

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA PETROLERA**



**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL CURVADO DE CAÑOS EN FRIO DE  
ACUERDO AL CÓDIGO ASME B31.8 APLICADO EN LA CONSTRUCCIÓN  
DE LA RED PRIMARIA DE GAS NATURAL DEL MUNICIPIO DE MECAPACA  
PROVINCIA MURILLO DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

**Proyecto de grado presentado para optar al título de Licenciado en  
Ingeniería Petrolera**

**POSTULANTE: MARCELO GROBER LAURA NINA**

**TUTOR: M.Sc. ING. PEDRO REYNALDO MARÍN DOMINGUEZ**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2024**



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## DEDICATORIA

A mis padres Genaro y Ramona quienes en vida me brindaron un apoyo incondicional, me dieron valores que me formaron como persona. A mis hermanos Eda, Geovana, Rosse Mary, Gustavo, a mi amado hijo Mateo, que me enseñaron el valor de familiar.

## AGRADECIMIENTO

A Dios que por su infinito amor y bendición nos dio vida y ganas de vivir.

A mis padres por todo el esfuerzo que han realizado para que su hijo sea un profesional.

Al Ing. Reynaldo Marín por toda la paciencia y el apoyo brindado para la realización de este proyecto de grado.

A todos los docentes de la facultad de Ingeniería Petrolera que han colaborado con sus enseñanzas en mi desarrollo universitario.

A mis compañeros y amigos que me han acompañado durante los buenos y malos momentos de la vida universitaria

# INDICE GENERAL

CAPITULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	2
1.4.1 <i>Objetivo General</i> .....	2
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.5.1 <i>Justificación técnica</i> .....	3
1.5.2 <i>Justificación ambiental</i> .....	3
1.5.3 <i>Justificación social</i> .....	4
1.6 ALCANCE .....	4
1.6.1 <i>Alcance temático</i> .....	4
1.6.2 <i>Alcance espacial</i> .....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS.....	5
2.2 CAÑERÍA.....	6
2.2.1 <i>Fabricación</i> .....	6
2.2.1.1 <i>Cañería sin costura</i> .....	6
2.2.1.1.1 <i>Fabricación de cañería sin costura por Extrusión</i> .....	6
2.2.1.1.2 <i>Fabricación de cañería sin costura por Laminación</i> .....	6
2.2.1.2 <i>Cañería soldada</i> .....	7
2.2.1.2.1 <i>Cañería soldada por arco sumergido con costura longitudinal SAWL</i> .....	8
2.2.1.2.2 <i>Cañería soldada por arco sumergido con costura Helicoidal SAWH</i> .....	8
2.2.1.2.3 <i>Cañería soldada a tope en horno</i> .....	9
2.2.1.2.4 <i>Cañería con costura soldada por Resistencia Eléctrica ERW</i> .....	9
2.2.1.2.4.1 <i>Cañería soldada de alta frecuencia HFW</i> .....	10

2.2.1.2.4.2 Cañería soldada de baja frecuencia LFW .....	11
2.2.1.2.5 Cañería con costura soldadas por electro fusión EFW .....	11
2.2.1.2.6 Soldadura Laser LW .....	12
2.2.2 <i>Calidad de la Cañería según especificaciones API 5L</i> .....	12
2.2.2.1 Especificación de nivel de calidad 1 PSL 1 .....	12
2.2.2.1.1 Composición química de PSL 1 .....	12
2.2.2.1.2 Propiedades mecánicas de PSL 1 .....	14
2.2.2.2 Especificación de nivel de calidad 2 PSL 2 .....	15
2.2.2.1.1 Composición química de PSL 2 .....	15
2.2.2.1.2 Propiedades mecánicas de PSL 2 .....	17
2.2.3 <i>Recubrimientos</i> .....	19
2.3 ZANJEO .....	20
2.3.1 <i>Trazado</i> .....	20
2.3.2 <i>Excavación de la Zanja</i> .....	21
2.3.3 <i>Perfilado de la Zanja</i> .....	21
2.3.4 <i>Material de relleno</i> .....	22
2.3.5 <i>Características de la zanja para red primaria</i> .....	22
2.4 TRANSPORTE DE CAÑOS .....	24
2.4.1 <i>Estiba de caños</i> .....	24
2.4.2 <i>Desfile de caños</i> .....	24
2.5 CURVADO DE CAÑOS .....	25
2.5.1 <i>Curvado de Caños en Frío</i> .....	26
2.5.1.1 Características del proceso de Curvado en Frío .....	28
2.5.1.2 Tipos de curvadoras de caños .....	28
2.5.1.2.1 Curvadora Vertical .....	28
2.5.1.2.2 Curvadora Horizontal .....	29
2.5.2 <i>Placa Calibradora</i> .....	30
2.6 SOLDADURA .....	32
2.6.1 <i>Biselado de la cañería</i> .....	32
2.6.2 <i>Engrampado de cañerías</i> .....	32

2.6.3 Soldadura de la cañería.....	33
2.7 INSPECCION VISUAL DE SOLDADURA .....	34
2.8 RADIOGRAFIADO .....	34
2.9 PRUEBA HIDRAULICA .....	35
2.9.1 Prueba de Hermeticidad.....	36
2.9.2 Prueba de Resistencia .....	36
CAPITULO III: APLICACIÓN PRÁCTICA EN LA RED PRIMARIA DE GAS NATURAL DEL MUNICIPIO DE MECAPACA.....	37
3.1 CARACTERÍSTICAS DEL GAS .....	37
3.2 CÁLCULO DE LA DEMANDA DE GAS NATURAL .....	38
3.2.1 Demanda Gas Natural para Usuarios Domésticos.....	38
3.2.2 Demanda Gas Natural para Sector Comercial.....	42
3.2.3 Dimensionamiento de Estación Distrital de Regulación (EDR).....	43
3.2.4 Demanda Gas Natural para Sector Industrial.....	43
3.2.5 Demanda Gas Natural para Sector GNV .....	44
3.2.6 Demanda Total Gas Natural.....	45
3.3 RUTA PROYECTADA DE LA RED PRIMARIA .....	45
3.3.1 Perfil de la elevación de la Red Primaria .....	47
3.4 CÁLCULO HIDRÁULICO PARA LA RED PRIMARIA .....	52
3.4.1 Ecuación de Weymouth.....	53
3.4.2 Parámetros para el PRIMER TRAMO de la red primaria (puntos 0 a 1) .....	54
3.4.3 Parámetros para el SEGUNDO TRAMO de la red primaria (puntos 1 a 2) .....	58
3.4.4 Parámetros para el TERCER TRAMO de la red primaria (puntos 2 a 3) .....	60
3.4.5 Parámetros para el CUARTO TRAMO de la red primaria (puntos 3 a 4) .....	63
3.4.6 Parámetros para el QUINTO TRAMO de la red primaria (puntos 4 a 5).....	65
3.5 REQUERIMIENTOS DEL CURVADO DE CAÑOS EN FRIO EN CAMPO .....	68
3.5.1 Cálculo del máximo ángulo de curvado en frío para un caño de 6 pulgadas .....	68
3.5.2 Cálculo del radio mínimo de curvatura.....	69

3.5.3 Cálculo del diámetro de la placa calibradora.....	70
3.6 EVALUACIÓN DEL CURVADO EN FRIO DE LOS CAÑOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA RED PRIMARIA DE GAS EN EL MUNICIPIO DE MECAPACA.....	71
3.7 MANEJO Y RIESGOS CON EL USO DE LA DOBLADORA.....	86
3.8 PROCEDIMIENTO ADECUADO PARA EL CURVADO DE CAÑOS EN FRIO.....	87
<b>CAPITULO IV: INTEGRIDAD MECANICA DEL DUCTO.....</b>	<b>89</b>
4.1 PRUEBA HIDRÁULICA .....	89
4.1.1 Preparación para la prueba .....	89
4.1.2 Cálculo de la presión para la prueba.....	90
4.1.3 Presión de prueba en fabrica.....	90
4.1.4 Análisis de la diferencia altimétrica.....	91
4.1.4 Medio Presurizante .....	92
4.1.4.1 Cálculo general de volumen de agua.....	93
4.1.4.2 Cálculo del volumen teórico de agua para elevar en un bar de presión.....	93
4.1.4.3 Barrido de agua .....	94
4.1.4.4 Limpieza del conducto.....	94
4.1.4.5 Secado .....	94
4.1.5 Criterio de evaluación de la prueba hidráulica.....	94
4.1.5.1 Temperatura promedio.....	95
4.1.5.2 Presión promedio .....	95
4.1.5.3 Cálculo de expansión del agua .....	95
4.1.5.4 Cálculo del factor de compresibilidad del agua.....	96
4.1.5.5 Cálculo de la variación de presión total de la prueba .....	97
4.1.5.6 Criterio de la desigualdad de la prueba hidráulica.....	97
4.2 COMPORTAMIENTO DEL CURVADO DEL CAÑO.....	98
<b>CAPITULO V: ANALISIS DE COSTOS.....</b>	<b>103</b>
5.1 COSTO DE EQUIPOS.....	103
5.2 COSTO DE MATERIALES.....	103
5.3 COSTO DEL PERSONAL.....	105



5.4 COSTO DE LA PRUEBA HIDRAULICA .....	105
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	108
6.1 CONCLUSIONES .....	108
6.2 RECOMENDACIONES .....	109
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	110
ANEXOS .....	112

## INDICE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	<i>Proceso de fabricación de tubos de acero sin costura</i> .....	7
<b>Figura 2.</b>	<i>Proceso de fabricación de tubos de acero con costura:</i> .....	10
<b>Figura 3.</b>	<i>Trazado para excavación de zanja</i> .....	20
<b>Figura 4.</b>	<i>Excavación de zanja</i> .....	21
<b>Figura 5.</b>	<i>Perfil de zanja</i> .....	22
<b>Figura 6.</b>	<i>Sección de Zanja red primaria Tramo tierra</i> .....	23
<b>Figura 7.</b>	<i>Sección en tramos Polietileno Acero</i> .....	23
<b>Figura 8.</b>	<i>Estiba de caños</i> .....	24
<b>Figura 9.</b>	<i>Desfile de caños</i> .....	25
<b>Figura 10.</b>	<i>Curva de 90° de un caño</i> .....	25
<b>Figura 11.</b>	<i>Disposición de longitud de un caño DRL</i> .....	26
<b>Figura 12.</b>	<i>Curvadora Vertical</i> .....	29
<b>Figura 13.</b>	<i>Curvadora Horizontal</i> .....	30
<b>Figura 14.</b>	<i>Placa Calibradora</i> .....	31
<b>Figura 15.</b>	<i>Partes de la Placa Calibradora</i> .....	31
<b>Figura 16.</b>	<i>Bisel de la cañería</i> .....	32
<b>Figura 17.</b>	<i>Engrampado de cañerías</i> .....	33
<b>Figura 18.</b>	<i>Soldadura de la cañería</i> .....	34
<b>Figura 19.</b>	<i>Radiografiado</i> .....	35
<b>Figura 20.</b>	<i>Trazado de la red primaria</i> .....	46
<b>Figura 21.</b>	<i>Tramo 1 (PUNTO 0 – PUNTO 1)</i> .....	47
<b>Figura 22.</b>	<i>Tramo 2 (PUNTO 1 – PUNTO 2)</i> .....	48
<b>Figura 23.</b>	<i>Tramo 3 (PUNTO 2 – PUNTO 3)</i> .....	49

<b>Figura 24.</b>	<i>Cruce río Achocalla – puente Dr. Rodolfo Illanes</i> .....	49
<b>Figura 25.</b>	<i>Cruce río Irpavi -río La Paz</i> .....	50
<b>Figura 26.</b>	<i>Tramo 4 (PUNTO 3 – PUNTO 4)</i> .....	51
<b>Figura 27.</b>	<i>Cruce de río -Puente Llauchi</i> .....	51
<b>Figura 28.</b>	<i>Tramo 5 (PUNTO 4 – PUNTO 5)</i> .....	52
<b>Figura 29.</b>	<i>Limpieza interior de la cañería</i> .....	89
<b>Figura 30.</b>	<i>Dibujo elemento rígido no deformable</i> .....	99
<b>Figura 31.</b>	<i>Dibujo del caño de 6 pulgadas</i> .....	99
<b>Figura 32.</b>	<i>Ensamblado y mallado del caño y los elementos</i> .....	100
<b>Figura 33.</b>	<i>Propiedades mecánicas del material</i> .....	101
<b>Figura 34.</b>	<i>Curvado del caño por la simulación</i> .....	101
<b>Figura 35.</b>	<i>Curvado con un ángulo de 5°</i> .....	102
<b>Figura 36.</b>	<i>Extremo del caño curvado</i> .....	102

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	<i>Composición química para tubería PSL1 con espesor menor a 25 mm</i> .....	13
<b>Tabla 2.</b>	<i>Requisitos para los resultados de las pruebas de tracción para la tubería PSL 1</i> .....	14
<b>Tabla 3.</b>	<i>Composición química para tubería PSL2 con espesor menor a 25 mm</i> .....	16
<b>Tabla 4.</b>	<i>Requisitos para los resultados de las pruebas de tracción para la tubería PSL 2</i> .....	18
<b>Tabla 5.</b>	<i>Requerimientos de doblado en frío en campo.</i> .....	27
<b>Tabla 6.</b>	<i>Cromatografía del Gas</i> .....	37
<b>Tabla 7.</b>	<i>Usuarios y servicio eléctrico en el Municipio de Mecapaca – Censo INE 2012</i> .....	39
<b>Tabla 8.</b>	<i>Proyección de potenciales Usuarios para el año 2039</i> .....	41
<b>Tabla 9.</b>	<i>Consumo Industrial Demandado hasta el 2039</i> .....	44
<b>Tabla 10.</b>	<i>Consumo GNV Demandado hasta el 2039</i> .....	45
<b>Tabla 11.</b>	<i>Condiciones operativas para el primer tramo</i> .....	54
<b>Tabla 12.</b>	<i>Estimación del diámetro del ducto del tramo 1</i> .....	55
<b>Tabla 13.</b>	<i>Estimación de la presión final del tramo 1</i> .....	57
<b>Tabla 14.</b>	<i>Características del tramo 1</i> .....	57
<b>Tabla 15.</b>	<i>Condiciones operativas para el segundo tramo</i> .....	58
<b>Tabla 16.</b>	<i>Estimación del diámetro del ducto del tramo 2</i> .....	59
<b>Tabla 17.</b>	<i>Estimación de la presión final del tramo 2</i> .....	60
<b>Tabla 18.</b>	<i>Características del tramo 2</i> .....	60
<b>Tabla 19.</b>	<i>Condiciones operativas para el tercer tramo</i> .....	61
<b>Tabla 20.</b>	<i>Estimación del diámetro del ducto del tramo 3</i> .....	61

<b>Tabla 21.</b>	<i>Estimación de la presión final del tramo 3.....</i>	<i>62</i>
<b>Tabla 22.</b>	<i>Características del tramo 3.....</i>	<i>63</i>
<b>Tabla 23.</b>	<i>Condiciones operativas para el cuarto tramo.....</i>	<i>63</i>
<b>Tabla 24.</b>	<i>Estimación del diámetro del ducto del tramo 4.....</i>	<i>64</i>
<b>Tabla 25.</b>	<i>Estimación de la presión final del tramo 4.....</i>	<i>65</i>
<b>Tabla 26.</b>	<i>Características del tramo 4.....</i>	<i>65</i>
<b>Tabla 27.</b>	<i>Condiciones operativas para el quinto tramo.....</i>	<i>66</i>
<b>Tabla 28.</b>	<i>Estimación del diámetro del ducto del tramo 5.....</i>	<i>66</i>
<b>Tabla 29.</b>	<i>Estimación de la presión final del tramo 5.....</i>	<i>67</i>
<b>Tabla 30.</b>	<i>Características del tramo 5.....</i>	<i>68</i>
<b>Tabla 31.</b>	<i>Propiedades de la tubería.....</i>	<i>68</i>
<b>Tabla 32.</b>	<i>Requerimientos de prueba para líneas de gasoductos de acero.....</i>	<i>90</i>
<b>Tabla 33.</b>	<i>Características del elemento B-897.....</i>	<i>98</i>
<b>Tabla 34.</b>	<i>Presupuesto por Ítem por equipo.....</i>	<i>103</i>
<b>Tabla 35.</b>	<i>Presupuesto de materiales.....</i>	<i>104</i>
<b>Tabla 36.</b>	<i>Personal para el curvado de caños.....</i>	<i>105</i>

## SIMBOLOGIA

$D_{Placa}$	Diámetro de la placa calibradora
$t$	Espesor de la tubería
$D$	Diámetro
$D_e$	Diámetro exterior
$D_i$	Diámetro interior
$Q_{DOM}$	Caudal doméstico
$Q_{COM}$	Caudal commercial
$Q_{EDR}$	Caudal estacion distrital de regulación
$Q$	Caudal del gas natural
$C$	Consumo
$S$	Simultaneidad
$N$	Número de usuarios
$PCS$	Poder calorífico superior
$T_b$	Temperatura base
$T_f$	Temperatura promedio de flujo
$P_b$	Presión base
$P_1$	Presión inicial
$P_2$	Presión final
$P_m$ :	Presión promedio de flujo
$Z$	Factor de compresibilidad de gas
$GE$	Gravedad específica
$L$	Longitud de línea
$L_e$	Longitud equivalente

$H_1$	Elevación del punto de entrada [pie]
$H_2$ :	Elevación del punto de salida [pie]
$s$	Parámetro de ajuste por elevación
$F$	Factor de diseño según clase de trazado
$E$	Factor de Junta longitudinal
$P$ :	Presión interna del diseño del ducto [psig]
$T$ :	Factor de temperatura [adimensional]
SMYS	Tensión de fluencia mínima
MOP	Máxima presión de operación
$V_a$ :	Volumen teórico de agua para añadir
$V_{general}$ :	Volumen del conducto
$A$ :	Valor de compresibilidad del agua
$B$ :	Coefficiente de expansión del agua
$DP$ :	Variación de la presión debido al cambio de temperatura
$\nu$ :	Relación de Poisson

## LISTA DE ACRONIMOS

API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
NAG	Norma Argentina de Gas
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
YPFB	Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos
COW	Proceso combinado de soldadura de cañería para su fabricación
COWH	Proceso combinado helicoidal de soldadura de cañería
COWL	Proceso combinado longitudinal de soldadura de cañería
CW	Proceso continuo de soldadura
DRL	Doble rango de longitud
EFW	Proceso de soldadura por electro fusión
ERW	Proceso de soldadura por resistencia eléctrica
HFW	Proceso de soldadura por resistencia eléctrica de alta frecuencia
LFW	Proceso de soldadura por resistencia eléctrica de baja frecuencia
LW	Soldadura Láser
PSL	Especificación del nivel de calidad del producto
SAW	Proceso de soldadura por arco sumergido
SAWL	Proceso de soldadura longitudinal por arco sumergido
SAWH	Proceso de soldadura helicoidal por arco sumergido
SI	Sistema Internacional de unidades
SRL	Simple rango de longitud
TFL	A través de la línea de flujo



## GLOSARIO

**Altimetría:** La altimetría es una rama de la topografía que se encarga de medir y representar las variaciones de altitud en la superficie terrestre o en cualquier otro cuerpo celeste.

**Bar:** Esta medida es útil porque proporciona una forma simple de expresar presiones que son típicamente mayores o menores que la presión atmosférica estándar.

**Cañería:** Se refiere a un sistema de caños utilizados para transportar líquidos, gases.

**Cromatografía:** La cromatografía es una técnica analítica utilizada para separar y analizar mezclas de sustancias químicas

**Deformación:** La deformación se refiere a cualquier cambio en la forma, tamaño o estructura de un objeto causado por una fuerza externa o un cambio en las condiciones ambientales.

**Gas Natural:** Combustible principalmente constituido por metano, se encuentra en yacimientos en forma libre o forma asociada al petróleo.

**Gasoducto:** Conjunto de caños y accesorios para transportar el Gas natural de un lugar a otro.

**Inspección:** La inspección es un proceso de examinar, evaluar y verificar las características, condiciones o cualidades de un objeto.

**Integridad:** la integridad mecánica se refiere a la capacidad de un componente o estructura para mantener su integridad estructural bajo las cargas.

**Pascal:** El pascal es una unidad pequeña de presión, y generalmente se utiliza en situaciones donde se requieren mediciones de presión muy precisas o en contextos científicos y técnicos

**Psia:** Presión absoluta en libras por pulgada cuadrada.

**Psig:** Presión manométrica en libras por pulgada cuadrada.

**Radiografiado:** Se refiere a un proceso de inspección no destructiva para detectar defectos internos en materiales.

**Recubrimiento:** El recubrimiento es un proceso mediante el cual se aplica una capa de material sobre la superficie de un objeto con el fin de mejorar sus propiedades.

**Resistencia:** La resistencia se refiere a la capacidad de un material para resistir fuerzas aplicadas sin romperse, deformarse o fallar.

**Soldadura:** La soldadura es un proceso de unión permanente utilizado para unir dos o más piezas de metal mediante la aplicación de calor.

**Suelo:** El suelo es la capa superior de la superficie terrestre que sustenta la vida vegetal y proporciona un medio para el crecimiento de las plantas.

**Trazado:** El trazado se refiere al proceso de planificación y diseño de la ubicación y la disposición de una estructura, una carretera.

**Zanja:** Es una excavación larga y estrecha en el suelo.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El Proyecto “Evaluación y análisis del curvado de caños en frío de acuerdo al código ASME B31.8 aplicado en la construcción de la red primaria de gas natural del municipio de Mecapaca provincia murillo departamento de La Paz” se enfoca en evaluar los datos correspondientes del curvado de caños en la obra, como el ángulo de deflexión de cada curvado, bajo criterios brindados por el código ASME B 31.8.

El segundo capítulo es una descripción de la etapa de construcción de una red primaria de gas, desde el transporte de caños, desfile de caños, curvado de caños, excavación de zanja, soldadura, además de explicar la fabricación de los componentes del ducto como ser los caños bajo la especificación API 5L.

El tercer capítulo muestra el cálculo de la demanda del gas natural para el municipio de Mecapaca, además de la selección del trazado donde se construyó la red primaria, el diseño de la red primaria por tramos según específico la gerencia de redes de gas, el cálculo de los requerimientos del curvado de caños en frío, además de la realización de la evaluación del curvado de caños en el presente proyecto descrito bajo los datos proporcionados por la empresa constructora, se proporciona un procedimiento adecuado para el curvado de caños en frío.

El cuarto capítulo fundamenta el grado de aceptación para gasoductos en el proyecto por la prueba hidráulica, se realiza el análisis del comportamiento del curvado de caños en frío para un caso en particular donde se realizó un curvado con mayor intensidad

En el quinto capítulo señala un breve resumen de los costos realizados en el proceso de curvado de caños en frío.

En el sexto capítulo reflejamos los resultados y porque la aceptación de la obra de la red primaria para ser operado a condiciones de diseño.

# CAPITULO I: GENERALIDADES

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El propósito de este proyecto de grado es desarrollar el análisis y la evaluación de la integridad de la cañería de red primaria de gas natural, en particular el proceso de curvado en frío que atravesó la cañería al ser instalada en el Municipio de Mecapaca de la ciudad de La Paz.

Para realizar el proceso de curvado de caños en frío se toma en cuenta: el radio de curvatura que presentará cada caño en relación al terreno – zanja, el ángulo de deformación que se encuentra en función del diámetro del caño, la cantidad de intervenciones que tendrá el caño por la dobladora, la distancia entre cada intervención que es calculado teniendo en cuenta la longitud del caño a doblar con el diámetro nominal del caño, el cuidado de evitar ovalizaciones en las cañerías.

La mayoría de las consideraciones anteriormente mencionadas no fueron contempladas en la construcción – instalación de la red primaria de gas natural en el Municipio de Mecapaca de la ciudad de La Paz, haciendo caso omiso también de las normas mínimas para el curvado de caños en frío planteado por el código ASME B31.8, por este motivo se evidencia la necesidad de realizar una evaluación, análisis de las propiedades mecánicas del caño curvado, en específico aquellos que tuvieron una mayor deformación.

Bajo la recopilación de datos realizada por la empresa constructora para cada caso de curvado de caños, se realiza una evaluación del máximo ángulo de doblado, radio de curvatura mínimo permitido, para identificar los casos críticos que sufrieron mayor deformación o que no cumplan con las normas estandarizadas.

## **1.2 ANTECEDENTES**

El Municipio de Mecapaca está ubicado a 28 km de la ciudad de La Paz y se encuentra a una altura promedio de 2.850 metros sobre el nivel del mar, bajo el derecho al acceso universal y equitativo a los servicios básicos, la unidad de gerencia de redes de gas y ductos distrito redes de gas La Paz – El Alto planteó y desarrollo el diseño y construcción de la red Primaria y postulo la construcción de red secundaria bajo el código de proyecto: COD: PROY-DRLA-023-202.

El Proyecto “Sistema de Distribución de Gas Natural Municipio de Mecapaca Departamento de La Paz”, contribuirá al proceso de cambio de la matriz energética GLP por Gas Natural, beneficiando a este sector de la población en el departamento de La Paz, así mismo beneficiará con empleos directos a los trabajadores de las empresas adjudicadas para la instalación de gas. (Cordero, PROY-DRLA-023-202, 2020)

## **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los trabajos de obras mecánicas para la construcción de una red primaria se deben de realizar bajo normas ya establecidas en el documento base de contratación, por la empresa supervisora, así como por la empresa constructora. Como se evidenció un requerimiento de procedimiento en la práctica del curvado de caños en frío y bajo la ausencia del mismo en la construcción de la obra de instalación de red primaria de gas natural en el municipio de Mecapaca, se ve la necesidad de realizar un estudio del mismo, ya que puede presentar algunos problemas como ondulaciones, agrietamientos o cualquier otro tipo de desperfecto mecánico, que podría afectar en el transporte de hidrocarburos, así como en la vida útil de la cañería.

