



MEMORIA DE CÁLCULO: DERIVACIONES

| Documento | Fecha | Revisión | Contrato No. | Página 1 de 12 |
|------------|------------|----------|--------------|----------------|
| GT-G-MC-01 | 02/07/2025 | 1 | - | |

CLIENTE

GTX

TÍTULO PROYECTO

AMPLIACIÓN CPF MA CONCHITA

CONTRATO NÚMERO

-

| 1 | <i>Emitido para revisión interna</i> | 02/07/2025 | JPA | JAB | SORC |
|-----------------|--------------------------------------|------------|---------|--------|--------|
| Rev. | Descripción | Fecha | Elaboró | Revisó | Aprobó |
| Revisión | | | | | |

GTX
Riohacha, Guajira
Colombia

Documento: : GT-G-MC-01
Fecha: : 02/07/2025
Revisión: : 1
Contrato No.: : -

Contenido

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | ALCANCE | 3 |
| 2 | NORMAS APLICABLES | 3 |
| 3 | ESCENARIO DE DISEÑO PROYECTADO | 3 |
| 3.1.1 | DATOS DE ENTRADA | 4 |
| 4 | SUPUESTOS | 4 |
| 5 | DESARROLLO DE CÁLCULOS (AMPLIADO) | 9 |
| 5.1 | a) Fuerza por Presión Interna (F_p)..... | 9 |
| 5.2 | b) Fuerza por Impulso del Flujo (F_m)..... | 10 |
| 5.3 | Resultados | 10 |
| 6 | Conclusiones:..... | 12 |

GTX
Riohacha, Guajira
Colombia

Documento: : GT-G-MC-01
Fecha: : 02/07/2025
Revisión: : 1
Contrato No.: : -

1 ALCANCE

El presente documento tiene como objetivo determinar las fuerzas internas actuantes sobre las derivaciones tipo Branch que se proyectan instalar sobre las líneas de 10,8 y 6", como parte de la futura ampliación del CPF María Conchita. Se evalúan las fuerzas generadas por presión interna y por cambio de momento del flujo de gas natural, conforme a los lineamientos de la norma ASME B31.3.

Los resultados obtenidos permiten prever las sollicitaciones mecánicas en los puntos de conexión, y servirán como base para el diseño estructural de los refuerzos de soldadura, soportes y anclajes.

2 NORMAS APLICABLES

- **ASME B31.3** – Código de Tuberías de Proceso
- **API 5L** – Especificaciones para Tubería de Transporte de Hidrocarburos
- **TEMA** – Recomendaciones aplicables al diseño mecánico general (solo referencia cruzada del proyecto)
- Procedimientos internos de **SEDIMA CORP.**

3 ESCENARIO DE DISEÑO PROYECTADO

El presente cálculo se enmarca en el contexto del proyecto de **Ampliación del CPF María Conchita**, el cual contempla el aumento de capacidad de tratamiento de gas natural de **20 MMSCFD a 30 MMSCFD**, mediante la incorporación de nuevos equipos y derivaciones que permitan optimizar la eficiencia del sistema existente.

Dentro de esta ampliación, se proyecta la incorporación de al menos tres derivaciones o Branches soldadas en las tuberías de 10,8 y 6", que darán servicio a nuevos elementos del proceso (posibles separadores, líneas de bypass o equipos térmicos). Estas derivaciones se implementarán como conexiones tipo tee, soldadas directamente, y reforzadas con soldadura estructural perimetral.

Este estudio tiene por objetivo **prever las cargas internas** que actuarán sobre dichos Branches durante condiciones de operación futuras, permitiendo con ello definir los requerimientos de resistencia mecánica, diseño de refuerzo y configuración de soporte para garantizar su integridad durante operación continua. La evaluación se realiza con carácter **preliminar**, como insumo para la ingeniería de detalle y alineada con los criterios utilizados en el diseño del Intercambiador de Calor Gas-Gas E-302 y Gas-Glicol E-303, previamente aprobado.

