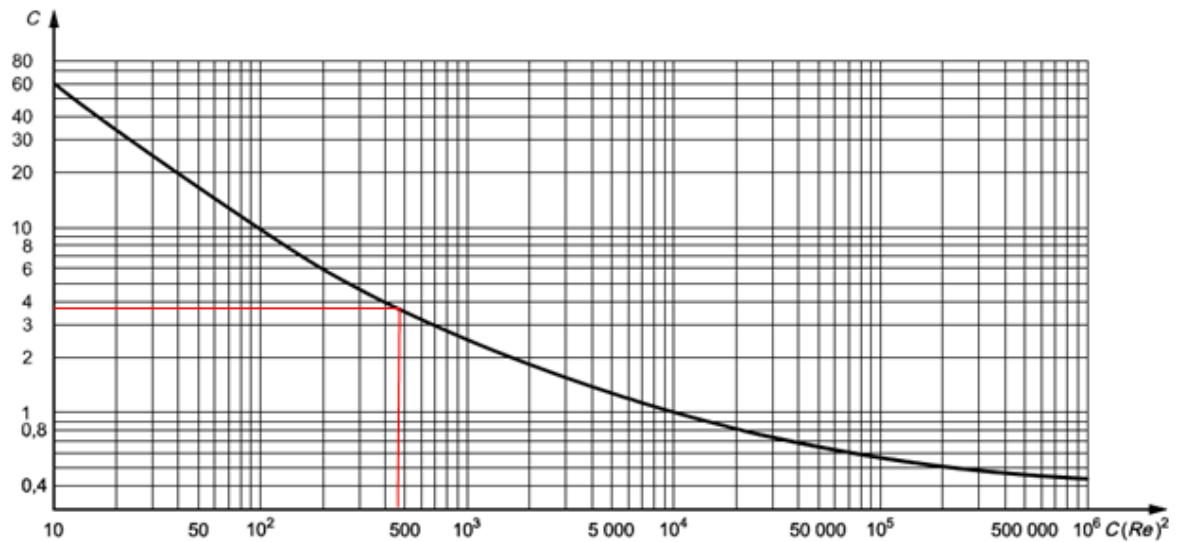
$$C(Re)^2 = \frac{(0,95 \times 10^8)(\rho_g)(D^3)(\rho_l - \rho_g)}{\mu^2} \quad \text{Ecuación 11}$$

Reemplazando las características del gas en la Ecuación 11, se obtiene:

$$C(\text{Re})^2 = \frac{(0,95 \times 10^8)(0,3083 \text{ lb/ft}^3)((0,0004 \text{ ft})^3)(31,7 - 0,3083) \text{ ft/s}}{(0,011 \text{ cP})^2}$$

$$C(\text{Re})^2 = 486,3$$

Obteniendo el coeficiente de Drag de la Figura 16 de la API 521:



**Coeficiente de Drag = 3,8**

Reemplazando en las Ecuaciones 9:

$$V_t = 0,0119 \left( \frac{(31,7 - 0,3083) 150}{0,3083 \cdot 3,8} \right)^{1/2}$$

$$V_t = 0,75 \frac{ft}{s}$$

Longitud costura-costura  $L_{ss}$  para capacidad de gas

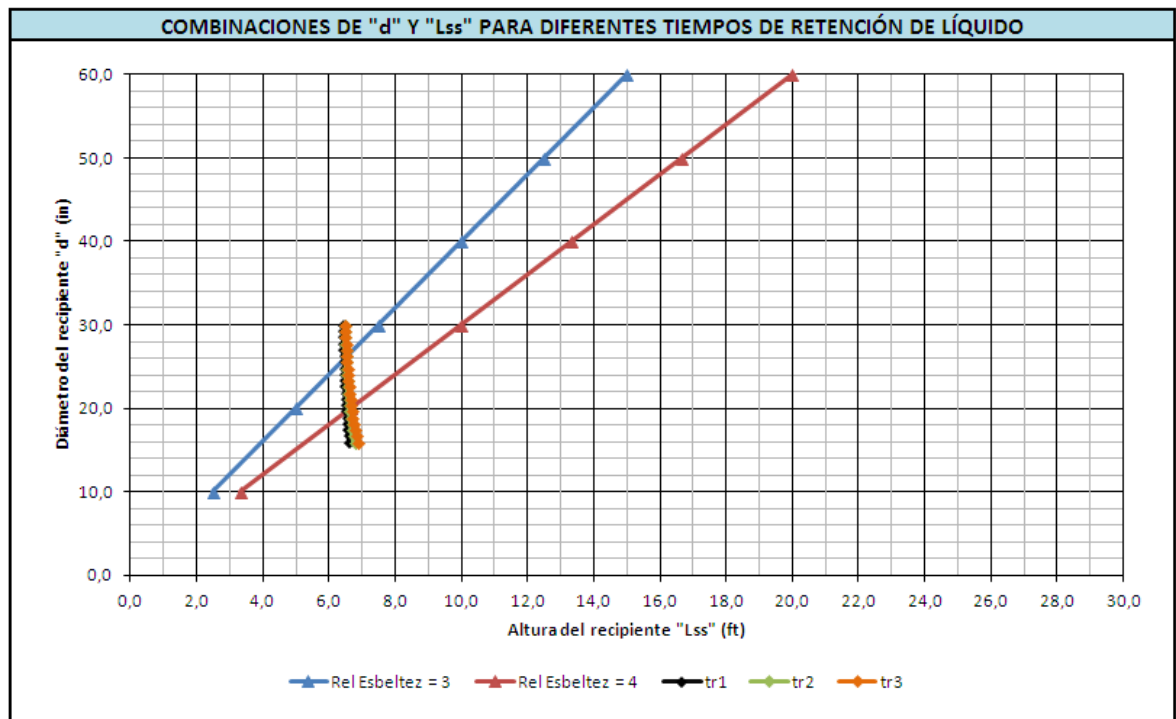
$$L_{ss} = L_{eff} + \frac{d}{12} \quad \text{Ecuación 12}$$

Longitud costura-costura  $L_{ss}$  para capacidad de líquido

$$L_{ss} = \frac{4}{3} * L_{eff} \quad \text{Ecuación 13}$$

Se procede a realizar el dimensionamiento del Scrubber obteniendo:

**Figura 18. Dimensionamiento Scrubber**



Fuente: Autor

**Tabla 29. Dimensionamiento Scrubber**

D (in)	Lss (ft)	L/D	Capacidad Gas (MMSCFD)	Capacidad Liquido (BFPD)	Tiempo de retención (min)
24	7	3,5	4	40	20

Fuente: Autor

#### 4.5.2 Accesorios

El scrubber contará con:

- Válvula de seguridad
- Línea de drenajes
- Medidores de temperatura y presión
- Nivel de líquidos.

#### 4.6 MEDICIÓN

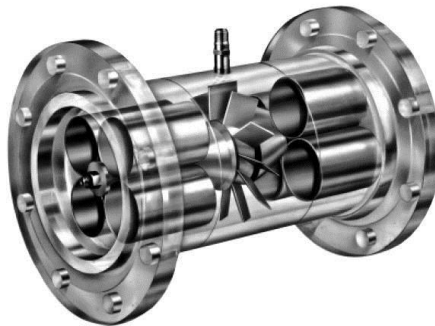
Como se estableció en el numeral 3.5 del presente documento, se contará con dos medidores tipo turbina, uno en stand-by del otro en caso de paradas de mantenimiento. (Ver hoja de datos de medidores en el Anexo F).

**Tabla 30. Especificación Medidor**

MEDIDOR DE FLUJO	
CAPACIDAD	4 MMSCFD
PRESIÓN OPERACIÓN	70 psig
TEMPERATURA	70 °F
TIPO	TURBINA
CLASE	ANSI 150#

Fuente: Autor

**Figura 19. Medidor Tipo Turbina**



Fuente: Oferta proveedor nacional

La línea de entrada al sistema será de 6" y la de salida tendrá un diámetro de 6" y estará dotado de válvulas de corte para aislar el sistema y de enderezador de flujo 10 y 5 diámetros aguas arriba y aguas abajo respectivamente con sistema de corrección por presión y temperatura.

#### **4.6.1 Accesorios**

Cada brazo estará conformado por los componentes y características que se indican a continuación:

- Dos válvulas de bola del tamaño nominal de la tubería de conducción, con la función de bloquear el paso de gas por el brazo de medición.
- Elemento(s) de medición tipo turbina que como mínimo cumplan con la norma AGA 7.
- Un transmisor de presión estática con transmisión de señal 4 a 20 mA al computador de flujo.
- Una RTD clase A para transmisión de señal de temperatura al computador de flujo mediante un transmisor de temperatura (capaz de leer la curva real de la RTD) con señal de señal de 4 a 20 mA.
- Un computador de flujo cuya función principal será realizar la corrección de flujo por presión y temperatura.

