

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA PETROLERA



PROYECTO DE GRADO

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA
DERIVACIÓN DEL GASODUCTO AL ALTIPLANO (GAA) A LA LOCALIDAD DE
CALA CALA**

POSTULANTE: UNIV. ROMMEL SACARI POMA

TUTOR: M.SC. ING. PEDRO REYNALDO MARIN DOMINGUEZ

LA PAZ – BOLIVIA

2022



**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

*Este trabajo es dedicado de manera especial con todo mi corazón a mi querida madre **Natividad** por ser la autora principal de todas las metas logradas en mi vida y quien siempre está en compañía mía en tiempos de dicha y derrota, por darme su apoyo incondicional y ser una extraordinaria y luchadora persona, por saber guiar mi camino con honestidad y disciplina en el día a día. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda madre mía, te amo.*

A mi hermano que desde el cielo siempre me protegerá, a mi padre y hermanas que conforman mi familia...

...con mucho amor.

Rommel

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a DIOS por ser la luz incondicional que ha guiado mi camino, darme salud, sabiduría y permitirme tener una educación.

A mis padres Andrés Sacari y Natividad Poma que, a través de su amor, apoyo, paciencia, buenos valores, ayudaron a trazar mi camino.

Así mismo deseo expresar mi agradecimiento a la prestigiosa Universidad Mayor de San Andrés, a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Petrolera a quienes les debo mi Educación Académica.

A mi tutor de proyecto M.SC. Ing. Pedro Reynaldo Marín Domínguez quien con su experiencia, sabiduría y motivación me oriento en la investigación.

A mis amigos y compañeros con quienes pasamos mucho tiempo juntos en buenos y malos momentos.

Dios mediante les guie por buen camino.

A Todos Muchas Gracias.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1 - DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA A SEGUIR.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.4. OBJETIVOS Y ACCIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	5
1.5.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	5
1.5.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	5
1.5.2.1. Análisis de Mercado	5
1.5.2.2. Análisis FODA	12
1.5.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL	13
1.6. ALCANCE	13
1.6.1. ALCANCE TEMÁTICO.....	13
1.6.2. ALCANCE GEOGRÁFICO	13
1.6.3. ALCANCE TEMPORAL.....	14
1.6.4. ALCANCE TÉCNICO	14
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	15
2.1. GENERALIDADES DEL GAS NATURAL	15
2.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL GAS NATURAL.....	15
2.1.2. CADENA PRODUCTIVA DEL GAS NATURAL	16
2.1.2.1. Cadena Del Sector Hidrocarburifera	16

2.1.2.2. Redes Conceptuales de Gas Natural.....	18
2.2. TRANSPORTE DEL GAS NATURAL	20
2.2.1. GASODUCTO AL ALTIPLANO (GAA)	22
2.3. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL POR REDES	22
2.3.1. MARCO NORMATIVO	22
2.3.1.1. Constitución Política del Estado.....	23
2.3.1.2. Ley de Hidrocarburos N°3058.....	23
2.3.1.3. Decreto Supremo N°1996.....	23
2.3.2. EMPRESA DISTRIBUIDORA DE GAS NATURAL	24
2.3.3. PLAN DE EXPANSIÓN.....	25
2.3.4. PUNTO DE ENTREGA (TRANSFERENCIA DE CUSTODIA)	25
2.3.5. ESTACIÓN PRINCIPAL (CITY GATE).....	26
2.3.5.1. Válvula de entrada al City Gate	26
2.3.5.2. Etapa de Filtración.....	26
2.3.5.3. Etapa de Medición	27
2.3.5.4. Etapa de Regulación	27
2.3.5.5. Etapa de Odorización	27
2.3.6. RED DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA	28
2.3.6.1. Tubería de Acero.....	28
2.3.6.2. Puente de Regulación y Medición (PRM)	29
2.3.6.3. Instalaciones Industriales.....	29
2.3.7. ESTACIÓN DISTRITAL DE REGULACIÓN (EDR).....	29
2.3.8. RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA.....	30
2.3.8.1. Línea de Transición	30
2.3.8.2. Tubería de Polietileno.....	31
2.3.8.3. Instalaciones Comerciales	31

2.3.8.4. Instalaciones Domesticas	31
2.3.8.5. Acometida	31
2.4. PROTECCIÓN CATÓDICA	32
2.4.1. DEFINICIONES.....	32
2.4.2. PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA.....	32
2.4.2.1. Ánodos Galvánicos.....	32
2.4.2.2. Corriente Impresa.....	33
2.5. PRUEBAS HIDRÁULICAS.....	35
CAPÍTULO 3 - CRITERIOS PARA EL DISEÑO Y CÁLCULO DE TUBERÍAS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL	37
3.1. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE DISTRIBUCION DEL GAS NATURAL.....	37
3.1.1. NORMAS DE REFERENCIA PARA EL DISEÑO	37
3.1.2. RÉGIMEN DE PRESIÓN PARA LAS TUBERÍAS EN REDES DE DISTRIBUCION .	38
3.1.3. CATEGORÍAS DE LOS USUARIOS	39
3.1.4. CALCULO DE LA DEMANDA DEL GAS NATURAL	39
3.1.4.1. Numero de Usuario y/o Hogares.....	39
3.1.4.2. Cálculo de la Proyección Poblacional	39
3.1.4.3. Cálculo del Consumo Total.....	39
3.1.5. UBICACIÓN DEL CITY GATE Y EL EDR.....	41
3.1.6. SELECCIÓN DEL CITY GATE.....	42
3.1.6.1. Funciones de los Componentes:.....	42
3.1.6.2. Características Técnicas.....	42
3.1.6.3. Capacidad del City Gate.....	42
3.1.7. SELECCIÓN DE LA ESTACIÓN DISTRITAL DE REGULACIÓN (EDR)	43
3.1.7.1. Consideraciones para la Selección del EDR.....	43
3.1.7.2. Capacidad de las EDR	44

3.1.7.3. Parámetros a Considerar en la Implementación	44
3.1.7.4. Línea de Transición	45
3.1.8. CLASE DE TRAZADO	45
3.1.9. CONSIDERACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS.....	46
3.1.9.1. Respecto a la Velocidad del Gas.....	46
3.1.9.2. Respecto a la Red Primaria	46
3.1.9.3. Respecto a la Red Secundaria	47
3.2. CALCULO DE TUBERIAS DE RED PRIMARIA.....	48
3.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL GAS NATURAL.....	48
3.2.2. ECUACIÓN DE WEYMOUTH	48
3.2.3. VELOCIDAD DE FLUJO	50
3.2.4. VELOCIDAD EROSIONAL.....	51
3.2.5. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES	52
3.2.5.1. Cálculo de Espesor de Tuberías de Acero.....	52
3.2.5.2. Condiciones de Diseño	52
3.2.5.3. Tensión de Fluencia	53
3.2.5.4. Factor de Diseño	54
3.2.5.5. Factor de Junta Longitudinal.....	55
3.2.5.6. Factor de Variación por Temperatura	56
3.2.5.7. Espesor por Corrosión.....	56
3.2.5.8. Recomendaciones Mínimas de Espesor de Pared.....	57
3.3. CALCULO DE TUBERIAS DE RED SECUNDARIA.....	57
3.3.1. PRESIÓN DE DISEÑO	57
3.3.2. ECUACIÓN DE RENOARD CUADRÁTICA	58
3.3.3. VELOCIDAD DEL GAS.....	59
3.4. DESCRIPCIÓN DE APLICACIONES.....	60

3.4.1. PIPESIM	60
3.4.2. CYPECAD.....	60
CAPÍTULO 4 - APLICACIÓN PRÁCTICA Y PLAN DE CONTINGENCIAS DE POSIBLES RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN	61
4.1. APLICACIÓN PRÁCTICA.....	61
4.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR.....	61
4.1.1.1. Ubicación del Lugar	61
4.1.1.2. Antecedentes.....	62
4.1.2. DISEÑO DEL PLANO DE CALA CALA	63
4.1.3. CÁLCULO PARA LA PROYECCIÓN POBLACIONAL.....	65
4.1.4. CÁLCULO DE LA DEMANDA DE GAS NATURAL	67
4.1.4.1. Consumo Domestico	67
4.1.4.2. Consumo Comercial	69
4.1.4.3. Consumo Total	69
4.1.4.4. Compensación de Caudales.....	70
4.1.5. SELECCIÓN DE LA ESTACIÓN DISTRITAL DE REGULACIÓN (EDR)	70
4.1.5.1. Características Técnicas del EDR	71
4.1.6. SELECCIÓN DEL CITY GATE.....	72
4.1.6.1. Alternativa 1.....	72
4.1.6.2. Alternativa 2.....	74
4.1.6.3. Características Técnicas del City Gate	76
4.1.6.4. Suministro de Gas	76
4.1.7. DISEÑO DE LA RED PRIMARIA	77
4.1.7.1. Características del Gas Natural	77
4.1.7.2. Clase de Localidad	77
4.1.7.3. Trazo	77

4.1.7.4. Perfil Longitudinal	77
4.1.7.5. Base de Calculo	79
4.1.7.6. Dimensionamiento de la Tubería	80
4.1.7.7. Suministro	85
4.1.7.8. Selección del Material de la Tubería	85
4.1.7.9. Modelamiento mediante PIPESIM	88
4.1.7.10. Comparación de Resultados.....	94
4.1.8. DISEÑO DE LA RED SECUNDARIA	95
4.1.8.1. Base de Calculo	95
4.1.8.2. Metodología de Calculo	96
4.1.8.3. Resolución de Sistema Ramificado	97
4.1.8.4. Calculo para la Simulación	98
4.1.8.5. Trazado de la Red Secundaria	99
4.1.8.6. Resultados de la Simulación.....	99
4.1.8.7. Material para la Construcción del Sistema de Red Secundaria.....	100
4.2. ANÁLISIS PARA PRUEBAS HIDRÁULICAS	101
4.2.1. PRUEBA HIDROSTÁTICA DE TUBERÍA DE RED PRIMARIA	101
4.2.1.1. Soldadura de Cabezales.....	102
4.2.1.2. Limpieza de Tuberías	102
4.2.1.3. Paso de Placa Calibradora	102
4.2.1.4. Provisión y Llenado de Agua	102
4.2.1.5. Prueba Hidrostática	103
4.2.1.6. Vaciado y Disposición Final del Agua	105
4.2.1.7. Secado de Tubería	105
4.2.2. PRUEBA DE RESISTENCIA Y HERMETICIDAD EN TUBERÍA DE RED SECUNDARIA	105

4.2.2.1. Venteo	105
4.2.2.2. Longitud de los Tramos	105
4.2.2.3. Procedimiento de la Prueba.....	106
4.3. PLAN DE CONTINGENCIAS A POSIBLES RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN	107
4.3.1. PLAN DE CONTINGENCIAS EN LA INSTALACIÓN DEL CITY GATE Y EDR	107
4.3.2. PLAN DE CONTINGENCIAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE RED PRIMARIA	108
4.3.2.1. Preservación Del Medio Ambiente.....	108
4.3.2.2. Consideraciones en Replanteo	108
4.3.2.3. Gestión de Residuos Sólidos	109
4.3.2.4. Control de Calidad de Aire.....	110
4.3.2.5. Gestión de agua en Pruebas Hidráulicas.....	111
4.3.2.6. Abandono y Restauración del Área	111
4.3.3. PLAN DE CONTINGENCIAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE RED SECUNDARIA ..	111
4.3.3.1. Consideraciones en Replanteo	111
4.3.3.2. Gestión de Residuos Sólidos	112
4.3.3.3. Control de Calidad de Aire	112
4.3.3.4. Abandono y Restauración.....	112
4.3.3.5. Restos de tubería de Polietileno	112
4.3.3.6. Viruta Plástica.....	112
4.3.3.7. Bolsas Plásticas	113
CAPÍTULO 5 - EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	114
5.1. COSTO DE LA CONSTRUCCIÓN.....	114
5.1.1. COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL CITY GATE ..	114
5.1.2. COSTO DE LA RED PRIMARIA	114
5.1.2.1. Alternativa 1.....	115
5.1.2.2. Alternativa 2.....	117