GTX
Riohacha, Guajira
Colombia

Documento: : GT-G-MC-01
Fecha: : 02/07/2025
Revisión: : 1
Contrato No.: : -

3.1.1 DATOS DE ENTRADA

| Parámetro | Valor | Unidad |
|-------------|----------------|-------------|
| Presión | 1200 (1214.65) | Psig (psia) |
| Caudal base | 30 | MMSCFD |
| Temperatura | 98 | °F |
| Densidad | 1.437 | |
| Norma | ASME B31.3 | - |

4 SUPUESTOS

- El gas natural corresponde a la composición verificada en la memoria GT-M-MC-03 (Gravedad Específica 0.5869).
- Las derivaciones son tipo **tee soldada con refuerzo**.
- El refuerzo de cada Branch se proyecta con soldadura de **filete triangular** de ¼" x ¼", cuya **área efectiva** para cálculo conservador es **1/32 in²** por pulgada lineal.
- No se incluyen cargas externas, ni esfuerzos por expansión térmica, vibración o peso suspendido.
- Los cálculos de momento consideran el caudal completo como impacto directo (análisis conservador).

5 Geometría del Branch según ASME B31.3

5.1 Esquema de refuerzo

A continuación, se presenta la geometría de refuerzo para las derivaciones tipo **Tee soldada**, conforme a la práctica establecida en la norma ASME B31.3. El refuerzo considera un filete triangular aplicado sobre el perímetro de la conexión.

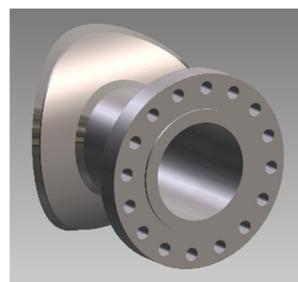
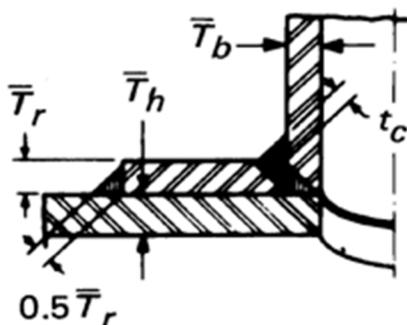


Imagen 1: Geometría típica de refuerzo para branch soldado (según ASME B31.3)

GTX
Riohacha, Guajira
Colombia

Documento: : GT-G-MC-01
Fecha: : 02/07/2025
Revisión: : 1
Contrato No.: : -

En la figura se ilustran los elementos principales de la geometría de refuerzo aplicada a las derivaciones tipo tee soldada. Las variables mostradas, como T_r , T_h , T_b y T_c ,

se detallan cuantitativamente en la Tabla 2, y representan los espesores de refuerzo empleados para garantizar la integridad mecánica del branch bajo condiciones de operación.

| Símbolo | Pad Refuerzo | T Branch | Material |
|---------------|-----------------------------------|----------|--------------|
| Branch 10 in | 20 in | 0.365 in | API 5L Gr. B |
| Branch 8 in | 16 in | 0.322 in | API 5L Gr. B |
| Branch 6 in | 12 in | 0.280 in | API 5L Gr. B |
| Tubería 24 in | N. A | 0.750 in | API 5L X60 |
| Pad refuerzo | 10" X 20" 8" X 16" 6" X 12" | 0.75 in | API 5L X60 |

La selección de los pads de refuerzo para las conexiones tipo *T-branch* se ha realizado considerando dimensiones proporcionales al tamaño de cada derivación y un espesor superior al de las tuberías principales y secundarias. El uso de material **API 5L X60** para los refuerzos, en combinación con tuberías de grado **API 5L Gr.B**, proporciona un margen adicional de seguridad estructural al aprovechar un material de mayor resistencia.

