

|     |            |              |         |           |            |
|-----|------------|--------------|---------|-----------|------------|
| 0   | 14-09-2026 | Construcción | SEDIMA  | C.Pedraza | O.Escorcia |
| Rev | Fecha      | Emitido Para | Elaboró | Revisó    | Aprobó     |

# INGENIERÍA DETALLADA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN AUTÓNOMO PARA LA LÍNEA TEMPORAL SAMORÉ: CRUCE “LA CHINA”



## MEMORIA DE CÁLCULO DE TUBERÍAS (1749-MC-T-511)

**CLIENTE:**



+57 3507268200



info@sedima.com.co



www.sedima.com.co

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. OBJETO .....</b>                                    | <b>3</b>  |
| <b>2. ALCANCE .....</b>                                   | <b>3</b>  |
| <b>3. NORMAS APLICABLES Y DE REFERENCIA.....</b>          | <b>3</b>  |
| <b>4. CRITERIOS DE DISEÑO Y MEMORIAS DE CÁLCULO .....</b> | <b>4</b>  |
| <b>5. CONCLUSIÓN.....</b>                                 | <b>11</b> |
| <b>6. CONTROL DE CAMBIOS.....</b>                         | <b>11</b> |

## MEMORIA DE CÁLCULO DE TUBERÍAS

### 1. OBJETO

Presentar la memoria de cálculo y los resultados que soportan las especificaciones de tuberías y sus elementos accesorios que fueron consideradas dentro del proyecto para implementar un sistema de protección autónomo para la línea temporal Samoré, a la altura del cruce aéreo “La China”.

### 2. ALCANCE

Cubrir a cabalidad todos los diámetros hidráulicos que fueron considerados en el diseño, asegurando el cumplimiento en: resistencia a la sollicitación mecánica, capacidad de transporte, y garantía desde el diseño de la validación de las juntas soldadas.

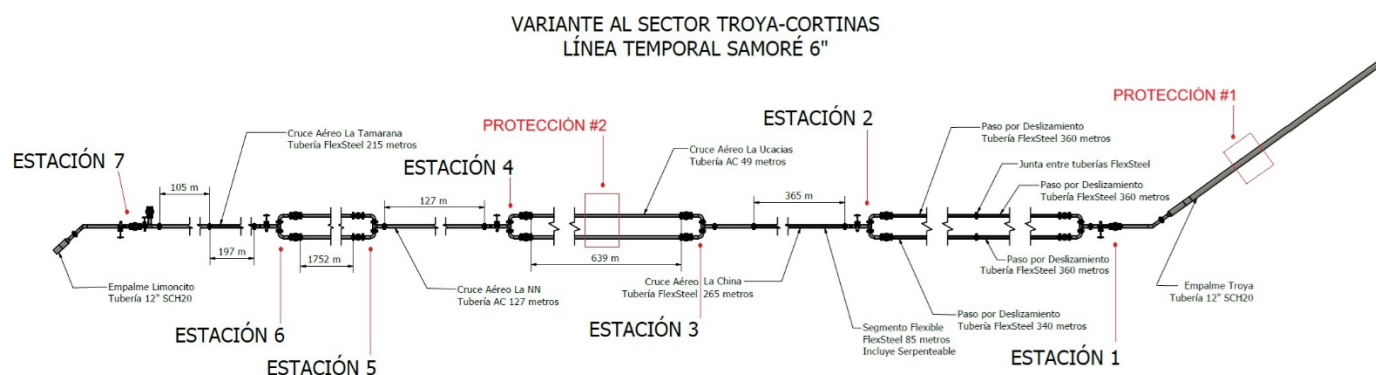
### 3. NORMAS APLICABLES Y DE REFERENCIA

Para esta memoria de cálculo se consideran como referentes de aplicación las siguientes normas y códigos principales:

- ASME BPVC Sección VIII, División 1: Norma fundamental para el diseño, fabricación y verificación de recipientes a presión, aplicable a la vasija del separador y sus conexiones.
- API RP 14E: Prácticas recomendadas para diseño e instalación de sistemas de tuberías en plataformas de producción, incluyendo criterios para manejo de velocidades y erosión en líneas de proceso.
- NACE MR0175/ISO 15156: Directrices para selección de materiales resistentes a la corrosión en ambientes con H<sub>2</sub>S, relevante en operaciones de gas natural con potencial presencia de gases corrosivos.
- Procedimientos internos de SEDIMA CORP: Procedimientos específicos de la compañía, que incluyen criterios para diseño, operación segura y mantenimiento del equipo.