#### **4.7 SISTEMAS AUXILIARES**

Se dispondrá de una válvula de Shut-Down a la entrada del sistema de gas combustible que protegerá el sistema por alta y baja presión aguas abajo de la regulación, así como por alto nivel en el scrubber.

El sistema estará dotado de dos válvulas de seguridad para alivio de presión, una en la sección de alta presión y otra a la salida del sistema de regulación para la sección de baja presión.

#### 4.8 CÁLCULO HIDRAULICO DE TUBERÍAS SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE

Se evaluaron líneas con diámetros de 2 pulgadas para la línea de alta presión, de 6 pulgadas para la línea de baja presión y de ¾ pulgadas para la línea de gas de combustión del calentador.

De acuerdo con los criterios establecidos por la norma API-RP-14E, que recomienda una velocidad máxima de gases de 60 ft/s y mínima de 10 ft/s. Obteniendo:

**Tabla 31. Diámetros Tuberías Sistema de Gas Combustible Nuevo**

DIÁMETRO TUBERÍA	PRESIÓN (psig)	FLUJO (MMSCFD)	VELOCIDAD (ft/s)
2"	1.200	4	28,4
6"	70	4	44,1
¾"	70	0,03	21,4

Fuente: Autor

#### 4.9 DIAGRAMA DE PROCESO E INSTRUMENTACIÓN

En el Anexo G se presenta el diagrama de proceso e instrumentación P&ID del nuevo sistema de gas combustible de la Estación.

#### 4.10 SKID SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE

Para facilidad de transporte y montaje el sistema de gas combustible será instalado sobre uno o varios patines (skids) que soportarán todos los elementos y equipos del sistema. En el Anexo H se presenta la distribución de equipos del nuevo sistema de gas combustible de la Estación.

#### 4.11 PRESUPUESTO NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE

Teniendo en cuenta el diseño realizado del nuevo sistema de gas combustible, se determina el presupuesto estimado del mismo:

**Tabla 32. Presupuesto Nuevo Sistema de Gas Combustible**

<b>PRESUPUESTO SISTEMA GAS COMBUSTIBLE</b>			
<b>ITEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$COP)</b>	<b>COSTO TOTAL (\$COP)</b>
Válvula de cierre de Emergencia (ESDV)	1	\$ 19.870.000	\$ 19.870.000
Filtros tipo canasta	2	\$ 38.700.000	\$ 77.400.000
Calentadores de baño de agua	2	\$ 329.000.000	\$ 658.000.000
Válvulas de Control de Presión	2	\$ 22.345.000	\$ 44.690.000
Scrubber	1	\$ 89.986.000	\$ 89.986.000
Medidor de flujo tipo turbina	2	\$ 42.000.000	\$ 84.000.000
Tubería, válvulas y accesorios	Global	\$ 27.000.000	\$ 27.000.000
Instrumentación asociada	Global	\$ 59.000.000	\$ 59.000.000
Skid - Soportería	Global	\$ 89.000.000	\$ 89.000.000
<b>SUBTOTAL</b>		\$	<b>1.148.946.000</b>
<b>IVA (16%)</b>		\$	<b>183.831.360</b>
Obras civiles, mecánicas, eléctricas de montaje		\$	<b>402.131.100</b>
<b>TOTAL (\$COP)</b>		\$	<b>1.734.908.460</b>
<b>TOTAL (\$USD - TRM 1.810)</b>		\$	<b>960.000</b>

Fuente: Autor

## 5. OPTIMIZACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS

Una vez realizado el diseño del sistema de gas combustible, se procede a realizar la optimización de la red de distribución de gas de la Estación, teniendo en cuenta la localización del nuevo sistema de gas combustible y la localización de los bloques de bombeo y generación eléctrica.

La optimización y evaluación hidráulica de las redes de distribución de gas de la Estación, se realizará con la ecuación de flujo de Panhandle A, ya que es la más recomendada para este tipo de casos:

$$Q_g = 0.020E \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2}{S^{0.853} Z T_1 L_m} \right]^{0.059} d^{2.62}$$

Donde

- $Q_g$  : Flujo de gas, MMSCFD
- $P_1$  : Presión de entrada a la línea, psia
- $P_2$  : Presión de salida de la línea, psia
- $S$  : Gravedad específica del gas
- $Z$  : Factor de compresibilidad del gas
- $T_1$  : Temperatura de entrada a la línea, °R
- $L_m$  : Longitud de la línea, ft
- $d$  : Diámetro de la tubería, in
- $E$  : Factor de tubería, para tubería nueva, 1

Adicionalmente se usará el software hidráulico Piping Systems FluidFlow V.5.0.349.0, el cual es un programa para el diseño y optimización de redes de tuberías, transporte de fluidos compresibles, incompresibles, gas-líquido en dos fases y/o fluidos no newtonianos.

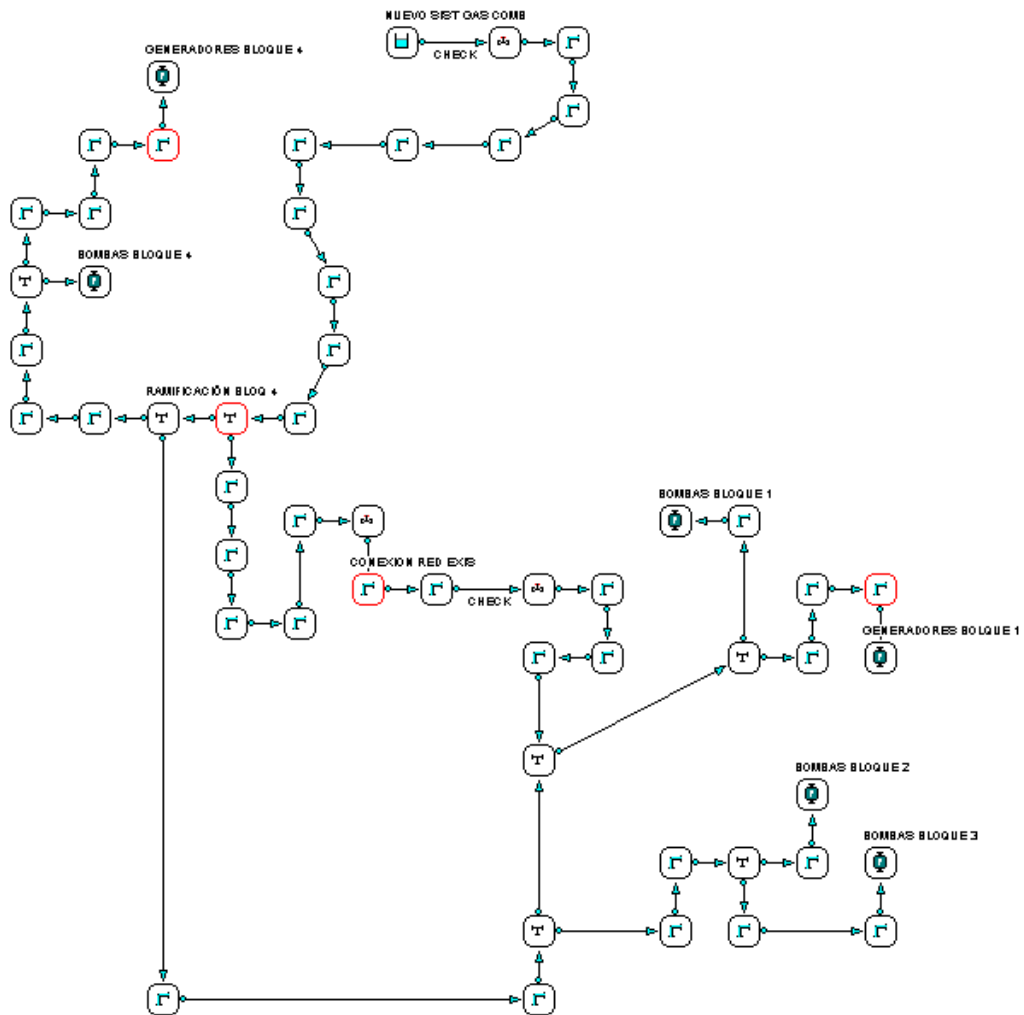
### 5.1 CONEXIÓN A RED DE DISTRIBUCIÓN EXISTENTE

En primera instancia se procede a evaluar la posibilidad de usar la red de distribución existente presentada en el numeral 24, conectada al nuevo sistema de gas combustible. Teniendo en cuenta que las condiciones de operación del nuevo sistema de gas combustible de entrega a la red de distribución son:

- ✓ Presión = 70 psig
- ✓ Temperatura = 70 °F

Se procede a evaluar el uso de la red de distribución de gas existente y la disponibilidad de tubería en la Estación con el fin de minimizar al máximo la intervención del sistema (Ver Figura 21), usando el Simulador Piping Systems FluidFlow 5.0.349.0, con la ecuación de flujo de Panhandle A (Ver Figura 20).