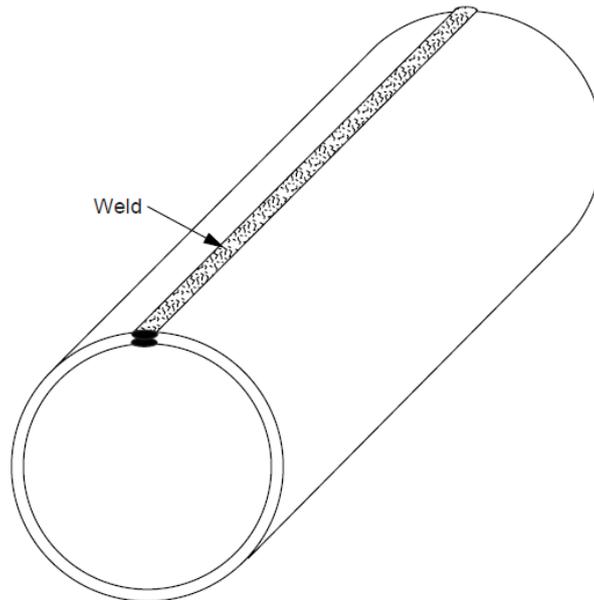


Imagen 2: Tubería disponible 24" API 5L X60 ($e = 0.750$ " según dato de entrada)

GTX
Riohacha, Guajira
Colombia

Documento: : GT-G-MC-01
Fecha: : 02/07/2025
Revisión: : 1
Contrato No.: : -

El espesor de los Pads (**0.750"**) garantiza una capacidad adecuada para absorber esfuerzos locales generados por presión interna y posibles cargas externas, y aprovechando al máximo, la disponibilidad de material disponible de la tubería base de 24" empleada como cuerpo del intercambiador de calor. Adicionalmente, las dimensiones de los refuerzos (longitud y ancho) están alineadas con las mejores prácticas para garantizar un área efectiva suficiente, conforme a los criterios establecidos en códigos como **ASME B31.3**.

5.2 Cálculo del área de refuerzo para conexión tipo T-Branch

De acuerdo con los lineamientos del código ASME B31.3 y los criterios establecidos en API RP 14.1, toda abertura en la tubería principal generada por una derivación (Branch) debe estar adecuadamente reforzada para garantizar la integridad mecánica del sistema. El refuerzo puede estar constituido por:

- El espesor propio de la tubería principal (A_1),
- El exceso de espesor de la tubería derivada si aplica (A_2),
- Un PAD o placa de refuerzo externo (A_3).

La suma de estas áreas debe ser igual o superior al área mínima requerida (A_t) para compensar la pérdida estructural generada por la apertura.

Para la siguiente tabla, se analiza la conexión de un **branch de 10 pulgadas sobre una línea principal de 24 pulgadas**, con un pad de refuerzo externo de dimensiones 10" x 20". Los datos utilizados se resumen a continuación:

| Parámetro | Símbolo | Valor |
|----------------------------------|---------|-------------|
| Diámetro línea principal | D | 24" |
| Diámetro del Branch (derivación) | d | 10" |
| Espesor línea principal | t_h | 0.750" |
| Espesor Branch | t_b | 0.365" |
| Espesor del Pad de refuerzo | t_p | 0.750" |
| Longitud Pad (sentido axial) | L | 20" |
| Ancho del Pad (circunferencial) | B | 10" |
| Material y línea Branch | | API 5L Gr.B |
| Material Pad | | API 5L X60 |

5.3 Cálculo del área requerida (A_t)

El área mínima para reforzar corresponde al producto del diámetro del Branch por el espesor de la tubería principal:

$$A_t = d \times t_h = 10 \text{ in} \times 0.75 \text{ in} = 7.5 \text{ in}^2$$

GTX
Riohacha, Guajira
Colombia

Documento: : GT-G-MC-01
Fecha: : 02/07/2025
Revisión: : 1
Contrato No.: : -

5.3.1 Área A_1 – Contribución de la tubería principal

Se toma como dos tercios del área aportada por la tubería principal en la zona de la abertura:

$$A_1 = \frac{2}{3} \times d \times t_h = 7.5 \text{ in}^2 \times \frac{2}{3} = 5 \text{ in}^2$$