#### 4. CRITERIOS DE DISEÑO Y MEMORIAS DE CÁLCULO

Dado que en esencia es una modificación a lo existente, el diseño y selección de los componentes del sistema de protección debe estar alineado a la disponibilidad y compatibilidad de materiales de los elementos actuales que se encuentran en servicio productivo.



Donde las especificaciones y condiciones existentes de mayor relevancia que se deben tener en cuenta son:

##### Condiciones Gasoducto 12":

Presión de operación máxima permisible (MAOP): 1.176 psig

Presión de diseño (PD): 1.440 Psig

Presión normal de operación: Entre 550 psig y 1.100 psig

Temperatura normal de Operación: entre 45°F y 120°F

La tubería utilizada es **API 5L X60, SCH-20, ERW, PSL 2**

Recubrimiento 3LPE Tricapa Polietileno-FBE

##### Condiciones Línea Temporal Troya Cortinas 6":

Presión de operación máxima permisible (MAOP): 1.200 psig

Presión de diseño (PD): 1.440 Psig

Presión normal de operación: Entre 550 psig y 1.100 psig

Temperatura normal de Operación: entre -20°F y 120°F

La tubería utilizada es:

**ACERO: API 5L X42-Gr. B SCH STD (0.280"), ERW, PSL 1**

BRIDAS: ANSI 600

FLEXIBLE: FLEXSTEEL PE 6" 1500 psi ANSI 600 STEEL REINFORCEMENTS

Recubrimiento FBE / Sigmacover280-Sigmadur550

#### 4.1 VALIDACIÓN RESISTENCIA A LA SOLICITACIÓN MECÁNICA

Con lo cual una vez se ratifique la validación mecánica de resistencia a la solicitud y exigencias del proceso, se dará continuidad a la misma especificación para coherencia de diseño bajo lo estipulado en ASME B31.8.

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot F \cdot E \cdot T}$$

Siendo,

P: Presión interna de diseño (manométrico).

S: Esfuerzo de fluencia mínimo especificado (Specified Minimum Yield Strength - SMYS) del material de la tubería.

t: Espesor nominal o de diseño de la pared de la tubería.

D: Diámetro exterior nominal de la tubería.

F: Factor de diseño basado en la clase de localización de la zona del gasoducto (según las tablas de emplazamiento de la norma).

E: Factor de junta longitudinal de la soldadura (1.0 para tuberías sin costura o electrosoldadas ERW).

T: Factor de disminución por temperatura (1.0 para temperaturas iguales o menores a 121 °C / 250 °F).

- Validación para diámetro 12": Tubería **API 5L X60, SCH-20, ERW, PSL 2**

| Variable                    | Caso 1       | Caso 2       | Caso 3       | Caso 4       | Unidad    |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| Presión                     | 550          | 850          | 1100         | 1200         | psi       |
| Smys                        | 60000        | 60000        | 60000        | 60000        | psi       |
| Diámetro                    | 12           | 12           | 12           | 12           | in        |
| <b>Factor F</b>             | 0,5          | 0,5          | <b>0,72</b>  | <b>0,72</b>  |           |
| Factor E                    | 1            | 1            | 1            | 1            |           |
| Factor T                    | 1            | 1            | 1            | 1            |           |
|                             |              |              |              |              |           |
| Espesor Calculado           | 0,110        | 0,170        | 0,153        | 0,167        | in        |
| Corrosion Allowance         | 0,0625       | 0,0625       | 0,0625       | 0,0625       | in        |
| <b>Espesor mínimo</b>       | <b>0,173</b> | <b>0,233</b> | <b>0,215</b> | <b>0,229</b> | <b>in</b> |
|                             |              |              |              |              |           |
| <b>Espesor Seleccionado</b> | <b>0,250</b> | <b>0,250</b> | <b>0,250</b> | <b>0,250</b> | <b>in</b> |