**Figura 20. Simulación Conexión Nuevo Sistema de Gas Combustible a Red Existente**



Fuente: Reporte simulación Piping Systems FluidFlow

Los resultados obtenidos para este caso son:

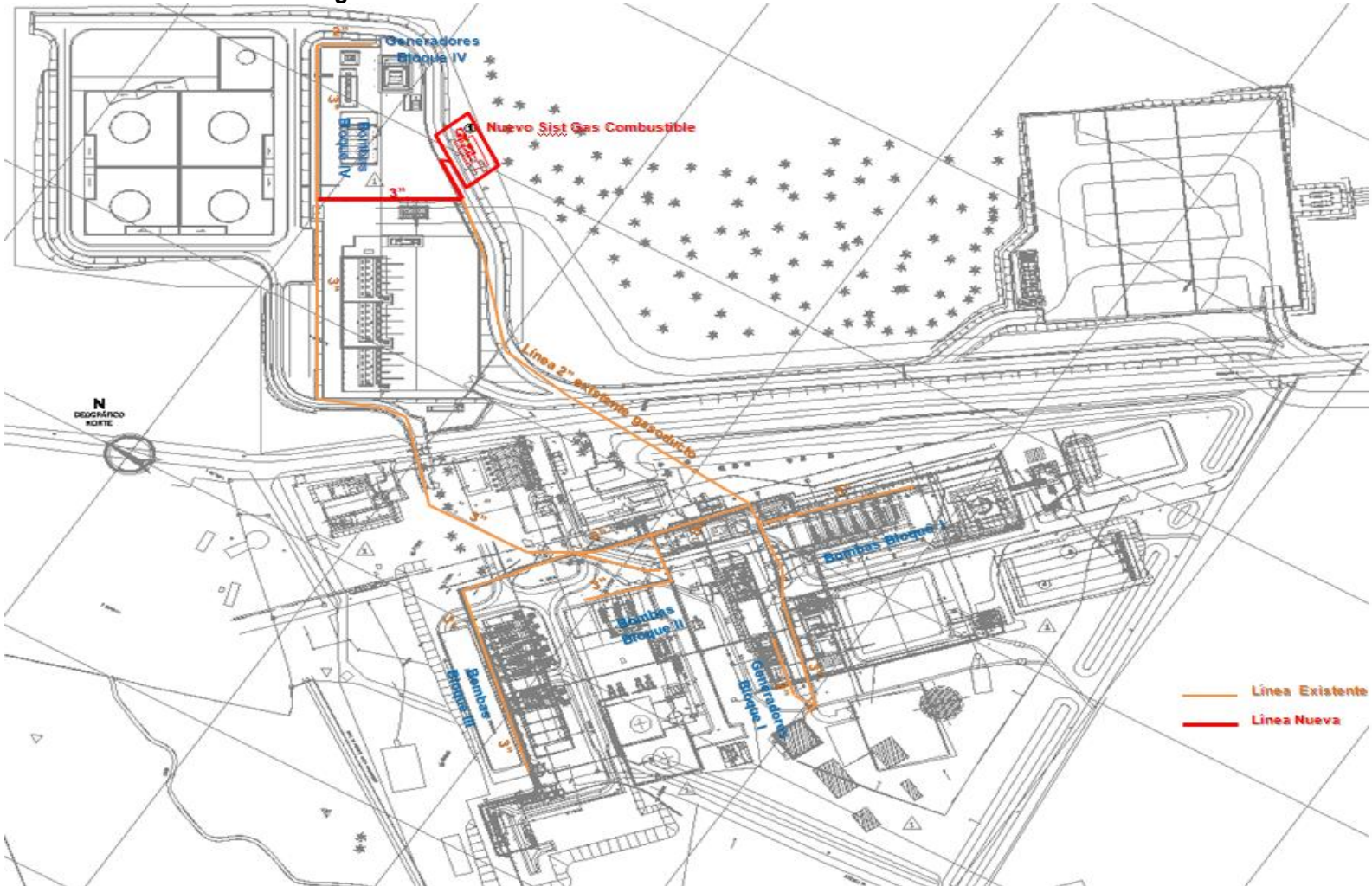
**Tabla 33. Resultados Hidráulicos Conexión Nuevo Sistema a Red Existente**

<b>EQUIPO</b>	<b>CONSUMO DE GAS (SCFH)</b>	<b>DIÁMETRO LÍNEA</b>	<b>VELOCIDAD (ft/s)</b>	<b>PRESIÓN LLEGADA (psig)</b>
Línea de Nuevo Sistema a Red actual	27.707	2" (Disponible)	71,84	42,7
Línea de Nuevo Sistema a Red actual	104.971	3" (Nueva)	123,62	53,3
Generadores Bloque I	16.557	3" – 2"	23,68 – 52,18	41,7
Bombas Bloque II	10.938	3"	16,68	38,3
Bombas Bloque I	29.394	3"	41,99	41,3
Bombas Bloque III	55.522	3"	88,13	33,7
Generador Bloque IV	5.570	3"- 2"	6,71 -14,7	52,4
Bombas Bloque IV	14.697	3"	17,69	52,4

Fuente: Autor

Como se observa en la Tabla 33, con la conexión del nuevo sistema de gas combustible haciendo un loop al sistema de distribución existente no es suficiente para cumplir con los requerimientos de presión de llegada a cada sistema, por lo cual se procede a evaluar el cambio de diámetros de tuberías.

Figura 21. Conexión Nuevo Sistema a Red de Distribución Existente



Fuente: Autor

## 5.2 OPTIMIZACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS

La nueva red de distribución de gas, se basa en la optimización de la red existente presentada en el numeral 5.2.

La optimización realizada consiste en minimizar la cantidad de tubería nueva a instalar, usando el método de mínimos cuadrados y basado en la ecuación de flujo de Panhandle A.

$$Q_g = 0.020E \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2}{S^{0.853} Z T_1 L_m} \right]^{0.059} d^{2.62}$$

Mínimos cuadrados es una técnica de análisis numérico encuadrada dentro de la optimización matemática, en la que, dados un conjunto de pares ordenados: variable independiente, variable dependiente, y una familia de funciones, se intenta encontrar la función, que mejor se aproxime a los datos (un "mejor ajuste"), de acuerdo con el criterio de *mínimo error cuadrático*.

Para el caso de la optimización de la red de distribución, las variables que se usaron son:

- Función a optimizar =  $C_T$  (Cantidad de Tubería)

$$C_T = d \times L_m$$

Donde  $L_m$  : Longitud de la línea, ft  
 $d$  : Diámetro de la tubería, in

- Variables dependientes:
  - ✓  $Q_g$  : Flujo de gas, MMSCFD
  - ✓  $P_2$  : Presión de salida de la línea, psia
  - ✓  $d$  : Diámetro de la tubería, in
- Variables independientes:
  - ✓  $P_1$  : Presión de entrada a la línea, psia
  - ✓  $S$  : Gravedad específica del gas
  - ✓  $Z$  : Factor de compresibilidad del gas

- ✓  $T_1$  : Temperatura de entrada a la línea, °R
- ✓  $L_m$  : Longitud de la línea, ft

- Restricciones

- ✓ Las propiedades del gas son constantes:
  - $S$  : Gravedad específica del gas = 0,8422
  - $Z$  : Factor de compresibilidad del gas = 0,9953
- ✓ Las temperatura del gas es constante, 70°F (530°R)
- ✓ Manejo del 20% de flujo adicional al diseño en las tuberías
- ✓ El diámetro mínimo de la tubería es 1,5"
- ✓ El diámetro máximo de la tubería es 6"
- ✓ La presión de llegada del gas a cada sistema debe ser mínimo 45 psig.