## **1.4 OBJETIVOS**

### ***1.4.1 Objetivo General***

- Mostrar el procedimiento adecuado de acuerdo al código ASME B31.8 que debe ser aplicada en el proceso de curvado de caños en frío.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

- Calcular el máximo ángulo de doblado de un caño en frío bajo los parámetros establecidos por el código ASME B31.8.
- Determinar el radio de curvatura mínimo permitido para los caños con mayor incidencia de curvado en la obra.
- Dar una descripción de la evaluación para la integridad del caño después de realizarse el curvado en frío.
- Analizar el comportamiento del caño en el procedimiento del curvado por medio de métodos matemáticos.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

El estudio analítico – técnico sobre las propiedades mecánicas existentes en un caño sometido a deformación, debe de realizarse con previa planificación, bajo orientación de normas mínimas de construcción.

### ***1.5.1 Justificación técnica***

La realización de este proyecto se justifica porque cuando se realizó la construcción – instalación de la red primaria de gas natural en el municipio de Mecapaca se evidenció la falencia del uso de normas estandarizadas en el curvado de caños en frío. Se busca realizar una evaluación del curvado de caños de la obra de acuerdo al código ASME B31.8, además de visualizar el comportamiento de los caños que fueron sometidos a mayor deformación, y la presencia de esfuerzos presentes en cada caño curvado.

### ***1.5.2 Justificación ambiental***

En el transporte de gas la justificación ambiental es crucial para tomar las medidas necesarias de conservación de ecosistemas, en la construcción de la red primaria se realiza la apertura de zanja donde se deben tomar medidas de mitigación y conservación en el impacto ambiental, así mismo minimizar cualquier impacto negativo en la calidad del suelo y el agua.

### ***1.5.3 Justificación social***

La construcción de la red primaria de gas en el municipio de Mecapaca tiene un impacto social tal que brindará una calidad de vida a las personas en este municipio, con la posterior instalación del gas domiciliario, la correcta instalación de la red primaria nos permitirá satisfacer esta necesidad.

## **1.6 ALCANCE**

El proyecto de grado esta principalmente regido y delimitado a los registros de cada proceso de curvado realizados por la empresa constructora.

### ***1.6.1 Alcance temático***

En este proyecto se realiza la evaluación del curvado de caños en la construcción de la red primaria de gas natural del municipio de Mecapaca bajo el código ASME B31.8, además de brindar el procedimiento adecuado para una correcta planificación y aplicación en el curvado de caños en frío.

### ***1.6.2 Alcance espacial***

Los datos obtenidos en el proceso de curvatura son delimitados a las localidades de Jupapina, Lipari (atravesando por el río Irpaví), Huajchilla (atravesando por el cementerio jardines del paraíso), que son pertenecientes al Municipio de Mecapaca provincia Murillo del departamento de La Paz.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

Las energías no renovables como los hidrocarburos son decisivas en la economía de un país tal es el caso de Bolivia, por tal motivo en las últimas décadas se evidencio el desarrollo energético en la población boliviana, un claro ejemplo es el servicio de gas domiciliario que en los últimos años pudo beneficiar a gran cantidad de la población con este servicio que reduce el costo monetario en consumo energético, además de generar empleos directos e indirectos, desde instalaciones internas por medio de redes de gas convencionales y plantas de Gas Natural Licuado, red primaria, red secundaria, acometidas, etc.

El Transporte de hidrocarburos es de vital importancia e imprescindible en el área hidrocarburífera, no solo se trata de transportar el hidrocarburo ya procesado, como producto final, sino que está inmerso en cada fase, desde la explotación, producción, industrialización y distribución - comercialización.

La integridad de un ducto es la capacidad para desempeñar la función para la cual fue diseñado en forma segura y confiable, sin afectar la seguridad de las personas y el medio ambiente.

Por su parte la gestión de integridad es el conjunto de acciones coordinadas para asegurar su operación sin fallos, administrando eficientemente el riesgo de la probabilidad de ocurrencia de falla y sus consecuencias. (Emanuel, 2016)

La gestión de integridad regida por el código ASME B31.8, por la ANH normativa de la agencia Nacional de Hidrocarburos (redes de distribución), por la NAG – 100 normativa argentina de gas, comprenden las siguientes tareas:

- Identificación de la línea de base del ducto.
- Valoración y administración del riesgo.
- Modos y mecanismos de falla por amenazas.



- Planes de acción y programas de mantenimiento.
- Evaluación del programa de integridad.

## **2.2 CAÑERÍA**

Para el uso de cañerías en proyectos se debe de contemplar varios factores que cumplan con un criterio de diseño, los mismos son desarrollados a continuación:

### ***2.2.1 Fabricación***

Los ductos para transporte de hidrocarburos están compuestos por tramos de cañerías que pudieron ser fabricadas por diversos procesos por ello se tiene:

#### **2.2.1.1 Cañería sin costura**

El método de producción de tubos de acero sin costura se divide aproximadamente en un método de laminación cruzada (método de Mengnesmann) y un método de extrusión.

##### ***2.2.1.1.1 Fabricación de cañería sin costura por Extrusión***

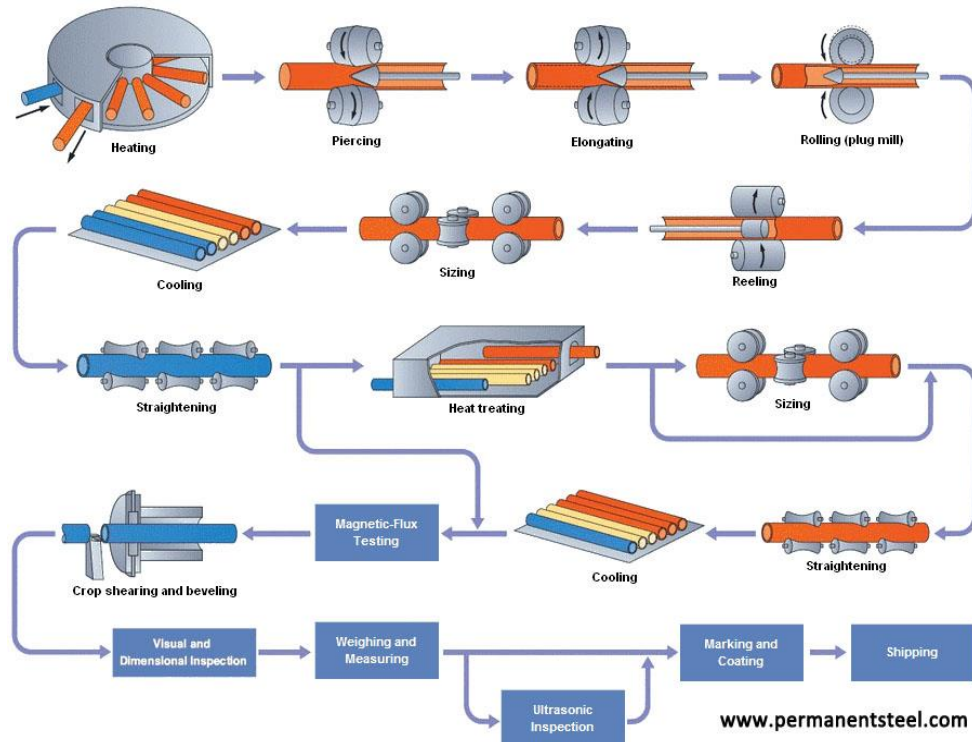
El método de extrusión utiliza una máquina perforadora para perforar un tubo en bruto o un lingote de acero, y luego lo extrusiona en un tubo de acero mediante un extrusor. Este método es menos eficiente que el método de laminación cruzada y es adecuado para producir un tubo de acero de aleación de alta resistencia. (Perpetual Steel Manufacturing Co.Ltd, 2019)

##### ***2.2.1.1.2 Fabricación de cañería sin costura por Laminación***

El método de laminación cruzada (método de Mennesmann) consiste en perforar primero el tubo con un rodillo diagonal y luego extenderlo con un laminador. Este método tiene una alta velocidad de producción, pero tiene altos requisitos de procesabilidad de la pieza en bruto del tubo, y es principalmente adecuado para la producción de acero al carbono y tubos de acero de baja aleación. La laminación de la máquina y el control automático hacen que la precisión dimensional de la tubería de acero (especialmente la redondez y la

precisión del espesor de la pared de la tubería) sea superior a las tuberías sin costura similares. (Perpetual Steel Manufacturing Co.Ltd, 2019)

**Figura 1.** *Proceso de fabricación de tubos de acero sin costura*



*Nota.* Se muestra la fabricación de cañerías de acero sin costura por el método de laminación. Tomada de (Perpetual Steel Manufacturing Co.Ltd, 2019)

### 2.2.1.2 Cañería soldada

La tubería soldada con costura recta tiene las características de un proceso de producción simple y una producción continua rápida se forma a partir de una bobina laminada en caliente a través de una máquina formadora, no requiere rellenos de costura de soldadura, sin salpicaduras de soldadura, zona estrecha afectada por el calor de soldadura, hermosa forma de soldadura y buenas propiedades mecánicas de soldadura. (Permanent Steel Manufacturing Co.,Ltd, 2020)

#### ***2.2.1.2.1 Cañería soldada por arco sumergido con costura longitudinal SAWL***

La cañería LSAW (o tubería SAWL, Producto Tubular con Costura Longitudinal Producida por Soldadura de Arco Sumergido) se fabrica al tomar la lámina de acero como materia prima, darle forma en la máquina de moldeado, y luego producir una costura por ambos lados (interior y exterior del tubo) usando la soldadura por arco sumergido. Gracias a este proceso, el tubo de acero LSAW obtendrá una excelente ductilidad, dureza en la costura, uniformidad, plasticidad y un excelente sellado extremo. Para la tubería LSAW, el rango de diámetro es usualmente comprendido entre 16 y 60 pulgadas (406 a 1500 milímetros). El rendimiento del tubo es excelente en cuanto a resistencia a alta presión y corrosión causada por bajas temperaturas (OCTAL, 2018)

#### ***2.2.1.2.2 Cañería soldada por arco sumergido con costura Helicoidal SAWH***

La tubería de acero SSAW, también conocida como tubería de acero soldada por arco sumergido en espiral, es una tubería de acero soldada en espiral producida por soldadura por arco sumergido de doble cara. Las tuberías soldadas en espiral se forman utilizando láminas más estrechas o bobinas laminadas en caliente, lo que reduce en gran medida sus costos de producción. El proceso de soldadura en espiral permite la producción de tuberías de gran diámetro adecuadas para el transporte de grandes cantidades de petróleo y gas. Fabricadas para API 5L PSL1, API 5L PSL2, ASTM A53, ASTM A252. (Sunny Steel Enterprise Ltd., 2022)

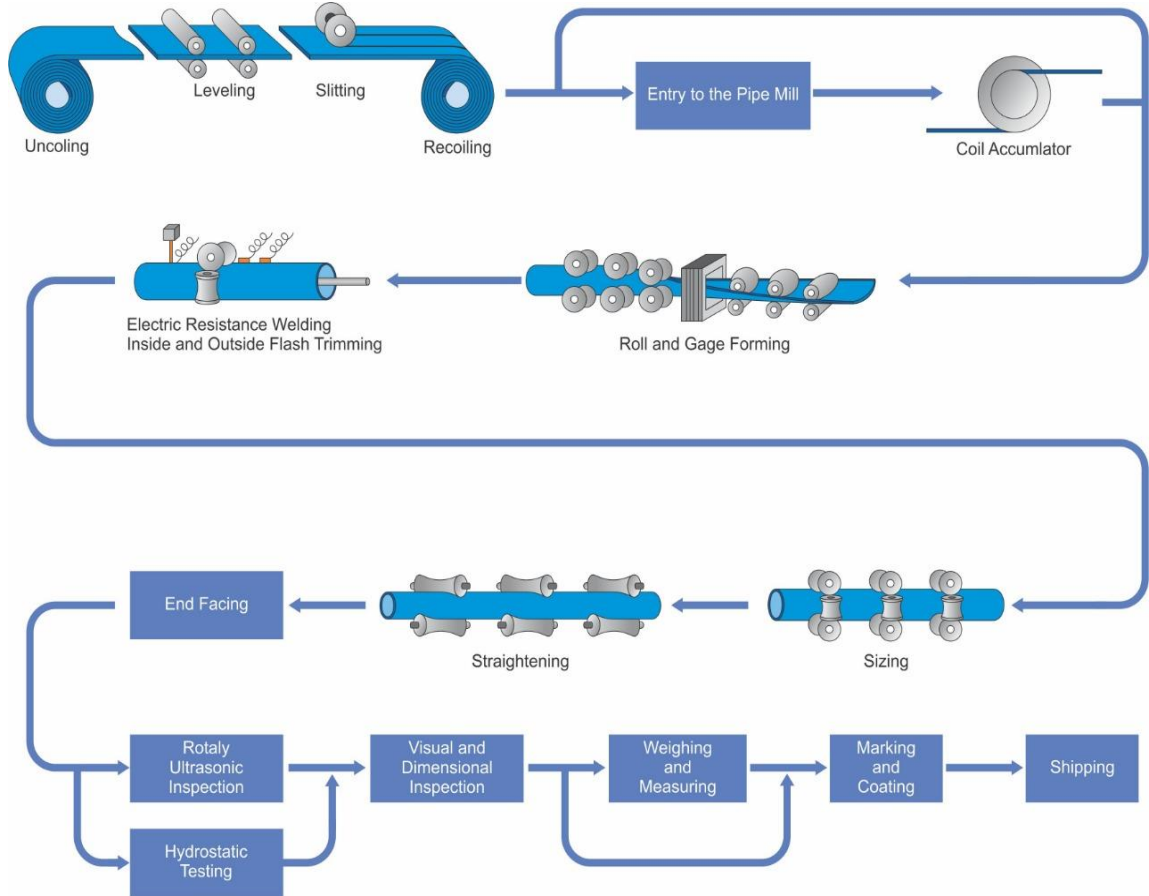
### ***2.2.1.2.3 Cañería soldada a tope en horno***

La soldadura fuerte en horno es un proceso semiautomatizado por el cual los componentes metálicos se unen mediante un material distinto, con un punto de fusión más bajo. Una de las formas más comunes de soldadura en horno se lleva a cabo en un horno de vacío y se conoce como soldadura en vacío. Normalmente, las piezas que deben unirse se limpian y fijan con la ayuda de la aleación de soldadura fuerte que se aplica a las superficies que deben unirse para, a continuación, colocarse en el horno. Todo el conjunto se lleva a la temperatura de soldadura fuerte, tras la eliminación del aire del horno, para eliminar cualquier oxidación o contaminación que pueda producirse a medida que la aleación de soldadura fuerte se mezcla y fluye a través de las uniones soldadas. (Bodycoyote, 2023)

### ***2.2.1.2.4 Cañería con costura soldada por Resistencia Eléctrica ERW***

"Cañería de acero ERW" es una cañería soldada por resistencia eléctrica de costura recta de alta frecuencia. La abreviatura inglesa de Electric Resistance Welding se abrevia como ERW. Esta cañería se forma por una bobina laminada en caliente a través de una máquina formadora. El efecto de proximidad de la corriente de alta frecuencia se utiliza para calentar y fundir el borde de la tubería en blando. La soldadura a presión se lleva a cabo bajo la acción de un rodillo de compresión. Las tuberías de acero soldadas tienen un proceso de producción simple, alta eficiencia de producción, muchas variedades y especificaciones, y menos equipos, pero su resistencia general es menor que las tuberías de acero sin costura. (Permanent Steel Manufacturing Co.,Ltd, 2020)

**Figura 2.** *Proceso de fabricación de tubos de acero con costura:*



*Nota.* Se muestra la fabricación de cañerías de acero con soldadura de resistencia eléctrica.

Tomada de (Permanent Steel Manufacturing Co.,Ltd, 2020)

#### **2.2.1.2.4.1 Cañería soldada de alta frecuencia HFW**

La tubería de acero soldada por alta frecuencia (HFW) es aquella tubería ERW producida con una frecuencia de corriente de soldadura igual o superior a 70 kHz. Mediante la resistencia a la soldadura por corriente de alta frecuencia. En el proceso de soldadura, las tuberías de acero HFW no necesitan añadir metal de relleno. Por lo tanto, tiene una velocidad alta de soldadura y una eficiencia alta en la producción. La tubería HFW se usa ampliamente en los campos de transporte de petróleo y gas, oleoductos de pozos de petróleo. (OCTAL, 2018)

#### ***2.2.1.2.4.2 Cañería soldada de baja frecuencia LFW***

La tubería de acero soldada por el método de resistencia eléctrica de baja frecuencia (LFW) es producida con una frecuencia de corriente de soldadura inferior a 70 kHz. (API 5L, 2018, pag.8)

#### ***2.2.1.2.5 Cañería con costura soldadas por electro fusión EFW***

La cañería de acero EFW (soldadura por electro fusión) se refiere a la soldadura por haz de electrones. Para el haz de electrones de energía cinética de impacto direccional, el movimiento a alta velocidad se utiliza para transformar la pieza de trabajo en una pieza de trabajo caliente para dejar que la pieza de trabajo se derrita y forme una costura de soldadura. Los tubos de acero EFW están formados con placas laminadas en caliente y soldaduras soldadas. El flash de soldadura se puede quitar desde el exterior o el interior utilizando la superficie de la cuchilla enredada. La zona de soldadura también puede tratarse térmicamente para que la soldadura sea invisible. Las tuberías soldadas suelen tener tolerancias dimensionales más estrictas que las tuberías sin costura, y si se fabrican en la misma cantidad, el costo es menor. Utilizado principalmente para aceros diferentes, soldadura de planchas delgadas o soldadura de alta densidad de potencia, las piezas de soldadura de metal pueden calentarse rápidamente a altas temperaturas, fundiendo cualquier metal y aleaciones refractarios. La velocidad de soldadura de penetración profunda y la zona afectada por el calor son muy pequeñas, por lo que el impacto en el rendimiento de la junta es pequeño y la articulación apenas se deforma. (UNITED STEEL INDUSTRY CO., LTD, 2018)



#### ***2.2.1.2.6 Soldadura Laser LW***

La soldadura láser es un procedimiento de unión con un rayo láser centrado que se utiliza en la industria petrolera debido a su alta precisión. Para ello, la generación de la energía para la soldadura se realiza con un láser de alto rendimiento. En las aplicaciones de robot, el rayo láser de alta energía se guía normalmente hasta el lugar de mecanizado con fibras ópticas flexibles. Allí, la potencia del láser se centra sobre un punto de quemado pequeño con ayuda de una lente. Debido a la alta densidad de energía que se genera, la pieza de trabajo se funde y se sueldan los componentes. El procedimiento es adecuado para materiales y componentes que deben soldarse a alta velocidad con una costura soldada estrecha y una baja deformación térmica. (KUKA, 2022)

#### ***2.2.2 Calidad de la Cañería según especificaciones API 5L***

Según las especificaciones de API 5L para tuberías de línea, normalmente se especifica la calidad de la cañería por dos niveles expresados como “Niveles de especificación del producto” o en inglés “Product Specification Levels” de donde vienen las siglas de PSL1 y PSL2.

##### **2.2.2.1 Especificación de nivel de calidad 1 PSL 1**

El nivel PSL 1 proporciona un nivel de calidad estándar para tuberías de conducción, se puede fabricar una cañería PSL 1 desde un acero de grado A25, A25 P, grado A, grado B, grado X42 hasta grado X70.

##### **2.2.2.1.1 Composición química de PSL 1**

Para tubos PSL 1 con  $t \leq 25,0$  mm (0,984 pulg.), la composición química de los grados estándar deberá ser como en la tabla 1.

**Tabla 1.** Composición química para tubería PSLI con espesor menor a 25 mm

Grado del acero	Fracción Másica, Basada en análisis de calor y productos %						
	C	Mn	P	S	V	Nb	Ti
	max <sup>b</sup>	max <sup>b</sup>	max	max	max	max	max
<b>CAÑERÍA SIN COSTURA</b>							
<b>L245 o B</b>	0.28	1.20	0.030	0.030	c,d	c,d	c,d
<b>L290 o X42</b>	0.28	1.30	0.030	0.030	d	d	d
<b>L320 o X46</b>	0.28	1.40	0.030	0.030	d	d	d
<b>L360 o X52</b>	0.28	1.40	0.030	0.030	d	d	d
<b>L390 o X60</b>	0.28 <sup>e</sup>	1.40 <sup>e</sup>	0.030	0.030	f	f	f
<b>L450 o X65</b>	0.28 <sup>e</sup>	1.40 <sup>e</sup>	0.030	0.030	f	f	f
<b>L485 o X70</b>	0.28 <sup>e</sup>	1.40 <sup>e</sup>	0.030	0.030	f	f	f
<b>CAÑERÍA CON COSTURA</b>							
<b>L245 o B</b>	0.26	1.20	0.030	0.030	c,d	c,d	c,d
<b>L290 o X42</b>	0.26	1.30	0.030	0.030	d	d	d
<b>L320 o X46</b>	0.26	1.40	0.030	0.030	d	d	d
<b>L360 o X52</b>	0.26	1.40	0.030	0.030	d	d	d
<b>L390 o X60</b>	0.26 <sup>e</sup>	1.40 <sup>e</sup>	0.030	0.030	f	f	f
<b>L450 o X65</b>	0.26 <sup>e</sup>	1.45 <sup>e</sup>	0.030	0.030	f	f	f
<b>L485 o X70</b>	0.26 <sup>e</sup>	1.65 <sup>e</sup>	0.030	0.030	f	f	f

<sup>b</sup> Por cada reducción del 0,01 % por debajo de la concentración máxima especificada para el carbono, un aumento del 0,05 % por encima de la se permite la concentración máxima de Mn, hasta un máximo del 1,65 % para los grados  $\geq$  L245 o B, pero  $\leq$  L360 o X52; hasta un máximo del 1,75 % para las categorías  $>$  L360 o X52, pero  $<$  L485 o X70; y hasta un máximo del 2,00 % para el grado L485 o X70.

<sup>c</sup> Salvo acuerdo en contrario, Nb + V  $\leq$  0,06 %.

<sup>d</sup> Nb + V + Ti  $\leq$  0,15 %.

<sup>e</sup> A menos que se acuerde lo contrario

<sup>f</sup> Salvo acuerdo en contrario, Nb + V + Ti  $\leq$  0,15 %.

Nota. Adaptado de: API 5L, 2018, pag.29



### 2.2.2.1.2 Propiedades mecánicas de PSL 1

Para PSL las propiedades de tensión deben darse como en la tabla 2:

**Tabla 2.** *Requisitos para los resultados de las pruebas de tracción para la tubería PSL 1*

Grado de la tubería	Cañería con y sin costura		Costura de soldadura de resistencia eléctrica, láser, proceso por arco sumergido, proceso combinado	
	Limite elástico MPa(psi) <sup>a</sup> min	Resistencia a la tracción MPa(psi) <sup>a</sup> min	Elongación (En 50 mm o 2 plg) % min	Resistencia a la tracción MPa(psi) <sup>b</sup> min
<b>L245 o B</b>	245 (35,500)	415 (60,200)	c	415 (60,200)
<b>L290 o X42</b>	290 (42,100)	415 (60,200)	c	415 (60,200)
<b>L320 o X46</b>	320 (46,400)	435 (63,100)	c	435 (63,100)
<b>L360 o X52</b>	360 (52,200)	460 (66,700)	c	460 (66,700)
<b>L390 o X60</b>	415 (60,200)	570 (82,700)	c	520 (75,400)
<b>L450 o X65</b>	450 (65,300)	535 (77,600)	c	535 (77,600)
<b>L485 o X70</b>	485 (70,300)	570 (82,700)	c	570 (82,700)

<sup>a</sup> Para los grados intermedios, la resistencia a la tracción mínima especificada y el límite elástico mínimo especificado para el cuerpo de la tubería será el que figura en la tabla para el grado inmediatamente superior.

<sup>b</sup> Para los grados intermedios, la resistencia a la tracción mínima especificada para la costura de soldadura será el mismo valor que se determinó para el cuerpo de la tubería utilizando lo especificado en <sup>a</sup>.

<sup>c</sup> El alargamiento mínimo especificado.

*Nota.* Adaptado de: API 5L, 2018, pag.31

### **2.2.2.2 Especificación de nivel de calidad 2 PSL 2**

El nivel PSL 2 tiene requisitos obligatorios adicionales para composición química, dureza de muesca, propiedades de resistencia.

Generalmente se utilizan cañerías con especificación de calidad PSL2 para los casos:

- Cañerías que transportan fluido con nivel ácido.
- Cañerías con resistencia a la propagación a fracturas dúctiles en gasoductos.
- Cañerías Offshore.
- Cañerías con altos esfuerzos – tensión de aro 52 % para diámetro mayor a 16”, y para diámetro menor a 16” esfuerzos – tensión de 72 %.
- Cañerías sometidas a baja temperatura, menor a -15 °C.
- Cañerías para líneas de flujo TFL.

#### **2.2.2.1.1 Composición química de PSL 2**

Para tubos PSL 2 con  $t \leq 25,0$  mm (0,984 pulg.), la composición química de los grados estándar deberá ser como en la tabla 3.