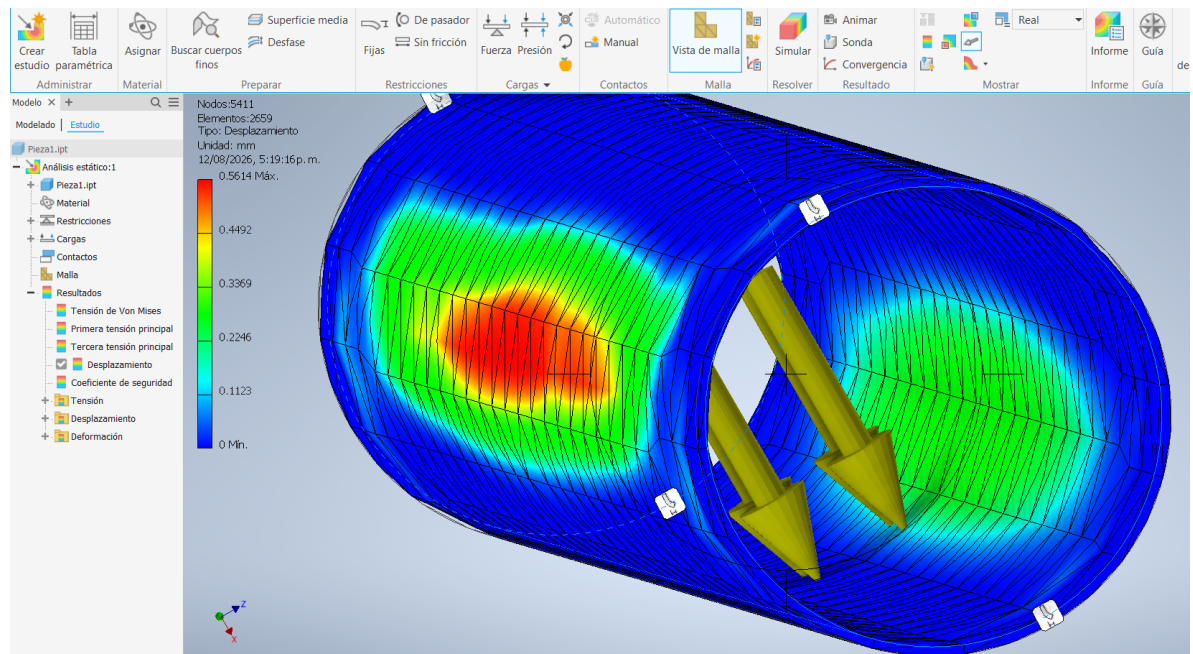
**Tabla 1.** Con lo cual se puede determinar adecuado cumplimiento considerando en estricto rigor la presencia de Clase I, con lo cual el factor F juega un papel preponderante para asegurar el cumplimiento a los estándares normativos aplicables a la máxima presión operacional admisible en el diseño.

Un ejercicio complementario de simulación con herramientas de elementos finitos, muestran que para una tubería de acero al carbono equivalente a API 5L X 52 con las siguientes características:

#### Material(es)

|                    |                               |                        |
|--------------------|-------------------------------|------------------------|
| Nombre             | Acero, carbono                |                        |
| General            | Densidad de masa              | 7,85 g/cm <sup>3</sup> |
|                    | Límite de elasticidad         | 350 MPa                |
|                    | Resistencia máxima a tracción | 420 MPa                |
| Tensión            | Módulo de Young               | 200 GPa                |
|                    | Coefficiente de Poisson       | 0,29 su                |
|                    | Módulo cortante               | 77,5194 GPa            |
| Nombre(s) de pieza | Pieza1.ipt                    |                        |

Entonces se tiene que para una línea de 12" (304.8 mm), se muestra que a máxima presión de diseño, los índices de desplazamiento circunferencial están por debajo de 0.5 mm, por lo tanto el impacto en valor nominal de la deformación estaría en el orden de 0.0016, lo cual es perfectamente aceptable y seguro para la condición de servicio.



Nota: El software usa una escala de colores para mayorar la impresión visual de las zonas afectadas, el impacto sobre el modelo objeto de estudio se deberá determinar bajo un análisis integral de los valores y resultados que arroje el software.