La optimización se realiza usando la herramienta de Microsoft Excel – Solver, obteniendo como resultado que los diámetros óptimos para el manejo del gas de la Estación son:

**Tabla 34. Optimización Red de Distribución de Gas**

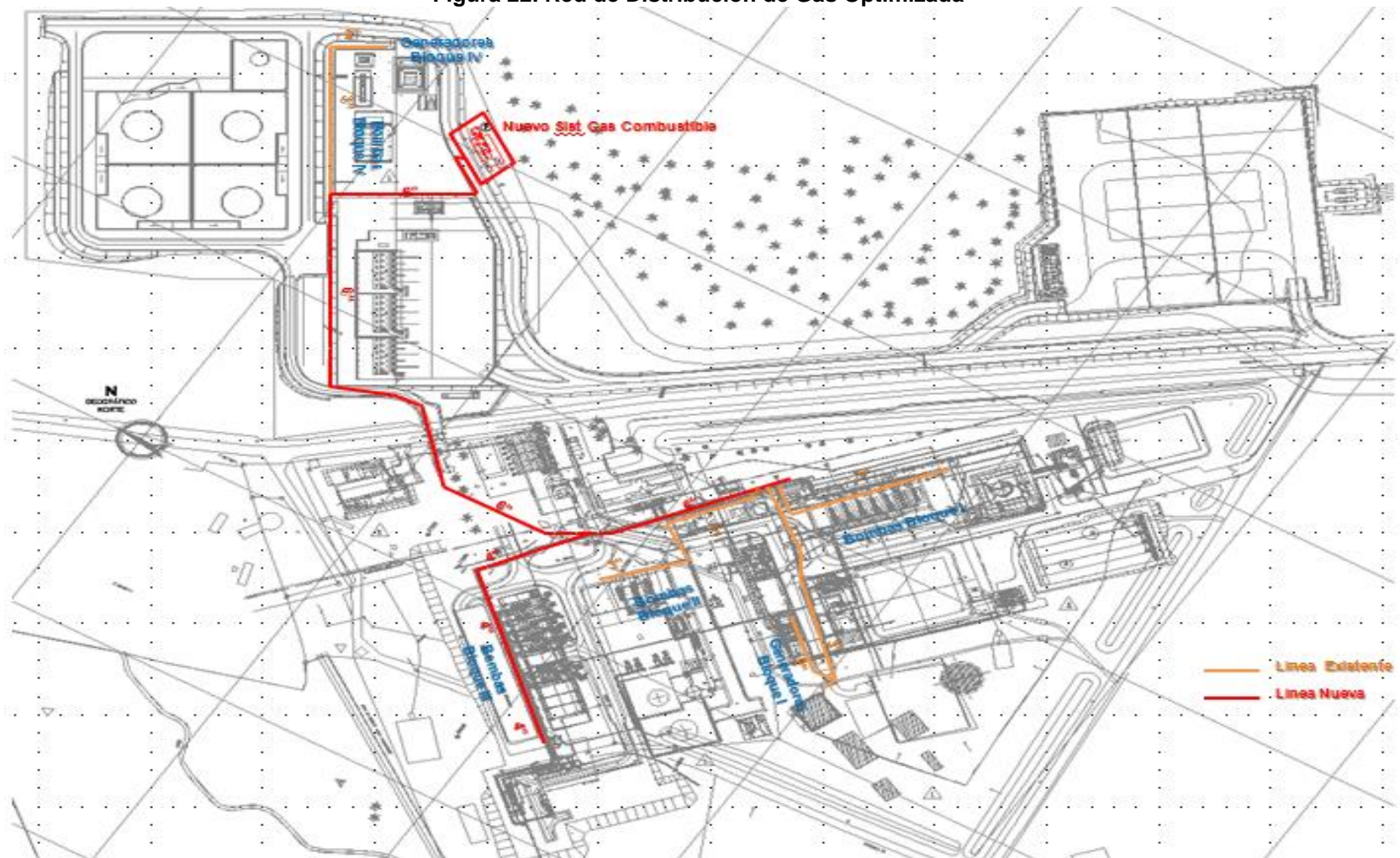
Tramo	Flujo (MMSCD)	Flujo sobrediseño 20% (MMSCFD)	Longitud (ft)	Presión entrada (psia)	Presión salida (psia)	$\Delta P$ (psi/100 ft)	Diametro Calculado (in)	Diametro Seleccionado (in)
Bombas Bloque I	0,705	0,846	366	81,8	58,3	0,000642	2,565	<b>3</b>
Generadores Bloque I	0,397	0,4764	191	81,8	58,3	0,001230	1,613	<b>2</b>
Bombas Bloque II	0,263	0,3156	414	81,8	58,3	0,000568	2,142	<b>3</b>
Bombas Bloque III	1,332	1,5984	715	81,8	58,3	0,000329	3,908	<b>4</b>
Bombas Bloque IV	0,353	0,4236	282	81,8	58,3	0,000833	2,485	<b>3</b>
Generadores Bloque IV	0,134	0,1608	66	81,8	58,3	0,003561	1,331	<b>2</b>
Salida Sistema Gas	3,184	3,8208	1720	83,8	81,8	0,000148	5,831	<b>6</b>

Fuente: Autor

Como se observa en la Tabla 34, la optimización del sistema evidencia que las tuberías existentes de 2" y 3" se pueden usar independizándolas y que las nuevas tuberías requeridas son de 6" para la salida del nuevo sistema de gas combustible y de 4" para el sistema de bombeo de Bloque IV.

Teniendo en cuenta estos hallazgos se procede a realizar el rediseño de la red de distribución como se muestra en la Figura 22.

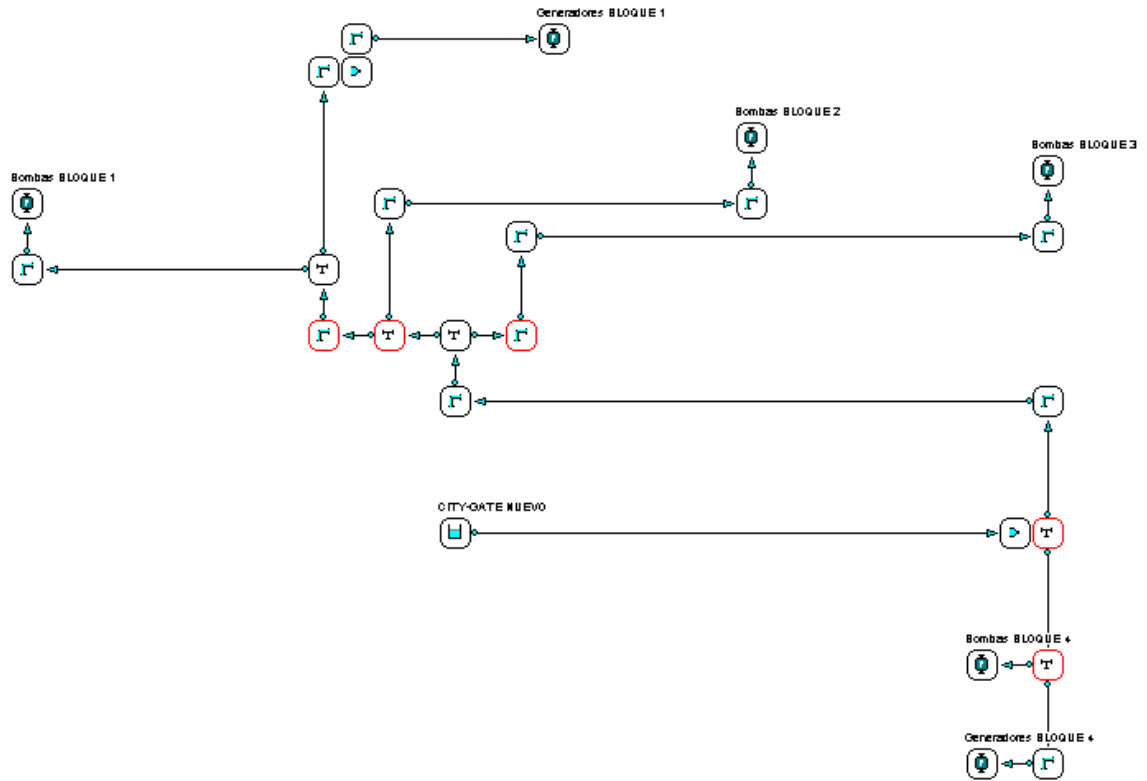
Figura 22. Red de Distribución de Gas Optimizada



Fuente: Autor

Una vez determinados los diámetros de tubería requeridos, se procede a realizar la simulación de la red con Piping Systems FluidFlow 5.0.349.0, para determinar las condiciones de operación de la misma:

**Figura 23. Simulación Red de Distribución Optimizada**



Fuente: Reporte de simulación Piping Systems FluidFlow

Los resultados obtenidos para la optimización de la red de distribución se muestran en la Tabla 35 cumpliendo con los requerimientos de los motores de combustión interna.