Tabla 3. Composición química para tubería PSL2 con espesor menor a 25 mm

Grado del acero	Fracción Másica, Basada en análisis de calor y productos % max									Carbón equivalente <sup>a</sup>	
	C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti	Otro	CE	CE
<b>CAÑERÍA SIN COSTURA</b>											
<b>L245R o BR</b>	0.24	0.40	1.20	0.025	0.015	c	c	0.04	e,l	0.43	0.25
<b>L290R o X42R</b>	0.24	0.40	1.20	0.025	0.015	0.06	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
<b>L245N o BR</b>	0.24	0.40	1.20	0.025	0.015	c	c	0.04	e,l	0.43	0.25
<b>L290N o X42N</b>	0.24	0.40	1.20	0.025	0.015	0.06	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
<b>L320N o X46N</b>	0.24	0.40	1.40	0.025	0.015	0.07	0.05	0.04	d,e,l	0.43	0.25
<b>L360N o X52N</b>	0.24	0.45	1.40	0.025	0.015	0.10	0.05	0.04	d,e,l	0.43	0.25
<b>L390N o X56N</b>	0.24	0.45	1.40	0.025	0.015	0.10 <sup>f</sup>	0.05	0.04	d,e,l	0.43	0.25
<b>L415N o X60N</b>	0.24 <sup>f</sup>	0.45 <sup>f</sup>	1.40 <sup>f</sup>	0.025	0.015	0.10 <sup>f</sup>	0.05 <sup>f</sup>	0.04 <sup>f</sup>	g,h,l	Lo acordado	
<b>L245Q o BQ</b>	0.18	0.45	1.40	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
<b>L290Q o X42Q</b>	0.18	0.45	1.40	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
<b>L320Q o X46Q</b>	0.18	0.45	1.40	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
<b>L360Q o X52Q</b>	0.18	0.45	1.50	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
<b>L390Q o X56Q</b>	0.18	0.45	1.50	0.025	0.015	0.07	0.05	0.04	d,e,l	0.43	0.25
<b>L415Q o X60Q</b>	0.18 <sup>f</sup>	0.45 <sup>f</sup>	1.70 <sup>f</sup>	0.025	0.015	g	g	g	h,l	0.43	0.25
<b>L450Q o X65Q</b>	0.18 <sup>f</sup>	0.45 <sup>f</sup>	1.70 <sup>f</sup>	0.025	0.015	g	g	g	h,l	0.43	0.25
<b>L485Q o X70Q</b>	0.18 <sup>f</sup>	0.45 <sup>f</sup>	1.80 <sup>f</sup>	0.025	0.015	g	g	g	h,l	0.43	0.25
<b>L555Q o X80Q</b>	0.18 <sup>f</sup>	0.45 <sup>f</sup>	1.90 <sup>f</sup>	0.025	0.015	g	g	g	ij	Lo acordado	
<b>L625Q o X90Q</b>	0.16 <sup>f</sup>	0.45 <sup>f</sup>	1.90	0.020	0.010	g	g	g	j,k	Lo acordado	
<b>L690Q o X100Q</b>	0.16 <sup>f</sup>	0.45 <sup>f</sup>	1.90	0.020	0.010	g	g	g	j,k	Lo acordado	

CAÑERÍA CON COSTURA											
<b>L245M o BN</b>	0.22	0.45	1.20	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
<b>L290M o X42M</b>	0.22	0.45	1.30	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
<b>L320M o X46M</b>	0.22	0.45	1.30	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04	e,l	0.43	0.25
<b>L360M o X52M</b>	0.22	0.45	1.40	0.025	0.015	d	d	d	e,l	0.43	0.25
<b>L390M o X56M</b>	0.22	0.45	1.40	0.025	0.015	d	d	d	e,l	0.43	0.25
<b>L415M o X60M</b>	0.12 <sup>f</sup>	0.45 <sup>f</sup>	1.60 <sup>f</sup>	0.025	0.015	g	g	g	h,l	0.43	0.25
<b>L450M o X65M</b>	0.12 <sup>f</sup>	0.45 <sup>f</sup>	1.60 <sup>f</sup>	0.025	0.015	g	g	g	h,l	0.43	0.25
<b>L485M o X70M</b>	0.12 <sup>f</sup>	0.45 <sup>f</sup>	2.10 <sup>f</sup>	0.025	0.015	g	g	g	h,l	0.43	0.25
<b>L555M o X80M</b>	0.12 <sup>f</sup>	0.45 <sup>f</sup>	1.85 <sup>f</sup>	0.025	0.015	g	g	g	i,l	0.43 <sup>f</sup>	0.25
<b>L625M o X90M</b>	0.10	0.55 <sup>f</sup>	2.10 <sup>f</sup>	0.020	0.010	g	g	g	i,l	-	0.25
<b>L690M o X100M</b>	0.10	0.55 <sup>f</sup>	2.10 <sup>f</sup>	0.020	0.010	g	g	g	i,j		0.25
<b>L830M o X120M</b>	0.10	0.55 <sup>f</sup>	2.10 <sup>f</sup>	0.020	0.010	g	g	g	i,j		0.25

<sup>b</sup> Por cada reducción del 0,01 % por debajo de la concentración máxima especificada para el carbono, un aumento del 0,05 % por encima de la se permite la concentración máxima de Mn, hasta un máximo del 1,65 % para los grados  $\geq$  L245 o B, pero  $\leq$  L360 o X52; hasta un máximo del 1,75 % para las categorías  $>$  L360 o X52, pero  $<$  L485 o X70; y hasta un máximo del 2,00 % para el grado L485 o X70.

<sup>c</sup> Salvo acuerdo en contrario,  $Nb + V \leq 0,06$  %.

<sup>d</sup>  $Nb + V + Ti \leq 0,15$  %.

<sup>e</sup> A menos que se acuerde lo contrario

<sup>f</sup> Salvo acuerdo en contrario,  $Nb + V + Ti \leq 0,15$  %.

*Nota.* La composición química para cañería PSL2 generalmente se lo especifica en el contrato de fabricación. Adaptado de: API 5L, 2018, pag.29

### 2.2.2.1.2 Propiedades mecánicas de PSL 2

Para PSL2 las propiedades de tensión deben de darse como en la tabla 4:

**Tabla 4.** Requisitos para los resultados de las pruebas de tracción para la tubería PSL 2

Grado de la tubería	Cañería con y sin costura					Costura de soldadura de HFW, SAW, COW	
	Limite elástico MPa(psi) <sup>a</sup>		Resistencia a la tracción MPa(psi) <sup>a</sup>		Relación	Elongación En 50 mm o 2 plg %	Resistencia a la tracción MPa(psi) <sup>b</sup>
	min	max	min	max	max	min	min
L245R o BR L245N o BN L245Q o BQ L245M o BM	245 (35.500)	450 (65.300) <sup>c</sup>	415 (60,200)	655 (95,000)	0.93	f	415 (60,200)
L290R o X42R L290N o X42N L290Q o X42Q L290M o X42M	290 (41.100)	495 (71,800)	415 (60,200)	655 (95,000)	0.93	f	415 (60,200)
L320N o X46N L320Q o X46Q L320M o X46M	320 (46.400)	525 (76,100)	435 (63,100)	655 (95,000)	0.93	f	435 (63,100)
L360N o X52N L360Q o X52Q L360M o X52M	360 (52.200)	530 (76,900)	460 (66,700)	760 110,200	0.93	f	460 (66,700)
L390N o X56N L390Q o X56Q L390M o X56M	390 (56.600)	545 (79,000)	490 (71,100)	760 110,200	0.93	f	490 (71,100)
L415N o X60N L415Q o X60Q L415M o X60M	415 (60.200)	565 (81,900)	520 (75,400)	760 110,200	0.93	f	520 (75,400)
L450Q o X65Q L450M o X65M	450 (65.300)	600 (87,000)	535 (77,600)	760 110,200	0.93	f	535 (77,600)
L485Q o X70Q L485M o X70M	485 (70.300)	635 (92,100)	570 (82,700)	760 110,200	0.93	f	570 (82,700)
L555Q o X80Q L555M o X80M	555 (80.500)	705 (102,300)	625 (90,600)	8 25 119,700	0.93	f	625 (90,600)
L625M o X90M	625 (90.600)	775 (112,400)	695 100,800	9 15 132,700	0.95	f	695 (100,800)
L625Q o X90Q	625 (90.600)	775 (112,400)	695 100,800	9 15 132,700	0.97 <sup>g</sup>	f	—
L690M o X100M	625 (90.600)	840 (121,800) <sup>b</sup>	695 100,800	9 90 143,600	0.97 <sup>h</sup>	f	760 (110,200)
L690Q o X100Q	690 (100.100) <sup>b</sup>	840 (121,800) <sup>b</sup>	760 110,200	9 90 143,600	0.97 <sup>h</sup>	f	—
L830M o X120M	830 (120.400) <sup>b</sup>	1050 (152,300) <sup>b</sup>	915 132,700	1 145 166,100	0.99 <sup>h</sup>	f	915 (132,700)

<sup>a</sup> Para los grados intermedios, la resistencia a la tracción mínima especificada y el límite elástico mínimo especificado para el cuerpo de la tubería será el que figura en la tabla para el grado inmediatamente superior.

<sup>b</sup> Para los grados intermedios, la resistencia a la tracción mínima especificada para la costura de soldadura será el mismo valor que se determinó para el cuerpo de la tubería utilizando lo especificado en <sup>a</sup>.

<sup>c</sup> El alargamiento mínimo especificado.

Nota. Adaptado de: API 5L, 2018, pag.32

### **2.2.3 Recubrimientos**

La característica del revestimiento responderá a las exigencias del servicio, y su selección se hará en base a la agresividad del medio y a las condiciones operativas a las cuales se verá sometido. Todo recubrimiento de protección exterior es aplicado con el propósito de evitar la corrosión externa, debe tener una ductilidad adecuada para resistir agrietamientos, debe tener resistencia mecánica suficiente para evitar daños debidos al manipuleo y a las tensiones provocadas por el terreno, debe tener propiedades compatibles con la protección catódica.

El revestimiento deberá ser inspeccionado antes de bajar el caño a la zanja, debiéndose efectuar la reparación de toda falla detectada. Para toda reparación o unión de tramos soldados, se utilizará un revestimiento de idénticas características o superiores al empleado en el ducto principal. Si el caño revestido se instala por perforación, hincado u otro método similar, deberán tomarse las precauciones necesarias para reducir al mínimo las posibilidades de roturas y/o deterioros del revestimiento durante la instalación de la cañería.

Toda cobertura aislante exterior, una vez instalado y enterrado el conducto, deberá ser sometida a una prueba de aislación eléctrica a fin de verificar la integridad de la misma. Posteriormente se deberá determinar en forma cuantitativa la disminución de su capacidad específica de aislación a través de la ejecución sistemática de ensayos para el cálculo de resistencia de cobertura según lo normalizado al respecto. Todo revestimiento externo protector del tipo aislante eléctrico, deberá tener baja absorción de humedad y alta resistencia eléctrica. (ENARGAS, 2006, pag 123)



## 2.3 ZANJEO

El zanjeo es uno de los procesos de importancia en la construcción de redes primarias ya que delimita y rige la forma de instalación de la cañería.

### 2.3.1 Trazado

Cuando se procede al trabajo de zanjeo previamente se debe de realizar un estudio al terreno por donde se realizará la instalación de la red primaria de gas, se debe de evitar o minimizar las regiones que presenten:

- Suelos inestables.
- Suelos erosivos.
- Niveles freáticos próximos a la superficie.
- Zonas con presencia de actividades sísmicas.
- Terrenos agresivos al material de la cañería.

**Figura 3.** *Trazado para excavación de zanja*



*Nota.* Marcado por donde se realizará la zanja. Elaboración propia

### **2.3.2 Excavación de la Zanja**

La excavación de la zanja se podrá realizar utilizando medios mecánicos, manuales y explosivos, se determina el tipo de medio de excavación entorno al tipo de terreno: suelo blando, suelo semiduro, suelo duro, suelo rocoso, también se toma en cuenta la presencia de algún tipo de riesgo geológico.

**Figura 4.** *Excavación de zanja*



*Nota.* Excavación por medios mecánicos. Elaboración propia

### **2.3.3 Perfilado de la Zanja**

El perfilado de la zanja es dependiente de las características del terreno, si el terreno lo permite se podrá perfilar como menciona en las especificaciones técnicas de obras civiles y mecánicas para la construcción de redes primarias, de presentar el terreno derrumbes en las paredes de la zanja, se requiere el uso table-estacas para estabilizar, apuntalar e impedir derrumbes dentro de la zanja.



**Figura 5.** Perfil de zanja



*Nota.* Perfilado y tendido de tierra fina de 15 cm a 20 cm. Elaboración propia.

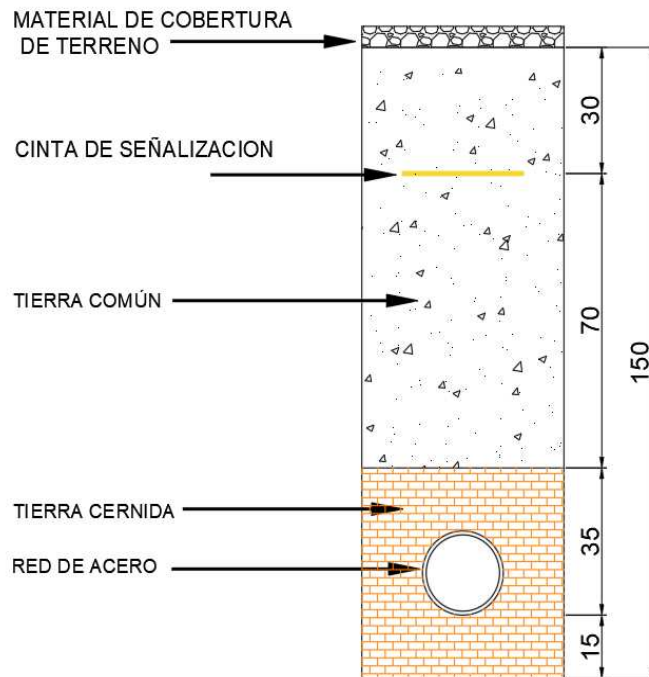
#### ***2.3.4 Material de relleno***

El relleno de la zanja se debe realizar de manera tal que ofrezca un apoyo firme en torno del caño. El material de relleno deberá estar libre de piedras grandes, trozos de pavimento o cualquier otro material que pudiera dañar el caño (ENARGAS, 2006, pag 99)

#### ***2.3.5 Características de la zanja para red primaria***

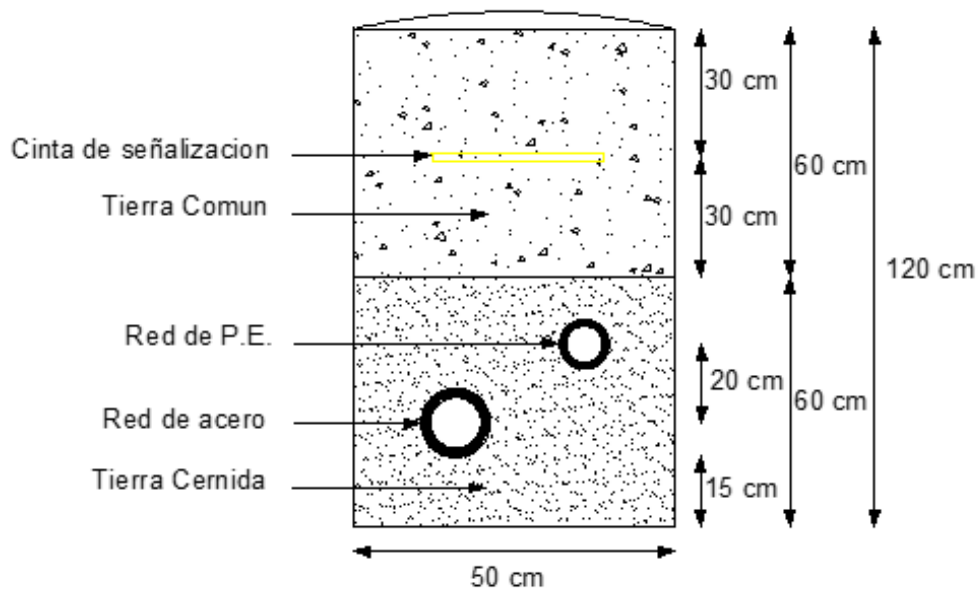
Según nos indica las especificaciones técnicas “las dimensiones generales de la zanja para red primaria de gas es de 0.5 metros de ancho y 1.5 metros de profundidad” (YPFB, 2015), lo anterior es sin considerar magnitudes de acera, asfalto y otros. La altura de la tierra cernida puede variar un poco de acuerdo al diámetro de la tubería utilizada, si la tubería se instala en un área con vegetación la reposición de tierra común debe tener 0.5 metros de tierra orgánica cercana a la superficie.

**Figura 6.** Sección de Zanja red primaria Tramo tierra



*Nota.* Las medidas de las alturas en centímetros. (YPFB, 2015, pag 42)

**Figura 7.** Sección en tramos Polietileno Acero



*Nota.* Las medidas de las alturas en centímetros. (YPFB, 2015, pag 42)

## 2.4 TRANSPORTE DE CAÑOS

El transporte, cargue y descargue de tubería debe ser dispuesto de tal manera que no exista daños en la tubería o en su revestimiento, el manipuleo, maniobras de la tubería se realiza con grúas, camión pluma, por medio de fajas, eslingas con o sin ganchos de sujeción.

### 2.4.1 Estiba de caños

Usualmente para tubería de diámetro menor a 12” se utiliza vigas de madera donde se apilarán las tuberías con una separación creada por cuñas de madera, no se apilarán más de 1.8 metros de alto (una sobre otra con separación de viga) con el fin de evitar deformaciones en las tuberías que se encuentran en la base.

**Figura 8.** Estiba de caños



*Nota.* Cañería de diámetro nominal de 6 pulgadas. Elaboración propia.

### 2.4.2 Desfile de caños

Se denomina desfile de caños al tendido de cañería próximo a la zanja, con el fin de seguir con la trayectoria dispuesta por el trazado, se utilizan gangochos (saquillos rellenos de aserrín, chala de arroz, arena) sobre los cuales se colocan los caños, para proteger el revestimiento de la tubería.

**Figura 9.** *Desfile de caños*

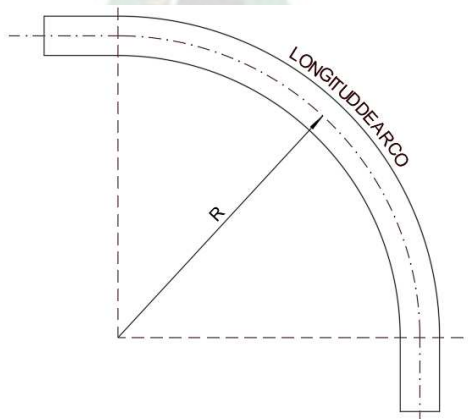


*Nota.* Desfile de la cañería por medio de una grúa. Elaboración propia.

## **2.5 CURVADO DE CAÑOS**

El curvado de caños tiene la finalidad de doblar cañería para adaptarse al terreno y cambiar de dirección de acuerdo a la ruta, para ello se requieren tuberías con la curvatura correspondiente a la zanja. El curvado de caños de acero para transporte de gas natural se rige bajo las especificaciones del código ASME B31.8.

**Figura 10.** *Curva de 90° de un caño*



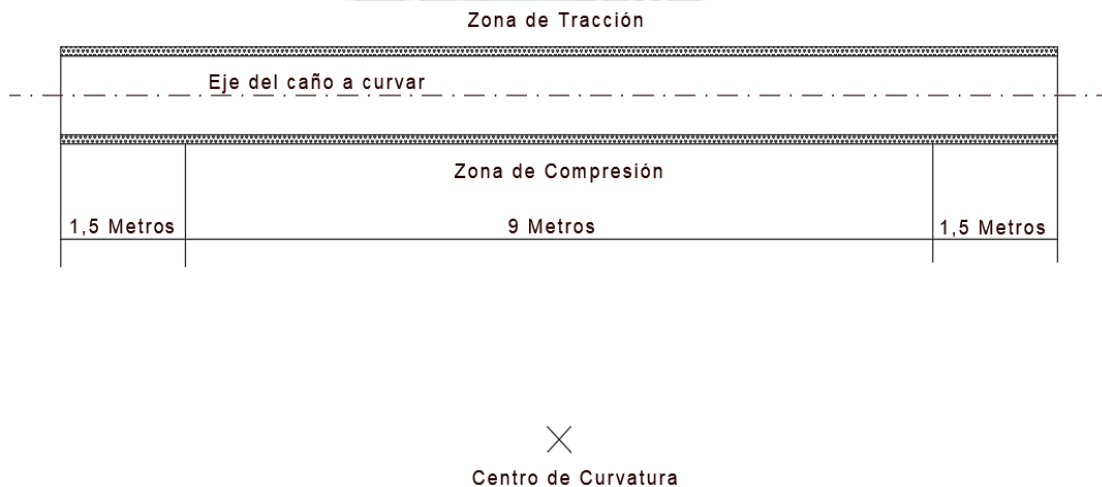
*Nota.* Radio de curvatura dado por R. Elaboración propia.

Una curvatura deberá estar libre de pandeo, grietas o cualquier otra evidencia de daño mecánico. Se deberán permitir curvaturas con arrugas solo en sistemas que operen a niveles de esfuerzo circunferencial de menos del 30 % del límite de fluencia mínimo especificado. Cuando se realicen curvaturas con arrugas en tuberías soldadas, la soldadura longitudinal deberá ubicarse sobre el eje neutral de la curvatura, o cerca de este. No se deberán permitir curvaturas con arrugas que exhiban pliegues agudos. (ASME B31.8, 2018, pag 46)

### 2.5.1 Curvado de Caños en Frío

Cuando un caño es curvado se ovaliza, por tanto, se reserva 1,5 metros en cada extremo del caño donde no se producirá el curvado con el fin dar condiciones a la cañería para una correcta alineación, engrampado, proceso de soldadura. Para una cañería de 12 metros (double random length), bajo lo anterior mencionado, se tiene 9 metros de longitud en donde se podrá realizar el proceso de curvado.

**Figura 11.** Disposición de longitud de un caño DRL



*Nota.* Toda curva debe de estar libre de ondulaciones. Elaboración propia.



En la zona de compresión se presentará un incremento de espesor y tiende a formarse ondulaciones, en la zona de tracción se presentará un adelgazamiento del espesor del caño, el caño curvado debe tener un contorno liso, no debe tener agrietamientos u otro desperfecto mecánico.

Si se realiza el curvado sobre una soldadura circunferencial del caño de acero, se debe realizar ensayos no destructivos para verificar la integridad del material, la integridad de la costura de soldadura y zonas afectadas.

La magnitud de doblado en frío viene dada por la siguiente tabla:

**Tabla 5.** *Requerimientos de doblado en frío en campo.*

<b>Tamaño nominal de tubería</b>	<b>Deflexión de eje longitudinal, grados</b>	<b>Radio mínimo de curvatura en diámetros de tubería</b>
<b>Menor igual a NPS 12</b>	3.2	18 D
<b>NPS 14</b>	2.7	21 D
<b>NPS 16</b>	2.4	24 D
<b>NPS 18</b>	2.1	27 D
<b>NPS 20 a más</b>	1.9	30 D

*Nota.* El diámetro expresado en pulgadas. Adaptado de: ASME B31.8, 2018, pag.46

Donde la primera columna muestra el diámetro nominal del caño en pulgadas, la segunda columna expresa la deflexión máxima que se puede curvar el caño para cada longitud igual al diámetro exterior, la tercera columna muestra el radio mínimo de curvatura en función al diámetro exterior del caño.

### **2.5.1.1 Características del proceso de Curvado en Frío**

El proceso de curvado en frío presenta las siguientes características:

- Proceso que no usa calor.
- El usuario tiene poco control del proceso de curvado.
- Se considera un proceso rápido a comparación del curvado en calor.
- No se recomienda el curvado en frío para grandes diámetros sin el uso de un mandril.
- El proceso de curvado en frío es barato en comparación a otro proceso.
- Tiene una alta probabilidad de generar fisuras, arrugas en la tubería.

### **2.5.1.2 Tipos de curvadoras de caños**

Se puede clasificar de varias maneras los tipos de curvadoras de caños en frío, de acuerdo al tipo de accionamiento mecánico, de acuerdo a la tecnología que puede ofrecer para ser automatizada, semiautomatizada o manual, y de acuerdo al funcionamiento mecánico, este último demuestra más relevancia en características a ser diferenciadas en su clasificación que se muestra a continuación:

#### ***2.5.1.2.1 Curvadora Vertical***

Las curvadoras verticales pueden usar un sistema hidráulico que aplicara una fuerza gradual en puntos específicos del caño, la separación de estos puntos no debe ser menor al diámetro exterior de la cañería, esto permite deformar al caño en curvas suaves con una deflexión máxima como se especifica en la tabla 5.

**Figura 12. Curvadora Vertical**



*Nota.* En el proceso de curvado vertical se utiliza una grúa para manejar a la tubería.  
Tomada de (VIETZ , s.f.,2023)

#### **2.5.1.2.2 Curvadora Horizontal**

Es posible la existencia de una curvadora horizontal manual ya que no tendrá una gran dificultad en el momento de maniobrar el caño sobre la curvadora en su recorrido, para cada intervención de la curvadora en el caño, también se hace mención de curvadoras equipadas con sistemas de control y medición que nos permiten ajustar con mayor precisión los parámetros de curvado, de usar una curvadora manual nos restringimos a verificar su calidad de curvado mediante inspección visual o uso de plantillas de curvatura.

Para el curvado de caños de diámetro considerable o de espesor muy delgado se debe hacer el uso de un mandril el cual está disponible para curvadoras con sistemas de control, el mandril se lo coloca en coordinación de la longitud donde la curvadora ejercerá presión para deformar al caño, este se sujeta en el interior del caño por expansión hidráulica, sirve como amortiguador para que se reduzca el riesgo de ovalización del caño.



**Figura 13.** *Curvadora Horizontal*



*Nota.* Curvadora manual con accionamiento hidráulico. Elaboración propia.

### **2.5.2 Placa Calibradora**

La placa calibradora o Caliper, debe ser introducida por un extremo de la cañería doblada y recorrer por el interior de todo el caño hasta el otro extremo, este hecho es realizado con el propósito de comprobar que no se restringirá la eficiencia de transporte de gas por el trayecto del caño curvado.