- Validación para diámetro 6": Tubería API 5L X42 - GrB, STD, ERW, PSL 1

| Variable                    | Caso 1       | Caso 2       | Caso 3       | Caso 4       | Unidad    |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| Presión                     | 550          | 850          | 1100         | 1200         | psi       |
| Smys                        | 35000        | 35000        | 35000        | 35000        | psi       |
| Diámetro                    | 6            | 6            | 6            | 6            | in        |
| <b>Factor F</b>             | <b>0,5</b>   | <b>0,5</b>   | <b>0,5</b>   | <b>0,5</b>   |           |
| Factor E                    | 1            | 1            | 1            | 1            |           |
| Factor T                    | 1            | 1            | 1            | 1            |           |
|                             |              |              |              |              |           |
| Espesor Calculado           | 0,094        | 0,146        | 0,189        | 0,206        | in        |
| Corrosion Allowance         | 0,0625       | 0,0625       | 0,0625       | 0,0625       | in        |
| <b>Espesor mínimo</b>       | <b>0,157</b> | <b>0,208</b> | <b>0,251</b> | <b>0,268</b> | <b>in</b> |
|                             |              |              |              |              |           |
| <b>Espesor Seleccionado</b> | <b>0,280</b> | <b>0,280</b> | <b>0,280</b> | <b>0,280</b> | <b>in</b> |

**Tabla 2.** Tomando como caso crítico la resistencia GrB, se puede verificar que se da cumplimiento de diseño en presencia de Clase III, con lo se da la tranquilidad meridiana con esta selección, para asegurar el cabal cumplimiento a los estándares normativos aplicables a la máxima presión operacional admisible en el diseño.

- Resultados para diámetro 3": Tubería API 5L GrB, STD, ERW, PSL 1

| Variable                    | Caso 1       | Caso 2       | Caso 3       | Caso 4       | Unidad    |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| Presión                     | 550          | 850          | 1100         | 1200         | psi       |
| Smys                        | 35000        | 35000        | 35000        | 35000        | psi       |
| Diámetro                    | 3            | 3            | 3            | 3            | in        |
| <b>Factor F</b>             | <b>0,5</b>   | <b>0,5</b>   | <b>0,5</b>   | <b>0,5</b>   |           |
| Factor E                    | 1            | 1            | 1            | 1            |           |
| Factor T                    | 1            | 1            | 1            | 1            |           |
|                             |              |              |              |              |           |
| Espesor Calculado           | 0,047        | 0,073        | 0,094        | 0,103        | in        |
| Corrosion Allowance         | 0,0625       | 0,0625       | 0,0625       | 0,0625       | in        |
| <b>Espesor mínimo</b>       | <b>0,110</b> | <b>0,135</b> | <b>0,157</b> | <b>0,165</b> | <b>in</b> |
|                             |              |              |              |              |           |
| <b>Espesor Seleccionado</b> | <b>0,216</b> | <b>0,216</b> | <b>0,216</b> | <b>0,216</b> | <b>in</b> |

**Tabla 3.** Con lo cual, se comprueba que con la resistencia GrB, en espesor STD, se da total cumplimiento de diseño en presencia de Clase III, asegurando también cabal cumplimiento a los estándares normativos aplicables a la máxima presión operacional admisible en el diseño.

En síntesis se puede concluir como resultado del ejercicio de refrendación de cálculos, que los parámetros de diseño aplicables para cada diámetro serán los siguientes:

- Tubería 12": **API 5L X60, SCH-20 (Espesor = 0.250"), ERW, PSL 2**
- Tubería 6": **API 5L X42 - GrB, STD (Espesor = 0.280"), ERW, PSL 1**
- Tubería 3": **API 5L GrB, STD (Espesor = 0.216"), ERW, PSL 1 / PSL 2**