5.3.2 Área A_2 – Contribución del Branch

Este valor aplica solo si el espesor del Branch es mayor al de la línea principal. En este caso:

$$t_b < t_h, A_2 = 0$$

5.3.3 Área A_3 – Contribución del Pad de refuerzo

Se considera el ancho efectivo igual al diámetro del Branch:

$$A_3 = d \times t_p = 10 \text{ in} \times 0.75 \text{ in} = 7.5 \text{ in}^2$$

Área total disponible vs. Requerida:

$$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 = 5 \text{ in}^2 + 0 + 7.5 \text{ in}^2 = 12.5 \text{ in}^2$$

Vemos que:

$$A_{total} = 12.5 \text{ in}^2 > A_t = 7.5 \text{ in}^2$$

Según los criterios del **ASME B31.3**, toda derivación de este tipo debe contar con **soldadura continua de filete** a lo largo del perímetro del Branch y del Pad. Esta soldadura debe garantizar continuidad mecánica y permitir inspección mediante ensayos no destructivos (END) cuando la presión de diseño lo amerite (normalmente > 285 psig).

Se hace procedimiento análogo para los diámetros de 8 y 6 pulgadas, siendo que se incluyen los resultados de cálculo para 8" en consideración complementaria a la existencia de conexión en la salida del separador S-301. A continuación, en la siguiente tabla observamos los resultados:

GTX
Riohacha, Guajira
Colombia

Documento: : GT-G-MC-01
Fecha: : 02/07/2025
Revisión: : 1
Contrato No.: : -

Branch 8 pulgada

| Parámetro | Símbolo | Valor |
|----------------------------------|----------------|-------------|
| Diámetro del Branch (derivación) | d | 8" |
| Espesor línea principal | t _h | 0.750" |
| Espesor Branch | t _b | 0.322" |
| Espesor del Pad de refuerzo | t _p | 0.75" |
| Material Branch | | API 5L Gr.B |

Resultados 8 in

| Concepto | Valor in ² |
|--|-----------------------|
| Área requerida A _t | 6 |
| Área aportada por tubería A ₁ | 4 |
| Área del pad de refuerzo A ₃ | 6 |
| Área total disponible | 10 |
| ¿Cumple? | Si |

Branch de 6 pulgadas

| Parámetro | Símbolo | Valor |
|----------------------------------|----------------|-------------|
| Diámetro del Branch (derivación) | d | 6" |
| Espesor línea principal | t _h | 0.75" |
| Espesor Branch | t _b | 0.280" |
| Espesor del PAD de refuerzo | t _p | 0.75" |
| Material Branch | | API 5L Gr.B |

Resultados 6 in

| Concepto | Valor in ² |
|--|-----------------------|
| Área requerida A _t | 4.5 |
| Área aportada por tubería A ₁ | 3 |
| Área del PAD de refuerzo A ₃ | 4.5 |
| Área total disponible | 7.5 |
| ¿Cumple? | Si |

Luego de realizar el cálculo de área de refuerzo para las derivaciones de 10", 8" y 6" sobre una línea principal de 24" con espesor de 0.750", se concluye que las combinaciones de Pads de refuerzo propuestas garantizan un área efectiva superior al mínimo requerido en todos los casos.

Los Pads utilizados, fabricados en API 5L X60 y con espesor uniforme de 0.750", aportan una cantidad significativa de material que compensa la abertura generada por

GTX
Riohacha, Guajira
Colombia

Documento: : GT-G-MC-01
Fecha: : 02/07/2025
Revisión: : 1
Contrato No.: : -

cada Branch. Este refuerzo adicional, junto con la contribución parcial de la tubería principal (A_1), permite superar cómodamente el área requerida (A_t) según los criterios de ASME B31.3.

En ninguno de los casos fue necesaria la contribución del espesor del Branch (A_2), ya que estos son más delgados que la línea principal. Además, el uso de Pads con dimensiones equivalentes al diámetro del Branch asegura que el refuerzo se concentre eficientemente en la zona crítica, optimizando la distribución de esfuerzos.