La diferencia entre el diámetro máximo y mínimo de la sección en una curva no debe ser mayor del 2,5 % del diámetro interno. Por tal motivo el diámetro de la placa calibradora es calculada por:

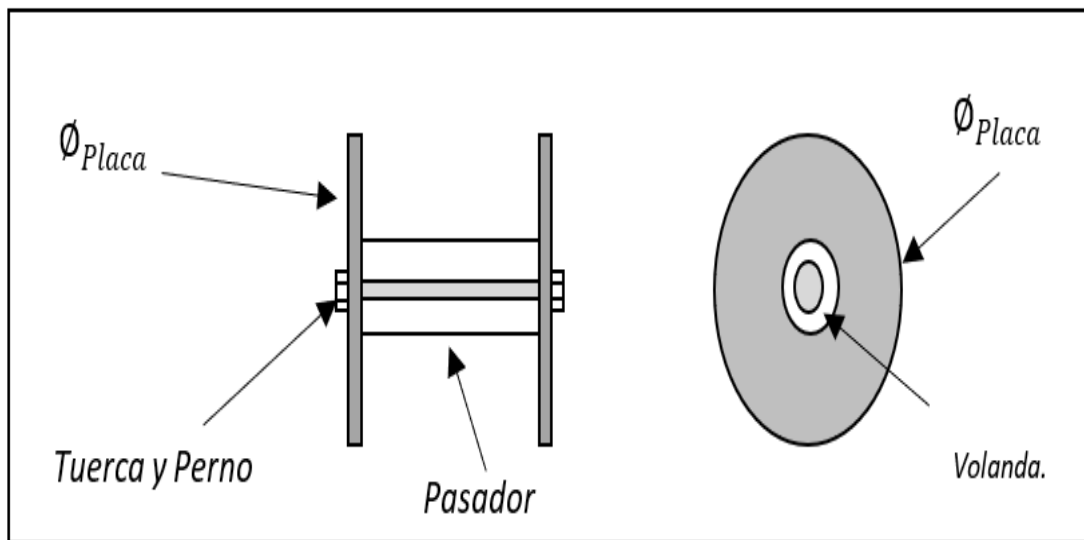
$$D_{Placa} = (De - 2 * t) * \frac{97.5}{100} \quad (2.1)$$

**Figura 14.** *Placa Calibradora*



*Nota.* Placa calibradora para cañería de 6 pulgadas. Elaboración propia.

**Figura 15.** *Partes de la Placa Calibradora*



*Nota.* Placa calibradora por secciones. Tomada de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos Distrito Redes de Gas La Paz – El Alto.

## 2.6 SOLDADURA

### 2.6.1 Biselado de la cañería

El biselado de la cañería tiene como propósito preparar el extremo de la cañería para su posterior engrampado y soldado, el proceso de biselado consta de refrentar, quitar el esmalte de protección ya sea interna y externa que este próxima al extremo de la cañería, y crear un bisel de entre  $35^\circ$  a  $38^\circ$ , un talón de  $1/16$  de pulgada o 15 milímetros, para espesores entre 6 milímetros a 22 milímetros o  $3/16$  de pulgada a  $1/32$  de pulgada, la norma aplicable es ASME B16.25.

**Figura 16.** *Bisel de la cañería*



Nota. El ángulo del bisel es inspeccionado con galgas calibradas. Elaboración Propia

### 2.6.2 Engrampado de cañerías

El engrampado de cañerías es el proceso previo a la soldadura en el cual se alinearán los ejes de las cañerías a soldar, el espacio de caño a caño es de 1 milímetro aproximadamente donde se procederá a soldar la raíz de la soldadura.

Se utiliza una grúa, retroexcavadora, o mecanismos mecánicos como elevadores manuales de caños, en casos extremos ganchos para alinear los caños.



**Figura 17.** *Engrampado de cañerías*



Nota. El espacio entre cañerías debe ser uniforme. Elaboración Propia

### ***2.6.3 Soldadura de la cañería***

Antes de comenzar cualquier soldadura, las superficies a soldar deberán estar limpias y libres de cualquier material que pudiera perjudicar a la soldadura y los tubos o componentes deberán estar alineados a fin de proporcionar las condiciones más favorables para la ejecución del cordón base. Esta alineación debe ser mantenida durante la ejecución de la primera pasada o formación de la raíz. ( ANH ANEXO 2, 2015, pag 19)

**Figura 18.** Soldadura de la cañería



*Nota.* El soldador escoge su comodidad para una buena soldadura. Elaboración propia.

## **2.7 INSPECCION VISUAL DE SOLDADURA**

La inspección visual de soldaduras es un procedimiento que garantiza la calidad y la integridad de las soldaduras de caños, un inspector de soldadura está capacitado para examinar visualmente la existencia de posibles defectos, como grietas, porosidades inclusiones de escoria, se pide un inspector visual nivel II y un inspector visual nivel I para la construcción de una red primaria de gas natural. Los inspectores visuales pueden ser calificados de acuerdo a la sociedad americana de soldadura AWS B1.11.

## **2.8 RADIOGRAFIADO**

Conocido también como radiografiado industrial, es una prueba no destructiva para evaluar la calidad de la soldadura en las juntas del gasoducto, se utiliza radiación ionizante como rayos X o rayos gamma, esto con el propósito de crear una imagen de las soldaduras en una placa radiográfica.

**Figura 19. Radiografiado**



*Nota.* Debe tomarse distancia por la exposición de radiación presente mediante el radiografiado. Elaboración propia.

## **2.9 PRUEBA HIDRAULICA**

Una prueba hidráulica es un procedimiento utilizado para evaluar la integridad estructural de tuberías, contenedores u otros equipos que manejan fluidos a presión. En esta prueba, se llena el sistema con agua u otro líquido a una presión mayor que la presión de trabajo normal y se mantiene durante un período de tiempo determinado. Durante este tiempo, se monitorea si hay alguna pérdida de presión, lo que indicaría posibles fugas o fallas en la estructura.

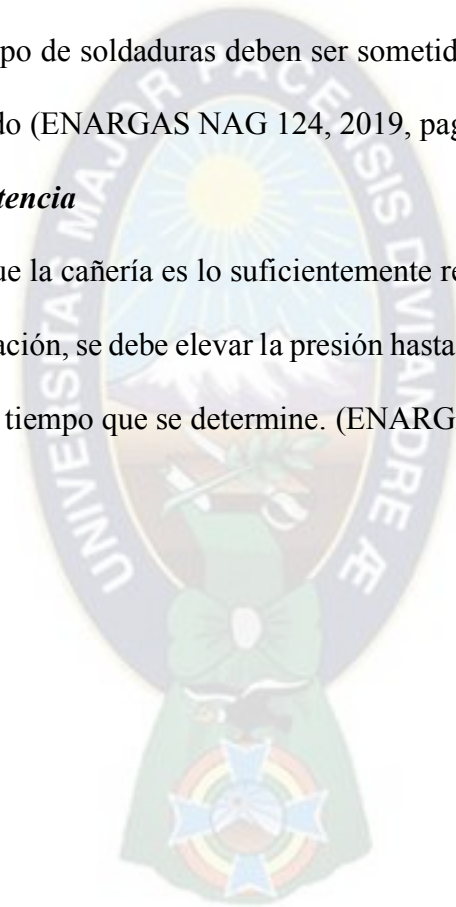
Todas las redes de distribución deberán ser probadas después de su construcción y antes de su puesta en servicio, de la misma forma aquellas redes que son el resultado de ampliaciones, mantenimientos mayores como cambios de trayectoria, profundizaciones y reposiciones. ( ANH ANEXO 2, 2015, pag 51)

### ***2.9.1 Prueba de Hermeticidad***

A fin de demostrar la inexistencia de fugas indeseadas, se debe mantener la presión de la prueba de hermeticidad establecida, durante un tiempo determinado. Solo deben ser sometidos a prueba de resistencia y hermeticidad, antes de ser enterrados, aquellos tramos de cañería para los cuales la Inspección considere necesario su ensayo en superficie. Las uniones soldadas que sean realizadas para empalmar secciones de prueba o líneas ya probadas están exceptuadas de cumplir con la presente norma. Este tipo de soldaduras deben ser sometidas a ensayos no destructivos de radiografiado o gammagrafiado (ENARGAS NAG 124, 2019, pag 6)

### ***2.9.2 Prueba de Resistencia***

A fin de cerciorarse que la cañería es lo suficientemente resistente para funcionar bajo las condiciones normales de operación, se debe elevar la presión hasta el valor de prueba de resistencia y se debe mantener durante el tiempo que se determine. (ENARGAS NAG 124, 2019, pag 6)





## CAPITULO III: APLICACIÓN PRÁCTICA EN LA RED PRIMARIA DE GAS NATURAL DEL MUNICIPIO DE MECAPACA

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DEL GAS

La composición del Gas a transportar se describe en la siguiente tabla:

Tabla 6. *Cromatografía del Gas*

<b>CROMATOGRAFÍA</b>		
COMPONENTES	SÍMBOLO	% MOLAR
<b>Metano</b>	$C_1H_4$	90.78
<b>Etano</b>	$C_2H_8$	5.17
<b>Propano</b>	$C_3H_6$	1.29
<b>Iso Butano</b>	$C_4H_{10}$	0.16
<b>Normal Butano</b>	$C_4H_{10}$	0.27
<b>Iso Pentano</b>	$C_5H_{12}$	0.09
<b>Normal Pentano</b>	$C_5H_{12}$	0.07
<b>Hexano</b>	$C_6H_{14}$	0.06
<b>Nitrógeno</b>	$N_2$	0.79
<b>Dióxido de Carbono</b>	$CO_2$	1.32
<b>TOTAL</b>		100

*Nota.* La cromatografía del gas que se considera transportar hacia el municipio de Mecapaca.

Tomada del reporte cromatografico de YPFB Transporte.



### 3.2 CÁLCULO DE LA DEMANDA DE GAS NATURAL

La demanda de Gas Natural se realiza considerando varias categorías de usuarios, los cuales son los siguientes:

- Usuarios Domésticos.
- Usuarios Comerciales.
- Usuarios Industriales.
- Usuarios GNV.

#### 3.2.1 Demanda Gas Natural para Usuarios Domésticos

El cálculo del consumo domiciliario está en función de varios parámetros, puede ser realizado a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_{DOM} = [(P * C * S)_{cocina} + (P * C * S)_{calefactor\ de\ ba\~{n}o}] * N \quad (3.1)$$

Donde:

$Q_{DOM}$  = Caudal doméstico (m<sup>3</sup>/h)

P = Porcentaje de usuarios que cuentan con el equipo (%)

C = consumo

S = Simultaneidad (%)

N = Número de usuarios

El cálculo de consumo de la cocina y el calentador de baño se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = \frac{P}{PCS} \quad (3.2)$$

Donde:

C = consumo (m<sup>3</sup>/h)

P = potencia del equipo (kw/h)

PCS = Poder calorífico superior (kw/m<sup>3</sup>)

La potencia del equipo para una cocina es 10,56 Kw/h, la potencia del equipo para un calentador es 14 Kw/h y el poder calorífico superior es de 10,87 Kw/m<sup>3</sup>.

$$C_{cocina} = \frac{10,56 \text{ Kw/h}}{10,87 \text{ Kw/m}^3}$$

$$C_{cocina} = 0,9715 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C_{calentador \text{ de baño}} = \frac{14 \text{ Kw/h}}{10,87 \text{ Kw/m}^3}$$

$$C_{calentador \text{ de baño}} = 1,2879 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se considera una simultaneidad del 30 %, en cada hogar se contará con una cocina y un calefón, por tanto, se asume un incremento de número de usuarios hasta el año 2039 (realizando un pronóstico de la cantidad de número de usuarios de gas natural bajo datos de población del municipio de Mecapaca proporcionados por el instituto nacional de estadística, se considera la relación que los usuarios de energía eléctrica también serán usuarios potenciales habilitados para la instalación de gas natural domiciliario), a partir del inicio de operaciones de distribución de gas natural considerado en el diseño proyectado al año 2020.

**Tabla 7.** *Usuarios y servicio eléctrico en el Municipio de Mecapaca – Censo INE 2012*

<b>HABITANTES</b>	<b>HOGARES</b>	<b>ENERGIA ELECTRICA</b>	<b>TASA DE CRECIMIENTO</b>
<b>16086</b>	4838	84.6 %	2.80 %

*Nota.* Datos considerados en relación al consumo doméstico de gas. Tomada del Instituto Nacional de Estadística, 2012.

Según yacimientos petrolíferos fiscales bolivianos se realizan dos criterios para la proyección de usuarios de gas domiciliario:

- Usuarios Potenciales (70%): Usuarios que desean acceder al servicio de Gas Natural Domiciliario
- Usuarios Habilitados (80%): Usuarios que cumplen con requisitos técnicos y legales para acceder al servicio de Gas Natural Domiciliario.

La proyección de usuarios según especifica la agencia nacional de hidrocarburos debe de ser realizada a 20 años para red primaria de gas natural, se realizó el diseño de la red primaria de gas natural en el municipio de Mecapaca en el año 2020; por ello la proyección se realiza hasta el año 2039, cumpliendo lo antes mencionado.

Para los Usuarios Eléctricos se procede a realizar:

$$Usuarios\ Eléctricos = \frac{Número\ de\ Hogares * \% \text{energía eléctrica}}{100} \quad (3.3)$$

Para los Usuarios Potenciales se procede a realizar:

$$Usuarios\ Potenciales = \frac{Usuarios\ Eléctricos * 70 \%}{100} \quad (3.4)$$

Para los Usuarios Habilitados se procede a realizar:

$$Usuarios\ Habilitados = \frac{Usuarios\ Potenciales * 80 \%}{100} \quad (3.5)$$

Considerando un crecimiento de población del 2.80 % en el municipio de Mecapaca, se debe lo realiza hasta el año pronosticado 2039.

$$Número\ de\ Hogares = Número\ de\ Hogares\ año\ anterior * \left(1 + \frac{2.80}{100}\right) \quad (3.6)$$

**Tabla 8.** *Proyección de potenciales Usuarios para el año 2039.*

	<b>Año del CENSO</b>	<b>Usuarios Eléctricos</b>	<b>Usuarios Potenciales</b>	<b>Usuarios Habilitados</b>
	2012	4092,95	2865,06	2292,05
	2013	4207,55	2945,29	2356,23
	2014	4325,36	3027,75	2422,20
	2015	4446,47	3112,53	2490,02
	2016	4570,97	3199,68	2559,75
	2017	4698,96	3289,27	2631,42
	2018	4830,53	3381,37	2705,10
	2019	4965,79	3476,05	2780,84
<b>1</b>	2020	5104,83	3573,38	2858,70
<b>2</b>	2021	5247,76	3673,43	2938,75
<b>3</b>	2022	5394,70	3776,29	3021,03
<b>4</b>	2023	5545,75	3882,03	3105,62
<b>5</b>	2024	5701,03	3990,72	3192,58
<b>6</b>	2025	5860,66	4102,46	3281,97
<b>7</b>	2026	6024,76	4217,33	3373,87
<b>8</b>	2027	6193,45	4335,42	3468,33
<b>9</b>	2028	6366,87	4456,81	3565,45
<b>10</b>	2029	6545,14	4581,60	3665,28
<b>11</b>	2030	6728,41	4709,89	3767,91
<b>12</b>	2031	6916,80	4841,76	3873,41
<b>13</b>	2032	7110,47	4977,33	3981,87
<b>14</b>	2033	7309,57	5116,70	4093,36
<b>15</b>	2034	7514,23	5259,96	4207,97
<b>16</b>	2035	7724,63	5407,24	4325,79
<b>17</b>	2036	7940,92	5558,65	4446,92
<b>18</b>	2037	8163,27	5714,29	4571,43
<b>19</b>	2038	8391,84	5874,29	4699,43
<b>20</b>	2039	8626,81	6038,77	4831,01

Elaboración propia en base de Datos del Instituto Nacional de Estadística 2012 (INE).

Con la ecuación del consumo domiciliario se tiene lo siguiente:

$$Q_{DOM} = \left[ \left( 1 * 0.9715 \frac{m^3}{h} * 0.3 \right)_{cocina} + \left( 1 * 1.2879 \frac{m^3}{h} * 0.3 \right)_{calectador\ de\ ba\~{n}o} \right] * 4832 \quad (3.7)$$

$$Q_{DOM} = 3275.226 \frac{m^3}{h} \approx 3276 \frac{m^3}{h}$$

### 3.2.2 Demanda Gas Natural para Sector Comercial

El cálculo del consumo del sector comercial puede abarcar:

- Restaurantes
- Alojamientos
- Recintos Policiales
- Escuelas, colegios
- Hospitales de pequeña capacidad
- Panaderías

Para el cálculo del caudal comercial se considera que el crecimiento del caudal consumido por el sector comercial es proporcional al consumo del sector doméstico motivo por el cual se considera que el caudal de consumo es de un 20% del caudal doméstico.

$$Q_{COM} = Q_{DOM} * 0.20 \quad (3.8)$$

$$Q_{COM} = 3276 \frac{m^3}{h} * 0.20$$

$$Q_{COM} = 655.2 \frac{m^3}{h}$$

### 3.2.3 Dimensionamiento de Estación Distrital de Regulación (EDR)

El consumo total que atenderá el EDR se obtiene de la suma de los caudales doméstico y comercial:

$$Q_{REQUERIDO} = Q_{COM} + Q_{DOM} \quad (3.9)$$

$$Q_{REQUERIDO} = 655.2 \frac{m^3}{h} + 3276 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{REQUERIDO} = 3931.2 \frac{m^3}{h}$$

Por lo tanto, se toma en cuenta la disponibilidad de Estaciones Distritales de Regulación (EDR) existentes, se establece que el municipio de Mecapaca tendrá un EDR con un suministro de diseño de:

$$Q_{EDR \text{ Mecapaca}} = 4000 \frac{m^3}{h}.$$

### 3.2.4 Demanda Gas Natural para Sector Industrial

El municipio de Mecapaca no cuenta con muchas instalaciones industriales, fábricas, es un territorio netamente agricultor favorecido por el clima y su geografía, los potenciales usuarios de sector industrial están conformada por:

- Un hospital de segundo nivel
- Cinco fábricas de ladrillos
- Un centro de acopio lechero vacuno

Para yacimientos petrolíferos fiscales bolivianos considera un promedio de consumo referencial para el hospital de segundo nivel, el centro de acopio lechero vacuno, para una fábrica de ladrillos, que son expresados en la siguiente tabla:

**Tabla 9.** *Consumo Industrial Demandado hasta el 2039*

USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO	
		UNITARIO $\frac{m^3}{h}$	TOTAL $\frac{m^3}{h}$
Hospital de Segundo Nivel	1	254.85	254.85
Fábricas de Ladrillos	5	672.53	3362.65
Centro de Acopio Lechero Vacuno	1	353.96	353.96
<b>DEMANDA INDUSTRIAL</b>			3971.46

*Nota.* Datos referenciales considerados en relación al consumo unitario industrial por YPFB.

Elaboración propia

### ***3.2.5 Demanda Gas Natural para Sector GNV***

Considerando la trayectoria de la red primaria para el municipio de Mecapaca, se considera dos posibles usuarios de GNV “la estación de servicio de Jupapina” y “la estación de servicio de Las Carreras”, Para yacimientos petrolíferos fiscales bolivianos considera un promedio de consumo referencial de  $1415.84 \frac{m^3}{h}$ .



**Tabla 10.** Consumo GNV Demandado hasta el 2039

USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO	
		UNITARIO $\frac{m^3}{h}$	TOTAL $\frac{m^3}{h}$
GNV	2	1415.84	2831.68
<b>DEMANDA GNV</b>			2831.68

*Nota.* Datos referenciales considerados en relación al consumo unitario GNV por YPFB.

Elaboración propia

### 3.2.6 Demanda Total Gas Natural

La demanda total es la suma de los caudales calculados:

$$Q_{MECAPACA} = Q_{COM} + Q_{DOM} + Q_{IND} + Q_{GNV} \quad (3.10)$$

$$Q_{MECAPACA} = 4000 \frac{m^3}{h} + 3971 \frac{m^3}{h} + 2832 \frac{m^3}{h}$$

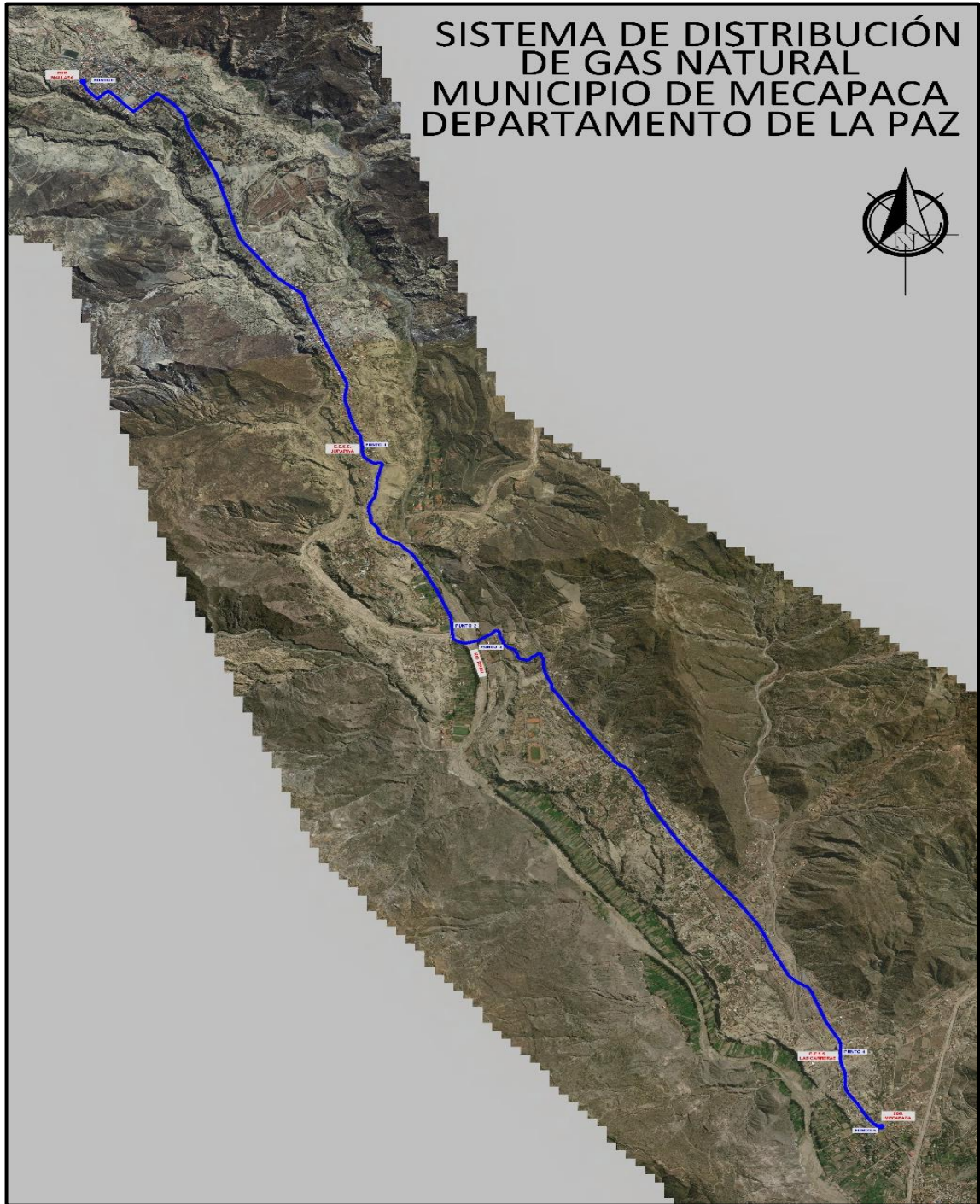
$$Q_{MECAPACA} = 10803 \frac{m^3}{h} \approx 9156104.27 \text{ PCD}$$

### 3.3 RUTA PROYECTADA DE LA RED PRIMARIA

Se realizó inspecciones por el personal técnico de Y.P.F.B. para la construcción de la red primaria, por tal se define la trayectoria de la tubería de acero negro, además del suministro de gas natural hasta la Estación Distrital de Regulación (EDR), que es ubicada en el área de jardinería en la Plaza Las Carreras del Municipio de Mecapaca.



Figura 20. Trazado de la red primaria



*Nota.* Trazado de la red primaria de diámetro nominal 6 pulgadas, de una longitud 13058 metros. Tomada de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos Distrito Redes de Gas La Paz – El Alto.

### 3.3.1 Perfil de la elevación de la Red Primaria

Según propone el personal técnico de Y.P.F.B. considera que la trayectoria de la Red Primaria en el municipio de Mecapaca se realiza en cinco tramos según se describe:

TRAMO 1 (PUNTO 0 – PUNTO 1) El tendido de la tubería de acero para el primer tramo tiene una longitud de 4692 metros, que va desde el EDR de Mallasa instalada en la plaza 2 de febrero con una presión inicial de 360 PSI hasta la estación de Servicio de Jupapina que se ubica en la carretera principal de Río Abajo, se considera a este tramo uno como una unidad de clase de trazado 3. En el diseño de la construcción de la red primaria se considera la existencia de una GNV en este tramo.

**Figura 21.** Tramo 1 (PUNTO 0 – PUNTO 1)



Tomada de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos Distrito Redes de Gas La Paz – El Alto.

TRAMO 2 (PUNTO 1 – PUNTO 2) El tendido de la tubería de acero para el segundo tramo tiene una longitud de 2062 metros, que va desde la estación de Servicio de Jupapina que se ubica en la carretera principal de Río Abajo hasta la altura del Club House del Colegio de abogados antes del puente Dr. Rodolfo Illanes, a este tramo dos se lo considera como una unidad de clase de trazado 2.

**Figura 22.** Tramo 2 (PUNTO 1 – PUNTO 2)



Tomada de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos Distrito Redes de Gas La Paz – El Alto.