5.1.2.3. Costo Total de la Red Primaria	120
5.1.3. COSTO DE LA ESTACIÓN DISTRITAL DE REGULACIÓN (EDR).....	121
5.1.4. COSTO DE LA RED SECUNDARIA	121
5.1.4.1. Costo de los Materiales	121
5.1.4.2. Costo de Obras Civiles y Mecánicas	122
5.1.4.3. Costo Total de la Red Secundaria	123
5.2. COSTO TOTAL DEL PROYECTO PARA CADA ALTERNATIVA	123
5.3. TARIFAS DEL GAS NATURAL	124
5.4. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DEL GAS NATURAL A 25 AÑOS.....	125
5.5. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.....	126
5.5.1. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD PARA LA ALTERNATIVA 1	128
5.5.2. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD PARA LA ALTERNATIVA 2	129
5.5.3. CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	130
CAPÍTULO 6 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	131
6.1. CONCLUSIONES.....	131
6.1.1. VENTAJAS	132
6.1.2. DESVENTAJAS	132
6.2. RECOMENDACIONES.....	133
BIBLIOGRAFÍA	134
GLOSARIO DE TÉRMINOS	137
ANEXOS.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 <i>Pregunta 1. ¿Cuál es su género?</i>	9
Figura 1.2 <i>Pregunta 2. ¿Le gustaría tener una instalación de gas natural a domicilio en lugar de usar garrafas?</i>	9
Figura 1.3 <i>Pregunta 3. Las instalaciones de gas son financiadas por el Estado hasta los 22 metros, si desea otros aparatos que funcionen a gas como ser calefones, estufas, parrilleros y hornos. ¿Está dispuesto a pagar un costo extra?</i>	10
Figura 1.4 <i>Pregunta 4. ¿Cuánto dinero paga por una garrafa?</i>	10
Figura 1.5 <i>Pregunta 5. ¿Cuántas garrafas usa al mes?</i>	11
Figura 1.6 <i>Pregunta 6. ¿Tiene algún local comercial o industrial (horno, restaurante, fabrica, etc.) y desearía que funcione con gas natural?</i>	11
Figura 1.7 <i>Muestra en resumen la matriz FODA aplicada al proyecto desarrollado.</i>	12
Figura 2.1 <i>Esquema de la cadena hidrocarburifera.</i>	18
Figura 2.2 <i>Esquema de distribución del gas natural desde la planta de producción hasta los puntos de consumo industrial, comercial y doméstico.</i>	20
Figura 2.3 <i>Mapa general de Gasoductos.</i>	21
Figura 2.4 <i>Descripción del Gasoducto al Altiplano (GAA).</i>	22
Figura 2.5 <i>Ejemplo de la instalación de un City Gate.</i>	28
Figura 2.6 <i>Ejemplo de instalación de un Puente de Regulación y Medición (PRM).</i>	29
Figura 2.7 <i>Ejemplo de instalación de una Estación Distrital de Regulación (EDR).</i>	30
Figura 2.8 <i>Esquema de una Protección Catódica Galvánica</i>	33
Figura 2.9 <i>Esquema de una Protección Catódica mediante Corriente Impresa.</i>	34
Figura 4.1 <i>Ubicación de la localidad de Cala Cala.</i>	61
Figura 4.2 <i>Población de Cala Cala.</i>	62
Figura 4.3 <i>Vista satelital de la localidad de Cala Cala.</i>	63
Figura 4.4 <i>Diseño final del plano de la localidad de Cala Cala.</i>	64

Figura 4.5 <i>Vista satelital de la ubicación donde implementar el City Gate de Cala Cala y su Red Primaria.</i>	73
Figura 4.6 <i>Coordenadas en donde se instalará el City Gate Cala Cala.</i>	73
Figura 4.7 <i>Coordenadas del City Gate de Konani.</i>	74
Figura 4.8 <i>Vista satelital donde está ubicado el City Gate Konani.</i>	75
Figura 4.9 <i>Perfil longitudinal del City Gate Cala Cala al EDR.</i>	78
Figura 4.10 <i>Perfil longitudinal del City Gate Konani al EDR.</i>	78
Figura 4.11 <i>Comportamiento del GN en función a la presión y temperatura.</i>	89
Figura 4.12 <i>Trazado de la red primaria a partir del City Gate Cala Cala.</i>	90
Figura 4.13 <i>Trazado de la red primaria a partir del City Gate Konani.</i>	90
Figura 4.14 <i>Comportamiento de la presión respecto a la distancia.</i>	91
Figura 4.15 <i>Comportamiento de la velocidad del gas respecto a la distancia.</i>	92
Figura 4.16 <i>Perfil longitudinal mediante la simulación con Pipesim (Alternativa 1).</i>	92
Figura 4.17 <i>Comportamiento de la presión respecto a la distancia.</i>	93
Figura 4.18 <i>Comportamiento de la velocidad del gas respecto a la distancia.</i>	93
Figura 4.19 <i>Perfil longitudinal mediante la simulación con Pipesim (Alternativa 2).</i>	94
Figura 4.20 <i>Detección y localización de perdidas.</i>	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 <i>Datos para el cálculo de la muestra.</i>	7
Tabla 2.1 <i>Composición del gas natural boliviano.</i>	16
Tabla 2.2 <i>Empresas encargadas en la distribución de Gas Natural.</i>	25
Tabla 3.1 <i>Referencias normativas al diseño de redes de distribución.</i>	37
Tabla 3.2 <i>Porcentajes mínimos de Cobertura y Simultaneidad de los aparatos a Gas Natural.</i>	41
Tabla 3.3 <i>Algunas características de las capacidades de diseño del City Gate.</i>	43
Tabla 3.4 <i>Lista de algunas capacidades de la Estación Distrital de Regulación (EDR)</i>	44
Tabla 3.5 <i>Descripción de los diferentes Clases de Trazado.</i>	45
Tabla 3.6 <i>Características del Gas Natural con su porcentaje molar.</i>	48
Tabla 3.7 <i>Especificaciones de la Tabla 1 de ASME B36.10M.</i>	53
Tabla 3.8 <i>Listado de tensiones de fluencia de "API 5L PSL 1 Pipe Mechanical Properties"</i>	54
Tabla 3.9 <i>Valores del Factor de Diseño (F) de acuerdo a la Clase de Trazado.</i>	55
Tabla 3.10 <i>Valores del Factor de Junta Longitudinal (E).</i>	55
Tabla 3.11 <i>Valores del Factor de Variación por Temperatura (T).</i>	56
Tabla 3.12 <i>Espesores nominales mínimos recomendados de pared (plg).</i>	57
Tabla 4.1 <i>Datos del Censo 2012 de la localidad de Cala Cala.</i>	65
Tabla 4.2 <i>Proyección completa de habitantes y hogares hasta el 2047 de la localidad de Cala Cala.</i>	66
Tabla 4.3 <i>Potencia del equipo.</i>	67
Tabla 4.4 <i>Resumen de los equipos a emplear.</i>	68
Tabla 4.5 <i>Resumen del caudal doméstico y número de abonados.</i>	69
Tabla 4.6 <i>Caudal total proyectado al 2047.</i>	70
Tabla 4.7 <i>Especificaciones de la Estación Distrital de Regulación (EDR) a implementar.</i>	71
Tabla 4.8 <i>Coordenadas en donde se instalará el EDR de Cala Cala.</i>	71
Tabla 4.9 <i>Características del City Gate Cala Cala a implementar.</i>	74

Tabla 4.10 <i>Características del City Gate Konani implementado.</i>	75
Tabla 4.11 <i>Resumen de longitud y elevación para las alternativas a implementar.</i>	79
Tabla 4.12 <i>Caudal que se requiere para el EDR.</i>	79
Tabla 4.13 <i>Parámetros para el cálculo del diámetro de tubería.</i>	79
Tabla 4.14 <i>Resumen de cálculos de presión adoptando diferentes diámetros Alternativa 1.</i>	82
Tabla 4.15 <i>Resumen de cálculos de presión adoptando diferentes diámetros Alternativa 2.</i>	84
Tabla 4.16 <i>Valores de tensión de fluencia (S) seleccionados.</i>	86
Tabla 4.17 <i>Parámetros a ingresar al simulador.</i>	88
Tabla 4.18 <i>Resultados de la Alternativa 1.</i>	94
Tabla 4.19 <i>Resultados de la Alternativa 2.</i>	95
Tabla 4.20 <i>Datos a ingresar a CypeCAD.</i>	96
Tabla 4.21 <i>Parámetros de selección necesarios en CypeCAD.</i>	98
Tabla 4.22 <i>Puntos y tramos críticos.</i>	99
Tabla 4.23 <i>Longitud de tuberías de red secundaria.</i>	100
Tabla 4.24 <i>Relación diámetro/espesor de las tuberías elegidas.</i>	101
Tabla 5.1 <i>Descripción del costo de la implementación y puesta en marcha del City Gate Cala Cala.</i>	114
Tabla 5.2 <i>Costo de los materiales para la Red Primaria (Alternativa 1).</i>	115
Tabla 5.3 <i>Costo de las obras civiles en la Red Primaria (Alternativa 1).</i>	115
Tabla 5.4 <i>Costo de las obras mecánicas en la Red Primaria (Alternativa 1).</i>	116
Tabla 5.5 <i>Costo de los materiales para la Red Primaria (Alternativa 2).</i>	118
Tabla 5.6 <i>Costo de las obras civiles en la Red Primaria (Alternativa 2).</i>	118
Tabla 5.7 <i>Costo de las obras mecánicas en la Red Primaria (Alternativa 2).</i>	119
Tabla 5.8 <i>Comparación del Costo Total de la Red Primaria.</i>	120
Tabla 5.9 <i>Costo de la Estación Distrital de Regulación (EDR).</i>	121
Tabla 5.10 <i>Costo de los materiales de la Red Secundaria.</i>	121

Tabla 5.11 <i>Costo de Obras Civiles y Mecánicas de la Red Secundaria.</i>	122
Tabla 5.12 <i>Costo Total de la Red Secundaria a implementar.</i>	123
Tabla 5.13 <i>Costo Total del Proyecto.</i>	123
Tabla 5.14 <i>Precios aplicados - Categoría Domestica.</i>	124
Tabla 5.15 <i>Precios aplicados - Categoría Comercial.</i>	124
Tabla 5.16 <i>Resumen de las tarifas de Gas Natural.</i>	125
Tabla 5.17 <i>Ingreso anual de la demanda del gas natural de la localidad de Cala Cala.</i>	125
Tabla 5.18 <i>Interpretaciones del VAN.</i>	127
Tabla 5.19 <i>Interpretaciones de la TIR.</i>	127
Tabla 5.20 <i>Estado general financiero de la Alternativa 1.</i>	128
Tabla 5.21 <i>Estado general financiero de la Alternativa 2.</i>	129

SIMBOLOGÍA

TÉRMINOS Y UNIDADES:

AGA: Asociación Americana del Gas.

ANSI: American National Standards Institute.

API: American Petroleum Institute.

ASME: American Society of Mechanical Engineers.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

DDV: Declaratoria del Derecho de Vía.

GAA: Gasoducto al Altiplano.

GN: Gas Natural.

GLP: Gas Licuado de Petróleo.

GNV: Gas Natural Vehicular

Gr: Grados de Tubería.

MPCS: Millar de Pies Cúbicos Standard

PIPESIM: Simulador de procesos de Schlumberger.

YPFB-GNRGD: Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos - Gerencia Nacional de Redes de Gas y Ductos.

EDR: Estación Distrital de Regulación.

ANH: Agencia Nacional de Hidrocarburos.

DN: Diámetro Nominal.

GIS: Sistema de Información Geográfica.

Bs.: Peso boliviano.

Adm.: Factor Adimensional.

°C: Grados Centígrados.

Cp.: Centipoises.

°F: Grados Fahrenheit.

Ft: Pies.

Hr.: Horas.

Kg.: Kilogramos.

Km.: Kilómetros.

Lb.: Libras.

Lb-mol: Libras-mol.

m: Metros.

mm: Milímetros.

Mpa: Miles de Pascales.

Psi: Libra por Pulgada Cuadrada.

Psia: Libras sobre Pulgadas cuadrada Absolutas.

Psig: Libras sobre Pulgadas cuadrada Manométricas.

°R: Grados Ranking.

seg.: Segundos.

TN: Toneladas.

PE: Polietileno.

TIR: Tasa Interna de Retorno.

VAN: Valor Actual Neto.

Q: Caudal de Flujo de Gas.

M3: Metro cubico.

RESUMEN EJECUTIVO

Este documento se enfoca en determinar la importancia de un análisis técnico económico que conlleva al realizar una construcción de una red de distribución de Gas Natural a través de una derivación de la red de transporte hacia una localidad.

En el Capítulo I se expresan los antecedentes, donde se hace la definición metodológica de investigación. Seguidamente se procede a identificar y formular el problema actual del lugar y el pronóstico de la viabilidad del proyecto, todo esto basado en un estudio de análisis de mercado que nos dio lineamientos básicos para este proyecto. Posteriormente se plantean los objetivos de investigación, donde el objetivo general se enfoca a dar respuesta al problema.

En el Capítulo II se da a conocer conceptos teóricos importantes para el buen entendimiento de la presente investigación. En esta sección se expone información relevante para iniciar con el desarrollo de la propuesta que se ostenta en el presente proyecto con un énfasis al diseño de redes de distribución de Gas Natural.

En el Capítulo III se menciona conceptos de métodos de cálculo para realizar una derivación y posterior construcción de una red de distribución haciendo énfasis en la metodología de selección de equipos mediante cálculos matemático y su posterior simulación.

En el Capítulo IV se validan los objetivos planteados en base a los métodos de cálculos mencionados en el Capítulo anterior y se pone criterio para una buena selección y buen uso del simulador, además se menciona algunos procedimientos importantes de control ambiental en las construcciones de redes de gas.

En el Capítulo V se realiza una evaluación económica para conocer la viabilidad del proyecto, este capítulo es muy importante porque además de obtener el costo beneficio se debe analizar los resultados, acá se desarrolla todo proceso de respuesta al problema de investigación.