**Tabla 35. Resultados Hidráulicos Red de Distribución de Gas Optimizada**

EQUIPO	CONSUMO DE GAS (SCFH)	DIÁMETRO LÍNEA	VELOCIDAD (ft/s)	PRESIÓN LLEGADA (psig)
Línea de Nuevo Sistema a Red	159.200	6" (Nueva)	38,42	67,9
Generadores Bloque I	19.850	3" – 2"	19,22 – 42,40	67,5
Bombas Bloque II	13.150	3"	12,72	67,8
Bombas Bloque I	35.250	3"	34,13	66,9
Bombas Bloque III	66.360	4" (Nueva)	37,38	66,3

EQUIPO	CONSUMO DE GAS (SCFH)	DIÁMETRO LÍNEA	VELOCIDAD (ft/s)	PRESIÓN LLEGADA (psig)
Generador Bloque IV	6.700	3"- 2"	6,4 -14,8	68,9
Bombas Bloque IV	17.650	3"	23,15	68,0

Fuente: Autor

### 5.3 PRESUPUESTO OPTIMIZACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS

El presupuesto estimado para la optimización de la red de distribución de gas, que corresponde a los tramos de tuberías nuevos, es:

**Tabla 36. Presupuesto Optimización Red de Distribución de Gas**

PRESUPUESTO OPTIMIZACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS				
ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO (\$COP)	COSTO TOTAL (\$COP)
Tubería 6", SCH 40 STD, API 5L-X-42	525	mL	\$ 159.280	\$ 83.622.000
Tubería 4", SCH 40 STD, API 5L-X-43	218	mL	\$ 86.880	\$ 18.939.840
válvulas y accesorios	Global	n/a	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
SUBTOTAL			\$	117.561.840
IVA (16%)			\$	18.809.894
Obras mecánicas de montaje			\$	274.310.960
<b>TOTAL (\$COP)</b>			<b>\$</b>	<b>410.682.694</b>
<b>TOTAL (\$USD - TRM 1.810)</b>			<b>\$</b>	<b>230.000</b>

Fuente: Autor

## 6. CONCLUSIONES

En el Capítulo 2, se determinó la capacidad de diseño del nuevo sistema de gas combustible, teniendo en cuenta los consumos de gas de los equipos de la Estación, obteniendo que la carga máxima del sistema es de 3.185.000 SCFD, sin embargo, se estableció como capacidad de diseño del nuevo sistema de gas combustible un flujo de gas de 4.000.000 SCFD, previendo ampliaciones futuras.

Según la evaluación de las alternativas para el sistema de gas combustible desarrollada en el Capítulo 3, se determinó que la alternativa más conveniente para la estación es un nuevo sistema de Gas Combustible con medidor de flujo tipo turbina, ubicado en fuera del cerramiento actual de la Estación.

En el Capítulo 4, se efectuó el diseño del nuevo sistema de gas combustible y sus equipos, garantizando que el sistema entregue el gas a las condiciones de proceso requeridas por los motores de combustión interna de la Estación de bombeo. En general las especificaciones del nuevo sistema de gas combustible son:

SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE	
CAPACIDAD	4 MMSCFD
PRESIÓN MAX. ENTRADA	1.200 psig
TEMPERATURA MIN. ENTRADA	70 °F
PRESIÓN SALIDA	70 psig
TEMPERATURA MIN. SALIDA	50 °F
CLASE	ANSI 600#

Fuente: Autor

Una vez realizado el diseño del sistema de gas combustible, se procedió a optimizar la red de distribución de gas utilizando tramos de tuberías existentes y corredores disponibles en la Estación, obteniendo la configuración más adecuada para la Estación (Ver Figura 22).

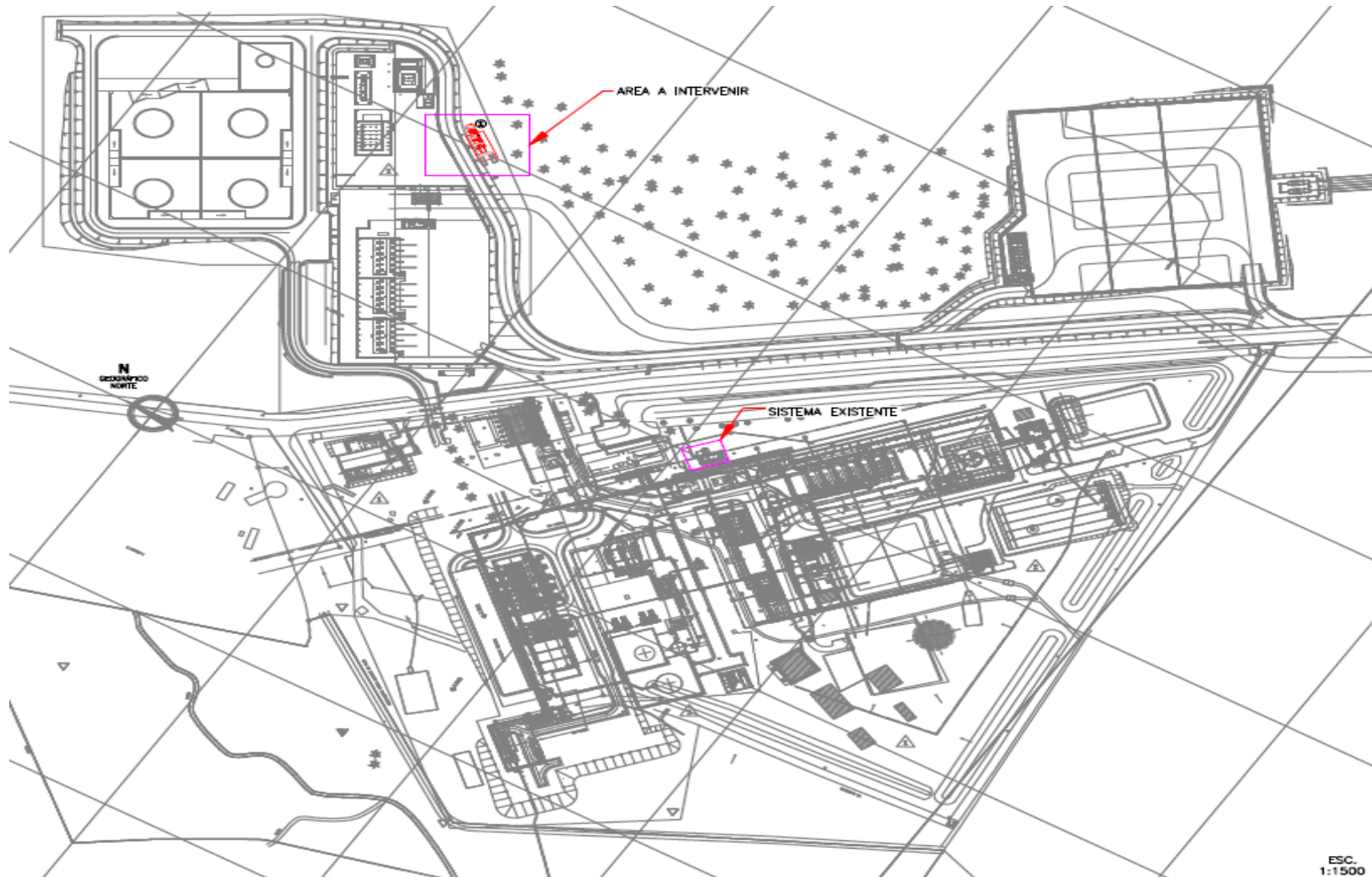
Durante el desarrollo del documento se presentan las diferentes especificaciones del nuevo sistema de gas combustible y su red de distribución, en los anexos se presentan los respectivos planos del sistema y especificaciones de equipos; el presupuesto estimado del nuevo sistema de gas combustible y la optimización de la red de distribución es de **\$USD 1.190.000**.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- ARNOLD Kern. Surface production operations. Volume 1- Design of Oil - Handling Systems and Facilities. Gulf Publishing Company. Huston, Texas. 1986.
- AGA REPORT No. 7. Measurement of Gas by Turbine Meter
- ANSI/ASME B31.8. Gas Transmission and Distribution Piping Systems.
- API. American Petroleum Institute Spec. 5L Specifications for Lines Pipes.
- API. American Petroleum Institute Spec. 6D Specifications for Pipeline Valves.
- API. American Petroleum Institute Spec. 12J Specifications for Oil and Gas Separators.
- API. American Petroleum Institute Spec. 12K Specifications for Indirect Type Oil – Field Heaters.
- API. American Petroleum Institute, RP 521, Guide for Pressure Relieving and Depressuring Systems.
- API. American Petroleum Institute, RP 551, Process Measurement Instrumentation.
- BAGAJEICZ. M. y CABRERA. E. Data Renconciliation in Pipeline Systems. University of Oklahoma. USA. 2002.
- BEGGS. H.D. Production Optimization Using Nodal Analysis. OGCI Publications. Tulsa, Oklahoma. USA. 1991.
- BIRD. R.B. Fenómenos de Transporte. 1ª Edición. Editorial Reverté S.A. Nueva York. 1997.
- CAMPBELL, J. Gas conditioning and Processing. 1998.
- GPSA. Engineering Data Book. 1987.