TRAMO 3 (PUNTO 2 – PUNTO 3) El tendido de la tubería de acero para el tercer tramo tiene una longitud de 326 metros, que va desde la altura del Club House del Colegio de abogados, considerando el cruce de dos ríos Achocalla e Irpavi, hasta los lotes inferiores del cementerio Jardines del Paraíso, a este tramo tres el personal técnico de Y.P.F.B. lo considera como una unidad de clase de trazado 1. En el diseño de la construcción de la red primaria se considera la existencia de un Hospital de segundo nivel en este tramo.

**Figura 23.** Tramo 3 (PUNTO 2 – PUNTO 3)



Tomada de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos Distrito Redes de Gas La Paz – El Alto.

**Figura 24.** Cruce río Achocalla – puente Dr. Rodolfo Illanes



**Fuente:** Tomada de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos Distrito Redes de Gas La Paz – El Alto.



Figura 25. Cruce río Irpavi -río La Paz



**Fuente:** Tomada de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos Distrito Redes de Gas La Paz – El Alto.

TRAMO 4 (PUNTO 3 – PUNTO 4) El tendido de la tubería de acero para el cuarto tramo tiene una longitud de 5219 metros, que va desde los lotes inferiores del cementerio Jardines del Paraíso, considerando el cruce de río a la altura del puente Llauchí, hasta la estación de servicio de Carreras ubicada en carretera principal Río Abajo, a este tramo cuatro el personal técnico de Y.P.F.B. lo considera como una unidad de clase de trazado 4. En el diseño de la construcción de la red primaria se considera la existencia de una GNV en este tramo.

**Figura 26.** Tramo 4 (PUNTO 3 – PUNTO 4)



Tomada de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos Distrito Redes de Gas La Paz – El Alto.

**Figura 27.** Cruce de río -Puente Llauchi



**Fuente:** Tomada de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos Distrito Redes de Gas La Paz – El Alto.

TRAMO 5 (PUNTO 4 – PUNTO 5) El tendido de la tubería de acero para el quinto tramo tiene una longitud de 814 metros, que va desde la estación de servicio de Carreras ubicada en carretera principal Río Abajo, hasta la estación distrital de regulación (EDR) a ser ubicada en una jardinera en la plaza Las Carreras en el municipio de Mecapaca, a este tramo cinco el personal técnico de Y.P.F.B. lo considera como una unidad de clase de trazado 4.

**Figura 28.** Tramo 5 (PUNTO 4 – PUNTO 5)



Tomada de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos Distrito Redes de Gas La Paz – El Alto.

### 3.4 CÁLCULO HIDRÁULICO PARA LA RED PRIMARIA

Se determina el diámetro de la red primaria utilizando la ecuación de Weymouth, el cual es aconsejable para diámetros menores a 15 pulgadas. Los parámetros considerados para el cálculo del diámetro son el caudal demandado (ya calculado), presión de suministro (EDR Mallasa – Plaza 2 de febrero).

### 3.4.1 Ecuación de Weymouth

La ecuación de Weymouth calcula directamente el caudal de un gasoducto a través de valores dados como la gravedad específica del gas, compresibilidad, diámetro interno del caño, longitud de la cañería, presiones de entrada y salida:

$$Q = 433.5 * E * \left(\frac{T_b}{P_b}\right) * \left(\frac{P_1^2 - e^s P_2^2}{GE * T_f * L_e * Z}\right)^{0.5} * ID^{\frac{8}{3}} \quad (3.11)$$

*Referencia:*

$Q$ : Caudal del gas Natural [pcd]

$E$ : Eficiencia de la tubería (si es tubería nueva el valor es de uno)

$T_b$ : Temperatura base [R]

$P_b$ : Presión base [psi]

$s$ : Parámetro de ajuste por elevación [adimensional]

$P_1$ : Presión inicial [psi]

$P_2$ : Presión final [psi]

$T_f$ : Temperatura promedio de flujo [R]

$L_e$ : Longitud equivalente [milla]

$Z$ : Factor de compresibilidad de gas [adimensional]

$GE$ : Gravedad específica del gas [adimensional]

Para la longitud equivalente se tiene:

$$L_e = \frac{L * (e^s - 1)}{s} \quad (3.12)$$

*Referencia:*

$L$ : Longitud de línea [milla]



Para el Parámetro de ajuste por elevación se tiene:

$$s = 0.0375 * \left( \frac{H_2 - H_1}{T_f * Z} \right) \quad (3.13)$$

*Referencia:*

$s$ : Parámetro de ajuste por elevación [adimensional]

$H_1$ : Elevación del punto de entrada [pie]

$H_2$ : Elevación del punto de salida [pie]

### 3.4.2 Parámetros para el PRIMER TRAMO de la red primaria (puntos 0 a 1)

Tramo comprendido desde el EDR de Mallasa instalada en la plaza 2 de febrero y la estación de Servicio de Jupapina que se ubica en la carretera principal de Río Abajo.

**Tabla 11.** *Condiciones operativas para el primer tramo*

<b>Componente</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$T_b$	520	R
$P_b$	14.7	Psia
$P_1$	360	Psia
$H_1$	3291	m.s.n.m.
$H_2$	3148	m.s.n.m.
$L$	2.9161	milla
$T_f$	555	R
$G$	0.62	Adimensional
$Q$	9156104.27	PCD

Tomada de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos Distrito Redes de Gas La Paz – El Alto

Con los parámetros recientes se estimará el diámetro interno para el diseño de la red primaria de la trayectoria proyectada al municipio de Mecapaca, utilizando las ecuaciones anteriormente mencionadas para el caudal del gas natural, además considerando el efecto por diferencia de elevación se tiene:

- Se estima el diámetro, asumiendo una caída de presión de 50 psi en 2.9161 millas.

**Tabla 12.** Estimación del diámetro del ducto del tramo 1

<b>Presión asumida [psi]</b>	<b>Factor de Compresibilidad Z</b>	<b>Longitud equivalente Le [milla]</b>	<b>Diámetro interno [in]</b>
<b>310</b>	0.957	2.886	5.574

*Nota.* La presión asumida es referencial de una caída de 50 psi. Elaboración propia

Por tanto, se considera usar una tubería de diámetro nominal de 6 pulgadas, para determinar el espesor de la tubería se utilizará la ecuación de Barlow:

$$t = \frac{P * OD}{2 * S * F * E * T} \quad (3.14)$$

*Referencia:*

*t:* Espesor de la tubería [in]

*OD:* Diámetro externo de la tubería [in]

*S:* Tensión de fluencia mínima [psi]

*P:* Presión interna del diseño del ducto [psig]

*F:* Factor de diseño según la clase de trazado [adimensional]

*E:* Factor de la junta longitudinal [adimensional]

*T:* Factor de temperatura [adimensional]

Según el personal técnico de Y.P.F.B. lo considera como una unidad de clase de trazado 3 para el primer tramo por tanto se tiene un valor de 0.5 para “F” Factor de diseño según la clase de trazado. El factor de temperatura “T” es 1 debido a que la temperatura de flujo es menor a 250 °F. El factor de junta longitudinal para una tubería API 5L con costura soldada por resistencia eléctrica de alta frecuencia tiene un valor de 1 para “E”. La Tensión de fluencia mínima para una tubería API PSL1 Grado B tiene un valor de 35000 Psig, todo lo mencionado se lo aplica a la ecuación de Barlow para el tramo 1.

$$t = \frac{(360 - 14.7)Psig * 6.625 in}{2 * 35000 Psig * 0.5 * 1 * 1}$$

$$t = 0.065 in$$

Se tuvo en almacenes un stock de caños de 6 pulgadas con fabricación del año 2019, bajo las especificaciones de tubería en línea de API 5L con las características de PSL 1 Grado B Schedule 40 de la empresa BOYU, el cual el personal de Y.P.F.B. decidió usar para la red primaria del municipio de Mecapaca.

- Se estima la presión final del tramo 1 considerando un caño de diámetro nominal de 6 pulgadas con un espesor de 0.280 pulgadas (Schedule 40).

Para el cálculo de la Presión promedio de flujo se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_m = \left( \frac{2}{3} * \frac{P_1^3 - P_2^3}{P_1^2 - P_2^2} \right) - 14.7 \quad (3.15)$$

*Referencia:*

$P_m$ : Presión promedio de flujo [psig]

$P_1$ : Presión de entrega [psia]

$P_2$ : Presión de salida [psia]

Para el cálculo del Factor de compresibilidad del gas se utiliza la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{1}{1 + \frac{344400 * P_m * 10^{1.785 * GE}}{T_f^{3.825}}} \quad (3.16)$$

*Referencia:*

$P_m$ : Presión promedio de flujo [psig]

$T_f$ : Temperatura promedio de flujo [R]

$Z$ : Factor de compresibilidad de gas [adimensional]

$GE$ : Gravedad específica del gas [adimensional]

**Tabla 13.** *Estimación de la presión final del tramo 1*

<b>Presión asumida [psi]</b>	<b>Presión promedio de flujo [psi]</b>	<b>Factor Z de Compresibilidad</b>	<b>Parámetro de ajuste por elevación S</b>	<b>Presión final [psi]</b>
<b>310</b>	320.922	0.957	-0.020	330.470
<b>330.470</b>	330.770	0.956	-0.020	330.521
<b>330.521</b>	330.770	0.956	-0.020	330.521
<b>330.521</b>	330.770	0.956	-0.020	330.521

*Nota.* La presión asumida es referencial de una caída de 50 psi. Elaboración propia

**Tabla 14.** *Características del tramo 1*

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>P<sub>1</sub> [psia]</b>	<b>P<sub>2</sub> [psia]</b>
<b>6</b>	4692	360	330.521

*Nota.* Se corrobora el diámetro de 6 pulgadas por la tenencia del mismo. Elaboración propia

### 3.4.3 Parámetros para el SEGUNDO TRAMO de la red primaria (puntos 1 a 2)

Tramo comprendido desde la estación de Servicio de Jupapina que se ubica en la carretera principal de Río Abajo, hasta el colegio de Abogados antes del puente Dr. Rodolfo Illanes, en el primer tramo se provee la existencia de una estación GNV por tanto el caudal reducirá.

**Tabla 15.** Condiciones operativas para el segundo tramo

<b>Componente</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$T_b$	520	R
$P_b$	14.7	Psia
$P_1$	330.521	Psia
$H_1$	3148	m.s.n.m.
$H_2$	3020	m.s.n.m.
$L$	1.2815	milla
$T_f$	555	R
$G$	0.62	Adimensional
$Q$	7956106.24	PCD

*Nota.* Se mantiene algunos datos de temperatura – presión del primer tramo. Elaboración propia

Con los parámetros recientes se estimará el diámetro interno para el diseño de la red primaria del segundo tramo proyectada al municipio de Mecapaca, utilizando las ecuaciones anteriormente mencionadas para el caudal del gas natural, además considerando el efecto por diferencia de elevación se tiene:

- Se estima el diámetro, asumiendo una caída de presión de 50 psi en 1.2815 millas.

**Tabla 16.** *Estimación del diámetro del ducto del tramo 2*

<b>Presión asumida [psi]</b>	<b>Factor de Compresibilidad Z</b>	<b>Longitud equivalente Le [milla]</b>	<b>Diámetro interno [in]</b>
<b>280</b>	0.961	1.2698	4.618

*Nota.* La presión asumida es referencial de una caída de 50 psi. Elaboración propia

Por tanto, se considera usar una tubería de diámetro nominal de 6 pulgadas. Según el personal técnico de Y.P.F.B. lo considera como una unidad de clase de trazado 2 para el segundo tramo por consiguiente se tiene un valor de 0.6 para “F” el Factor de diseño según la clase de trazado. El factor de temperatura “T” es 1 debido a que la temperatura de flujo es menor a 250 °F. El factor de junta longitudinal para una tubería API 5L con costura soldada por resistencia eléctrica de alta frecuencia tiene un valor de 1 para “E”. La Tensión de fluencia mínima especificada para una tubería API PSL1 Grado B tiene un valor de 35000 Psi el cual se lo considera porque se lo tuvo en almacenes un stock de caños de 6 pulgadas de diámetro nominal y 12 metros de longitud con fabricación del año 2019, todo lo mencionado se lo aplica a la ecuación de Barlow para estimar el valor del espesor para el tramo 2.

$$t = \frac{(330.521 - 14.7) \text{Psig} * 6.625 \text{ in}}{2 * 35000 \text{ Psig} * 0.6 * 1 * 1}$$

$$t = 0.0498 \text{ in}$$

- Se estima la presión final del tramo 2 considerando un caño de diámetro nominal de 6 pulgadas con un espesor de 0.280 pulgadas (Schedule 40).

**Tabla 17.** Estimación de la presión final del tramo 2

<b>Presión asumida [psi]</b>	<b>Presión promedio de flujo[psi]</b>	<b>Factor Z de Compresibilidad</b>	<b>Parámetro de ajuste por elevación S</b>	<b>Presión final [psi]</b>
280	291.257	0.961	-0.018	321.843
321.843	311.501	0.958	-0.018	321.884
321.884	311.522	0.958	-0.018	321.884
321.884	311.522	0.958	-0.018	321.884

*Nota.* La presión asumida es referencial de una caída de 50 psi. Elaboración propia

**Tabla 18.** Características del tramo 2

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>P1 [psia]</b>	<b>P2 [psia]</b>
6	2062	330.521	321.884

*Nota.* Se corrobora el diámetro de 6 pulgadas por la tenencia del mismo. Elaboración propia

#### **3.4.4 Parámetros para el TERCER TRAMO de la red primaria (puntos 2 a 3)**

Tramo comprendido desde el Club House del Colegio de abogados antes del puente Dr. Rodolfo Illanes hasta los lotes inferiores del cementerio Jardines del Paraíso, considerando el cruce de dos ríos Achocalla e Irpavi. En el diseño de la construcción de la red primaria se considera la existencia de un Hospital de segundo nivel en este tramo de 326 metros de longitud.



**Tabla 19.** *Condiciones operativas para el tercer tramo*

<b>Componente</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$T_b$	520	R
$P_b$	14.7	Psia
$P_1$	321.884	Psia
$H_1$	3020	m.s.n.m.
$H_2$	3017	m.s.n.m.
$L$	0.2026	milla
$T_f$	555	R
$G$	0.62	Adimensional
$Q$	7956106.24	PCD

*Nota.* Se mantiene algunos datos de temperatura – presión del ducto. Elaboración propia

Con los parámetros recientes se estimará el diámetro interno para el diseño de la red primaria del tercer tramo proyectada al municipio de Mecapaca, utilizando las ecuaciones anteriormente mencionadas para el caudal del gas natural, además considerando el efecto por diferencia de elevación se tiene: Se estima el diámetro, asumiendo una caída de presión de 50 psi.

**Tabla 20.** *Estimación del diámetro del ducto del tramo 3*

<b>Presión asumida [psi]</b>	<b>Factor de Compresibilidad Z</b>	<b>Longitud equivalente Le [milla]</b>	<b>Diámetro interno [in]</b>
<b>270</b>	0.961	0.2026	3.30

*Nota.* La presión asumida es referencial de una caída de 50 psi. Elaboración propia

Pero se considera usar una tubería de diámetro nominal de 6 pulgadas por el uso de chanchos de limpieza. Según el personal técnico de Y.P.F.B. lo considera como una unidad de clase de trazado 1 para el tercer tramo por consiguiente se tiene un valor de 0.72 para “F” el Factor de diseño según la clase de trazado. El factor de temperatura “T” es 1 debido a que la temperatura de flujo es menor a 250 °F. El factor de junta longitudinal para una tubería API 5L con costura soldada por resistencia eléctrica de alta frecuencia tiene un valor de 1 para “E”. La Tensión de fluencia mínima especificada para una tubería API PSL1 Grado B tiene un valor de 35000 Psi el cual se lo considera porque se lo tuvo en almacenes un stock de caños de 6 pulgadas de diámetro nominal y 12 metros de longitud con fabricación del año 2019, todo lo mencionado se lo aplica a la ecuación de Barlow para estimar el valor del espesor para el tramo 3.

$$t = \frac{(321.884 - 14.7) \text{ Psig} * 6.625 \text{ in}}{2 * 35000 \text{ Psig} * 0.72 * 1 * 1}$$

$$t = 0.0404 \text{ in}$$

- Se estima la presión final del tramo 3 considerando un caño de diámetro nominal de 6 pulgadas con un espesor de 0.280 pulgadas (Schedule 40).

**Tabla 21.** *Estimación de la presión final del tramo 3*

<b>Presión asumida [psi]</b>	<b>Presión promedio de flujo[psi]</b>	<b>Factor Z de Compresibilidad</b>	<b>Parámetro de ajuste por elevación S</b>	<b>Presión final [psi]</b>
270	282	0.962	-0.00043	320.076
320.076	306.281	0.959	-0.00043	320.083
320.083	306.284	0.959	-0.00043	320.083
320.083	306.284	0.959	-0.00043	320.083

*Nota.* La presión asumida es referencial de una caída de 50 psi. Elaboración propia

**Tabla 22.** Características del tramo 3

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>P<sub>1</sub> [psia]</b>	<b>P<sub>2</sub> [psia]</b>
6	326	321.884	320.083

*Nota.* El diámetro de 6 pulgadas por la tendencia de la trayectoria. Elaboración propia

### 3.4.5 Parámetros para el CUARTO TRAMO de la red primaria (puntos 3 a 4)

Tramo comprendido desde los lotes inferiores del cementerio Jardines del Paraíso hasta la estación de servicio de Carreras ubicada en carretera principal Río Abajo, considerando el cruce de un río a la altura del puente Llauchí. El cuarto tramo tiene una longitud de 5219 metros. En el tercer tramo se provee la existencia de un Hospital de segundo nivel por tanto el caudal reducirá.

**Tabla 23.** Condiciones operativas para el cuarto tramo

<b>Componente</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$T_b$	520	R
$P_b$	14.7	Psia
$P_1$	320.083	Psia
$H_1$	3017	m.s.n.m.
$H_2$	2935	m.s.n.m.
$L$	3.2436	milla
$T_f$	555	R
$G$	0.62	Adimensional
$Q$	7740107.612	PCD

*Nota.* Se mantiene algunos datos de temperatura – presión del ducto. Elaboración propia

Con los parámetros recientes se estimará el diámetro interno para el diseño de la red primaria del cuarto tramo proyectada al municipio de Mecapaca, utilizando las ecuaciones anteriormente mencionadas para el caudal del gas natural, además considerando el efecto por diferencia de elevación se tiene: Se estima el diámetro, asumiendo una caída de presión de 50 psi.

**Tabla 24.** *Estimación del diámetro del ducto del tramo 4*

<b>Presión asumida [psi]</b>	<b>Factor de Compresibilidad Z</b>	<b>Longitud equivalente Le [milla]</b>	<b>Diámetro interno [in]</b>
<b>270</b>	0.962	3.225	5.506

*Nota.* La presión asumida es referencial de una caída de 50 psi. Elaboración propia

Por tanto, se considera usar una tubería de diámetro nominal de 6 pulgadas. Según el personal técnico de Y.P.F.B. lo considera como una unidad de clase de trazado 4 para el cuarto tramo por consiguiente se tiene un valor de 0.4 para “F” el Factor de diseño según la clase de trazado. El factor de temperatura “T” es 1 debido a que la temperatura de flujo es menor a 250 °F. El factor de junta longitudinal para una tubería API 5L con costura soldada por resistencia eléctrica de alta frecuencia tiene un valor de 1 para “E”. La Tensión de fluencia mínima especificada para una tubería API PSL1 Grado B tiene un valor de 35000 Psi el cual se lo considera porque se lo tuvo en almacenes un stock de caños de 6 pulgadas de diámetro nominal y 12 metros de longitud con fabricación del año 2019, todo lo mencionado se lo aplica a la ecuación de Barlow para estimar el valor del espesor para el tramo 4.

$$t = \frac{(320.083 - 14.7) \text{Psi} * 6.625 \text{ in}}{2 * 35000 \text{ Psi} * 0.5 * 1 * 1}$$

$$t = 0.058 \text{ in}$$

- Se estima la presión final del tramo 4 considerando un caño de diámetro nominal de 6 pulgadas con un espesor de 0.280 pulgadas (Schedule 40).

**Tabla 25.** *Estimación de la presión final del tramo 4*

<b>Presión asumida [psi]</b>	<b>Presión promedio de flujo[psi]</b>	<b>Factor Z de Compresibilidad</b>	<b>Parámetro de ajuste por elevación S</b>	<b>Presión final [psi]</b>
270	281.049	0.962	-0.011714	292.059
292.059	291.585	0.961	-0.011731	292.106
292.106	291.608	0.961	-0.011731	292.106
292.106	291.608	0.961	-0.011731	292.106

*Nota.* La presión asumida es referencial de una caída de 50 psi. Elaboración propia

**Tabla 26.** *Características del tramo 4*

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>P<sub>1</sub> [psia]</b>	<b>P<sub>2</sub> [psia]</b>
6	5219	320.083	292.106

*Nota.* Se corrobora el diámetro de 6 pulgadas por la tenencia del mismo. Elaboración propia

### **3.4.6 Parámetros para el QUINTO TRAMO de la red primaria (puntos 4 a 5)**

Tramo comprendido desde la estación de servicio de Carreras ubicada en carretera principal Río Abajo hasta la Estación Distrital de Regulación a ser ubicada en una jardinera en la plaza Las Carreras en el municipio de Mecapaca, el quinto tramo tiene una longitud de 814 metros. En el cuarto tramo se provee la existencia de una estación GNV por tanto el caudal reducirá.

**Tabla 27.** *Condiciones operativas para el quinto tramo*

<b>Componente</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$T_b$	520	R
$P_b$	14.7	Psia
$P_1$	292.106	Psia
$H_1$	2935	m.s.n.m.
$H_2$	2905	m.s.n.m.
$L$	0.5059	milla
$T_f$	555	R
$G$	0.62	Adimensional
$Q$	6540107.612	PCD

*Nota.* Se mantiene algunos datos de temperatura – presión del ducto. Elaboración propia

Con los parámetros recientes se estimará el diámetro interno para el diseño de la red primaria del quinto tramo proyectada al municipio de Mecapaca, utilizando las ecuaciones anteriormente mencionadas para el caudal del gas natural, además considerando el efecto por diferencia de elevación se tiene: Se estima el diámetro, asumiendo una caída de presión de 50 psi.

**Tabla 28.** *Estimación del diámetro del ducto del tramo 5*

<b>Presión asumida [psi]</b>	<b>Factor de Compresibilidad Z</b>	<b>Longitud equivalente Le [milla]</b>	<b>Diámetro interno [in]</b>
<b>240</b>	0.962	3.225	5.506

*Nota.* La presión asumida es referencial de una caída de 50 psi. Elaboración propia



Por tanto, se considera usar una tubería de diámetro nominal de 6 pulgadas. Según el personal técnico de Y.P.F.B. lo considera como una unidad de clase de trazado 4 para el cuarto tramo por consiguiente se tiene un valor de 0.4 para “F” el Factor de diseño según la clase de trazado. El factor de temperatura “T” es 1 debido a que la temperatura de flujo es menor a 250 °F. El factor de junta longitudinal para una tubería API 5L con costura soldada por resistencia eléctrica de alta frecuencia tiene un valor de 1 para “E”. La Tensión de fluencia mínima especificada para una tubería API PSL1 Grado B tiene un valor de 35000 Psi el cual se lo considera porque se lo tuvo en almacenes un stock de caños de 6 pulgadas de diámetro nominal y 12 metros de longitud con fabricación del año 2019, todo lo mencionado se lo aplica a la ecuación de Barlow para estimar el valor del espesor para el tramo 5.

$$t = \frac{(292.106 - 14.7) \text{Psi} * 6.625 \text{ in}}{2 * 35000 \text{ Psi} * 0.5 * 1 * 1}$$

$$t = 0.053 \text{ in}$$

- Se estima la presión final del tramo 5 considerando un caño de diámetro nominal de 6 pulgadas con un espesor de 0.280 pulgadas (Schedule 40).

**Tabla 29.** Estimación de la presión final del tramo 5

<b>Presión asumida [psi]</b>	<b>Presión promedio de flujo[psi]</b>	<b>Factor Z de Compresibilidad</b>	<b>Parámetro de ajuste por elevación S</b>	<b>Presión final [psi]</b>
240	252.203	0.966	-0.004269	289.216
289.216	275.963	0.963	-0.004283	289.229
289.229	275.970	0.963	-0.004283	289.229
289.229	275.970	0.963	-0.004283	289.229

*Nota.* La presión asumida es referencial de una caída de 50 psi. Elaboración propia

**Tabla 30.** *Características del tramo 5*

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>P<sub>1</sub> [psia]</b>	<b>P<sub>2</sub> [psia]</b>
6	814	292.106	289.229

*Nota. Se corrobora el diámetro de 6 pulgadas por la tenencia del mismo. Elaboración propia*

### **3.5 REQUERIMIENTOS DEL CURVADO DE CAÑOS EN FRÍO EN CAMPO**

Las cañerías utilizadas en el proyecto tienen una longitud de 12 metros o DRL, bajo normativa se reserva 1,5 metros en cada extremo del caño, por tanto, se tiene 9 metros de longitud en donde se podrá realizar el proceso de curvado.

**Tabla 31.** *Propiedades de la tubería*

<b>NPS</b>	<b>Cédula</b>	<b>Diámetro exterior [in]</b>	<b>Espesor [in]</b>	<b>Peso [kg/m]</b>	<b>Calidad</b>	<b>Grado</b>
6	40	6,625	0,280	28,26	PSL1	B

*Nota. Los datos anteriores son de la leyenda de la tubería utilizada. Elaboración propia*

El trazado de la zanja es un requerimiento importante pues es el que determina la magnitud de curvado que debe de tener el caño, para tener una mayor precisión se realiza el tomado de datos de dirección de la zanja con instrumentos de medida como el uso de un teodolito o estación de servicio.