#### 4.2 VALIDACIÓN A CAPACIDAD DE TRANSPORTE

Teniendo en cuenta los parámetros y condiciones de diseño definidos en el formato de datos de entrada y en el documento bases de diseño, a continuación se procederá a verificar el cumplimiento de capacidad de manejo de cada uno de los tamaños nominales seleccionados para esta aplicación, de acuerdo a la expresión matemática que determina el flujo del fluido como el producto de la velocidad por el área de flujo, así:  $Q = VA$ , y tomando como criterio de manejo operativo tasar la velocidad de transporte en máximo 60 Ft/s, se tienen los siguientes resultados:

| Diámetro | 60 Ft/s  |           |
|----------|----------|-----------|
|          | 550 Psig | 1100 Psig |
| 3"       | 10,5     | 22        |
| 6"       | 41       | 80        |
| 12"      | 140      | 300       |

**Tabla 4.** Capacidad máxima de transporte en MMSCFD

Ahora bien, entendiendo que en una operación de 41 MMSCFD a través del By-pass de 3" el flujo máximo de proceso excede su capacidad, con lo cual su operación en condición segura de camino auxiliar para continuidad operativa estaría restringida para manejar 10 MMSCFD a una presión de 550 psig y un flujo máximo de 22 MMSCFD en escenarios donde la presión alcance los 1100 psig. Lo anterior sin exceder los límites de velocidad erosiva (API RP 14E), en cuyo caso los números pasarían a ser 14 y 28 MMSCFD respectivamente

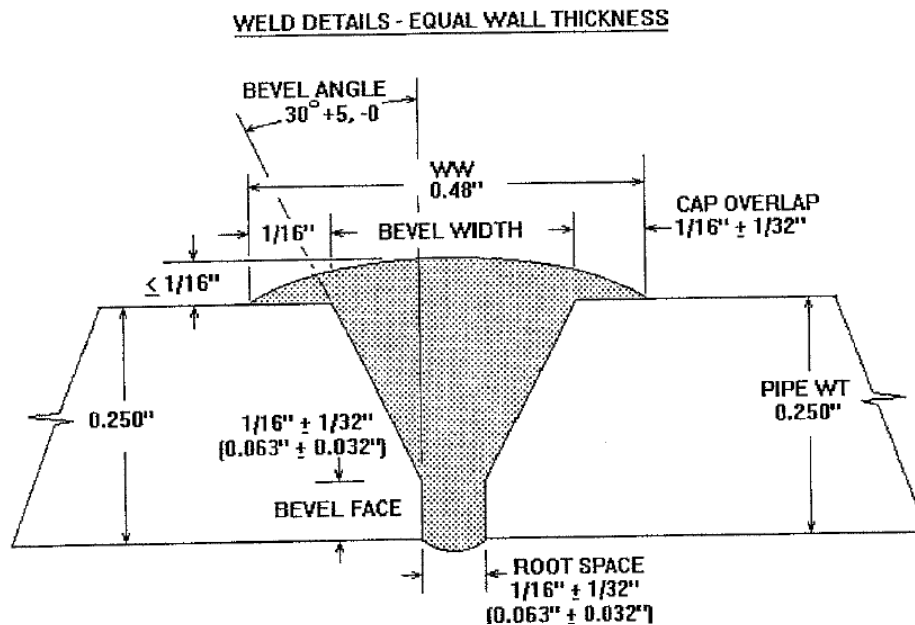
Finalmente se procede a determinar los niveles de velocidad interna a la cual estaría sometido el gas en la tubería de 3" bajo una operación de venteo a la atmósfera; antes de acelerar hasta la condición de velocidad sónica en la boquilla de salida.

| Diámetro | 41 MMSCFD |           |
|----------|-----------|-----------|
|          | 550 Psig  | 1100 Psig |
| 3"       | 234.5     | 111.5     |

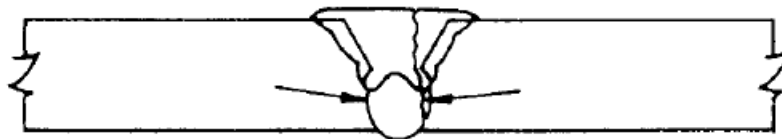
**Tabla 5.** Valor de velocidad en Ft/seg en la tubería de 3" para un flujo de 41 MMSCDF

#### 4.3 VALIDACIÓN A JUNTAS SOLDADAS.

En atención al criterio de diseño de mantener la coherencia y la continuidad de las especificaciones predominantes en la infraestructura que se encuentra en servicio productivo, la validación de juntas soldadas del mismo diámetro se resume en el estudio de una junta a tope convencional, tal como se ilustra a continuación para un tamaño de 12" con espesor 0.250".