- KERN, D. Q. Process Heat Transfer.1950.
- MARINEZ MARCIAS. Cálculo de tuberías y redes de gas. Ingeniería de gas, principios y aplicaciones.
- MARTÍN. C. Fundamental of Pipeline Engineering. IFP Publications. Paris. 1984.
- NTC. Norma Técnica Colombiana. NTC-3728. Gasoductos, Líneas de transporte y redes de distribución de gas.
- NTC. Norma Técnica Colombiana. NTC-3838. Gasoductos, Presiones de operación permisibles para el transporte, distribución y suministro de gases combustibles.
- NTC. Norma Técnica Colombiana. NTC-3949. Gasoductos, Estaciones de regulación de presión para líneas de transporte y redes de distribución de gas combustible.
- PÉREZ MARTHA ILCE, CALDERÓN ZULLY. Orientaciones practicas para la elaboración exitosa de trabajo de grado de ingeniería. 2011.
- PERRY, R y otros. Manual del Ingeniero Químico. Tercera Edición. 1999.
- PRANDTL. L. Essentials of Fluid Dynamics. Hafner Publishing Company. New York. 1952.
- SCHWEITZER, Phillip A. Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers.1979.
- TEMA. Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association. 1992.
- TERNYIK. J. Virtual Measurement in Pipes. Part 1: Flow Patterns Correlations. SPE 30975. Morgantown. USA. 1995.
- WALKER, W.H. Lewis W.K. McAdams W.H. Principles of Chemicals Engineerng. 2a Edition. 1927.

# ANEXO A. PLOT PLAN ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO



## ANEXO B. HOJA DE DATOS FILTROS

CONDICIONES PROCESO					ESQUEMA	
CAUDAL	(MMSCFD)	4				
PRESIÓN	INT. MAX/MIN (PSIG)	1.193	1.050			
	EXT. MAX/MIN (PSIG)	ATM	ATM			
	INT. DESIGN (PSIG)	1.318				
PRESIÓN DIF.	SUCIO/ LIMPIO (PSI)	10	3			
TEMP.	DISEÑO/ MAX / MIN (°F)	100 / 95 / 63				
FLUIDO	GAS NATURAL					
	DENSIDAD (lb/ft³)	8,105				
	VISCOSIDAD (cP)	0,0163				
	CONTENIDO DE LIQ. (lb/MMSCFD)	0,902				
MATERIALES	CARCASA	ASTM A 106 GR.B				
	TAPAS/CUBIERTA	ASTM A 516 Gr 70				
	CLAD OR LINING	NO REQUERIDA				
	SOPORTES	ASTM A-36				
	RUANAS DE REFUERZO	ASTM A 106 GR.B				
	BOQUILLAS	BRIDAS/FITTINGS	ASTM A-105	CUELLO:	ASTM A108	
	EMPAQUES	NOZZLE	ESPIROMETALICO SS	TAPA:	VITON	
	ESPÁRRAGOS	INT:	N/A	EXT:	A193 GR.B7	
	TUERCAS	INT:	N/A	EXT:	A194 GR.2H	
	INTERNOS	TUBERÍA	N/A	LÁMINA:	A240 Tipo 316	
	CANASTA	Lámina A-240 Tipo 316				
	CONSTRUCCIÓN	TIPO	CANASTA			
		DIÁMETRO FT - IN	8"			
LONGITUD, FT - IN		16"				
CUBIERTA		TIPO FLANCHE CON PESCANTE				
BOQUILLAS		ANSI B16.5 RF				
CANASTA		OPERACIÓN VERTICAL				
RADIOGRAFÍA		CUERPO 100%				
EFICIENCIA DE JUNTA		CIRCULAR : 1: LONG: 1				
ESTAMPE		SI				
PREP. SUPERF. Y PINTURA		SI				
PRUEBA HIDROSTÁTICA		ASME SEC. VIII Div 1.				
CORROSIÓN		CUERPO Y TAPAS	1/16"			
FLUJO EN ELEMENTO		ENTRADA Y SALIDA				
TIPO DE CANASTA		REMOVIBLE				
MESH - CARTUCHO		RETENCIÓN 5 µm				
MANOMETRO PRES.DIF.		SI, CONEXION SW				
VENTEO Y DRENAJE	SI, SW / FLG					
BOQUILLAS	ÍTEM	CANT.	Ø[in]	RATING	TIPO	DESCRIPCIÓN
	C3	1	1"	6000#	THR	VENTEO
	C2A/B	2	3/4"	6000#	SW	PRES. DIF.
	C1	1	1"	6000#	THR	DRENAJE
	N2	1	2"	600#	FLG RF	SALIDA
	N1	1	2"	600#	FLG RF	ENTRADA

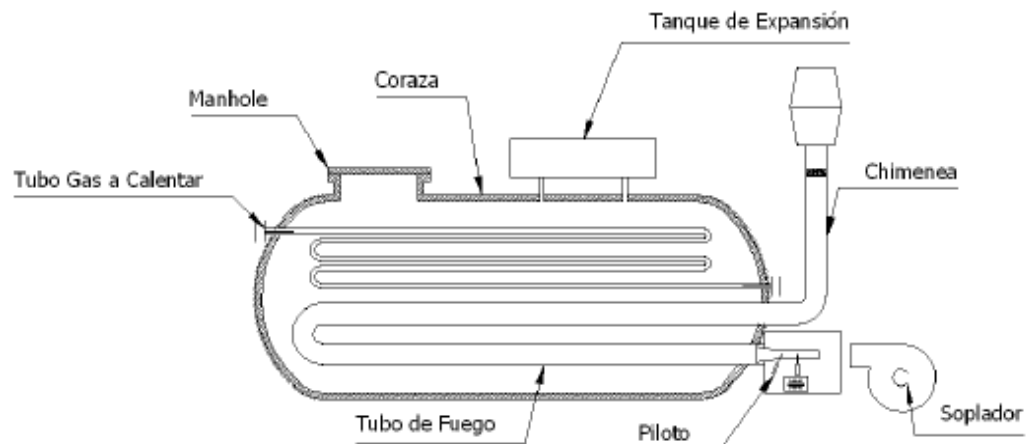
DIMENSIONES		
	DIMENSION	NOTAS
A	8"	
B	13"	
C	3"	
F	14"	
H	16"	

### ANEXO C. HOJA DE DATOS CALENTADORES

<b>COND. GENERALES</b>	SERVICIO	GAS NATURAL		TIPO:	INDIRECTO		
	N° REQD:	DOS (2)		CÓDIGO:	API 12K		
	CALOR NETO A TRANSFERIR AL GAS		BTU/hr	417.800			
<b>CONDICIONES AMBIENTALES</b>	TEMPERATURA AMBIENTE		°F	81			
	PRESIÓN BAROMÉTRICA		psia	13,8			
	ALTITUD		msnm	520			
	HUMEDAD RELATIVA		%	80			
<b>DATOS DEL GAS</b>	FLUÍDO A CALENTAR		GAS NATURAL				
	FLUJO DE DISEÑO		MMSCFD	4			
	<b>FRACCIÓN MÁSSICA</b>	CO <sub>2</sub>	0,0348				
		N <sub>2</sub>	0,0179				
		CH <sub>4</sub>	0,6233				
		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,2107				
		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,0629				
		iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0161				
		nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0213				
		C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0068				
		nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0045				
	> C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,0019					
	PESO MOLECULAR DEL GAS		lb/mol	20,19			
	PODER CALORÍFICO BRUTO (REAL) DEL		BTU/lbmol	402.900			
CALOR ESPECÍFICO DEL GAS		BTU/lbmol	14,5700				
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL GAS		BTU/hr ft °F	0,0234				
			FLUJO MÍN.	FLUJO NORM.	FLUJO MÁX.	FLUJO DISEÑO	
<b>CONDICIONES DE ENTRADA</b>	TEMPERATURA		°F	70	80	90	70
	FLUJO MOLAR		SCFD	573.912	2.206.008	2.575.440	4.000.000
	FLUJO MÁSSICO		lb/hr	1.272	4.891	5.710	8.867
	PRESIÓN A CONDICIÓN DE FLUJO		psig	1.194	1.106	1.044	957
	DENSIDAD A CONDICIÓN DE FLUJO		lb/ft³	5,800	5,061	4,548	4,413
	VISCOSIDAD A CONDICIÓN DE FLUJO		cP	1,01444	0,01406	0,01388	0,01356
<b>CONDICIONES DE SALIDA</b>	TEMPERATURA		°F	130	140	140	140
	FLUJO MOLAR		SCFD	573.912	2'206.008	2'575.440	4.000.000
	FLUJO MÁSSICO		lb/hr	1.272	4.890	5.710	8.867
	PRESIÓN A CONDICIÓN DE FLUJO		psig	1.194	1.106	1.044	957
	DENSIDAD A CONDICIÓN DE FLUJO		lb/ft³	4,657	4,148	3,884	3,530
	VISCOSIDAD A CONDICIÓN DE FLUJO		cP	0,01484	0,01457	0,01439	0,01415