#### **3.5.1 Cálculo del máximo ángulo de curvado en frío para un caño de 6 pulgadas**

Para el cálculo del máximo ángulo de curvado en frío de un caño bajo los parámetros del código ASME B31.8, se debe de calcular primero el número de intervenciones posibles realizada por la curvadora.

El espacio mínimo entre intervenciones que la curvadora realizará sobre la tubería viene dado por el diámetro exterior de la cañería, para el caso se tiene un diámetro exterior de 6,625 pulgadas:

$$6,625 \text{ pulg} * \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}} = 16,828 \text{ cm}$$

Por tanto, la cantidad máxima de intervenciones aplicadas sobre la tubería será la longitud total entre el diámetro exterior:

$$\text{Cant. Máx. Intervenciones} = \frac{900 \text{ cm}}{16,828 \text{ cm}} = 53,482 \approx 53 \text{ intervenciones}$$

Revisando la tabla 5, donde se especifica que por cada intervención de la curvadora se pondrá curvar como máximo de 3,2 grados, bajo este criterio se puede calcular el máximo ángulo de curvatura:

$$\text{Máx. ángulo de Curvatura} = \text{Cant. Máx. Intervenciones} * 3,2^\circ \quad (3.17)$$

$$\text{Máx. ángulo de Curvatura} = 53 \text{ intervenciones} * 3,2^\circ$$

$$\text{Máx. ángulo de Curvatura} = 169,6^\circ$$

### **3.5.2 Cálculo del radio mínimo de curvatura**

El código ASME B31.8 introduce otra restricción en proceso de curvado de caños especificando un radio mínimo de curvatura, este radio de curvatura controla de cierta manera el cambio de espesores para no producirse un exceso de adelgazamiento en la parte exterior o un exceso de engrosamiento en la parte interna de la curva, con el propósito que el adelgazamiento de la pared curvada todavía se encuentre por encima de la pared mínima calculada en el diseño como tubería recta.

El radio mínimo de curvatura viene especificado en la tabla 5 del presente proyecto, para un diámetro exterior de 6,625 pulgadas:

$$\text{Radio mínimo de curvatura} = 18 * D_e = 18 * 6,625 \text{ pulg}$$

$$\text{Radio mínimo de curvatura} = 119,250 \text{ pulg}$$

Para unificar resultados se manejará un solo sistema de unidades:

$$119,25 \text{ pulg} * \frac{25,4 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}} = 302,895 \text{ cm}$$

$$\text{Radio mínimo de curvatura} = 302,895 \text{ cm}$$

Realizando una comparación entre el máximo ángulo de curvatura con el radio mínimo de curvatura por medio del perímetro se tiene:

$$\text{Perímetro} = \alpha * \text{Radio mínimo de curvatura}$$

$$\alpha = \frac{\text{Perímetro}}{\text{Radio mínimo de curvatura}} \quad (3.18)$$

Si la longitud de arco es el perímetro, suponiendo que no existe elongación en los 9 metros de curvado se tiene:

$$\alpha = \frac{900 \text{ cm}}{302,895 \text{ cm}} = 2,971 \text{ rad}$$

$$2,971 \text{ rad} * \frac{360^\circ}{2 * \pi \text{ rad}} = 170,226^\circ$$

La diferencia entre el máximo ángulo de curvatura y el ángulo calculado por el radio mínimo de curvatura es menos de  $1^\circ$ , que es admisible.

### 3.5.3 Cálculo del diámetro de la placa calibradora

El diámetro de la placa calibradora para cañería de 6 pulgadas es calculada por:

$$D_{\text{placa}} = (D_e - 2 * t) * \frac{97,5}{100}$$

$$D_{\text{placa}} = (6,625 \text{ in} - 2 * 0,280 \text{ in}) * \frac{97,5}{100}$$

$$D_{\text{placa}} = 5,91 \text{ in}$$

### 3.6 EVALUACIÓN DEL CURVADO EN FRIO DE LOS CAÑOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA RED PRIMARIA DE GAS EN EL MUNICIPIO DE MECAPACA

Realizando la evaluación de cada proceso de curvado indicado en los registros tomados por la empresa constructora, como el ángulo de deflexión para todas las curvaturas realizadas en la obra debe ser menor al máximo ángulo de curvatura, se elabora la evaluación bajo la cantidad de intervenciones con relación a la deflexión del eje (3,2° para caño de 6 pulgadas) por cada intervención.

Con respecto a la deflexión máxima para cada intervención (golpe), se realiza la evaluación para el primer curvado en el registro 1:

<i>Componente</i>	<i>F - 3414</i>
<i>Curvado de ducto en:</i>	0 + 150 m KP progresiva
<i>Longitud de curvado</i>	6 m
<i>Número de golpes</i>	6
<i>Ángulo de curvado</i>	18°

$$\alpha_{deflexión} = \frac{18^\circ}{6 \text{ golpes}} = 3^\circ$$

Que se encuentra dentro de los parámetros proporcionas por el código ASME B31.8 que es de 3,2° por cada golpe.

#### **REGISTRO 1**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	<b><math>\alpha_{deflexión}</math></b>
<i>F-3414</i>	6,00	6	18	3,00
<i>L-5002</i>	5,00	5	11	2,20
<i>D-2288</i>	4,50	6	9	1,50
<i>H-4219</i>	9,00	9	13	1,44

### REGISTRO 2

COMPONENTE	LONGITUD DEL CURVADO (m)	N° DE GOLPES	ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS	$\alpha_{deflexión}$
H-4506	9,00	9	12	1,33
H-4201	9,00	10	18	1,80
L-4998	4,50	4	8	2,00
D-4763	6,00	8	17	2,13

### REGISTRO 3

COMPONENTE	LONGITUD DEL CURVADO (m)	N° DE GOLPES	ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS	$\alpha_{deflexión}$
F-3519	7,50	8	15	1,88
<b>F-3439</b>	<b>10,00</b>	<b>9</b>	<b>22</b>	<b>2,44</b>
<b>F-3513</b>	<b>9,00</b>	<b>9</b>	<b>37</b>	<b>4,11</b>
H-4492	3,50	3	4	1,33

En el componente **F – 3439** se realiza el curvado en 10 metros del caño, por lo que el extremo del caño tiende a deformarse, no creando las condiciones óptimas para la unión de este extremo con el extremo de otro caño, creando incertidumbre en un correcto proceso de soldadura.

En el componente **F – 3513** se realiza el curvado del caño con un ángulo de deflexión de **4,11°**, siendo mayor al parámetro permitido por el código ASME B31.8, creando incertidumbre en la resistencia del caño.



#### REGISTRO 4

COMPONENTE	LONGITUD DEL CURVADO (m)	Nº DE GOLPES	ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS	$\alpha_{deflexión}$
D-2120	8,00	14	32	2,29
J-3865	7,00	8	16	2,00

#### REGISTRO 5

COMPONENTE	LONGITUD DEL CURVADO (m)	Nº DE GOLPES	ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS	$\alpha_{deflexión}$
L-5231	3,25	11	14	1,27
L-4925	5,50	14	21	1,50
<b>L-5215</b>	<b>3,75</b>	<b>10</b>	<b>34</b>	<b>3,40</b>
L-4927	9,00	19	19	1,00
F-3104	9,00	9	12	1,33
L-4819	5,00	6	6	1,00
E-2704	2,25	5	5	1,00

En el componente F – 5215 se realiza el curvado del caño con un ángulo de deflexión de **3,40°**, siendo mayor al parámetro permitido por el código ASME B31.8, creando incertidumbre en la resistencia del caño.

### REGISTRO 6

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
<b>L-4817</b>	<b>9,50</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>0,60</b>
<b>D-1977</b>	<b>9,50</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>0,70</b>
L-5037	9,00	7	2	0,29
J-3752	9,00	7	3	0,43
L-4849	9,00	7	4	0,57
<b>L-4816</b>	<b>9,50</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>0,80</b>
L-5014	9,00	7	3	0,43
L-5031	9,00	7	3	0,43
<b>K-5459</b>	<b>9,50</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>0,70</b>

En los componentes **L - 4817, D - 1977, L - 4816, K - 5459** se realiza el curvado en 9,50 metros del caño, por lo que el extremo del caño tiende a deformarse, sin embargo, al tratarse de un ángulo de deflexión bajo se descarta una posible ovalización en el extremo del caño.

### REGISTRO 7

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
D-2127	9,00	7	4	0,57
D-2126	9,00	7	4	0,57
H-4190	9,00	10	10	1,00
H-4571	4,20	4	6	1,50
H-4152	4,00	6	7	1,17

**REGISTRO 8**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
K-5347	9,00	10	10	1,00
B-800	9,00	10	11	1,10
B-799	9,00	10	21	2,10
K-5355	9,00	10	12	1,20

**REGISTRO 9**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
K-5326	9,00	7	4	0,57
K-5345	9,00	10	6	0,60
K-5353	9,00	10	9	0,90
K-5802	9,00	7	6	0,86
K-5352	4,50	4	3	0,75
K-5543	9,00	7	5	0,71
K-5617	9,00	4	5	1,25

**REGISTRO 10**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
A-499	9,00	7	2	0,29
K-5432	9,00	7	2	0,29
L-4884	9,00	10	7	0,70
L-4886	9,00	10	6	0,60

### REGISTRO 11

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
<i>L-4931</i>	4,50	5	4	0,80
<b>L-5216</b>	<b>10,00</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>0,83</b>
<i>K-5571</i>	4,00	5	6	1,20
<i>K-5613</i>	4,00	5	10	2,00
<b>G-6062</b>	<b>9,50</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>0,60</b>

En los componentes **L - 5216**, **G - 6062**, se realiza el curvado en 10 metros y 9,50 metros respectivamente, por lo que el extremo del caño tiende a deformarse, sin embargo, al tratarse de un ángulo de deflexión bajo se descarta una posible ovalización en el extremo del caño.

### REGISTRO 12

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
<b>A-190</b>	<b>9,50</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>1,00</b>
<b>K-5300</b>	<b>9,50</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>1,00</b>

En los componentes **A - 190**, **K - 5300**, se realiza el curvado en 9,50 metros del caño, por lo que el extremo del caño tiende a deformarse, sin embargo, al tratarse de un ángulo de deflexión bajo se descarta una posible ovalización en el extremo del caño.

### REGISTRO 13

COMPONENTE	LONGITUD DEL CURVADO (m)	N° DE GOLPES	ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS	$\alpha_{deflexión}$
K-5540	9,60	10	35	3,50
K-5545	6,90	10	35	3,50

En los componentes K – 5540, K – 5545 se realiza el curvado del caño con un ángulo de deflexión de 3,50°, siendo mayor al parámetro permitido por el código ASME B31.8, creando incertidumbre en la resistencia del caño.

### REGISTRO 14

COMPONENTE	LONGITUD DEL CURVADO (m)	N° DE GOLPES	ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS	$\alpha_{deflexión}$
D - 2029	9,00	7	14	2,00

### REGISTRO 15

COMPONENTE	LONGITUD DEL CURVADO (m)	N° DE GOLPES	ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS	$\alpha_{deflexión}$
K -5597	8,00	9	6	0,67
D -2355	9,00	7	2	0,29

### REGISTRO 16

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	<b><math>\alpha_{deflexión}</math></b>
<b>K -5547</b>	<b>2,10</b>	<b>8</b>	<b>44</b>	<b>5,50</b>

En el componente **K – 5547** se realiza el curvado del caño con un ángulo de deflexión de **5,50°**, siendo mayor al parámetro permitido por el código ASME B31.8, creando incertidumbre en la resistencia del caño.

### REGISTRO 17

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	<b><math>\alpha_{deflexión}</math></b>
<b>D -2161</b>	<b>4,50</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>2,50</b>
<b>G -5913</b>	<b>4,50</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>2,50</b>

### REGISTRO 18

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	<b><math>\alpha_{deflexión}</math></b>
<b>G -6412</b>	<b>9,50</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>1,10</b>

En el componente **G - 6412**, se realiza el curvado en 9,50 metros del caño, por lo que el extremo del caño tiende a deformarse, sin embargo, al tratarse de un ángulo de deflexión bajo se descarta una posible ovalización en el extremo del caño.



### REGISTRO 19

COMPONENTE	LONGITUD DEL CURVADO (m)	N° DE GOLPES	ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS	$\alpha_{deflexión}$
D -1954	4,50	10	18	1,80
D -1955	5,50	11	18	1,64

### REGISTRO 20

COMPONENTE	LONGITUD DEL CURVADO (m)	N° DE GOLPES	ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS	$\alpha_{deflexión}$
K -5803	9,00	7	2	0,29

### REGISTRO 21

COMPONENTE	LONGITUD DEL CURVADO (m)	N° DE GOLPES	ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS	$\alpha_{deflexión}$
B-894	2,10	7	36	5,14
B-899	2,10	7	36	5,14
B-897	2,10	7	36	5,14
J -3694	1,00	5	24	4,80

En los componentes B - 894, B – 899, B – 897, se realiza el curvado del caño con un ángulo de deflexión de  $5,14^\circ$ , y en el componente J – 3694 se realiza el curvado del caño con un ángulo de deflexión de  $4,80^\circ$ , siendo mayor al parámetro permitido por el código ASME B31.8, creando incertidumbre en la resistencia del caño. Se realizó el curvado a un metro del extremo de la tubería y siendo el ángulo de mayor incidencia el elemento B-897 será caso de estudio para la ovalización.

**REGISTRO 22**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
<b>B-742</b>	<b>9,25</b>	<b>8</b>	<b>32</b>	<b>4,00</b>
K-5421	6,00	7	6	0,86
G-6063	9,00	7	6	0,86

En el componente **B - 742** se realiza el curvado del caño con un ángulo de deflexión de **4,00°**, siendo mayor al parámetro permitido por el código ASME B31.8, creando incertidumbre en la resistencia del caño.

**REGISTRO 23**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
G-6209	7,50	7	6	0,86
K-5575	4,00	5	6	1,20
K-5753	4,50	4	4	1,00

**REGISTRO 24**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
K-5346	4,50	6	6	1,00
B-794	1,50	2	2	1,00
B-822	6,50	6	11	1,83

**REGISTRO 25**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
<i>K-5638</i>	4,50	6	6	1,00
<i>A-488</i>	4,50	8	11	1,38
<i>D-1897</i>	6,00	6	2	0,33
<i>D-1957</i>	5,50	6	7	1,17

**REGISTRO 26**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
<i>G-6110</i>	6,00	6	2	0,33
<i>G-6101</i>	8,50	9	7	0,78
<i>J-4003</i>	7,50	7	7	1,00
<i>G-6108</i>	9,00	7	4	0,57
<b><i>L-5248</i></b>	<b>9,50</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>1,10</b>
<i>H-4578</i>	4,50	4	5	1,25

En el componente **L - 5248**, se realiza el curvado en 9,50 metros del caño, por lo que el extremo del caño tiende a deformarse, sin embargo, al tratarse de un ángulo de deflexión bajo se descarta una posible ovalización en el extremo del caño.

**REGISTRO 27**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
<b>K-5443</b>	<b>10,00</b>	<b>14</b>	<b>22</b>	<b>1,57</b>
<b>F-3403</b>	<b>9,50</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>1,20</b>
<b>L-5247</b>	<b>9,50</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>0,80</b>
<b>F-3493</b>	9,00	7	7	1,00
<b>L-5021</b>	9,00	10	10	1,00
<b>L-5023</b>	<b>9,50</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>0,80</b>
<b>F-3026</b>	<b>9,50</b>	<b>14</b>	<b>28</b>	<b>2,00</b>

En los componentes **F - 3403**, **L – 5247**, **L – 5023**, **F - 3026**, se realiza el curvado en 9,50 metros del caño, por lo que el extremo del caño tiende a deformarse, sin embargo, al tratarse de un ángulo de deflexión bajo se descarta una posible ovalización en el extremo del caño.

En el componente **K – 5443** se tiene un caso más crítico que los anteriores mencionados en el registro 27, sin embargo, se considera el correspondiente estudio de ovalización en el capítulo IV del particular caso con mayor incidencia en todos los registros

**REGISTRO 28**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	$\alpha_{deflexión}$
<b>F-3026</b>	<b>9,50</b>	<b>14</b>	<b>28</b>	<b>2,00</b>

En el componente **F-3026** se realiza el curvado en 9,50 metros del caño, por lo que el extremo del caño tiende a deformarse, sin embargo, al tratarse de un ángulo de deflexión bajo se descarta una posible ovalización en el extremo del caño.

**REGISTRO 29**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	<b><math>\alpha_{deflexión}</math></b>
<b>B-820</b>	1,50	7	21	3,00
<b>B-730</b>	<b>1,75</b>	<b>8</b>	<b>28</b>	<b>3,50</b>

En el componente **B - 730** se realiza el curvado del caño con un ángulo de deflexión de **3,50°**, siendo mayor al parámetro permitido por el código ASME B31.8, creando incertidumbre en la resistencia del caño.

**REGISTRO 30**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	<b><math>\alpha_{deflexión}</math></b>
<b>B-1086</b>	8,50	5	15	3,00

Inicio de curvado 2.50 m final curvado 11 m y considerando el ángulo de 3° es posible una ovalización, se considera el correspondiente estudio de ovalización en el capítulo IV del particular caso del elemento B-897 del registro 21 siendo el caso con mayor incidencia en todos los registros.

**REGISTRO 31**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	<b><math>\alpha_{deflexión}</math></b>
<b>A-444</b>	<b>3,00</b>	<b>13</b>	<b>23</b>	<b>1,77</b>
G-6439	2,25	10	21	2,10
D-2235	2,50	11	34	3,09

A – 444 caso donde el inicio de curvado 1.20 m final curvado 4.20 m y considerando el ángulo de 1.77° es posible una ovalización, se considera el correspondiente estudio de ovalización en el capítulo IV del particular caso del elemento B-897 del registro 21 siendo el caso con mayor incidencia en todos los registros.

**REGISTRO 32**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	<b><math>\alpha_{deflexión}</math></b>
F-3027	5,50	13	12,5	0,96

**REGISTRO 33**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	<b><math>\alpha_{deflexión}</math></b>
L-4813	3,13	11	18	1,64
D-2231	2,25	10	23	2,30

**L - 4813** caso donde el inicio de curvado 1.30 m final curvado 4.43 m y considerando el ángulo de 1.64° es posible una ovalización, se considera el correspondiente estudio de ovalización en el capítulo IV del particular caso del elemento B-897 del registro 21 siendo el caso con mayor incidencia en todos los registros.

#### **REGISTRO 34**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	<b><math>\alpha_{deflexión}</math></b>
<i>B-850</i>	1,00	3	4	1,33
<i>A-088</i>	7,50	17	45	2,65

#### **REGISTRO 35**

<b>COMPONENTE</b>	<b>LONGITUD DEL CURVADO (m)</b>	<b>N° DE GOLPES</b>	<b>ANGULO DE CURVATURA EN GRADOS</b>	<b><math>\alpha_{deflexión}</math></b>
<i>J-3746</i>	7,00	15	25	1,67

**J - 3746** caso donde el inicio de curvado 3.00 m final curvado 10.00 m y considerando el ángulo de 1.67° es posible una ovalización, se considera el correspondiente estudio de ovalización en el capítulo IV del particular caso del elemento B-897 del registro 21 siendo el caso con mayor incidencia en todos los registros.



### 3.7 MANEJO Y RIESGOS CON EL USO DE LA DOBLADORA

El manejo de una dobladora de caños conlleva varios riesgos potenciales que deben de ser abordados para garantizar la seguridad de los operadores de la máquina, algunos riesgos asociados con la dobladora son:

- Lesiones por aplastamiento y atrapamiento: existe un riesgo que los operarios sufran lesiones por aplastamiento o atrapamiento al colocar, transportar y sujetar el caño en la curvadora.
- Lesiones musculares: la manipulación manual de los caños tiende al riesgo de lesiones, torceduras.
- Daños: la operación incorrecta de la dobladora o manipulación inadecuada de los caños pueden causar daños a la maquinaria, sobre los caños.

Para reducir estos riesgos es necesario implementar medidas de seguridad:

- Proporcionar capacitación adecuada a los operarios sobre el uso seguro de la curvadora de caños antes de realizar el trabajo.
- Utilizar el equipo de protección personal (EPP), guantes, gafas de seguridad, botas de seguridad.
- Mantener el área de curvado ordenado para reducir el riesgo de accidentes.
- Tener un plan de emergencias en caso de presentarse un accidente.
- Mantener un adecuado mantenimiento sobre la maquinaria – curvadora, desde el mantenimiento del pistón hidráulico, bomba de gasolina, con su respectivo cambio de aceite.

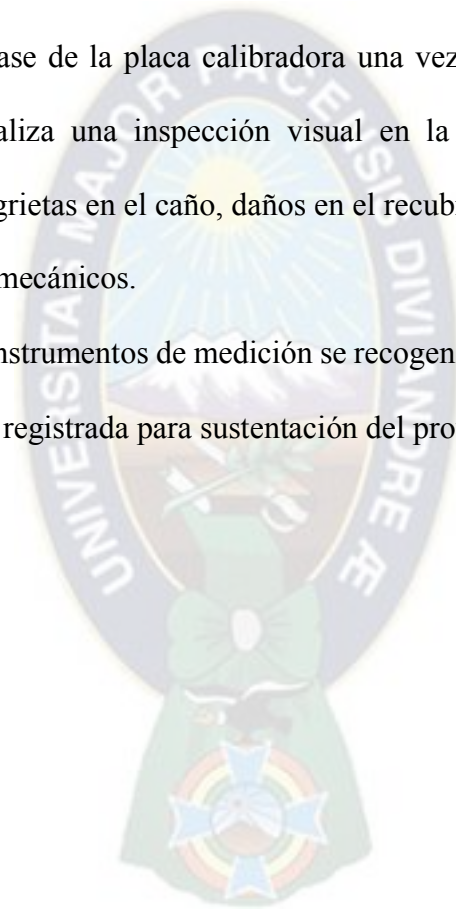
### 3.8 PROCEDIMIENTO ADECUADO PARA EL CURVADO DE CAÑOS EN FRIO

A continuación, mostramos el siguiente esquema para el curvado de caños en frío.

- Según la zanja abierta en la trayectoria trazada, con la ayuda de un instrumento de medida como un teodolito se obtendrá datos para el curvado de caños en frío.
- Se obtiene el ángulo de curvatura que debe de adoptar el caño y se diseña la cantidad de golpes que debe de realizar la curvadora en relación al ángulo de curvatura, teniendo en cuenta los requerimientos mínimos de curvado dado por el código ASME B31.8.
- Se transporta la dobladora de ductos (previamente certificada) hacia el área de trabajo con el cuidado de proteger las mangueras que transportan el líquido hidráulico, para evitar fugas.
- Se transporta el caño cerca a la zanja abierta para un mejor trabajo de curvado, además de cerciorar la curva entorno a la zanja.
- Según API 5L se debe de curvar un caño desde 1.5 metros del extremo del caño, para evitar ovalizaciones que afecten en la soldadura al momento de unir caños.
- Colocar el caño en la dobladora de ductos con la ayuda de una grúa para alinearla; según normativa para caños con costura longitudinal y diámetro mayores o iguales a 12 pulgadas se debe la alinear la costura de fabrica con el eje neutro en la curva, que es a  $120^\circ$  desde el lomo del caño, sin embargo se recomienda emplear esta práctica a todos los caños con costura longitudinal, además que bajo este concepto se define el sentido de montaje del caño: OVER (curva vertical hacia arriba), SAG (curva vertical hacia abajo), RT RIGHT TURN (curva horizontal a la derecha), LT LEFT TURN (curva vertical horizontal a la izquierda), si se sueldan dos caños

curvados se debe de evitar continuar con la costura longitudinal variando  $15^\circ$  de los mismos, existe un combinado (COMB) en un mismo caño o se puede cortar los caños para facilitar el curvado combinado.

- Se utiliza callapos de madera, ganchos facilitando el manejo del caño para conservar la costura longitudinal con el eje neutro en cada golpe realizado por la curvadora.
- Se realiza el pase de la placa calibradora una vez realizada el curvado del caño, también se realiza una inspección visual en la zona curvada para identificar ondulaciones, grietas en el caño, daños en el recubrimiento. Todo curva debe estar libre de daños mecánicos.
- Por medio de instrumentos de medición se recogen datos para calcular el ángulo de curvatura a ser registrada para sustentación del proyecto.



## CAPITULO IV: INTEGRIDAD MECANICA DEL DUCTO

### 4.1 PRUEBA HIDRÁULICA

#### 4.1.1 Preparación para la prueba

Para la prueba hidráulica que se desarrolló en la red primaria del municipio de Mecapaca (Jupapina – Lipari – Huajchilla - Carreras) se ejecutó de manera total en toda la cañería, teniendo una cartilla de registro global de la obra. La progresiva inicial se la tomó desde el segundo tramo y la progresiva final en el tramo final de la cañería, la misma fue bajada y tapada para ser probada, en los tramos donde la cañería está en contacto con el aire (puente Dr. Rodolfo Illanes) se lo cubrió con aluminio para mitigar la diferencia de temperatura con el medio ambiente en el transcurso de la noche con el día. Se debe de soldar los cabezales lanzadores y receptores de chanchos previamente fabricados por el soldador y el cañista de la obra. Antes de la prueba hidrostática la cañería se limpió adecuadamente en el interior con pasajes de espuma adecuándose al material de los chanchos de limpieza de baja densidad, los pasajes se deben de repetir hasta que la inspección considere aceptable el grado de limpieza.