En cuyo caso, el plano de falla de la junta a estudiar, estaría dado por la expresión  $\pi Dt$ , donde D es el diámetro, y t el espesor, tal como se ilustra en la figure 15.



**Figure 15.** Cracks tend to occur at the area indicated on one side or the other of the stringer bead. This could eventually propagate up through the weld. A properly controlled procedure and good workmanship can eliminate this condition.

Con el plano de falla claramente marcado, la validación se hará determinando la fuerza de presión activa sobre el plano de fallo dado por la expresión  $F = P \cdot A$ , donde P es la presión de diseño y A, el área interna del perímetro húmedo de la sección, lo cual deberá compararse apropiadamente con la resistencia al mecánica bridada por el material de aporte a la junta soldada, por lo general para este tipo de procesos SMAW, los electrodos de fundeo son de la serie E-6011 / E-6013 y para presentación E-7018; no obstante para efectos de cálculos, los cotejos se realizarán con la menor de las resistencias especificadas, en este caso 60.000 Lbf/in<sup>2</sup>. Con lo cual los resultados para cada diámetro considerado en el proyecto serían:

| ITEM                       | VALOR       | UNIDADES        | VALOR       | UNIDADES        | VALOR       | UNIDADES        |
|----------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|
| Diámetro                   | 12          | in              | 6           | in              | 3           | in              |
| Espesor tubería            | 0,250       | in              | 0,280       | in              | 0,216       | in              |
| Presión máxima             | 1440        | psi             | 1440        | psi             | 1440        | psi             |
| Area húmeda                | 113,097     | in <sup>2</sup> | 28,274      | in <sup>2</sup> | 7,069       | in <sup>2</sup> |
| S electrodo                | 60000       | psi             | 60000       | psi             | 60000       | psi             |
| Factor de inclusión        | 0,72        |                 | 0,72        |                 | 0,72        |                 |
| Fuerza activa              | 162860,163  | Lbf             | 40715,0408  | Lbf             | 10178,7602  | Lbf             |
| A soldadura                | 9,42477796  | in <sup>2</sup> | 5,27787566  | in <sup>2</sup> | 2,03575204  | in <sup>2</sup> |
| Esfuerzo de carga real     | 17280       | psi             | 7714,28571  | psi             | 5000        | psi             |
| <b>Factor de Seguridad</b> | <b>2,50</b> |                 | <b>5,60</b> |                 | <b>8,64</b> |                 |

Corroborando el adecuado desempeño teórico de cada junta soldada, al obtener factores de seguridad mayores que 2, inclusive al considerar como cálculo conservador, la presión de full rating (1440 psig) en lugar de la presión de diseño de 1200 psig.

## 5. CONCLUSIÓN

Los resultados del ejercicio de validación a las especificaciones existentes refrendado por cálculos actualizados a las condiciones operativas reales, muestran que las tuberías (preferentemente seamless) de la siguiente denominación:

- Tubería 12": API 5L X60, SCH-20 (Espesor = 0.250"), ERW, PSL 2
- Tubería 6": API 5L X42 - GrB, STD (Espesor = 0.280"), ERW, PSL 1
- Tubería 3": API 5L GrB, STD (Espesor = 0.216"), ERW, PSL 1 / PSL 2

Cumplen con el desempeño apropiado para el nivel de sollicitación mecánica exigido por las condiciones del proceso, cumplen con la capacidad de manejo hidráulico requerida y también cumplen por diseño, con las garantías de empalmes a través de juntas soldadas. Por lo tanto, es procedente su uso en el proyecto objeto de interés.

## 6. CONTROL DE CAMBIOS.

| REVISIÓN | FECHA      | EMITIDO PARA     |
|----------|------------|------------------|
| Rev A.   | 14/08/2026 | Revisión interna |
| Rev B.   | 04/09/2026 | Revisión cliente |
| Rev 0.   | 14/09/2026 | Construcción     |
|          |            |                  |
|          |            |                  |