<b>MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN</b>	MATERIAL DEL CUERPO		ACERO AL CARBÓN
	MATERIAL DE AISLAMIENTO		FIBRA DE VIDRIO
	TANQUE DE EXPANSIÓN		SI
	VÁLVULA DE SEGURIDAD		SI
	INDICADOR DE TEMPERATURA		SI
	INDICADOR DE NIVEL		SI
	CONTROLADOR DE LLAMA		SI, CERTIFICADO POR FM/NFPA/UL
	SOPLADOR DE AIRE		SI, CON ATRAPALLAMAS EN LA ENTRADA DE AIRE
	CHIMENEA		SI, CON ATRAPACHISPAS, ATRAPALLAMAS Y PROTECTOR DE LLUVIA
	RATING		600 #
	CONEXIÓN DE ENTRADA DEL GAS		BRIDA 2" WN RF
	CONEXIÓN DE SALIDA DEL GAS		BRIDA 2" WN RF
	CONEXIÓN COMBUSTIBLE		3/4" NPT
	CORROSIÓN PERMISIBLE	in	1/8
	PINTURA		IMPRIMANTE METÁLICO (SEGÚN API 12K)
TUBERÍAS Y ACCESORIOS		LOS REQUERIDOS PARA CORRECTA OPERACIÓN Y FÁCIL MANTENIMIENTO	
CARACTERÍSTICAS DE MONTAJE		MONTADO Y DISPUESTO SOBRE BASE CIVIL EN SU RESPECTIVO SKID EN ACERO ASTM A-36	

**ESQUEMA**



**ANEXO D. HOJA DE DATOS VÁLVULAS DE CONTROL DE PRESIÓN**

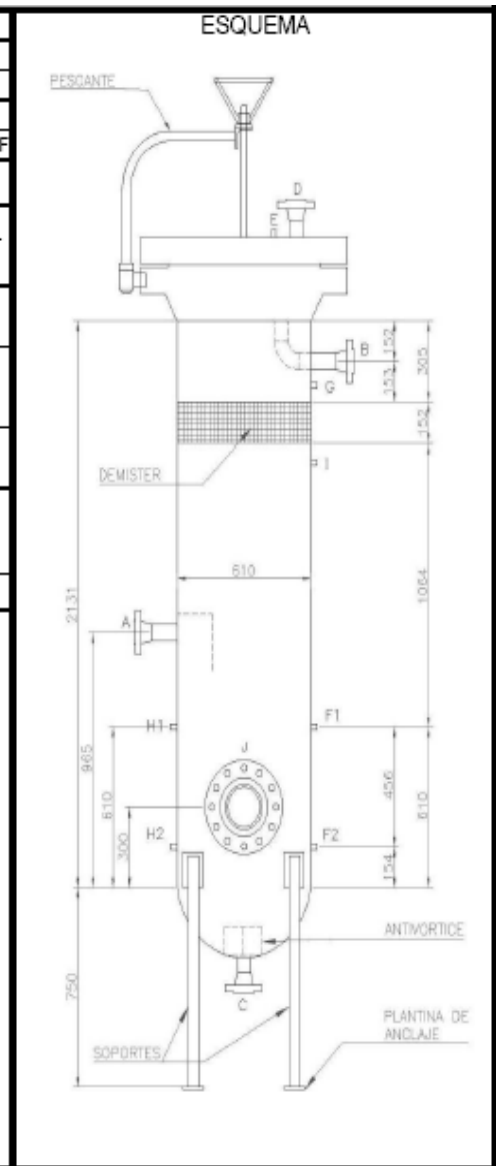
GENERAL	Input Line	Size	Sch	2"	80	2"	80	
	Output Line	Size	Sch	3"	40	3"	40	
	Function			Pressure Reducing		Pressure Reducing		
MATERIAL	End Conn. & Rating			Flanged 600# RF		Flanged 600# RF		
	Body Material			Acero al Carbón		Acero al Carbón		
	Packing Material			Teflon		Teflon		
	Trim Form			Mfr. Std		Mfr. Std		
	Trim Material			Acero al Carbón		Acero al Carbón		
	Seat Material			Acero al Carbon		Acero al Carbon		
	Required Seat Tightness			ANSI CLASS V		ANSI CLASS V		
	Max. Allow Sound Level dBA			85 dBA @ Max 1 m		85 dBA @ Max 1 m		
ACTUATOR / PILOT	Type of Actuator			Spring		Spring		
	Pilot			Yes		Yes		
	Self Cont.	Ext. Conn.		Self-Contained		Self-Contained		
	Spring Case Material			ASTM A-216 WCB		ASTM A-216 WCB		
	Regulator Spring Material			Zinc Plated Steel		Zinc Plated Steel		
	Spring Range			73 to 123 psig		73 to 123 psig		
SERVICE	INLET	Flow Max	Flow Min.	8867 lb/h	1272 lb/h	8867 lb/h	1272 lb/h	
		Press. Max	Press. Min.	1194 psig	957 psig	1194 psig	957 psig	
		Temp. Max.	Temp. Min.	140° F	130° F	140° F	130° F	
		Máx. Density	Mín. Density	4,675 lb/ft³	3,534 lb/ft³	4,675 lb/ft³	3,534 lb/ft³	
		Cp/Cv Máx/Mín	Mol. Wt.	1,55 / 1,46	20.1 lb/lbmol	1,53 / 1,46	20.1 lb/lbmol	
	OUTLET	Flow Max	Flow Min.	8869 lb/h	1272 lb/h	8869 lb/h	1272 lb/h	
		Press. Max	Press. Min.	70 psig	70 psig	70 psig	70 psig	
		Temp. Max.	Temp. Min.	83° F	54° F	83° F	54° F	
		Máx. Density	Mín. Density	0,3169 lb/ft³	0,2991 lb/ft³	0,3169 lb/ft³	0,2991 lb/ft³	
		Cp/Cv Máx/Mín	Mol. Wt.	1,29 / 1,28	20,1 lb/lbmol	1,29 / 1,28	20,1 lb/lbmol	
	GEN.	Max. Shut Off ΔP			1220 psi		1220 psi	
		Predicted Sound Level dBA			85		85	

### ANEXO E. HOJA DE DATOS SCUBBER

CONDICIONES AMBIENTALES	TEMPERATURA	°F	81			
	PRESIÓN BAROMÉTRICA	psia	13,8			
	ALTITUD	msnm	520			
	HUMEDAD RELATIVA	%	80			
CONDICIONES DE OPERACIÓN			FLUJO MÍN	FLUJO NORM	FLUJO MÁX	FLUJO DISEÑO
	TEMPERATURA	°F	70	80	90	70
	FLUJO VOLUMÉTRICO	SCFD	573.912	2.206.008	2.675.440	4.000.000
	FLUJO MÁSICO	lb/hr	1.272	4.890	5.710	8.867
	PRESIÓN A CONDICIÓN DE FLUJO	psig	1.194	1.108	1.044	957
	DENSIDAD A CONDICIÓN DE FLUJO	lb/ft³	5.800	5.061	4.548	4.413
	VISCOSIDAD A CONDICIÓN DE FLUJO	cP	0,01444	0,01408	0,01388	0,01339
	PESO MOLECULAR	lb/mol	20.19			
	CONTENIDO DE LÍQUIDO	lb/MMSCFD	0,902			
CONDICIONES DE CONSTRUCCIÓN	CANTIDAD REQUERIDA		1			
	ORIENTACIÓN		VERTICAL			
	TIPO DE FLUIDO		GAS NATURAL			
	FLUJO DE DISEÑO	MMSCFD	4			
	PRESIÓN DE DISEÑO	psig	1.318			
	PRESIÓN DE OPERACIÓN	psig	1.200			
	ALTURA, H	ft	7			
	DIÁMETRO, D	in	24			
	CÓDIGO		ASME Sección VIII DIV 1, API 12 J			
CONDICIONES DE MATERIALES	TIPO DEMISTER		REMOVIBLE			
	DENSIDAD DE DEMISTER (NOTA 2)	lb/ft³	5			
	CABEZA INFERIOR		TORISFÉRICA			
	CUBIERTA		FLANCHADA CON PESCANTE			
	BOQUILLAS (HASTA 1 1/2")		VER CUADRO ADJUNTO			
	BOQUILLA (2" - 24")		VER CUADRO ADJUNTO			
	RADIOGRAFÍA		100%			
	EFICIENCIA DE JUNTA		1			
	ESTAMPE		SI			
	INSPECCIONADO POR		EL PROVEEDOR			
	PREPARACIÓN DE SUPERFICIE Y PINTURA		SI, INTERNA Y EXTERNA			
	AISLAMIENTO		NO			
PRUEBA HIDROSTÁTICA		ASME SEC.VIII DIV. 1				
CORROSIÓN PERMISIBLE	in	1/16"				
CONDICIONES DE MATERIALES	CARCASA (NOTA 2)		API 5L X65 ERW . SEAMLESS			
	TAPA / CUBIERTA (NOTA 2)		ASTM A-105			
	CLAD OR LINING		NO REQUERIDA			
	SOPORTES		ASTM A-36			
	ESPESOR DE CARCASA	in	0,688			
	BOQUILLAS		ASTM A-105			
CONDICIONES DE MATERIALES	EMPAQUES		ESPIROMETALICO SS			
	ESPÁRRAGOS		A193 GR.B7			
	TUERCAS		A194 GR.2H			
	DEMISTER		316 SS			