**Figura 29.** Limpieza interior de la cañería



Nota. El cabezal lanzador y receptor es una parte de la misma cañería. Elaboración Propia

### 4.1.2 Cálculo de la presión para la prueba

La prueba de resistencia tiene por objeto verificar la resistencia del material, donde la presión mínima de prueba para la resistencia esta dado por la siguiente tabla, donde la clase de trazado tiene la relación para el cálculo de dicha presión:

**Tabla 32.** *Requerimientos de prueba para líneas de gasoductos de acero*

1	2	3	4	5
Clase de ubicación	Factor de diseño máximo, $F$	Medio de prueba permisible	Prueba de presión prescrita	
			Mínimo	Máximo
1 División 1	0.8	Agua	$1.25 \times MOP$	Ninguna
1 División 2	0.72	Agua	$1.25 \times MOP$	Ninguna
	0.72	Aire o gas [Nota (1)]	$1.25 \times MOP$	$1.25 \times DP$
2	0.6	Agua	$1.25 \times MOP$	Ninguna
	0.6	Aire [Nota (1)]	$1.25 \times MOP$	$1.25 \times DP$
3 [Nota (2)]	0.5	Agua [Nota (3)]	$1.50 \times MOP$	Ninguna
4	0.4	Agua [Nota (3)]	$1.50 \times MOP$	Ninguna

Nota. Donde MOP es la máxima presión de operación. Adaptado de: ASME B31.8, 2018, pag.53

Se tiene que para la clase de trazado 4 se tiene:

$$PMR = 1,5 * MOP \quad (4.1)$$

$$PMR = 1,5 * 330.521 \text{ psi}$$

$$PMR = 495.452 \text{ psi}$$

### 4.1.3 Presión de prueba en fabrica

La presión de prueba en fabrica es determinante en la prueba hidrostática, junto con la altimetría nos da parámetros en un gasoducto para establecer el número de tramos para la prueba hidráulica, según ASME B31.8 se establece que la presión hidráulica para la prueba no debe de exceder el 80 % de la presión de prueba en fabrica.

Para un caño API 5L Grado B de diámetro nominal de 6 pulgadas con un espesor de 0.280 pulgadas la presión de prueba en fabrica es de 123 bares equivalente a 1783.5 psi.

#### 4.1.4 Análisis de la diferencia altimétrica

El análisis de diferencia de altimetría se lo realiza con énfasis en los ductos donde presentan elevaciones de consideración, es de recalcar que en la realización de la prueba hidrostática de resistencia todo trayecto del ducto debe estar a una presión mínima de prueba ya establecida según la clase de trazado, para el proyecto presente se contempla una presión mínima de resistencia de 495.452 psi, como para la prueba hidrostática se utiliza el fluido del agua, existe una presión altimétrica generada por la columna de agua, en tal situación se encuentra una presión más alta en el interior del ducto en el punto más bajo altimétricamente, por este motivo se realiza una comparación de esta presión interna con la presión de prueba en fabrica, esta es una delimitante para establecer el número de tramos para un gasoducto en la prueba hidrostática.

La altura más alta en la trayectoria desde el segundo hasta el final es de 3151 metros, y la altura más baja en la trayectoria es de 2903 metros por tanto se tiene:

$$\Delta h = 3151 \text{ m} - 2903 \text{ m} = 248 \text{ m}$$

Para la presión hidráulica de la columna de agua se tiene:

$$P_{H2O} = \rho_{H2O} * Gravedad_{La Paz} * H_{columna \text{ del agua}} \quad (4.2)$$

$$P_{H2O} = 1000 \frac{kg}{m^3} * 9.775 \frac{m}{s^2} * 248 \text{ m}$$

$$P_{H2O} = 2424200 \text{ Pa} = 351.6 \text{ psi}$$

En consecuencia, se tiene una presión al interior del ducto en el punto más bajo de su trayectoria de:

$$P_{Fondo} = PMR + P_{H2O} \quad (4.3)$$

$$P_{Fondo} = 495.452 \text{ psi} + 351.6 \text{ psi} = 847.052 \text{ psi}$$



Comparando con la presión de prueba en fábrica:

$$P_{\text{Fondo de prueba}} < P_{\text{Prueba en fábrica}} \quad (4.4)$$

$$847.052 \text{ psi} < 1783.5 \text{ psi}$$

Se concluye que se puede realizar una prueba hidrostática desde el segundo tramo hasta el final del ducto, sin temor de falla de tubería por exceso de presión por la columna de agua.

#### **4.1.4 Medio Presurizante**

El fluido utilizado para realizar las pruebas hidrostáticas es el agua, quien se encarga de elevar la presión interna de la cañería. En tramos cortos se puede utilizar aire o gas natural, también en lugares donde el agua es escasa como un desierto, en lo posible como especifica el código ASME B31.8 en lugares donde la clase de trazado es 1.

Se determina la calidad del agua por medio de un análisis que verifique lo siguiente:

- pH 6 a 9
- Cloruros máx. 200 ppm
- Sulfatos máx. 250 ppm.
- Sólidos en suspensión máx. 50 ppm.

El inspector debe determinar si el agua puede ser utilizada, de no satisfacer los requisitos, el inspector determina que tipos y cantidad de inhibidores se puede agregar para su utilización del agua. Si el inspector considera conveniente se puede retirar una nueva muestra de agua para su análisis durante se ejecute la prueba hidrostática, este no fue el caso en el presente proyecto.

El agua utilizada debe ser clasificada como un residuo peligroso o de aplicación a un río/lago avalado la clasificación con su debida documentación legal.



#### 4.1.4.1 Cálculo general de volumen de agua

Se considera un volumen general ya que existe una variación de longitud de tubería en las curvas, en las pendientes del terreno, este volumen general nos permite una idea de cuánta agua se puede requerir para la realización de la prueba hidrostática.

$$V_{general} = \pi * r^2 * Long \quad (4.5)$$

$$V_{general} = \pi * (0.154 \text{ m})^2 * 8420.862 \text{ m}$$

$$V_{general} = 627.405 \text{ m}^3$$

Es de recalcar que se toma en cuenta la longitud desde el segundo tramo hasta el último tramo (8420.862 metros), según dispuesto por la gerencia de redes de gas, ya que se realizó por separado las construcciones del primer tramo con respecto de los tramos siguientes, los cuales fueron construidos en conjunto.

#### 4.1.4.2 Cálculo del volumen teórico de agua para elevar en un bar de presión

Durante la elevación de presión el diámetro del caño y el volumen del mismo, pueden variar de manera elástica, considerando también que el agua es un fluido ligeramente compresible.

La siguiente ecuación considera que el caño se encuentra enterrado de manera que no se produzca una variación considerable de longitud por la variación de presión.

$$V_a = \left( 0.87 * \frac{D_i}{2 * t} + A \right) * \frac{V_{general}}{1000 * 0.980665} \quad (4.6)$$

*Referencia:*

$V_a$ : Volumen teórico de agua para añadir en litros por cada bar que varía la presión

$D_i$ : Diámetro interno del caño en milímetros [mm]

$t$ : espesor de pared del caño [mm]

$V_{general}$ : Volumen del conducto [ $m^3$ ]

$A$ : Valor de compresibilidad del agua 43.66 para 20 °C.

$$V_a = \left( 0.87 * \frac{154.08 \text{ mm}}{2 * 7.11 \text{ mm}} + 43.66 \right) * \frac{627.405 \text{ m}^3}{1000 * 0.980665}$$

$$V_a = 33.964 \frac{\text{litros agua}}{\text{bar}}$$

#### **4.1.4.3 Barrido de agua**

Terminada la prueba hidrostática se efectúa el proceso de barrido de agua a través de pasajes de rascadores impulsados por aire comprimido. El agua es evacuada de manera que no cause ningún tipo de erosión cuando se realiza los pasajes de los rascadores.

#### **4.1.4.4 Limpieza del conducto**

Si el inspector observa la presencia de sedimentos, barro u óxidos durante el barrido del agua se utilizará rascadores de limpieza.

#### **4.1.4.5 Secado**

Después del barrido de agua y limpieza del conducto se procede al secado por interior del ducto. En el secado se puede aplicar las siguientes técnicas:

- Circulación de gas Inerte
- Circulación del aire deshidratado
- Pasaje de tapones gelificados
- Por vacío

#### **4.1.5 Criterio de evaluación de la prueba hidráulica**

La evaluación de la prueba hidrostática se lleva a cabo considerando un sistema cerrado en un período de prueba. Las uniones soldadas que son realizadas para unir secciones de prueba o para conectar la línea con otras líneas ya probadas están exceptuadas de cumplir con las pruebas de resistencia y hermeticidad, estas uniones de soldadura deben ser sometidos a ensayos no destructivos como radiografiado.

Lectura de las presiones y temperaturas en la carta de registro de la prueba hidrostática.

$$T_i = 70 \text{ }^\circ\text{F} = 21.11 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_i = 900 \text{ psi}$$

$$T_f = 66.5 \text{ }^\circ\text{F} = 19.17 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_f = 890 \text{ psi}$$

Las relaciones matemáticas que nos permiten evaluar las pruebas hidrostáticas esta desarrollado de la siguiente manera:

#### 4.1.5.1 Temperatura promedio

$$T = \frac{T_f + T_i}{2} \quad (4.7)$$

$$T = \frac{19.17 \text{ }^\circ\text{C} + 21.11 \text{ }^\circ\text{C}}{2}$$

$$T = 20.139 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### 4.1.5.2 Presión promedio

$$P = \frac{P_f + P_i}{2} \quad (4.8)$$

$$P = \frac{890 \text{ psi} + 900 \text{ psi}}{2}$$

$$P = 895 \text{ Psi}$$

#### 4.1.5.3 Cálculo de expansión del agua

$$B = \frac{-64.268 + (17.0105 * T) - (0.20369 * T^2) + (0.0016048 * T^3)}{10^6} \quad (4.9)$$

*Referencia:*

*B:* Coeficiente de expansión del agua [1/°C]

*T:* Temperatura promedio [°C]

$$B = \frac{-64.268 + (17.0105 * 20.139) - (0.20369 * 20.139^2) + (0.0016048 * 20.139^3)}{10^6}$$

$$B = 2.088 * 10^{-4} [1/^\circ\text{C}]$$

#### 4.1.5.4 Cálculo del factor de compresibilidad del agua

Por la variación de toma de datos en la temperatura se considera interpolar la compresibilidad del agua con respecto a las temperaturas de 0 °C y 40 °C, con las presiones de 800 psi y 1000 psi respectivamente.

	0 °C	20.139 °C	40 °C
800	3.10	$\alpha$	3.09
895	-	$\gamma$	-
1000	3.09	$\delta$	3.03

Se procede a encontrar las incógnitas en la tabla:

Calculando  $\alpha$

$$\frac{\alpha - 3.10}{3.04 - 3.10} = \frac{20.139 - 0}{40 - 0} \rightarrow \alpha = 3.0697915$$

Calculando  $\delta$

$$\frac{\delta - 3.09}{3.03 - 3.09} = \frac{20.139 - 0}{40 - 0} \rightarrow \delta = 3.0597915$$

Calculando  $\gamma$

$$\frac{\gamma - 3.0697915}{3.0597915 - 3.0697915} = \frac{895 - 800}{1000 - 800} \rightarrow \gamma = 3.0650415$$

Por tanto, se tiene:

$$C = 3.0650415 * 10^{-6}$$

Cálculo de la variación de la presión debido al cambio de temperatura:

$$DP = \frac{B - 2 * A}{\frac{OD * (1 - \nu^2)}{E * t} + C} \quad (4.10)$$

Referencia:

$DP$ : Variación de la presión debido al cambio de temperatura [psi/°C]

$B$ : Coeficiente de expansión del agua [1/°C]

$A$ :  $1.116 * 10^{-6}$  Coeficiente de expansión del Acero

$\nu$ : 0.3 Relación de Poisson

$E$ :  $30 * 10^6$  Módulo de elasticidad del Acero

$t$ : El espesor del caño [pulg]

$OD$ : Diámetro externo del ducto [pulg]

$C$ : Factor de compresibilidad del agua

$$DP = \frac{2.088 * 10^{-4} \left[ \frac{1}{\sigma C} \right] - 2 * 1.116 * 10^{-6}}{\frac{6.625 * (1 - 0.3^2)}{30 * 10^6 * 0.280} + 3.0650415 * 10^{-6}}$$

$$DP = 49.2974 \text{ [psi/°C]}$$

#### 4.1.5.5 Cálculo de la variación de presión total de la prueba

$$dP = DP * |T_f - T_i| \quad (4.11)$$

$$dP = 49.2974 \text{ [psi/°C]} * |21.111 - 19.167| \text{ [C]}$$

$$dP = 95.8343 \text{ [psi]}$$

#### 4.1.5.6 Criterio de la desigualdad de la prueba hidráulica

$$\text{Si la } T_i > T_f \rightarrow P_i \geq P_f \geq P_{adm}$$

$$P_{adm} = |P_i - dP| \quad (4.12)$$

$$P_{adm} = |900 \text{ [psi]} - 95.8343 \text{ [psi]}|$$

$$P_{adm} = 804.166 \text{ [psi]}$$

$$900 \text{ [psi]} \geq 890 \text{ [psi]} \geq 804.166 \text{ [psi]}$$

Por tanto, se considera que la prueba fue satisfactoria.

## 4.2 COMPORTAMIENTO DEL CURVADO DEL CAÑO

Se intenta visualizar el comportamiento de la tubería en el proceso de curvado través de un análisis por métodos matemáticos asistidos por computadora, específicamente se toma como referencia los datos del elemento B 897 del registro 21, el cual es el elemento que más deformación presento (mayor ángulo de curvado por golpe, en la construcción de la red primaria), y más cerca de una posible ovalización en un extremo de la cañería, el cual afectaría al momento de realizar la soldadura en la junta correspondiente.

**Tabla 33.** Características del elemento B-897

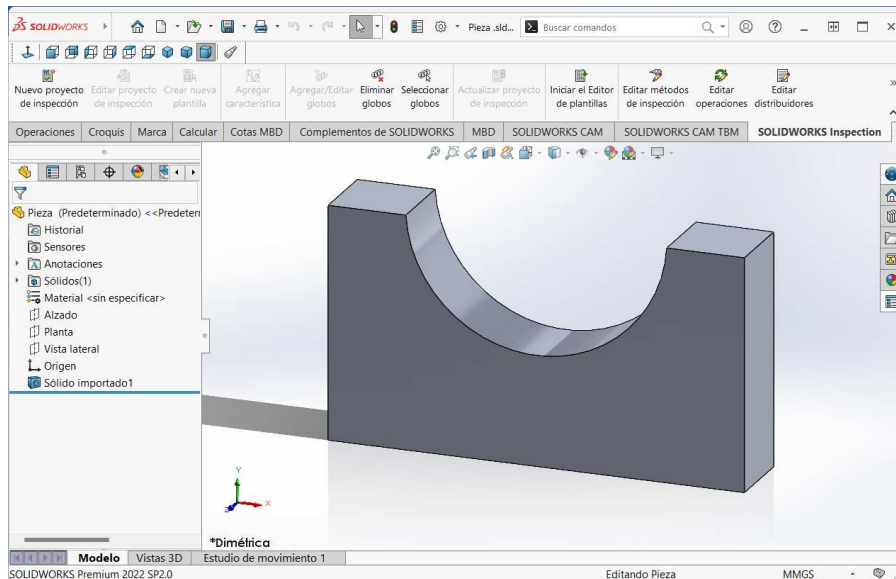
<b>Longitud del Caño m</b>	<b>Inicio de curvado m</b>	<b>Longitud de curvado m</b>	<b>Final de curvado m</b>	<b><math>\alpha_{deflexión}</math></b>
<b>4.60</b>	1.50	2.10	3.60	5.14 °

Adaptado de: Los registros tomados por la empresa CO.ING.ZA

Primero se realiza el modelo geométrico tratando de ser lo más realista posible, es de preferencia realizar las piezas en solidworks por su facilidad de dibujo.

Se dibujo el elemento que nos servirá para imitar el funcionamiento de la dobladora de caños, el cual su funcionamiento consta de dos elementos fijos y uno móvil que se mueve y empuja al caño por la actuación de un pistón hidráulico, la longitud entre los elementos fijos de la dobladora es de dos metros, los elementos tanto fijos y móvil tiene características similares en la vida real y en el modelado, se considera como solidos rígidos no deformables en comparación a las propiedades del caño.

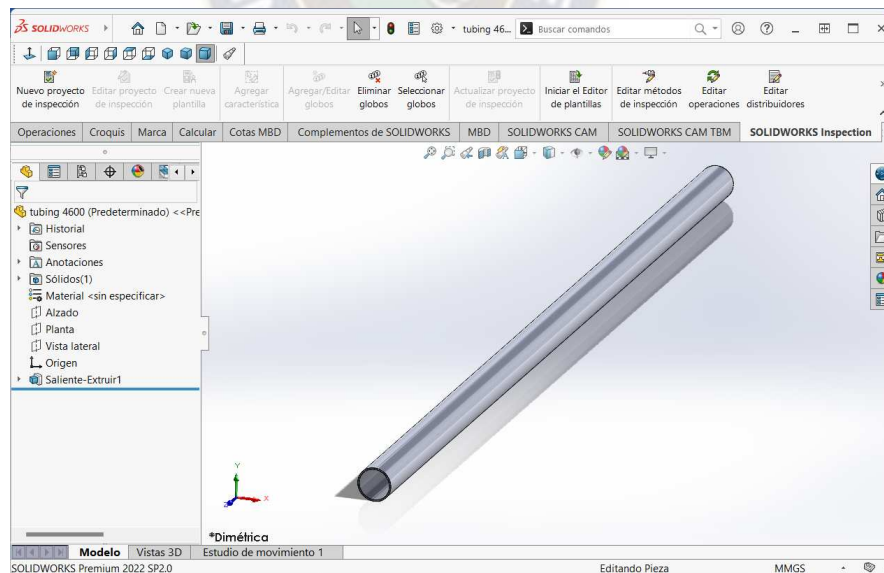
Figura 30. Dibujo elemento rígido no deformable



Nota. Tiene un espesor de 50 mm. Elaboración Propia

Se dibujo el caño cortado de 6 pulgadas con 4.6 metros de longitud:

Figura 31. Dibujo del caño de 6 pulgadas

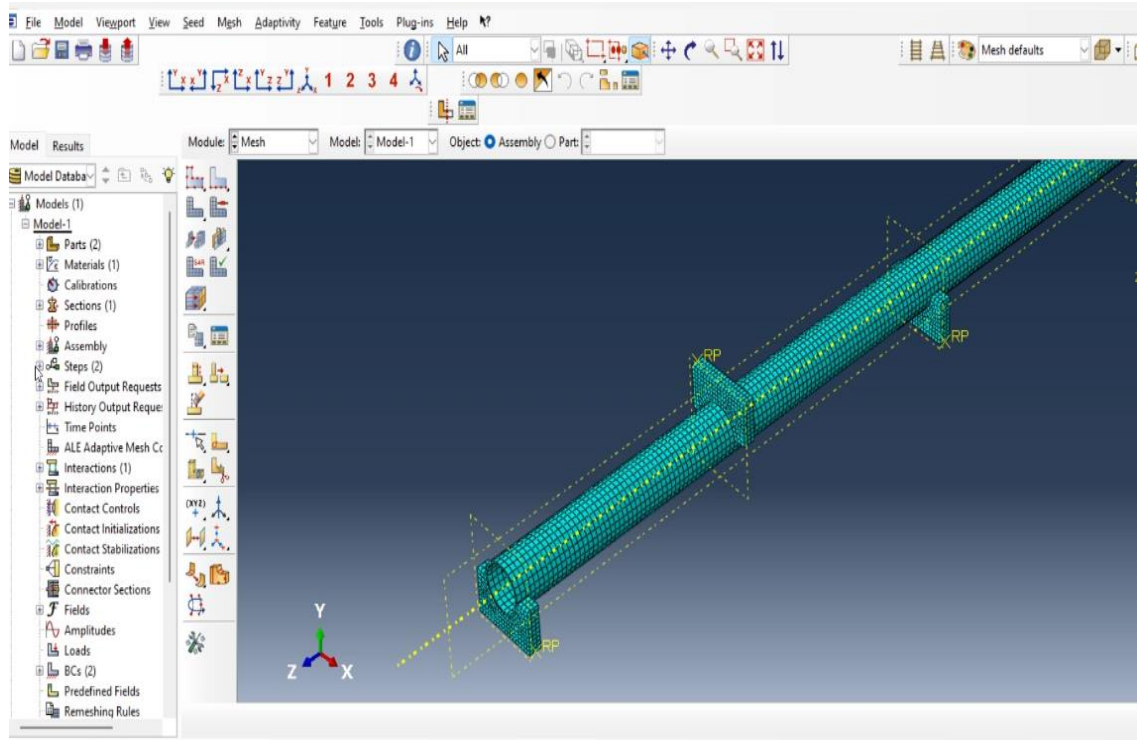


Nota. La longitud es tomada de los datos de la empresa constructora. Elaboración Propia

Utilizando el software Abaqus se puede ensamblar los elementos, además de buscar un mallado ideal que también ayude a la simulación del curvado de caños.



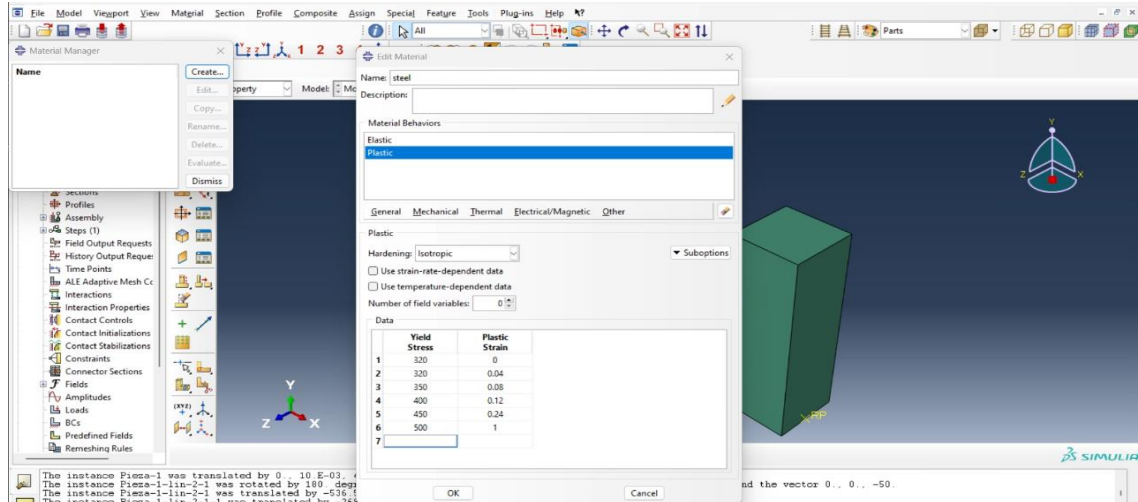
Figura 32. Ensamblado y mallado del caño y los elementos



Nota. Se intenta realizar lo más realista posible el preprocesamiento. Elaboración Propia

Se caracteriza las propiedades mecánicas del caño describiendo el comportamiento de la deformación plástica con respecto al esfuerzo sometido, si bien en el software Abaqus no tiene unidades de medida, se recalca que se utilizó las medidas en milímetros para la longitud y Newton por milímetro cuadrado para el esfuerzo.

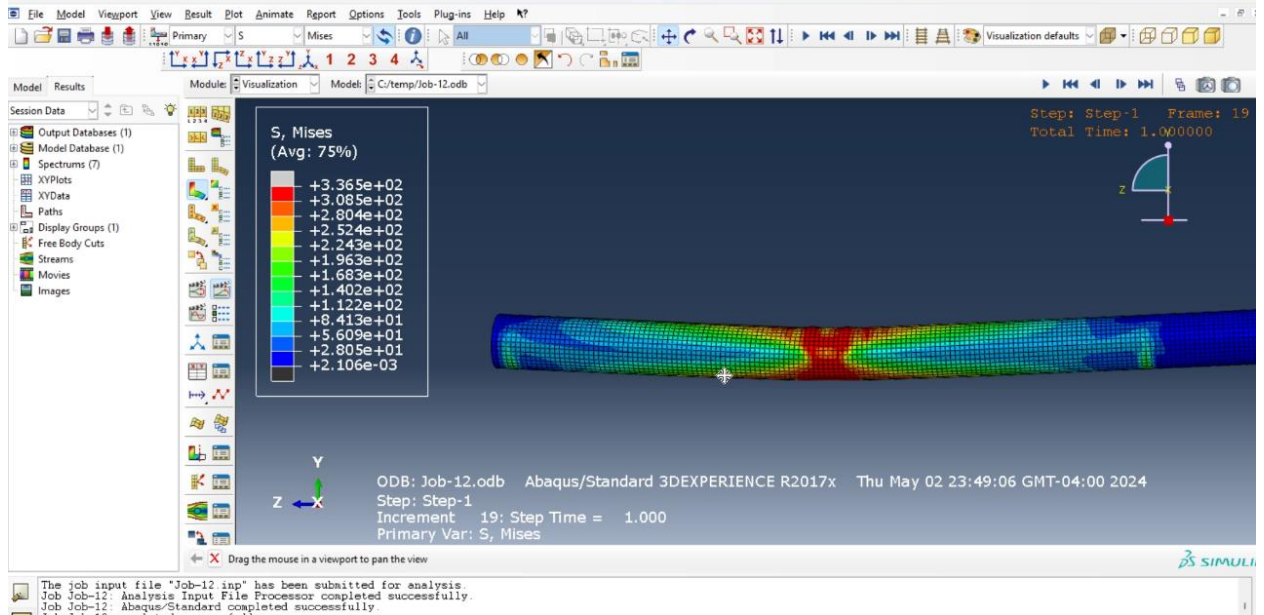
Figura 33. Propiedades mecánicas del material



Nota. Se considera un coeficiente de Poisson de 0.3. Elaboración Propia

Se visualiza la deformación que tiene el caño después del curvado con un ángulo de 5°.