En términos de robustez estructural, se calculó el factor de seguridad como la relación entre el área total disponible y el área requerida. En los tres casos evaluados, el factor de seguridad menor fue de 2.3 muy superior al mínimo exigido. Este margen adicional ofrece holgura frente a esfuerzos imprevistos como presión dinámica, o vibraciones.

Desde el punto de vista constructivo, se recomienda realizar **soldaduras tipo filete continuas** en todo el perímetro del Branch y del PAD de refuerzo. Esta práctica garantiza la integridad estructural de la conexión y permite la inspección mediante **ensayos no destructivos (END)**, especialmente en sistemas que operan a presiones superiores a 285 psig o bajo condiciones críticas.

Este análisis demuestra que las conexiones están correctamente diseñadas y reforzadas, proporcionando un diseño seguro, normativamente conforme y confiable para la operación.

6 DESARROLLO DE CÁLCULOS

Para el análisis de esfuerzos se consideraron dos componentes principales de carga:

- La **fuerza interna debida a la presión de operación** del sistema, que actúa de manera uniforme sobre la sección transversal del Branch.
- La **fuerza asociada al cambio de momento del flujo de gas**, considerando que el gas a alta velocidad cambia de dirección y genera una reacción mecánica en la conexión. Para el caso de 6" se tomarán las condiciones operativas del fluido agua-glicol.

6.1 a) Fuerza por Presión Interna (F_p)

La presión interna tiende a empujar la tubería en dirección axial. El cálculo se basa en la fórmula

$$F_p = P_a \times A$$

GTX
Riohacha, Guajira
Colombia

Documento: : GT-G-MC-01
Fecha: : 02/07/2025
Revisión: : 1
Contrato No.: : -

Donde:

- Pabs= Presión absoluta
- A: es el área interna del branch en in²

6.2 b) Fuerza por Impulso del Flujo (Fm)

El impulso generado por el cambio de momento lineal del gas al entrar al branch se calcula como:

$$F_m = \dot{m} \times V = \rho \times Q \times \frac{Q}{A}$$

Donde:

ρ : 1.437lb/ft³ es la densidad real del gas,

Q: 4.49 ft³/s,

6.3 Resultados

| Branch | D(ft) | A(ft ²) | Fp (lbf) | Fm (lbf) | Ft (lbf) |
|-----------------|-------|---------------------|----------|----------|-----------|
| 10 (Gas) | 0.74 | 0.43 | 76304.76 | 76300.62 | 152605.38 |
| 8 (Gas) | 0.58 | 0.26 | 45994.87 | 45988.01 | 91982.89 |
| 6 (Agua-Glicol) | 0.44 | 0.153 | 1403.54 | 1969.61 | 2772.86 |

Observaciones:

- Se usó la **suma directa Fx + Fy** para ser más conservador que la resultante vectorial, como lo permite la **desigualdad triangular**.
- Todas las fuerzas están expresadas en **lbf**.

A continuación, calculamos el T_f y Factor de seguridad de la siguiente manera:

$$A = \pi \times d \times h$$

$$h = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$T_f = \frac{ft}{A}$$

GTX
Riohacha, Guajira
Colombia

Documento: : GT-G-MC-01
Fecha: : 02/07/2025
Revisión: : 1
Contrato No.: : -

$$FS = \frac{35000}{t_f}$$

Por lo que tenemos los siguientes resultados:

| Diámetro (in) | Ft (lbf) | A in ² | Tf | FS |
|-----------------|-----------|-------------------|---------|------|
| 10 (Gas) | 152605.38 | 11.1 | 14761.3 | 2.3 |
| 8 (Gas) | 91982.89 | 4.44 | 11641.6 | 3.0 |
| 6 (Agua-Glicol) | 2772.86 | 3,33 | 832.2 | 42.0 |

La tabla presentada resume el análisis del esfuerzo cortante en las soldaduras de filete triangular para las derivaciones tipo T-Branch de 10", 8" y 6". Para ello se consideró una geometría de filete de un cuarto de pulgada (consideración de doble junta de soporte en el caso de la salida en 10"), y se calculó el esfuerzo como la relación entre la fuerza total aplicada en el Branch y el área efectiva de soldadura. Posteriormente, se obtuvo el factor de seguridad como el cociente entre la resistencia admisible del material y el esfuerzo aplicado en la soldadura.