BOQUILLAS	ITEM	CANT	DIAM	RATING	DESCRIPCION
	A	1	2"	800 # RF	ENTRADA DEL GAS
	B	1	2"	800 # RF	SALIDA DEL GAS
	C	1	2"	800 # RF	DRENAJE
	D	1	1"	800 # RF	ALIVIO DE PRESIÓN RF
	E	1	1"	8000 # NP	VENTEO
	F1/F2	2	1"	800 # RF	INDICADOR DE NIVEL DE CONDENSADOS
	G	1	1/2"	8000 # NP	INDICADOR DE PRESIÓN
	H1/H2	2	3/4"	8000 # NP	SWITCHES DE NIVEL DE CONDENSADOS
	I	1	3/4"	8000 # NP	INDICADOR DE TEMPERATURA
	J	1	6"	800 # RF	HAND HOLE

NOTAS



### ANEXO F. HOJA DE DATOS MEDIDOR DE FLUJO

GENERAL				FLOW ELEMENT							
Quantity		2				Body Size and Material		6" / Acero al Carbón			
Service		Gas Natural				End Connections		150 # RF Flanged			
Pipe Schedule	Rating	40	150#			Rotor Material		316 SS			
Pipe Material		Acero al Carbón				Trim Material		316 SS			
Pipe Size		6"		Bearing Type		Mfr. Std.					
PROCESS		Fluid		Gas Natural		Bearing Material		316 SS			
		Fluid State		Gas		Pick up		---			
		Flow Rate (SCFD) at Oper. Cond	Min	573912		Meter Coefficient		10 Pulsos/m³			
			Nor	2206008		Meter Capacity		Mín / Máx			
			Max	4000000		Linear Range		± 0,25 % del flujo actual			
		Min. Pressure	psig	70		Accuracy		± 0,2 %			
		Max. Pressure	psig	70							
		Min. Temperature	°F	56							
		Max. Temperature	°F	82							
		Min. Density	lb/ft³	0,2966		TRANSMITTER		Repeatability		± 0,1%	
		Max. Density	lb/ft³	0,3132				Output Signal		4 - 20 mA + HART	
		Min. Viscosity	cP	0,0108				Electrical Classification		Clase 1, Div 1 Gr C, D	
		Max. Viscosity	cP	0,01132				Enclosure		NEMA 4X + 7	
		Molecular Weight	Lb/mol	24,28				Mounting		Integral	
		Compressibility Factor, Z		0,98				Cable		---	
		Cp / Cv		1,25				Local Indicator		Si	
		Max Allowable DP	psig	1				Local Counter / Totalizer		No	
DP at Max Flow	psig	1									

## ANEXO G. P&ID NUEVO SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE

FILTROS DE GAS TFL-001/002	
CAPACIDAD	4 MASCFO
PRESION DE OPERACION	1,300 psig
TEMPERATURA	80 °F
CLASE	ANSI 300#
TIPO	CANASTA

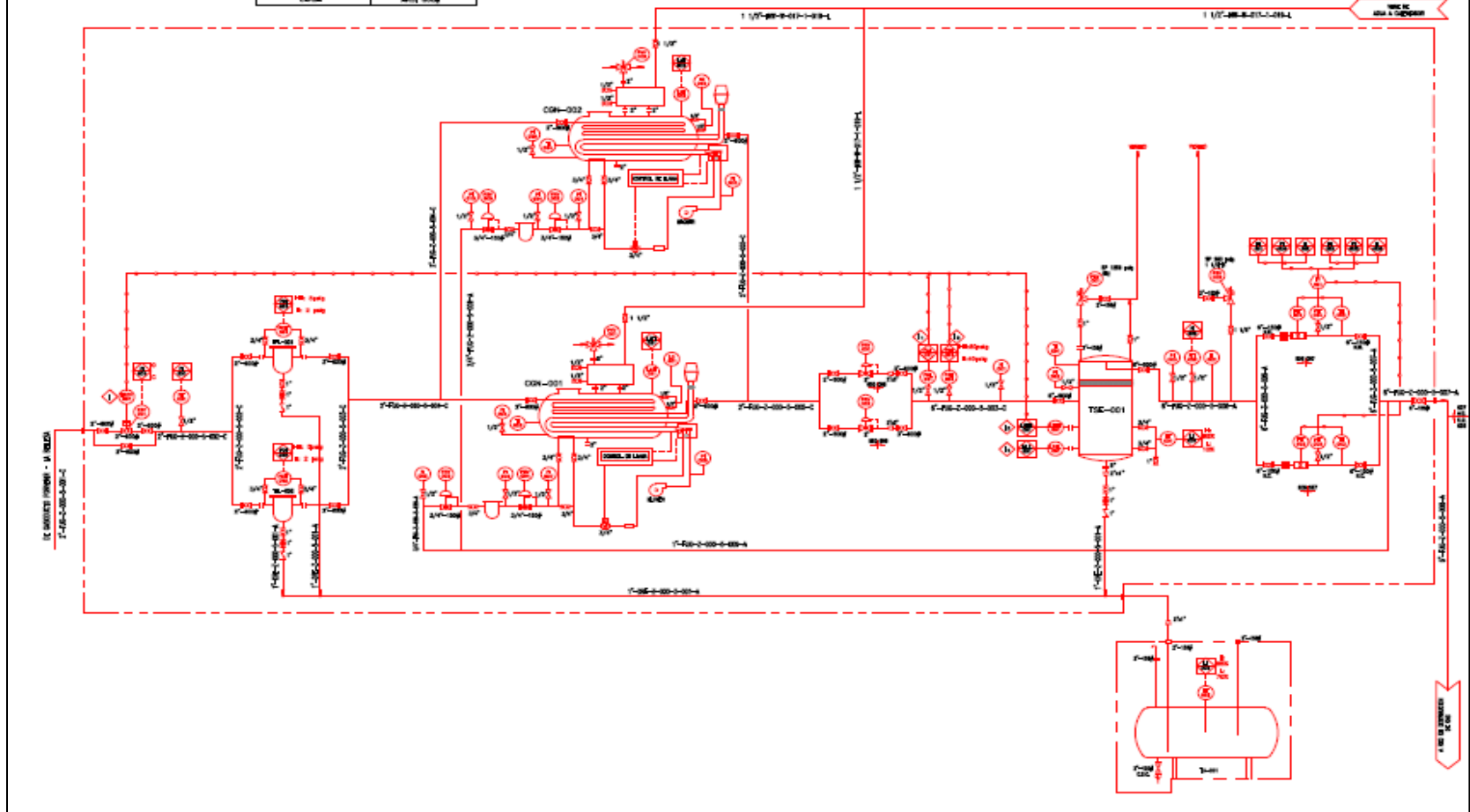
SEPARADOR DE CONDENSADOS TSE-001	
CAPACIDAD	4 MASCFO
PRESION DE OPERACION	1,300 psig
TEMPERATURA	80 °F
DIAMETRO	24"
ALTEZA	7 ft.
CLASE	ANSI 300#

CALENTADOR DE GAS CGN-001/002	
CAPACIDAD	4 MASCFO
CAJON AJUST.	43000 Btu/h
TEMPERATURA DE SALIDA	140 °F
PRESION DE OPERACION	1,300 psig
CLASE	ANSI 150

SISTEMA DE REGULACION DE PRESION PRV-001/002	
CAPACIDAD	4 MASCFO
PRESION DE OPERACION	1,300 - 70 psig
CLASE	ANSI 300#
DIAMETRO	6"
CONEXION	1.5"

MEDIDOR DE FLUJO FIT-001/002	
CAPACIDAD	4 MASCFO
PRESION DE OPERACION	70 psig
CLASE	ANSI 150#
TIPO	TURBINA
DIAMETRO	8 in.

TANQUE DE CONDENSADOS TU-001	
CAPACIDAD	8 MM
LARGITUD	8 ft.
DIAMETRO	3 ft.
RELACION L/D	3



# ANEXO H. DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS