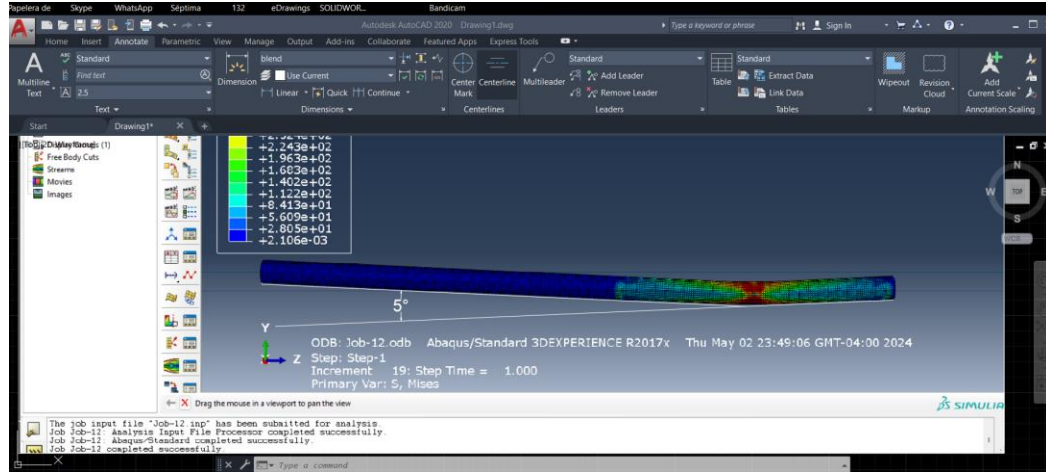
Figura 34. Curvado del caño por la simulación



Nota. Se observa el estrés presente en el caño. Elaboración Propia

Con la ayuda del software AutoCAD se comprueba la deformación con un ángulo de 5°.

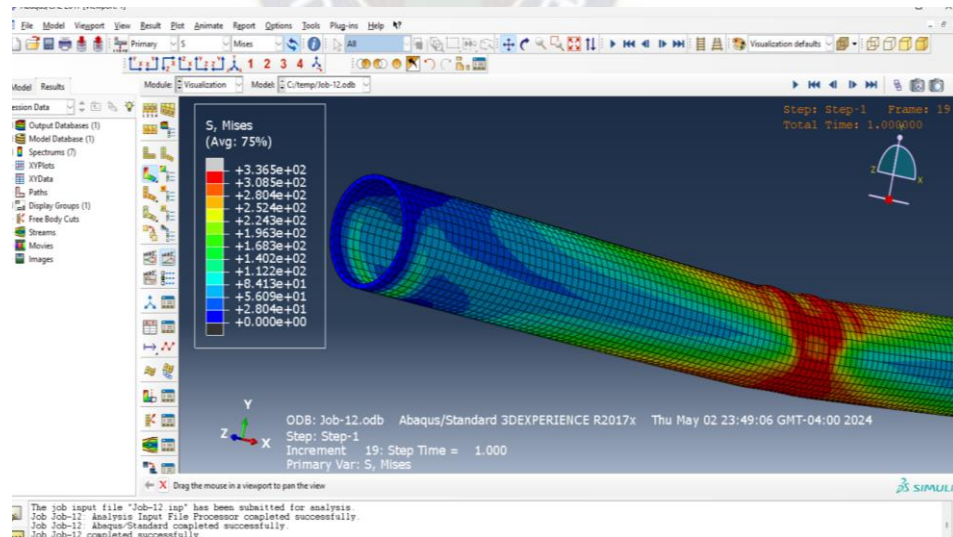
Figura 35. Curvado con un ángulo de  $5^\circ$



Fuente. Elaboración Propia

Si bien solo se realizó la simulación de un solo golpe de la curvadora, la intención fue representar si existe la ovalización que puede presentar el extremo del caño curvado para la unión con otro caño por medio de la soldadura.

Figura 36. Extremo del caño curvado



Nota. Se observa pliegues en la simulación del caño. Elaboración Propia

## CAPITULO V: ANALISIS DE COSTOS

### 5.1 COSTO DE EQUIPOS

El proyecto contemplará el costo de equipos para la ejecución del curvado de caños, también considerará el uso de grúa para el transporte de la curvadora y el colocado del caño en relación a la curvadora, es de recalcar que presupuesto es considerando solo para el curvado de caños en la obra.

**Tabla 34.** *Presupuesto por Ítem por equipo*

<b>PRESUPUESTO POR ITEM DE EQUIPO (En Bolivianos)</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
			<b>Días de uso</b>	<b>(Numeral)</b>	<b>(Numeral)</b>
<b>1</b>	Curvadora de caños debidamente certificada	GLB	35	350	12250
<b>2</b>	Grúa	GLB	35	150	5250
<b>Precio Total (Numeral)</b>					<b>17500</b>
<b>Precio Total (Literal): DIECISIETE MIL QUINIENTOS Bolivianos.</b>					

Fuente: Elaboración Propia

### 5.2 COSTO DE MATERIALES

Se toma un costo general de materiales para la ejecución del curvado de caños, se considerará el trazado topográfico, transporte de la tubería, corte rotura y remoción de pavimento flexible, excavación de zanja terreno semi duro, relleno de zanja con tierra cernida, relleno y compactado de zanja con tierra común, reposición de pavimento flexible, limpieza y retiro de escombros.

Tabla 35. Presupuesto de materiales

<b>PRESUPUESTO POR ÍTEM DE MATERIALES (En Bolivianos)</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (Numeral)</b>	<b>Precio Total (Numeral)</b>
<b>1</b>	Trazado topográfico	M	1344	2.31	3104.64
<b>2</b>	Transporte de la tubería	GLB	1	672	672
<b>3</b>	Corte rotura y remoción de pavimento flexible	M2	420	30.99	13015.8
<b>4</b>	Excavación de zanja terreno semi duro	M3	806.4	45.73	36876.67
<b>5</b>	Relleno de zanja con tierra cernida	M3	201.6	67.24	13555.58
<b>6</b>	Relleno y compactado de zanja con tierra común	M3	604.8	45.01	27222.05
<b>7</b>	Reposición de pavimento flexible	M2	420	285.2	119784
<b>8</b>	Limpieza y retiro de escombros	GLB	1	2500	2500
<b>Precio Total (Numeral)</b>					<b>216730.74</b>
<b>Precio Total (Literal): Doscientos dieciséis mil setecientos treinta 74/100 Bolivianos.</b>					

Fuente: Elaboración Propia



### 5.3 COSTO DEL PERSONAL

El personal necesario para la ejecución del curvado de caños:

**Tabla 36.** *Personal para el curvado de caños*

<b>PRESUPUESTO POR PERSONAL (En Bolivianos)</b>					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Precio Total
			Días	Unitario	(Numeral)
				(Numeral)	
<b>1</b>	Operador de la curvadora	1	35	250	8750
<b>2</b>	Ayudantes	2	35	150	10500
<b>3</b>	Inspector de calidad	1	35	200	7000
<b>4</b>	Personal de Seguridad	1	35	200	7000
<b>Precio Total (Numeral)</b>					<b>33250</b>
<b>Precio Total (Literal): Treinta y tres mil doscientos cincuenta Bolivianos.</b>					

Fuente: Elaboración Propia

### 5.4 COSTO DE LA PRUEBA HIDRAULICA

Todos los materiales, herramientas, equipo, personal necesario para la ejecución del curvado de caños según especifica en el documento base de contratación deben de ser suministrados en su totalidad por la empresa constructora – contratista, según las especificaciones técnicas del proyecto, el contratista debe contar mínimamente con lo siguiente:

Tabla 37. Presupuesto general de la prueba hidráulica

<b>PRESUPUESTO GENERAL PARA PRUEBA HIDRAULICA</b>					
<b>(En Bolivianos)</b>					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
			Días	(Numeral)	(Numeral)
<b>1</b>	Personal certificado en pruebas hidráulicas	2	10	250	5000
<b>2</b>	Ayudantes	8	10	150	12000
<b>3</b>	Inspector de calidad	1	10	200	2000
<b>4</b>	Personal de Seguridad	1	10	200	2000
<b>5</b>	Registrador de Presión y Temperatura	1	-	20000	20000
<b>6</b>	Alquiler Compresor 80 HP	1	5	700	2500
<b>7</b>	Alquiler Bomba Hidráulica 4 HP	1	5	700	2500
<b>8</b>	Alquiler Generador de energía eléctrica 60 KW	1	10	800	8000
<b>9</b>	Esponjas – pigs de limpieza	30	-	50	1500
<b>10</b>	Termómetro de suelo	1	-	4000	4000
<b>11</b>	Placa calibradora	1	-	350	350
<b>12</b>	cisterena	2	6	400	4800
<b>Precio Total (Numeral)</b>					<b>66650</b>
<b>Precio Total (Literal): SESENTA Y SEIS MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Bolivianos.</b>					

Fuente: Elaboración Propia



El uso de la tasa interna de retorno TIR y el valor actual neto VAN son usados como herramienta de rentabilidad y viabilidad de una inversión en un proyecto, si bien se maneja un flujo de caja en la construcción de la obra, esto es de manera global, en la realización del presente proyecto se considera el sector del curvado de caños en frío, no realizando una inversión económica para la evaluación y análisis de curvatura en los caños ya doblados, además considerando que es un proyecto de educación no se puede capturar adecuadamente el valor social del proyecto.



## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

A través de este trabajo, se ha buscado brindar más consideraciones, cuidados cuando se desarrolla el proceso curvado de caños en frío, bajo las condiciones presentes en el código ASME B31.8, que es mencionada por la agencia nacional de hidrocarburos en la construcción de red primaria de gas.

- Conforme a las características de la construcción de la red primaria de gas natural se calculó el máximo ángulo de curvado de un caño en frío bajo los parámetros establecidos por el código ASME B31.8.
- Por consiguiente, se determinó el radio de curvatura mínimo permitido para un caño con diámetro nominal de 6 pulgadas, comparándolo con el máximo ángulo de curvado de un caño en frío del mismo diámetro se tiene una variación menor a 1 grado, siendo ambos parámetros aceptables por el código ASME B31.8.
- Se realizó la evaluación de cada caño curvado en la obra, para identificar los casos críticos que no cumplen con el máximo ángulo de deflexión según el código ASME B31.8, sin embargo el criterio de aceptación de esos casos críticos en la construcción de la red primaria se admite bajo la realización de una prueba de resistencia mecánica de todo el conducto, en el cual no solamente se considera el caño expuesto a esfuerzos de deformación por el curvado, sino también se considera la presencia de todas las tensiones existentes que será sometido el caño en su funcionamiento, se considera la diferencia de presión altimétrica en la realización de esta prueba, según los resultados de dicha prueba se da por válida la resistencia mecánica del ducto para ser operado a condiciones de diseño.

- En última instancia se realizó un análisis del comportamiento del caño curvado, bajo la evaluación del mismo, se evidencio la posibilidad de la existencia de ovalización, deformación de los extremos del caño, siendo perjudicial para la soldadura, en vista de lo anterior, para el análisis se procedió a simular el comportamiento de deformación en el caño curvado, considerando que no será de manera idéntica a la situación real, pero nos puede afirmar que en el caso más crítico “B 897” del registro 21, con un ángulo de deformación de cinco grados a un metro del extremo del caño, no se evidencia una ovalización del extremo del caño, siendo óptima para la realización de la soldadura, otro parámetro de aceptación fue la realización de radiografiado para cada junta de soldadura donde se podría evidenciar una mala fusión de los materiales, una raíz no aceptable, presencia de grietas, pero para la realización de este proyecto la empresa constructora no proporcionó las pruebas radiográficas.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Es importante que los empleadores y los trabajadores estén conscientes de los riesgos asociados con el uso de una dobladora de caños de gas y tomen las medidas necesarias para garantizar un entorno de trabajo seguro.

Se debe de realizar cada procedimiento de la obra bajo normativas mencionas por la agencia nacional de hidrocarburos para la construcción de redes primarias de gas. Debe de estar presente un encargado de seguridad mínimamente en cada frente de trabajo, todo el personal debe contar con su epp respectivo, según exige la gerencia de redes de gas y ductos el personal de seguridad debe brindar una charla de capacitación en cada jornada de trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANH. (s.f.). Preparación para la soldadura. En A. N. Hidrocarburos, *ANEXO 2*.
- API 5L. (2018). low-frequency electric welded pipe. En A. P. Institute, *Api specification 5L Line Pipe*. Washington DC: API publishing services.
- ASME B31.8. (2018).
- Bodycote. (12 de Enero de 2023). *Soldadura en horno*. Recuperado el 08 de Marzo de 2023, de <https://www.bodycote.com/>
- Cordero, D. T. (200). *PROY-DRLA-023-202*.
- Emanuel, G. S. (2016). *giegroup*. Obtenido de <http://capacitacion.giegroup.net/course/72/about>
- ENARGAS. (2006). *NORMAS ARGENTINAS MINIMAS DE SEGURIDAD PARA EL TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE GAS NATURAL Y OTROS GASES POR CAÑERIAS N.A.G.-100*.
- ENARGAS. (2019). *NAG - 124 Pruebas de resistencia y hermeticidad de gasoductos*.
- Instituto Nacional de Estadística. (2012). *Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de <https://www.ine.gob.bo/>
- KUKA. (15 de octubre de 2022). *Las tecnologías láser*. Recuperado el 06 de marzo de 2023, de Soldadura láser: <https://www.kuka.com>
- OCTAL. (22 de Julio de 2018). *Diferencias Entre Tuberia LSAW y Tuberia SSAW*. Recuperado el 06 de marzo de 2023, de Tubería Octal: <https://www.octalacero.com/>
- OCTAL. (21 de Julio de 2018). *Diferencias entre tuberías de acero ERW y HFW*. Recuperado el 06 de Marzo de 2023, de Tubería Octal: <https://www.octalacero.com/tuberias-de-acero-erw-y-hfw>

Permanent Steel Manufacturing Co.,Ltd. (06 de Marzo de 2020). *Cañería con costura soldada por resistencia eléctrica*. Recuperado el 03 de Marzo de 2023, de permanentsteel: <https://www.permanentsteel.com>

Perpetual Steel Manufacturing Co.Ltd. (25 de Enero de 2019). *Proceso de fabricación de tubos de acero sin costura*. Recuperado el 05 de marzo de 2023, de <https://www.permanentsteel.com/es/newsshow/seamless-steel-pipe-manufacturing-process.html>

Perpetual Steel Manufacturing Co.Ltd. (25 de Enero de 2019). *Proceso de fabricación de tubos de acero sin costura*. Obtenido de Perpetual Steel Manufacturing: <https://www.permanentsteel.com/>

Sunny Steel Enterprise Ltd. (junio de 2022). *Cañería SAWH*. Recuperado el 06 de marzo de 2023, de sunnysteel: <https://www.sunnysteel.com/>

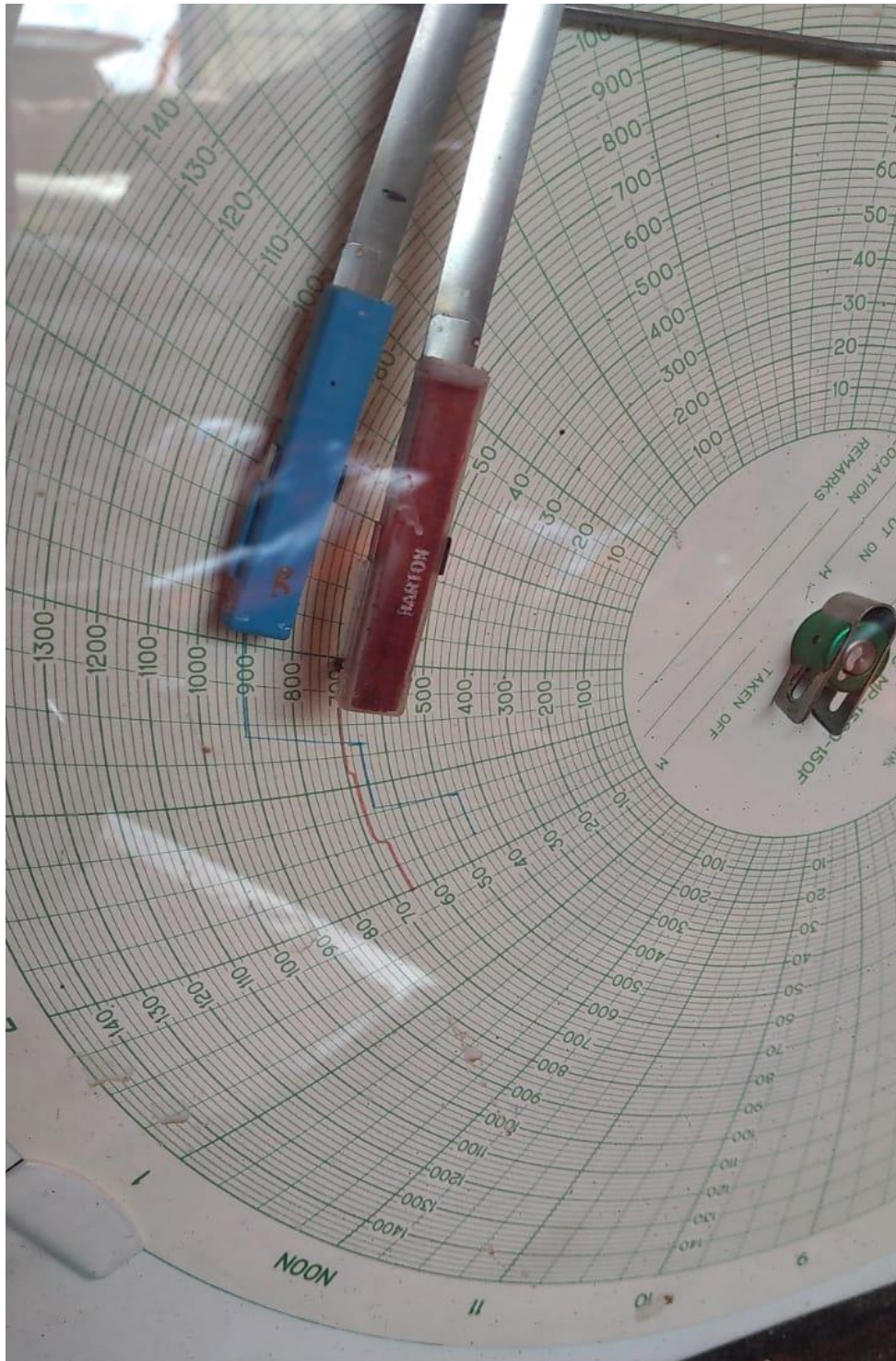
UNITED STEEL INDUSTRY CO., LTD. (26 de marzo de 2018). *Tubería de acero EFW (soldadura eléctrica por fusión)*. Recuperado el 06 de marzo de 2023, de DMH UNITED STEEL INDUSTRY: [www.united-steel.com](http://www.united-steel.com)

VIETZ . (s.f). *VIETZ INTERNATIONAL*. Obtenido de Machines Bender: <https://vietz.de/bending-machines/>

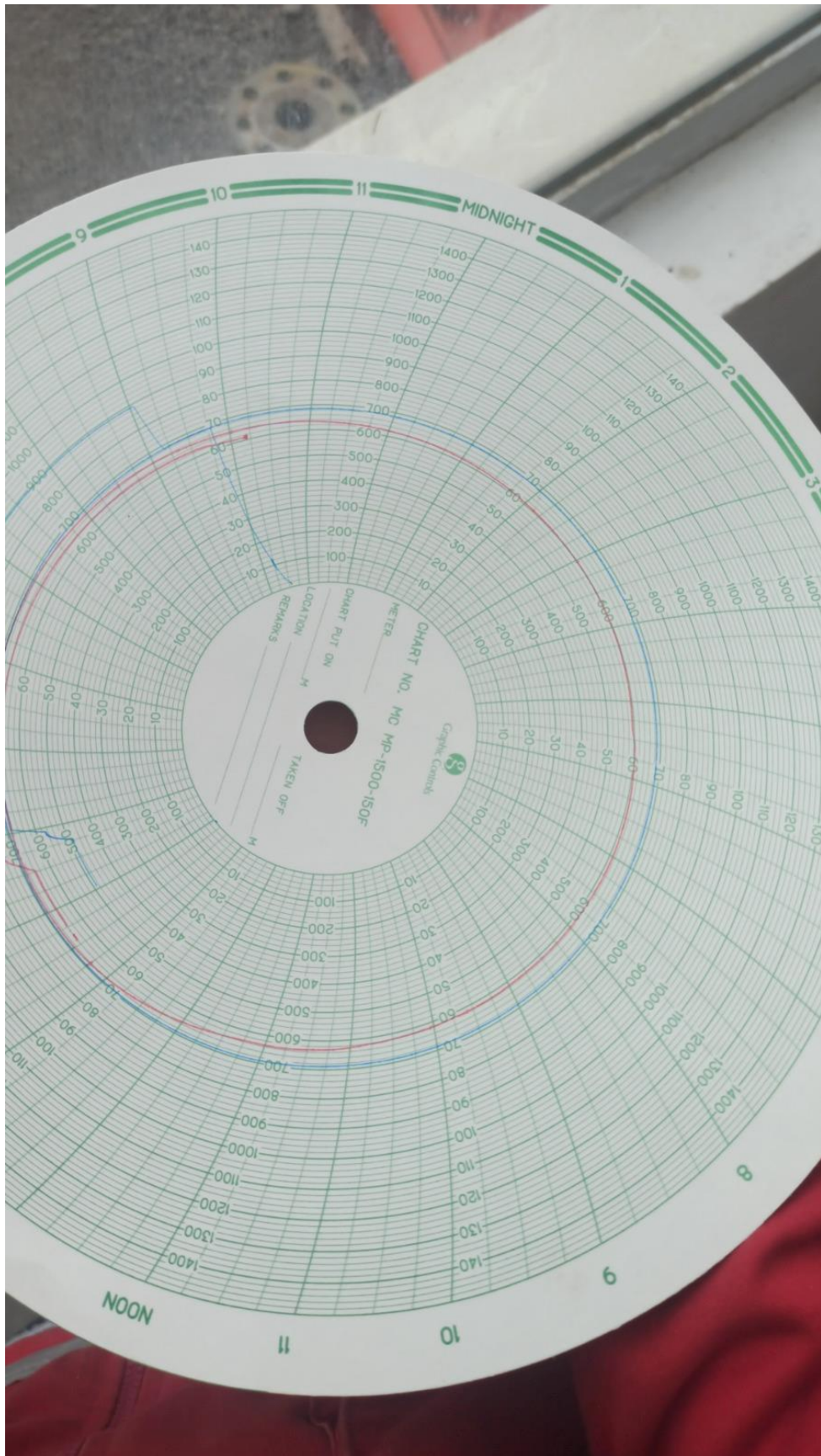
YPFB. (2015). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OBRAS CIVILES Y MECÁNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE REDES PRIMARIAS*. Cochabamba.

# ANEXOS

## Anexo A cartilla de la prueba hidrostática









**Anexo B Relato fotográfico del trabajo de curvado de caños en frío**







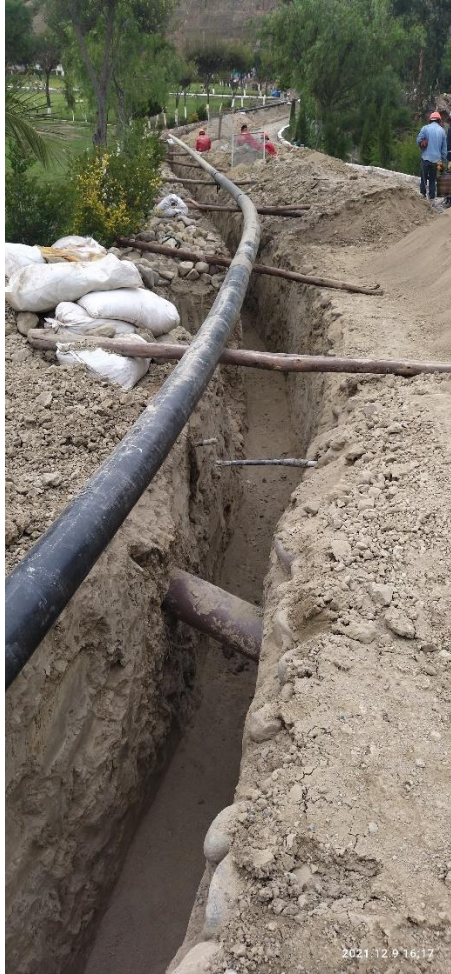
















**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR  
Y DERECHOS CONEXOS**  
**RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-2225/2024**  
**La Paz, 15 de julio de 2024**

**VISTOS:**

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **08 de julio de 2024**, por **MARCELO GROBER LAURA NINA** con **C.I. N° 9192647 LP**, con número de trámite **DA 1276/2024**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL CURVADO DE CAÑOS EN FRÍO DE ACUERDO AL CÓDIGO ASME B31.8 APLICADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA RED PRIMARIA DE GAS NATURAL DEL MUNICIPIO DE MECAPACA PROVINCIA MURILLO DEPARTAMENTO DE LA PAZ"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

**CONSIDERANDO:**

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*



Que, el artículo 4, inciso e) de la ley N° 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

**POR TANTO:**

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

**RESUELVE:**

**INSCRIBIR** en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: "**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL CURVADO DE CAÑOS EN FRÍO DE ACUERDO AL CÓDIGO ASME B31.8 APLICADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA RED PRIMARIA DE GAS NATURAL DEL MUNICIPIO DE MECAPACA PROVINCIA MURILLO DEPARTAMENTO DE LA PAZ**" a favor del autor y titular: **MARCELO GROBER LAURA NINA** con **C.I. N° 9192647 LP** bajo el seudónimo **MARCELO**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

CASA/lm

Firmado Digitalmente por:  
Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI  
**CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO**  
**DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS**  
LA PAZ - BOLIVIA



Firma:



mG0or2Ru2Pr41E

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA PETROLERA

NOMBRE: MARCELO GROBER LAURA NINA

CELULAR: 74072114

C.I.: 9192647 LP

CORREO ELECTRONICO: [inggrober@hotmail.com](mailto:inggrober@hotmail.com)