Los resultados obtenidos permiten concluir lo siguiente:

- **En la derivación de 10 pulgadas**, el factor de seguridad fue de 2.3, el más bajo entre los tres casos evaluados. Esto se debe a que esta derivación soporta la carga más alta del conjunto, superior a ciento cincuenta mil libras de fuerza. Para garantizar la integridad de la conexión en este punto crítico, **se utilizó un Pad de refuerzo adicional**, fabricado en material API 5L X60, soldado de forma continua en todo el perímetro del Branch. Este refuerzo permite mejorar la distribución de esfuerzos y reducir el nivel de exigencia sobre la soldadura de filete. En la práctica la soldadura de contorno perimetral se deberá realizar en los tres niveles de agarre para óptimo refuerzo: raíz de Branch y dos en unión al PAD de refuerzo.
- **En las derivaciones de 8 y 6 pulgadas**, los factores de seguridad fueron de 3 y 42 respectivamente. En estos casos, las cargas actuantes son considerablemente menores, por lo que la soldadura de filete triangular de un cuarto de pulgada es suficiente para garantizar la resistencia estructural de sistema de refuerzo. De manera similar, la soldadura de contorno perimetral se deberá realizar en los tres niveles de agarre para óptimo refuerzo: raíz de Branch y dos en unión al PAD de refuerzo.

En resumen, el uso de refuerzo externo en la derivación de 10 pulgadas está justificado desde el punto de vista mecánico debido al nivel de carga que soporta. Las demás derivaciones se encuentran dentro de márgenes aceptables, y todas las soldaduras

GTX
Riohacha, Guajira
Colombia

Documento: : GT-G-MC-01
Fecha: : 02/07/2025
Revisión: : 1
Contrato No.: : -

deben ser inspeccionadas para verificar su calidad mediante ensayos no destructivos según lo establecido en el proyecto.

7 Conclusiones:

El análisis técnico desarrollado para las derivaciones tipo *T-Branch* de 10", 8" y 6" proyectadas en líneas principales de 24" ha demostrado que el diseño cumple plenamente con los requerimientos establecidos en el código **ASME B31.3**, asegurando una solución mecánicamente robusta y normativamente conforme.

Las cargas internas generadas por la presión de operación y por el cambio de momento del flujo fueron evaluadas aplicando un criterio conservador, mediante la suma directa de los componentes de fuerza. Esta aproximación maximiza la exigencia sobre el diseño y refuerza la confiabilidad de las soluciones estructurales adoptadas.

A pesar de que las fuerzas resultantes son elevadas — con valores superiores a 150,000 lbf en el Branch de 10"—, las derivaciones han sido reforzadas mediante Pads externos de **API 5L X60** con espesor de **0.750"**, los cuales aportan un área efectiva superior a la mínima requerida por norma.

El diseño considera además la aplicación de **soldadura tipo filete continua** en todo el perímetro del Branch y del Pad, conforme a lo establecido en los estándares aplicables. Dado el nivel de presión y la criticidad de las líneas, se contempla también la ejecución de **ensayos no destructivos (END)** para garantizar la calidad de las uniones soldadas y su confiabilidad en servicio.

Como parte de esta **ingeniería de detalle**, el diseño propuesto se encuentra validado y respaldado por cálculos normativos completos. Se determina que las derivaciones analizadas están debidamente reforzadas y listas para ser consideradas en la etapa de **emisión para construcción**, bajo las condiciones y supuestos técnicos definidos en este documento.

=== FIN DE DOCUMENTO ===