En el Capítulo VI se hace referencia a las conclusiones y recomendaciones donde se analizan los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1 - DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA A SEGUIR

1.1. INTRODUCCIÓN

El gas natural es considerado la fuente de energía del presente y futuro ya que es el recurso energético más limpio y abundante. Es esta la razón por el cual el gas natural se convierte en un servicio público que puede ser utilizado como combustible para el usuario doméstico, comercial o automóviles.

También como materia prima para diversos procesos industriales y petroquímicos para la producción de polímeros, metanol, fertilizantes, reducción de hierro, etc.

La producción y comercialización de esta fuente de energía es una de las actividades económicas más importantes del país y una importante fuente de ingresos sociales. Es así que esta fuente de energía es parte fundamental del desarrollo económico de Bolivia y por supuesto la base de la vida moderna.

La empresa boliviana de servicio público YPFB Transportes S.A. es la que se dedica al transporte de hidrocarburos por ductos desde los diferentes campos productores del país hasta llegar a los centros de consumo del mercado nacional y para la exportación.

Los ductos son un medio práctico y económico de entrega a los centros de distribución y almacenamiento, si esta se operara eficientemente no haría daño al medio ambiente y constituiría en gran medida la descongestión del transporte terrestre para garantizar satisfactoriamente la demanda al costo mínimo el abastecimiento del gas natural.

En los últimos años las empresas de distribución como la Gerencia de Redes de Gas y Ductos de YPFB y EMTAGAS han instalado redes de gas a varias poblaciones de los diferentes departamentos del país ya sea para uso doméstico, comercial e industrial.

Dentro de esas poblaciones nos encontramos con el Municipio de Sica Sica que cuenta con varias comunidades aledañas en la cual citamos a la localidad de CALA CALA como parte central de nuestro proyecto.

La finalidad del presente proyecto es dar a conocer la metodología a seguir para la construcción de un sistema de distribución del gas natural a dicha población, realizando una derivación a partir del Gasoducto al Altiplano.

Este capítulo se basa para solucionar problemas y dar el cumplimiento de los objetivos y alcance del proyecto.

1.2. ANTECEDENTES

En la actualidad Bolivia se encuentra en una época de exploración del gas natural ya sea para el consumo interno o de exportación. Es así que surge el abastecimiento de este recurso energético a cada rincón del país. En los últimos años se ha instalado varias conexiones de gas domiciliario de YPFB mejorando la calidad de vida de los bolivianos, el sector urbano o domestico aprovecha este recurso para la cocina, calefacción y agua caliente ya que con esta las familias no precisan comprar garrafas o botellones de GLP, gracias a que el hidrocarburo llega por cañerías

La población de Cala Cala en la actualidad no cuenta con este recurso energético, ni redes de gas natural, es una población que se abastece de GLP y leña como combustible para la cocción de alimentos o comercio. Las poblaciones o localidades vecinas al sector como ser Konani, Panduro, Vilaque ya cuentan con gas natural porque el Gasoducto al Altiplano pasa alrededor de ellas paralela a la carretera principal que va de La Paz a Oruro, por tal motivo muchas poblaciones que se encuentran cercanas al Gasoducto ya cuentan con este recurso energético. Por otro lado, quedan poblaciones que no poseen la matriz del gas natural ya sea porque están un poco alejadas del Gasoducto o están esperando la ejecución de obras para la construcción de redes de gas de estas mismas para el futuro como es el caso de la localidad de Cala Cala.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El problema surge de la necesidad de mejorar las condiciones de vida a los habitantes de

la localidad de Cala Cala que están sujetas a abastecerse de garrafas o botellones de GLP ya sea a un precio regulado establecido por la entidad reguladora o a un precio mayor y hacer el uso de la leña para la cocción de sus alimentos y otras necesidades por lo cual carece en eficiencia teniendo en cuenta lo necesario que es el gas natural para el cliente y los problemas que podrían suscitarse a sus futuros negocios.

1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Desde la nacionalización de los hidrocarburos, el acceso al gas domiciliario se democratizó e incrementó porque la instalación pasó de ser privada a ser gratuita. Es así que las garrafas de GLP se deberían de usar menos por su alto costo y su difícil transporte a poblaciones alejadas como es el caso de la Localidad de Cala Cala. El gobierno central en la actualidad está invirtiendo en la construcción de redes de gas para la distribución del gas natural y que esta llegue a muchas familias bolivianas.

1.4. OBJETIVOS Y ACCIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente trabajo es mostrar el procedimiento de cálculo y mínimas consideraciones requeridas para realizar el diseño del sistema de distribución del gas natural para abastecer la demanda de los sectores doméstico y comercial de la localidad de Cala Cala.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACCIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Plantear la mejor alternativa factible para realizar la ingeniería del proyecto desde un sistema de transporte a una red de distribución del gas natural. 	<ul style="list-style-type: none"> • Localizar el lugar de derivación adecuado entre el Gasoducto al Altiplano (GAA) y la localidad de Cala Cala. • Determinar la capacidad del City Gate (Puerta de ciudad) a implementar para la regulación de presión.

	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un mapa de la población. • Diseñar el trazo de líneas de distribución de gas natural hacia la población. • Determinar la capacidad del EDR (Estación Distrital de Regulación) a implementar.
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionar el sistema de distribución de gas natural en base a criterios técnicos de ingeniería (Red Primaria). 	<ul style="list-style-type: none"> • Simular el diseño con el software PIPESIM para calcular la capacidad, la velocidad y la caída de presión. • Determinar el diámetro de tubería a implementar.
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionar el sistema de distribución de gas natural en base a criterios técnicos de ingeniería (Red Secundaria). 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar la ubicación del EDR (Estación Distrital de Regulación), trazar las tuberías con sus respectivos diámetros y calcular la longitud en el software AutoCAD. • Usar el software CypeCAD para realizar el diseño y calcular las caídas de presión y la capacidad del volumen requerido.
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar que el diseño presentado sea el adecuado para satisfacer las necesidades de demanda de gas natural de los consumidores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un cálculo mediante la cantidad de población que posee y su tasa de crecimiento de la localidad de Cala Cala.
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un análisis económico del proyecto para su inversión; los costos de 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar los costos de los materiales y mano de obra a implementar.

<p>los equipos y mano de obra que permitirán la derivación y la construcción del sistema de distribución del gas natural.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Proponer alternativas para que el proyecto sea satisfactorio y de beneficio a la población.
---	---

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.5.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

El planteamiento del proyecto se realizará mediante un trabajo de ingeniería debido a la complejidad que se tiene para un correcto dimensionamiento de equipos y conexiones, con el fin de optimizar el proceso de trabajo considerando las propiedades del gas natural se hará el uso de los programas Pipesim, AutoCAD, CypeCAD y Excel que simularán la optimización del proceso de la red de distribución del gas natural.

1.5.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

La metodología que se va a realizarse en el proyecto será mediante un análisis de mercado. A fin de satisfacer los requerimientos que involucran al proyecto considerando un sumario de conocimientos, técnicas y herramientas a las actividades.

1.5.2.1. Análisis de Mercado

Para el presente trabajo se realizó un análisis de mercado, que fue hecha en la localidad de Cala Cala, se utilizaron los distintos elementos, así como variables cualitativas y cuantitativas. Se realizaron encuestas, que se pueden encontrar en el documento. Estas fueron respondidas por los habitantes del lugar. Después con los resultados obtenidos se propuso seguir con el proyecto.

1.5.2.1.1. Investigación del Mercado

En la actualidad en esta localidad no existe ningún sistema de distribución por redes de gas natural. Si la localidad de Cala Cala contara con una red de gas, los habitantes del lugar harían del uso de este combustible como una mayor prioridad para la cocción de alimentos, implementación de nuevos locales comerciales, el abastecimiento de gas natural en escuelas,

centro de salud, construcciones futuras de GNV e Industrias. El propósito de la investigación de mercado es ayudar en la toma de decisiones para lanzar este nuevo servicio.

1.5.2.1.2. Objetivos del Análisis de Mercado

En función a las necesidades formulamos los siguientes:

- Definir el comportamiento del mercado determinando las necesidades existentes, los hábitos de consumo, precios y preferencias de los consumidores en este caso para los habitantes del lugar con respecto al consumo de gas.
- Identificar los servicios adicionales que brinda la instalación de redes de gas enfocándose a la satisfacción del cliente.

1.5.2.1.3. Análisis de la Demanda de Mercado

Previo a la investigación de mercado una vez consideradas las variables antes mencionadas, estimamos la población objetivo de la investigación del proyecto en función a los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) que fue realizado en el año 2012 a través de (Gobierno Autónomo Municipal de Sica Sica, 2020) la localidad de Cala Cala tiene una población de 2087 habitantes y 459 viviendas.

1.5.2.1.4. Determinación del Tamaño de la Muestra

Para determinar el tamaño de la muestra se consideró el tipo de población o universo finito por ser menor a 100000 habitantes.

- **Cálculo de la muestra.**

Para el cálculo del tamaño de la muestra utilizaremos la siguiente fórmula que es una ecuación que relaciona dos términos. Nuestra incógnita es el número de elementos a encuestar y el término para despejar la incógnita está compuesta por los factores que condicionan el tamaño de la muestra. Entre estos factores destacamos el nivel de confianza, la probabilidad de error, una medida de dispersión de los datos, el costo de la unidad de muestreo y el tamaño de la población. El cálculo de la muestra fundamentada en la probabilidad de aceptación o rechazo para poblaciones finitas se obtiene de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{z^2 * N * p * q}{e^2 * (N - 1) + (z^2 * p * q)}$$

Ec.1.1

En donde:

n = Tamaño de la muestra.

N = Tamaño de población o universo.

z = Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza.

e = Error de estimación máximo aceptado.

p = Probabilidad de que ocurra el evento estadístico (éxito).

q = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado (fracaso).

Para el presente estudio se utilizaron los siguientes datos:

Tabla 1.1

Datos para el cálculo de la muestra.

Variable	Datos
n = Tamaño de la muestra.	?
N = Población (número de viviendas).	459
z = Nivel de confianza (90%=1.645) de acuerdo a la tabla de Índices estadísticos de confiabilidad.	90% 1.645
p = Proporción estimada de éxito o los que si están dispuestos a optar por el servicio.	50%
q = Proporción estimada de rechazo o los que no están dispuestos a optar por el servicio.	50%
e = Error de estimación.	5%

Nota. Fuente: Elaborado en base a datos propios y la tabla de estadística de confiabilidad.

Remplazando los datos se tiene que:

$$\mathbf{n} = \frac{z^2 * N * p * q}{e^2 * (N - 1) + (z^2 * p * q)}$$

$$\mathbf{n} = \frac{1.645^2 * 459 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (459 - 1) + (1.645^2 * 0.5 * 0.5)}$$

$$\mathbf{n} = \frac{310.52}{1.145 + 0.68} = \frac{310.52}{1.82} = 170.47$$

$$\mathbf{n} = 170$$

En total de encuestas a aplicar para levantar la información necesaria son 170, estas fueron realizadas en la localidad de Cala.

- **Técnica y Plan de recolección.**

La técnica que uso para la recolección de datos fue hacer preguntas que el encuestado responde, para este diseño se utilizaron varios tipos de preguntas.

El plan de recolección indica los lugares específicos como el centro de la población, los días visitados con frecuencia por un considerable grupo de personas en los fines de semana.

- **Tabulación y análisis de datos.**

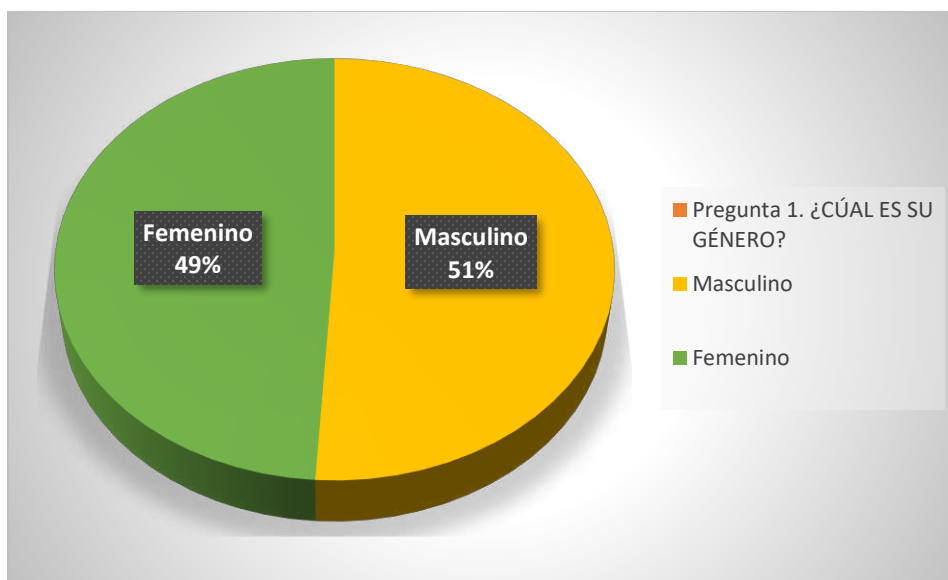
Finalizada la fase de recolección de datos de la muestra establecida, comienza la etapa de análisis de datos que en nuestro caso vamos a representar con gráficos, para el mejor entendimiento y expresión las variables están en porcentajes.

1.5.2.1.5. Conclusión del Análisis de Mercado

Se hizo una encuesta a la población que vive en la localidad de Cala Cala entre hombres y mujeres, se tuvo una reunión o encuentro con el líder de la localidad viendo así que es de mucha importancia llevar gas hacia esa localidad por redes, para abastecer las necesidades de cada familia las cuales están dispuestas a hacer todo lo necesario para tener esta fuente de energía. Viendo las condiciones de servicio en la que se encuentra la gente allá podemos concluir en seguir con el diseño del proyecto para determinar el beneficio social que podría traer en el futuro hacia esta población.

Figura 1.1

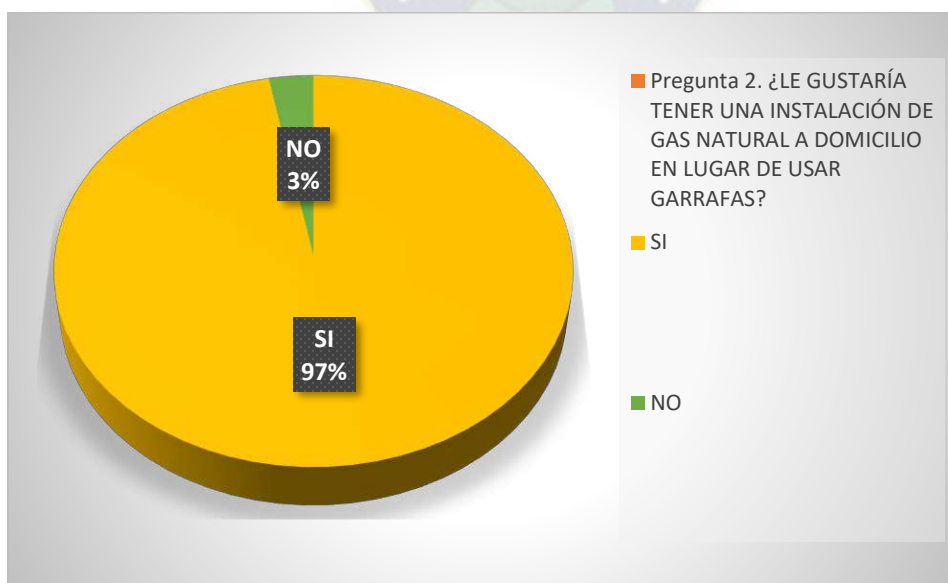
Pregunta 1. ¿Cuál es su género?



Nota. Elaborado con base en datos propios de encuesta realizada en la localidad.

Figura 1.2

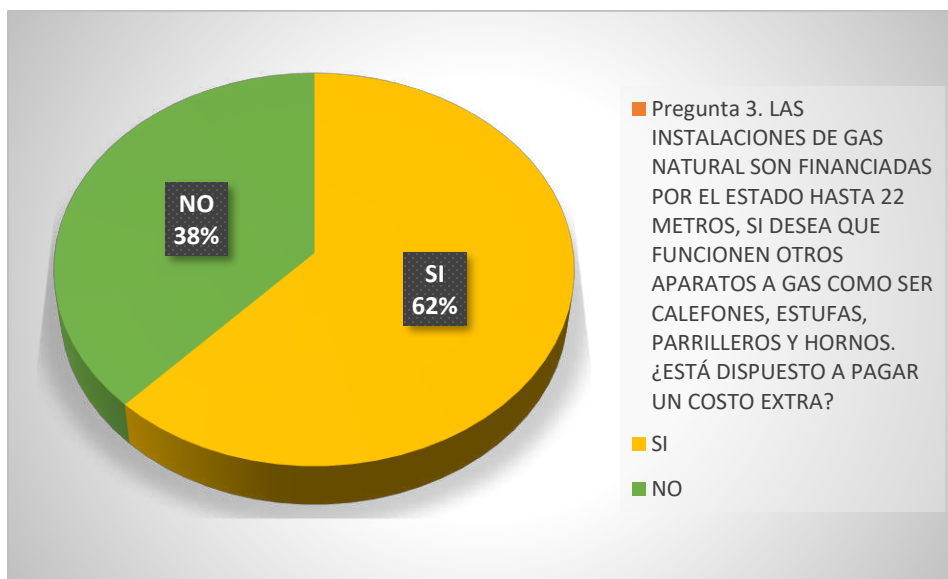
Pregunta 2. ¿Le gustaría tener una instalación de gas natural a domicilio en lugar de usar garrafas?



Nota. Elaborado con base en datos propios de encuesta realizada en la localidad.

Figura 1.3

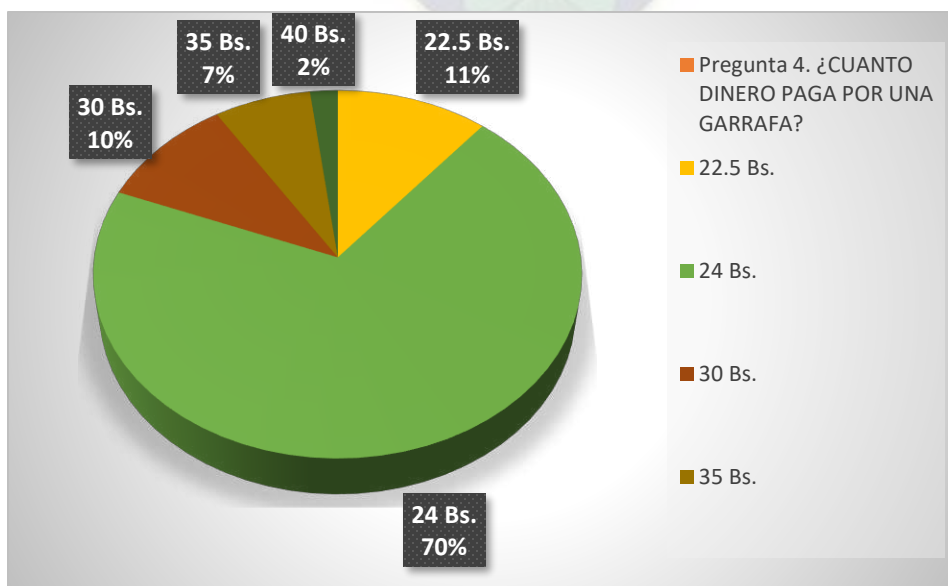
Pregunta 3. Las instalaciones de gas son financiadas por el Estado hasta los 22 metros, si desea otros aparatos que funcionen a gas como ser calefones, estufas, parrilleros y hornos. ¿Está dispuesto a pagar un costo extra?



Nota. Elaborado con base en datos propios de encuesta realizada en la localidad.

Figura 1.4

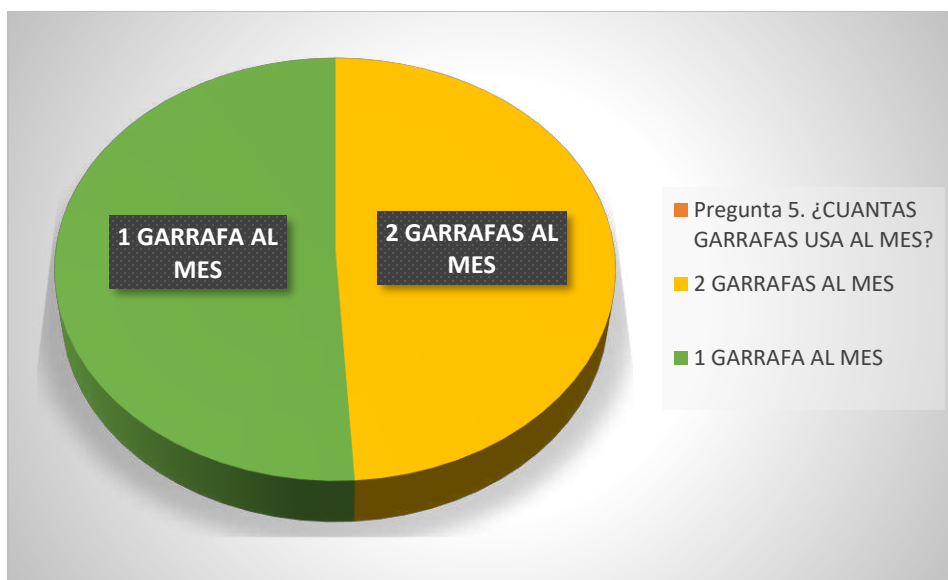
Pregunta 4. ¿Cuánto dinero paga por una garrafa?



Nota. Elaborado con base en datos propios de encuesta realizada en la localidad.

Figura 1.5

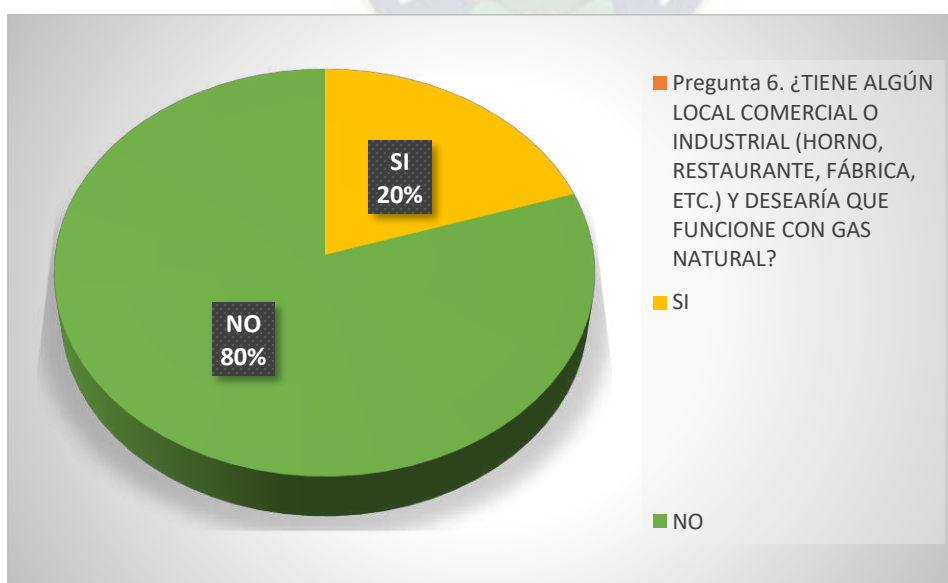
Pregunta 5. ¿Cuántas garrafas usa al mes?



Nota. Elaborado con base en datos propios de encuesta realizada en la localidad.

Figura 1.6

Pregunta 6. ¿Tiene algún local comercial o industrial (horno, restaurante, fabrica, etc.) y desearía que funcione con gas natural?



Nota. Elaborado con base en datos propios de encuesta realizada en la localidad.

1.5.2.2. Análisis FODA

El análisis FODA, también conocido como matriz FODA, es una metodología de estudio de la situación de una empresa o un proyecto, analizando sus características internas y su situación externa en una matriz cuadrada, que tiene como objetivo buscar un concepto claro y conciso, en el que los datos se convierten en información para poder tomar decisiones.

Figura 1.7

Muestra en resumen la matriz FODA aplicada al proyecto desarrollado.



Nota. Elaborado con base a investigación en el lugar que se realizará el proyecto.

1.5.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La población involucrada en este proyecto se beneficiará además de económico combustible para la cocción de alimentos otras comodidades como ser agua caliente sanitaria, calefacción. El ingreso de una red de distribución de gas natural incentivara a que las personas puedan crear negocios de comercio y fabricas que usan este combustible energético para la transformación de materia.

1.6. ALCANCE

1.6.1. ALCANCE TEMÁTICO

El tema sugerido es el de realizar un sistema de distribución del gas natural a la localidad de Cala Cala haciendo una derivación desde el gasoducto principal para su punto de entrega o transferencia de custodia implementando la ubicación del City Gate (Puerta de Ciudad), además de ello hacer el diseño de la red primaria y secundaria de dicha población. También se tiene que evaluar la capacidad del City Gate y el EDR (Estación Distrital de Regulación) a instalar ya que el gas de la línea principal opera a alta presión y de debe disminuir para su llegada al usuario final.

1.6.2. ALCANCE GEOGRÁFICO

El presente proyecto será realizado en el Departamento de La Paz, región del altiplano Sur de la Provincia Aroma, Municipio de Sica Sica Primera Sección Municipal y Capital de la Provincia Aroma la cual está dividido en 12 cantones político y administrativamente, con asentamientos urbano y rural (dos centros urbano menores Sica Sica y Lahuachaca), existiendo en el área rural 12 pueblos y 72 comunidades nucleadas. El idioma más hablado en la población del Municipio de Sica Sica es el aimara con un 64.6%, seguido del castellano con el 34.7% y un 0.5% el idioma quechua.

El estudio a realizar se delimitará en la comunidad nucleada de Cala Cala, área rural perteneciente al cantón Pujravi Lahuachaca. Esta localidad cuenta con una población de 2087 habitantes entre 1054 hombres y 1033 mujeres con 459 viviendas con categorización de recursos

media-baja. (Gobierno Autónomo Municipal de Sica Sica, 2020)

1.6.3. ALCANCE TEMPORAL

Esta propuesta tiene validez de un año y debería ser revisada después de dicho tiempo, ya que el gobierno está creando derivaciones en muchas poblaciones para la distribución de gas natural. También porque el costo de los materiales varía según el tiempo y esto influiría en el análisis económico

1.6.4. ALCANCE TÉCNICO

Con el objetivo de brindar un buen trabajo y ofrecer un alto nivel de seguridad, de manera respetuosa se deben cumplir ciertos parámetros de acuerdo a las normas establecidas y condiciones para poder implementar los equipos para la interconexión, posterior sistema de distribución y la forma de trabajar con especificaciones que puedan generar un buen control ambiental.



CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. GENERALIDADES DEL GAS NATURAL

Se denomina como gas natural a la mezcla de gases de hidrocarburos livianos que se obtiene del yacimiento en estado gaseoso, es una fuente de energía no renovable.

En su estado natural tiene impurezas que son retiradas por proceso de deshidratación y endulzamiento, estos compuestos son: Sulfuro de Hidrógeno, Nitrógeno y dióxido de carbono. El Gas Natural también puede contener otros componentes conocidos como trazas estos son: Mercaptanos, Helio y Carbonilo en cantidades mínimas. El Gas Natural también contiene cantidades de agua que es muy perjudicial porque corroe los equipos y dañan los compresores. (Otálora Orrego & Tinoco Muñoz, 2016)

El gas natural no produce envenenamiento al ser inhalado. La razón es que ninguno de sus componentes (metano, etano, nitrógeno, dióxido de carbono) es tóxico. De todos modos, deben tomarse precauciones en recintos cerrados, ya que una fuga muy grande podría desplazar el aire del recinto y producir asfixia (falta de oxígeno). (Metrogas, 2020)

Encontrar yacimientos de gas natural, extraerlo, tratarlo, transportarlo y distribuirlo hasta los centros de consumo, es un proceso muy complejo. Exige un largo tiempo de investigación, diseño, preparación, y avanzados recursos tecnológicos para garantizar su utilización segura. (Prado, 2014)

2.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL GAS NATURAL

Una característica importante es que la mayor proporción del gas natural es gas metano, este compuesto químico le da una característica global gaseosa en condiciones ambientales. Por este motivo se conoce como “gas natural”.

El gas natural, es un compuesto químico en cuya composición se presentan moléculas de hidrocarburos, formadas por átomos de carbono e hidrógeno y, por otras, en pequeñas proporciones de óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono y compuestos sulfurosos, todos estos

componentes se presentan en estado gaseoso. En Bolivia, el gas natural que se produce se encuentra libre de compuestos sulfurados, por esto es conocido como “gas dulce”. (Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, 2013)

Tabla 2.1

Composición del gas natural boliviano.

Composición del Gas Natural Rico	
80-90% CH_4 Metano	Gas Natural Seco
4-10% C_2H_6 Etano	
2-3% C_3H_8 Propano	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
0.5-2% C_4H_{10} Butano	
<1% C_5H_{12} Pentano	Gasolina Natural
<1% C_6H_{14} Hexano	
<0.5% C_7H_{16} + Heptano Plus	Condensados del gas

Nota. Composición del Gas Natural Rico. Adaptado de “Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos”, 2015.

2.1.2. CADENA PRODUCTIVA DEL GAS NATURAL

2.1.2.1. Cadena Del Sector Hidrocarburifera

La cadena del sector hidrocarburos corresponde al conjunto de actividades económicas relacionadas con la exploración, producción, transporte, refinación o procesamiento y comercialización de los recursos naturales no renovables conocidos como hidrocarburos (material orgánico compuesto principalmente por hidrógeno y carbono), dicho conjunto también está conformado por la regulación y administración de estas actividades. (Agencia Nacional de Hidrocarburos de Colombia, 2020)

La Cadena de Valor del Hidrocarburo se divide en tres etapas: Upstream, Midstream y Downstream. (EPMEX, 2020)

- **UPSTREAM**

Esta sección es conocida también como Exploración y Producción. Durante esta etapa se hace la búsqueda de nuevos pozos prospectos tanto en tierra como en altamar, los cuales son sometidos a diferentes estudios para determinar si se encuentra en un área con presencia de hidrocarburo. Además, se realizan análisis para conocer cuál puede llegar a ser su potencial, y de este modo poder hacer una evaluación y determinar si puede ser un campo económicamente rentable.

Ya que se determina que el área prospecto tiene indicios de presencia de hidrocarburo, se procede a la construcción de uno o varios pozos exploratorios los cuales pueden llegar a ayudar a delimitar el área y así, poder hacer la estimación de cuántos pozos productores se pueden realizar en ese campo de estudio. (EPMEX, 2020)

- **MIDSTREAM**

Comienza a partir de que el fluido se encuentra en la superficie y empieza su transporte a través de tuberías al equipo de separación, punto en el que con ayuda de un dispositivo se hace la separación de la mezcla proveniente del pozo en agua, aceite y gas. Donde el gas y el aceite son tratados por separado y se conducen por ductos ya sea por vía marítima o carretera con dirección a centros de almacenamiento o bien unidades recolectoras para su posterior inyección en otros pozos. (EPMEX, 2020)

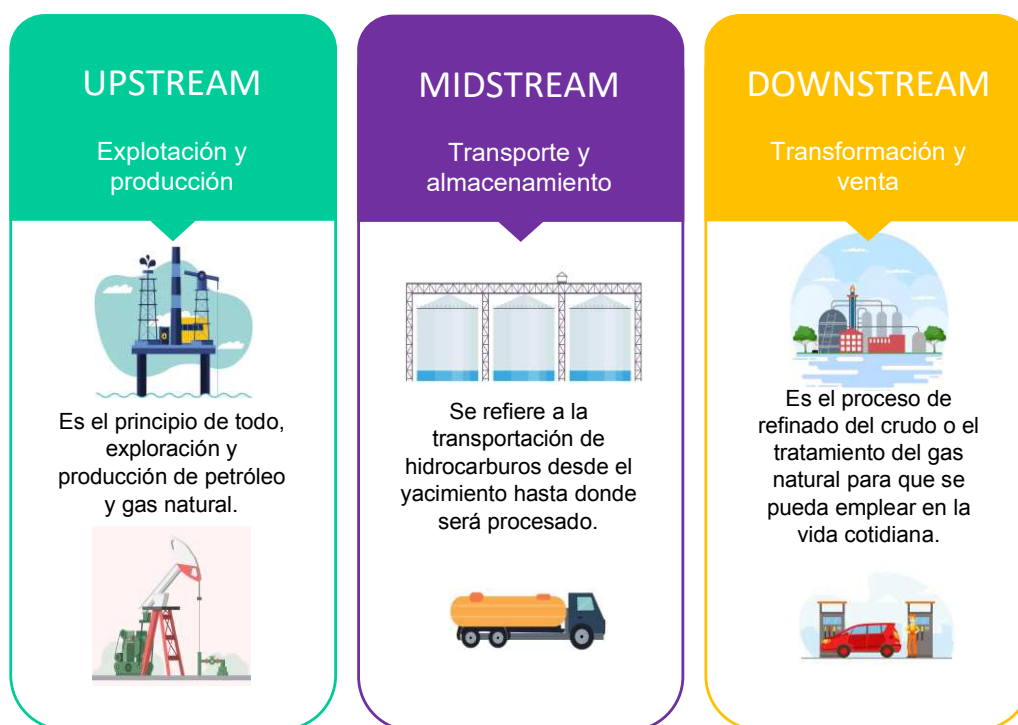
- **DOWNSTREAM**

Está conformada por todos los procesos y subprocesos que se le realizan al gas y aceite anteriormente recolectados. Algunos de estos procesos son la refinación, lugar donde se hace la transformación del crudo en productos o materias primas que son utilizados para la elaboración de otros productos en cualquier otra industria. También se incluyen las empresas dedicadas a productos químicos que utilizan el aceite crudo como materia prima para la elaboración de productos industriales o de la vida cotidiana como plásticos, detergentes, fibras sintéticas, entre otros.

Otra área que está incluida en esta última etapa es la comercialización, ya que todos los productos que se generan a partir del procesamiento del aceite crudo se llegan a distribuir por lo distintos canales de venta, tanto nacionales como internacionales hasta llegar a un consumidor final. (EPMEX, 2020)

Figura 2.1

Esquema de la cadena hidrocarburifera.



Nota. Este esquema representa en forma resumida la cadena hidrocarburifera. Adaptado de “Diseño y construcción de redes de gas”, 2021. INFOCAL.

2.1.2.2. Redes Conceptuales de Gas Natural

El sistema de redes de gas esta conceptualizado en grupos genéricos, la clara diferenciación de las mismas es vital para el desarrollo de proyectos de expansión, así como en la minimización de los cuellos de botella y la correcta aplicación de los recursos económicos en el desarrollo.

Se clasifican en tres grupos: Redes de Producción, Redes de Transporte o Transmisión

y Redes de Distribución. (Rodas, 2016)

Las **redes de producción** comprenden el sistema de explotación que es vertebrado por las redes de recolección, las que transportan el gas desde los pozos del yacimiento a las instalaciones de separación de hidrocarburos líquidos y agua. Las instalaciones de tratamiento comprenden los procesos de endulzamiento y deshidratación y las de procesamiento de gas comprenden los procesos de extracción de líquidos y fraccionamiento. Opcionalmente el gas seguirá la ruta del transporte para la venta o para las plantas de producción de GLP y como materia prima para las industrias petroquímicas, donde el gas se puede usar para efectuar los procesos petroquímicos a partir del metano como ser: GTL gasolina y diesel sintéticos, Metanol, plásticos, fertilizantes y reducción de hierro como en el caso del Mutún. Si el gas no se usa como materia prima se dirige al transporte. (Rodas, 2016)

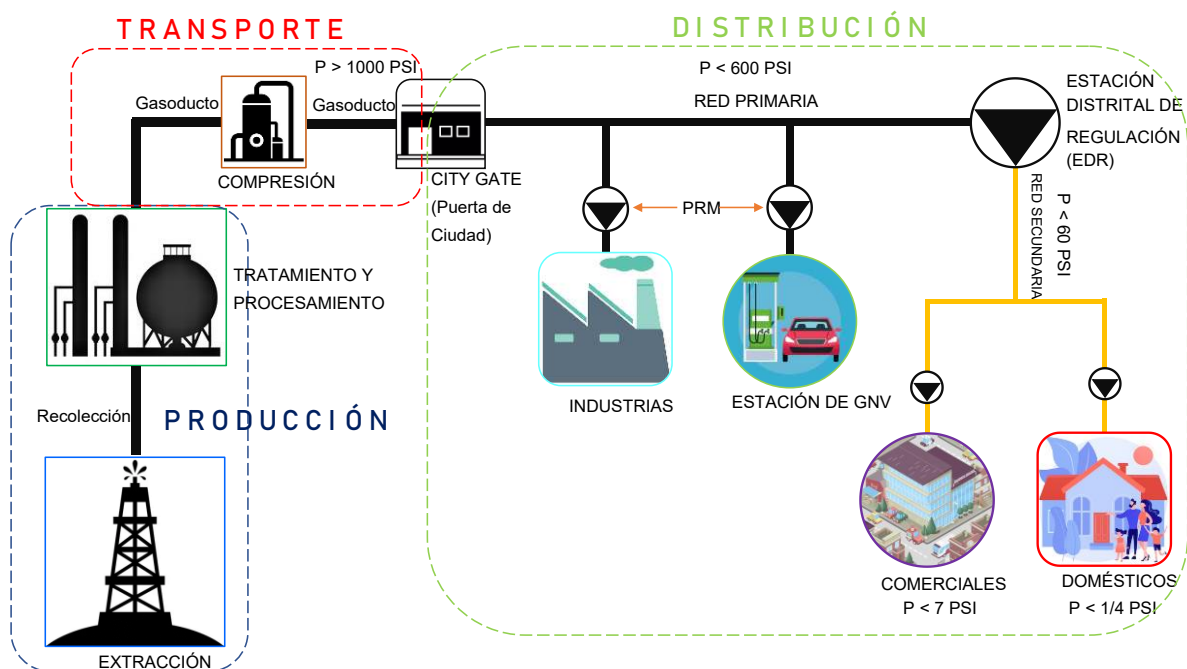
Luego el gas tratado y procesado se dirige a las **redes de transporte** o transmisión, en estas redes, el gas es transportado a regiones lejanas, y es impulsado regularmente por plantas de compresión de gas, ubicadas en tramos adecuados para elevar la presión del gas y conducirlo por los gasoductos que componen la red.

Los gasoductos se extienden por diversos tipos de terrenos: secos y húmedos; cruzan ríos, quebradas y fallas geológicas, por lo tanto, el diseño debe ser el adecuado para cumplir con los requerimientos de consumo, medioambientales y de seguridad adecuadas para este fin. (Rodas, 2016)

La llegada a los centros de consumo es precedida por las instalaciones de regulación de presión, medición y tratamiento secundario llamadas "City Gate" o puerta de la ciudad, luego se dirige a la **red de distribución** que comprende la red primaria o de alta presión de la cual se desprenden varias redes secundarias o de media presión que vertebran las ciudades y pueblos para luego ingresar a las redes de baja presión que abastecen de gas a las redes domiciliarias, industriales y comerciales. El abastecimiento industrial se puede efectuar a través de las redes secundarias o primarias de acuerdo a su consumo neto. (Rodas, 2016)

Figura 2.2

Esquema de distribución del gas natural desde la planta de producción hasta los puntos de consumo industrial, comercial y doméstico.



Nota. Este esquema representa el sistema de distribución del gas natural. Elaborado con base en datos vigentes de acuerdo a la norma establecida. Elaboración propia.

2.2. TRANSPORTE DEL GAS NATURAL

El gas natural es transportado por gasoductos. En Bolivia tenemos una red de transporte por ductos que se muestra a continuación: (Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, 2013)

El sistema de transporte para el Mercado Interno Sur abastece a las ciudades de Sucre, Potosí y Tarija y otras poblaciones que se encuentran a lo largo del ducto, mediante los gasoductos: (YPFB Transportes S.A., 2020)

- Gasoducto Taquiperenda-Cochabamba (GTC).
- Gasoducto Tarabuco-Sucre (GTS).
- Gasoducto Sucre-Potosí (GSP).
- Gasoducto Villamontes-Tarija (GVT).

El sistema Mercado Interno Occidente abastece a las ciudades de Cochabamba, Oruro y La Paz y poblaciones que se encuentran cerca al **Gasoducto al Altiplano (GAA)**.

El sistema Mercado interno Norte abastece a las poblaciones intermedias que se encuentran a lo largo del Gasoducto Carrasco-Yapacaní-Colpa-Río Grande (GCY) y el Gasoducto Carrasco-Cochabamba (GCC).

El sistema de transporte de gas para el Mercado de Exportación cubre los volúmenes contratados para Brasil y Argentina y también atiende la demanda interna de la ciudad de Santa Cruz y otras poblaciones a lo largo de los ductos de este sistema que son el Gasoducto Río Grande Yacuiba (GSCY) y el Gasoducto Integración Juana Azurduy (GIJA).

Figura 2.3

Mapa general de Gasoductos.



Nota. Mapa general de gasoductos. Adaptado de “Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)”, 2010. Obtenido de Cámara Boliviana de Hidrocarburos y Energía.

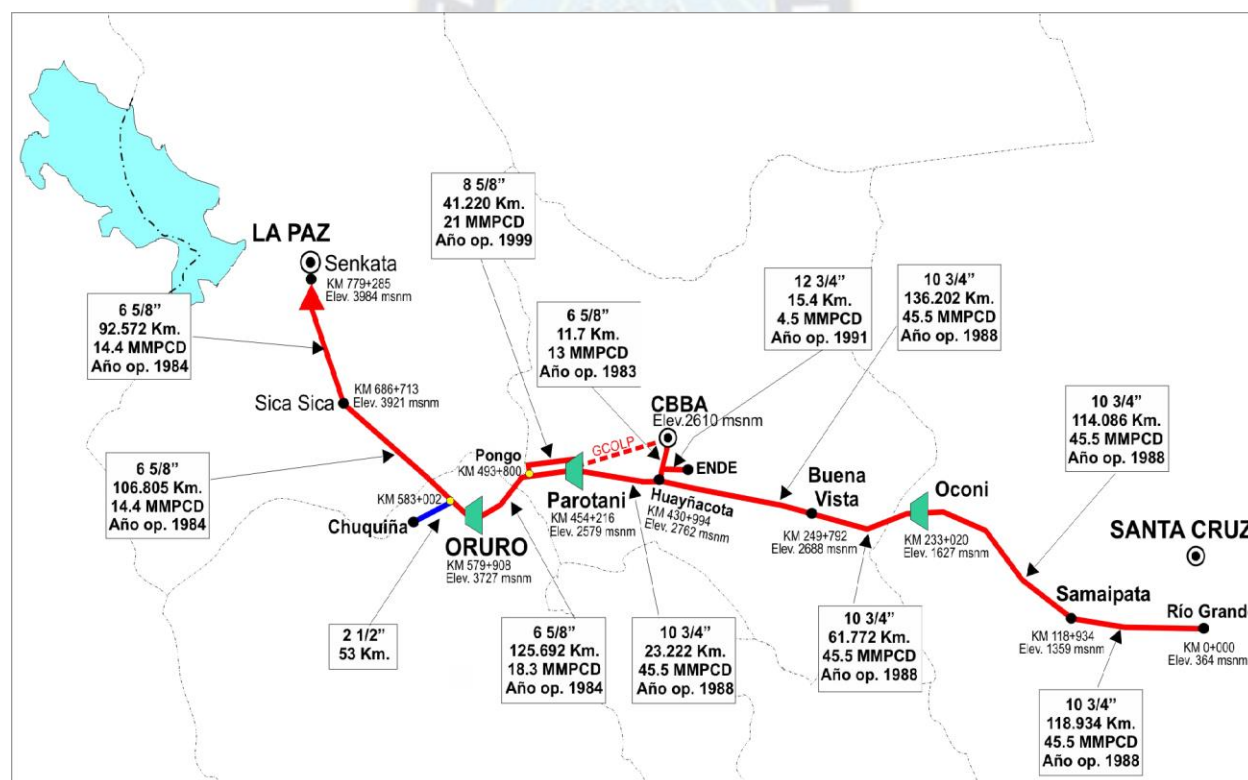
2.2.1. GASODUCTO AL ALTIPLANO (GAA)

El Gasoducto Al Altiplano fue construido en 1988 con una longitud de 431 kilómetros y un diámetro de 10 pulgadas y es operado por la Empresa YPFB Transporte S.A.

Este gasoducto nace en Rio grande y mure en Senkata departamento de La Paz. Este gasoducto tiene una extensión de 779.285 Km. posee un tramo con un diámetro de 10 3/4", desde Rio Grande hasta la estación de compresión de Parotani y otro tramo de 6 5/8" desde Parotani hasta Senkata. Otro tramo 11.7 Km de 6 5/8" de diámetro desde Huayñacota a CBBA, y otro tramo se deriva de este tramo con una extensión de 15.4 Km hasta ENDE. En el mapa se puede visualizar mejor.

Figura 2.4

Descripción del Gasoducto al Altiplano (GAA).



Nota. Esquema general de Gasoductos de Bolivia. Adaptado de "OilProduction", 2021.

2.3. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL POR REDES

2.3.1. MARCO NORMATIVO

2.3.1.1. Constitución Política del Estado

Artículo 20. I. Toda persona tiene derecho al acceso universal y equitativo a los servicios básicos de agua potable, alcantarillado, electricidad, gas domiciliario, postal y telecomunicaciones.

Artículo 360. El Estado definirá la política de hidrocarburos y garantizará la soberanía energética del país, estando así mismo en el numeral I del **Artículo 361** señalado que Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) es la única empresa facultada para realizar actividades de la cadena productiva de hidrocarburos y su comercialización.

Artículo 365. Una institución antártica de derecho público, con autonomía de gestión administrativa, técnica y económica, bajo la tuición del Ministerio del ramo, será responsable de Regular, Controlar, Supervisar y Fiscalizar las actividades de toda la cadena productiva hasta la industrialización, en el marco de la política estatal de hidrocarburos conforme con la ley.

2.3.1.2. Ley de Hidrocarburos N°3058

Artículo 4. Gas natural como recurso estratégico

Artículo 25. Las atribuciones del Ente regulador son entre otros:

- Otorgar concesiones, licencias y autorizaciones para las actividades sujetas a regulación.
- Llevar un registro nacional de las personas individuales y colectivas que realicen actividades hidrocarburíferas en el país.
- Aprobar tarifas para las actividades reguladas y fijar precios conforme a Reglamento.

2.3.1.3. Decreto Supremo N°1996

Este decreto el cual fue aprobada el 14 de mayo de 2014 aprueba dos reglamentos:

- *Reglamento de Distribución de Gas Natural por Redes.*

Artículo 57. (Categorías de Usuarios) Según el uso que se dé al Gas Natural, se

establecen las siguientes categorías de usuarios en la actividad de distribución de Gas Natural por Redes:

- Domestica
- Comercial
- Industrial
- GNV
- *Reglamento de Diseño, Construcción, Operación de Redes de gas Natural e Instalaciones Internas.*
 - ANEXO 1 Diseño de Redes de Gas Natural.
 - ANEXO 2 Construcción de Redes de Gas Natural.
 - ANEXO 3 Operación y Mantenimiento de Redes de Gas Natural.
 - ANEXO 4 Calidad del Gas Natural.
 - ANEXO 5 Instalaciones de Categorías Domestica y Comercial de Gas Natural.
 - ANEXO 6 Instalaciones Industriales de Gas Natural.
 - ANEXO 7 Estaciones Distritales de Regulación.

2.3.2. EMPRESA DISTRIBUIDORA DE GAS NATURAL

Se lo denomina así a aquella empresa con licencia de operación otorgada por el Ente regulador (ANH) para cumplir y hacer cumplir los reglamentos establecidos en la distribución del gas natural por redes de manera directa e indirecta en todo el territorio nacional. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2015)

La función principal es de evitar la interrupción de suministro de gas natural, proponer al Ente regulador para su aprobación el cálculo de las tarifas y coordinar con los gobiernos autónomos municipales con el objetivo de realizar estudios y planes de expansión.

En este caso en Bolivia tenemos dos operadores Gerencia de Redes de Gas y Ductos de YPFB y EMTAGAS las cuales están distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 2.2

Empresas encargadas en la distribución de Gas Natural.

DEPARTAMENTO	DISTRIBUIDOR
La Paz	YPFB
Oruro	YPFB
Potosí	YPFB
Santa Cruz	YPFB
Cochabamba	YPFB
Chuquisaca	YPFB
Pando	YPFB
Tarija	EMTAGAS

Nota. Elaborado en base a investigación propia.

2.3.3. PLAN DE EXPANSIÓN

Es un proyecto macro que comprende 5 años como periodo mínimo que presenta la empresa distribuidora al Ente regulador para su evaluación las cuales determinarán las acciones correctivas a ejecutarse dentro del Área Geográfica de Distribución. Este debe contemplar un estudio de la demanda, considerando el tipo de usuario, plano de ubicación de las poblaciones, localidades o región.

2.3.4. PUNTO DE ENTREGA (TRANSFERENCIA DE CUSTODIA)

Se lo denomina así porque es el punto que separa el Sistema de Transporte del Sistema de Distribución del gas natural ubicado de acuerdo a los siguientes casos (INFOCAL, 2021):

- a. **Del Sistema Troncal de Transporte:** AGUAS ABAJO de la Puerta de Ciudad (City Gate) a la Presión de Entrega.
- b. **De un punto de Interconexión (Hot Tap) a un ducto de transporte:** AGUAS ABAJO de la válvula de corte del Hot Tap a la Presión de Entrega.

2.3.5. ESTACIÓN PRINCIPAL (CITY GATE)

Se denomina City Gate (Puerta de Ciudad) a las instalaciones destinadas a la recepción, filtrado, regulación, medición, odorización y despacho del gas natural, a ser distribuido a través de sistemas correspondientes (INFOCAL, 2021).

Es la primera instalación de un Sistema de Distribución o también podemos llamarla el punto que separa el Sistema de Transporte del Sistema de Distribución.

La función principal del City Gate es reducir la presión del gas natural que recibe a la presión de operación del gasoducto troncal en el sistema de distribución. Esto es necesario, pues el Sistema de Transporte podría entregar el gas con una presión mayor a 1000 PSI, mientras que la presión de diseño del Sistema de Distribución de la primera etapa es de 4 a 42 bares inclusive, de acuerdo con lo establecido en la normatividad vigente. Esta Estación no supera una elevación de 2 metros de altura (a excepción del venteo).

Como funciones secundarias, pero no por ello menos importantes, están odorización y la medición del gas:

- Es necesario odorizar el gas natural para permitir que sea percibido o detectado fácilmente ante una posible fuga.
- La medición permite conocer y registrar los volúmenes de gas natural que pasan por el City Gate para su posterior distribución.

2.3.5.1. Válvula de entrada al City Gate

Permite aislar el City Gate de las instalaciones de transporte en caso de una emergencia. Esta operación puede realizarse en forma local o remota. (Campos, 2021)

2.3.5.2. Etapa de Filtración

El filtrado del gas tiene por objeto eliminar las partículas extrañas de tipo sólido o líquido, que este arrastra, debido a la presencia de contaminantes que vienen a través de la tubería tales como aceite (eventualmente), corrosión, suciedad y polvo; dichas impurezas provocan un efecto de erosión en las válvulas, reguladores y sistema de medición. Es necesario mediante esta etapa,

proteger los equipos instalados dentro de la estación y demás accesorios que componen el City Gate. (Estaciones de Entrega-City Gates, 2021)

Estos sistemas pueden ser de tipo común, es decir que solo retienen partículas o de tipo coalescente que a la vez también retienen fluidos líquidos. Ambos tipos cuentan con sus respectivos elementos filtrantes internos, manómetros diferenciales para evaluar el nivel de suciedad del filtro y válvulas para venteo rápido o purga de líquidos retenidos. (Total Services Bolivia, 2014)

2.3.5.3. Etapa de Medición

Está compuesto por el medidor de tipo ultrasónico, los transmisores de presión y temperatura, el computador de flujo y el cromatógrafo. Todos estos elementos son necesarios, pues la lectura del volumen de gas que pasa a través del medidor debe ser corregida por la presión, la temperatura y por un factor que depende de la composición del gas, llamado factor de supercompresibilidad. (Campos, 2021)

2.3.5.4. Etapa de Regulación

Está formado por cuatro ramas: tres operativas y una en stand by. Cada una de ellas está conformada por un filtro, una válvula de bloqueo por sobrepresión y dos válvulas reguladoras, una activa y otra monitora. Adicionalmente, se encuentran instaladas dos válvulas de alivio que incrementan la seguridad del sistema. (Campos, 2021)

2.3.5.5. Etapa de Odorización

Está compuesto por el equipo inyector y por los contenedores del líquido odorante. El equipo recibe los datos del caudal que pasa por la tubería e inyecta odorante al flujo de gas en la concentración especificada y de modo proporcional.

El gas natural es un gas inoloro e incoloro, por este motivo a este se le debe adicionar un odorante que le proporcione un olor distintivo como medida de seguridad con el fin de detectar una posible fuga. (INFOCAL, 2021)

Hasta ahora se consideraban odorantes únicamente los típicos compuestos orgánicos

sulfurosos odorables como THT y mezcla de mercaptano. (INFOCAL, 2021)

Figura 2.5

Ejemplo de la instalación de un City Gate.



Nota. Obtenida de “Diseño y construcción de redes de gas”, 2021. INFOCAL.

2.3.6. RED DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA

Sistema de Distribución de Gas Natural compuesta por tuberías de acero, válvulas, accesorios y cámaras de válvulas, que operan a presiones mayores a cuatro 4 bar hasta cuarenta y dos 42 bares inclusive, temperatura de -20°C y $+40^{\circ}\text{C}$, diámetros hasta 315 mm del diámetro nominal por lo cual se denominan también sistemas de alta presión. (INFOCAL, 2021)

2.3.6.1. Tubería de Acero

Las tuberías de acero al carbono cuentan con innumerables propiedades que las hace ideales para diversas aplicaciones. Son altamente resistentes, maleables y de bajo costo. En comparación con el PVC, son mucho más resistentes y menos costosas que el acero inoxidable. Además, poseen una alta resistencia a la presión. (DINCORSA, 2017)

Estas tuberías son ideales para la conducción de fluidos, tales como agua, gas, vapor, aire, aceite, petróleo, productos derivados del petróleo, aguas tratadas, entre otros. Además, también son utilizadas como soporte estructural de naves industriales y vialidades.

Son dos los tipos de tubería de acero al carbono: tubería de acero sin costura y tubería de acero con costura.

2.3.6.2. Puente de Regulación y Medición (PRM)

El puente de regulación tiene la labor principal de disminuir la presión de salida (presión regulada) de valor constante y está conformada por un conjunto de equipos, instrumentos y accesorios que contienen válvulas, reguladores y medidores que son utilizados para la reducción de presión y medición del consumo de un usuario de categoría industrial o GNV comprendido entre la válvula de ingreso hasta la válvula de salida del PRM, incluidas estas. (INFOCAL, 2021)

Figura 2.6

Ejemplo de instalación de un Puente de Regulación y Medición (PRM).



Nota. Obtenida de “Diseño y construcción de redes de gas”, 2021. INFOCAL.

2.3.6.3. Instalaciones Industriales

Las instalaciones industriales se refieren a las fábricas que tienen por objeto generar, transportar, almacenar, distribuir y utilizar la energía en todas sus formas, son aparatos con alto consumo de gas cualquiera que sea la naturaleza de los recursos y procesos técnicos utilizados. Para ello ya se usan equipos más potentes las cuales requieren una mayor demanda de gas natural, el abastecimiento a estas instalaciones se lo hace en la parte de la red primaria que tiene una mayor presión.

2.3.7. ESTACIÓN DISTRITAL DE REGULACIÓN (EDR)

Instalaciones destinadas a la regulación de la presión y el caudal de gas natural

proveniente de una red primaria, para suministrarlo a una red secundaria, comprendidas desde la brida de conexión a la red primaria hasta la brida de conexión a la red secundaria, incluidas éstas.

Figura 2.7

Ejemplo de instalación de una Estación Distrital de Regulación (EDR).



Nota. Obtenida de “Diseño y construcción de redes de gas”,2021. INFOCAL.

2.3.8. RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

Es una red construida de polietileno que trabaja a presiones menores que la red primaria que consta de 0.4 Bar hasta 4 Bar inclusive. Está compuesta por acometidas, válvulas, accesorios, tuberías y cámaras de válvulas. Toda la red secundaria comprende lo que es aguas abajo de la brida de salida de la Estación Distrital de Regulación (EDR). (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2015)

2.3.8.1. Línea de Transición

Tramo de la red secundaria construida en acero que interconecta la salida de la Estación Distrital de Regulación con la red secundaria, cuya función es proporcionarle al gas natural una temperatura tal que después de la expansión producida por la reducción de presión que tiene lugar en el regulador de presión, la temperatura no sea menor de 0 °C. La longitud mínima de la

Línea de Transición es de 60 m. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2015)

2.3.8.2. Tubería de Polietileno

El polietileno es un plástico muy común ya que presenta un bajo precio y sencillez de fabricación. Es un polímero sintético producido por la polimerización del etileno. Es posible encontrarlo en otros usos como bolsas, cables o recipientes. (ARCO, 2018)

Las Tuberías y accesorios de polietileno son utilizadas para el transporte de gases a presión como lo son el gas natural y el gas propano este tipo de tuberías y conexiones son utilizados desde las fuentes reguladoras hasta las acometidas domiciliarias de las viviendas o en ramales de transporte. (TUVALREP, 2016)

Las características que tiene el polietileno (PE) está en sus propiedades físicas, fisico-químicas las cuales son: flexibilidad y soldabilidad muy diferente de otros materiales. A una temperatura próxima a 200 °C el PE alcanza una viscosidad que permite soldarlo, al enfriarse el material recobra todas sus propiedades físicas. (INFOCAL, 2008)

2.3.8.3. Instalaciones Comerciales

Las instalaciones comerciales son para aparatos con mayor consumo que los de las viviendas domésticas, son para prestar servicios como ejemplo: colegios, restaurantes, cuarteles, panaderías.

2.3.8.4. Instalaciones Domesticas

Las instalaciones domesticas se refieren a las construidas para alimentar a aparatos comunes de una vivienda, generalmente cuentan con pequeños aparatos que usan el gas natural como combustible como ser: cocina, calefón, estufas y horno doméstico.

2.3.8.5. Acometida

Conjunto de tuberías y accesorios que conforman la derivación del servicio desde la tubería de distribución de la red secundaria que pasa frente al domicilio, hasta el gabinete o cofre de regulación del usuario ubicado en la línea municipal. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2015)

2.4. PROTECCIÓN CATÓDICA

La protección catódica es un método muy efectivo para prevenir la corrosión de las instalaciones a corto y largo plazo. Es un tipo de protección que funciona de igual manera en metales descubiertos como en materiales con revestimiento. (IR Corrosión, 2019)

Es una técnica de combate a la corrosión de instalaciones metálicas enterradas, muy empleada actualmente y de costo reducido, si comparado al valor de esas instalaciones. (INEGAS, 2017)

2.4.1. DEFINICIONES

- **Cátodo.** Corresponde a la zona metálica más electropositiva.
- **Ánodo.** Corresponde a la zona metálica más electronegativa de ella sale la corriente al electrolito.
- **Electrolito.** Actúa como conductor de corriente.

2.4.2. PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Al utilizar un metal que sea más electronegativo que el potencial de la zona anódica del metal que queremos proteger y lo unimos eléctricamente. La zona protegida es la catódica que permanecerá inalterable y el otro metal se ira deteriorando.

Los métodos de protección catódica según la fuente de energía empleada pueden ser los siguientes:

2.4.2.1. Ánodos Galvánicos

Se fundamenta el principio de la corrosión galvánica, en la que un metal más activo es anódico con respecto a otro más noble, corroyéndose el metal anódico.

La aleación más activa se corroerá (se “sacrificará”) para proteger el otro metal; por lo tanto, estos ánodos se llaman ánodos de sacrificio. (INEGAS, 2017)

Los ánodos de sacrificio son muy utilizados, entre los más usados están el zinc, aluminio y magnesio ya que estos metales son los más activos o con potenciales más electronegativos de la serie galvánica. (IR Corrosión, 2019)

Figura 2.8

Esquema de una Protección Catódica Galvánica



Nota. Comportamiento del Sistema de protección catódica galvánica. Elaboración propia.

Los ánodos se pueden colocar en la estructura a proteger con distintos procedimientos, pero por lo general siempre van sujetos a la tubería a proteger mediante una soldadura cuproaluminotérmica.

Cuando van enterrados se introducen en una bolsa de tela y son rodeados de una mezcla de componentes de baja resistividad que proporcionan un funcionamiento homogéneo del ánodo.

Entre algunas de sus ventajas tenemos: fácil de instalar, no provoca problemas de interferencia, bajo costo de mantenimiento, distribución de corriente uniforme y no se necesita de una fuente de corriente continua ni de un regulador de voltaje. (NACE, 2019)

Algunas de sus desventajas son: costo inicial alto, corriente suministrada limitada, ineficaz en ambientes de resistividad elevada y alto consumo de ánodos para estructuras enterradas mal revestidas y revestimiento en agua de mar. (NACE, 2019)

2.4.2.2. Corriente Impresa

La corriente impresa ya no requiere de ánodos de sacrificio, en lugar de aquellos se hace circular corriente por la estructura metálica. Esto se crea mediante una fuente de energía externa sin utilizar la diferencia de potencial de los metales como son el método de ánodos de sacrificio. (IR Corrosión, 2019)

La corriente externa disponible es impresa en el circuito constituido por la estructura a proteger y la cama anódica. (García Barrezueta, 2012)

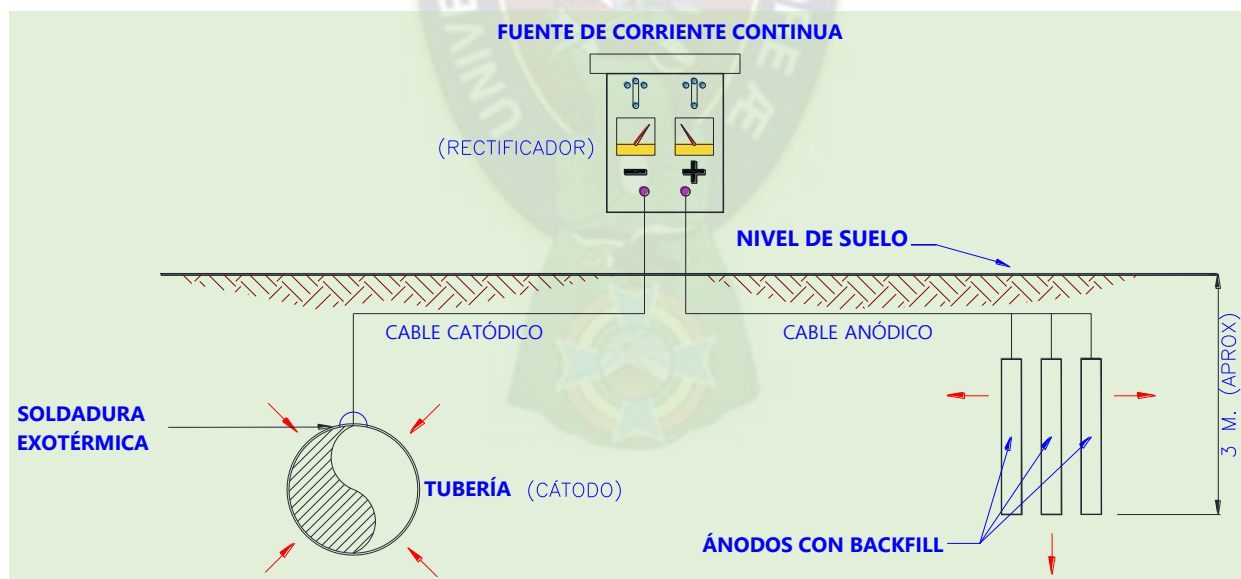
Los ánodos que se usa para el sistema de corriente impresa son: chatarra de hierro, ferro silicio, grafito.

De igual manera hay por lo menos tres materiales para el relleno de Backfill las cuales son: coque molido de carbón, coque de petróleo molido calcinado y partículas de grafito natural o fabricado. Es de mucha importancia definir bien el tamaño de las partículas y la resistividad requerida.

Conectando el componente a proteger con un ánodo o grupo de ánodos dispersores de corriente a través de una FUENTE EXTERNA de corriente continua (Rectificador, Termogenerador, Sistema fotovoltaico). (INEGAS, 2017)

Figura 2.9

Esquema de una Protección Catódica mediante Corriente Impresa.



Nota. Comportamiento del sistema de protección catódica por corriente impresa. Elaboración propia.

Las fuentes para el sistema de corriente impresa son los rectificadores que permiten el paso de corriente en un solo sentido y son operables de forma manual o automática. En caso de

ser automática pueden regular la potencial, corriente o tensión de salida constante.

De manera general existen ventajas y desventajas de este tipo de sistema de protección, citamos algunas de ellas. (NACE, 2019)

Ventajas:

- Puede diseñarse para un amplio intervalo de potencial y corriente.
- Un ánodo o lecho anódico puede suministrar una gran corriente.
- Con una sola instalación se puede proteger superficies muy grandes.
- Potencial y corrosión variables.
- Se puede utilizar en ambientes de resistividad levada.
- Eficaz para proteger estructuras no recubiertas o mal recubiertas.

Desventajas:

- Puede causar problemas de interferencia.
- Está sujeta a rotura de la fuente de corriente.
- Requiere de una inspección periódica y de mantenimiento.
- Requiere de una fuente de corriente continua.
- Posibilidad de condiciones de sobreprotección con daños a recubrimientos y problemas de fragilización por la acción del hidrogeno.
- Conexiones y cables sujetas a roturas.
- Tiene un costo elevado.

2.5. PRUEBAS HIDRÁULICAS

Una prueba hidráulica o prueba de presión hidrostática es un ensayo utilizado para evaluar la integridad en instalaciones de cañerías sometidas a presión, como ser instalaciones de gas natural, calderas, compresores de aire, entre otros. (Laboratorio de Instrumentación Industrial, 2022)

La prueba hidrostática es realizada con agua, con la cual se llena toda la sección del

ducto y se eleva su presión. (INEGAS, 2016)

- El objetivo de dichas pruebas es verificar que la tubería cumple con las especificaciones establecidas de resistencia mecánica.
- Verificar que no exista fuga en la soldadura longitudinal o circunferencial y que represente peligro para el público usuario y las instalaciones.



CAPÍTULO 3 - CRITERIOS PARA EL DISEÑO Y CÁLCULO DE TUBERÍAS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL

3.1. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE DISTRIBUCION DEL GAS NATURAL

3.1.1. NORMAS DE REFERENCIA PARA EL DISEÑO

Para realizar cualquier tipo de actividad relacionada con las redes de distribución de gas natural, es necesario tener conocimiento de los siguientes documentos que son válidos y reconocidos en el país además que el Reglamento de Diseño, Construcción, Operación de Redes de Gas Natural e Instalaciones Internas hace referencia a estas normas.

Tabla 3.1

Referencias normativas al diseño de redes de distribución.

NORMA	ESPECIFICACIÓN
API Standard 5L:	Especificación para tubos de línea.
API 5L 1:	Práctica recomendada para transporte por ferrocarril de tubos de líneas.
API Standard 1104:	Normas para soldadura de cañerías e instalaciones complementarias.
ASTM Especificación A-53:	Especificaciones de normas de cañerías de acero soldadas y sin costura, negra o galvanizada por baño caliente.
ANSI – B 16.5:	Bridas para tubos y accesorios de acero.
ASME B31.8:	Sistemas de tubería para transporte y distribución de gas.
NAG-100:	Normas Argentinas Mínimas de Seguridad para el Transporte y Distribución de gas natural y otros gases por cañerías.
NAG-129:	Redes para la distribución hasta 4 bares de gases de petróleo y manufacturado, de polietileno.

NAG-131:	Redes para la distribución hasta 4 bar de gases de petróleo y manufacturado, de polietileno. Accesorios unidos por electrofusión.
NAG-132:	Redes para la distribución hasta 4 bar de gases de petróleo y manufacturado, de polietileno. Accesorios de transición.
NAG-133:	Redes para la distribución con un máximo de presión de 4 bar de gases de petróleo y manufacturado, de polietileno. Válvulas de polietileno.
BGC/PS/PL2-Parte 1:	Especificación para tubos y accesorios de polietileno (PE) para gas natural y gas manufacturado apropiado. Parte 1-Tubos.
DIN 8074:	Tubos de Polietileno de alta densidad. Medidas.
EN 1555:	Sistema de tuberías plástica para el suministro de combustibles gaseosos. Polietileno (PE) Partes 1 a 7.
NOM 003-SECRE 2011:	Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos (o versiones posteriores).

Nota. La aplicación de estas normas no será consideradas excluyentes y tampoco limitan la aplicación de otras normas equivalentes. Obtenida de “ANEXO 1 Diseño de redes de gas”, 2015.

3.1.2. RÉGIMEN DE PRESIÓN PARA LAS TUBERÍAS EN REDES DE DISTRIBUCION

El régimen de presión para un sistema de distribución de gas natural se distingue de acuerdo al siguiente rango:

Baja Presión (BP): Presiones mayores desde 0 a 50 *mbar*.

Media Presión A (MPA): Presiones mayores desde 50 *mbar* a 0.4 *bar*.

Media Presión B (MPB): Presiones mayores desde 0.4 *bar* a 4 *bares*.

Alta Presión (AP): Presiones mayores desde 4 *bar* hasta 42 *bares*.

3.1.3. CATEGORÍAS DE LOS USUARIOS

Se debe considerar la categoría de los usuarios para realizar el diseño de sistemas de distribución del gas natural. El diseño contempla las siguientes categorías:

- Domestica
- Industrial
- Comercial
- GNV

Se debe cumplir con la capacidad de suministro de gas a todos los consumidores para los que la red fue diseñada, aun cuando el consumo sea el máximo.

3.1.4. CALCULO DE LA DEMANDA DEL GAS NATURAL

Para el cálculo del caudal de la demanda se debe considerar los siguientes aspectos:

3.1.4.1. Numero de Usuario y/o Hogares

El número de usuarios y/o hogares (N) debe ser proyectado como mínimo a un lapso de 20 años, se debe usar información estadística actualizada.

3.1.4.2. Cálculo de la Proyección Poblacional

La proyección de la población será calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$P_t = P_0 * (1 + r)^t \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

P_t = Población proyectada, [*habitantes, viviendas*].

P_0 = Población inicial, [*habitantes, viviendas*].

r = Tasa de crecimiento de la población anual, [%/100].

t = Periodo de tiempo, [*años*].

Esto nos va servir para hacer la proyección de una ciudad o localidad, teniendo como referencia algunos datos estadísticos para su aplicación.

3.1.4.3. Cálculo del Consumo Total

El caudal total representa la sumatoria de los caudales respectivos a cada categoría y será la fuente para realizar el diseño de los caudales en las redes primarias y redes secundarias, para ello emplearemos la siguiente ecuación:

$$Q_T = Q_S + Q_{IND} + Q_{GNV} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Donde:

$$Q_T = \text{Caudal total, } \left[\frac{m^3}{h} \right].$$

$$Q_S = \text{Caudal proyectado en la red secundaria, } \left[\frac{m^3}{h} \right].$$

$$Q_{IND} = \text{Caudal demandado por la categoría industrial, } \left[\frac{m^3}{h} \right].$$

$$Q_{GNV} = \text{Caudal demandado por la categoría de GNV, } \left[\frac{m^3}{h} \right].$$

Para determinar el caudal de la red secundaria se utilizará la siguiente formula:

$$Q_S = Q_{DOM} + Q_{COM} \quad \text{Ec. 3.3}$$

Donde:

$$Q_{DOM} = \text{Caudal demandado por la categoría doméstica, } \left[\frac{m^3}{h} \right].$$

$$Q_{COM} = \text{Caudal demandado por la categoría comercial, } \left[\frac{m^3}{h} \right].$$

Para determinar la demanda doméstica se utilizará la siguiente ecuación:

$$Q_{DOM} = (A_1 * C_1 * S_1 + A_2 * C_2 * S_2) * N \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

$A_{1,2}$ = Porcentaje de cobertura del aparato: 1 para la cocina, 2 para el calentador baño, [%/100].

$$C_{1,2} = \text{Consumo del aparato: 1 para la cocina, 2 para el calentador baño, } \left[\frac{m^3}{h} \right].$$

$S_{1,2}$ = Coeficiente de simultaneidad del aparato: 1 para la cocina, 2 para el calentador baño, [adimensional].

N = Número de usuarios en la categorial doméstica.

Para determinar el consumo de los aparatos o equipos empleados, vamos a hacer el uso de la potencia del aparato sobre el poder calorífico superior del gas natural:

$$C = \frac{P}{PCS} \quad \text{Ec. 3.5}$$

Donde:

P = Potencia del equipo, $\left[\frac{kW}{h}\right]$.

PCS = Poder calorífico superior, $10.87 \left[\frac{kW}{m^3}\right]$.

Para el caso del caudal de consumo comercial, la empresa distribuidora evaluara y justificara dicho consumo.

Caso 1: Establecer un % del consumo doméstico para determinar el consumo comercial entre 10% a 15%.

$$Q_{COM} = \frac{\%}{100} * Q_{DOM} \quad \text{Ec. 3.6}$$

Caso 2: Históricos de consumos facturados en Poblaciones/Municipios que tengan características similares.

En la tabla siguiente se tiene los porcentajes mínimos de cobertura y simultaneidad de los aparatos, la empresa distribuidora está en toda su facultad de cambiar de acuerdo al lugar en donde se va realizar el proyecto.

Tabla 3.2

Porcentajes mínimos de Cobertura y Simultaneidad de los aparatos a Gas Natural.

Porcentajes Mínimos de cobertura y simultaneidad de aparatos			
Cobertura del aparato		Coeficiente de simultaneidad	
Cocina A_1	Calentador de Agua A_2	Cocina S_1	Calentador de Agua S_2
A establecer por la Empresa Distribuidora	20%	15%	30%

Nota. Obtenido de “ANEXO 1 Diseño de redes de gas natural”, 2015.

3.1.5. UBICACIÓN DEL CITY GATE Y EL EDR

Se debe seleccionar la ubicación donde se instalará los City Gate y EDR, para lo cual se debe coordinar con las instituciones públicas o privadas, para nuestro caso con las autoridades

de la población para que se otorgue a la empresa Distribuidora un área para la instalación de City Gate y EDR.

Se debe tomar en cuenta el medio externo que pueda afectar la integridad y seguridad de las instalaciones, estas deben hacer un cumplimiento a normas establecidas.

3.1.6. SELECCIÓN DEL CITY GATE

El City Gate o Puerta de Ciudad son instalaciones que se encargan de la recepción, filtrado, control de calidad del gas natural, además de la regulación de la presión, medición, odorización y despacho.

El City Gate debe contar con una línea de Bypass, que actúa como una línea de respaldo, y permita que la operación sea continua en caso que el equipo este dañado o se encuentre en mantenimiento.

3.1.6.1. Funciones de los Componentes:

- Reducir la presión proveniente del sistema de transporte, a los niveles permitidos.
- Medir la cantidad de gas en VOLUMEN.
- Controlar las condiciones de flujo, como la presión, temperatura, calidad del gas, etc.
- Realizar la odorización mediante la introducción de mercaptanos para identificar posibles fugas.

3.1.6.2. Características Técnicas

- Presión de entrada de 1200 – 1000 Psig.
- Presión regulada de salida 250 Psig.
- Temperatura de trabajo de 15 °C a 60 °C.
- Nivel sonoro menor a 70 dB.

3.1.6.3. Capacidad del City Gate

Para la selección adecuada del City Gate se debe considerar el consumo total calculada

mediante la proyección de todo aquel que se va abastecer de gas natural tomando en cuenta la semejanza o el inmediato superior de la lista de arreglos existentes de City Gates en el mercado actual. También se realiza diseños básicos de ingeniería de equipos e instrumentos requeridos en la construcción de un City Gate.

Tabla 3.3

Algunas características de las capacidades de diseño del City Gate.

CAPACIDAD DE CITY GATES	PRESIÓN DE INGRESO	PRESIÓN DE SALIDA
$\left[\frac{m^3}{h}\right]$	[PSI]	[PSI]
1400	1400	200 - 450
4000	1400	200 - 450
5000	1400	200 - 450
6000	1400	200 - 450
7000	1400	200 - 450
10000	1400	200 - 450

Nota. Existen algunos arreglos de City Gate en el mercado boliviano, las empresas distribuidoras de gas natural trabajan con la mayoría de ellos. Elaboración propia.

3.1.7. SELECCIÓN DE LA ESTACIÓN DISTRITAL DE REGULACIÓN (EDR)

El EDR es una instalación destinada a regular la presión y el caudal del gas natural que proviene de un sistema de red primaria y se encarga de suministrar a un sistema de red secundaria.

3.1.7.1. Consideraciones para la Selección del EDR

La conexión del EDR a la red primaria se la realiza a través de una acometida con tubería de acero y está conformada desde la válvula de derivación hasta la junta dieléctrica en la brida de ingreso al EDR.

La estación distrital de regulación termina en la junta dieléctrica que se encuentra en la

brida de salida, la misma que interconecta el EDR con el sistema de la red secundaria.

El inicio de la red secundaria es el tramo de la línea de transición, y es el cambio de tubería de acero a tubería de polietileno.

La estación distrital de regulación tiene que estar compuesta por tres líneas que son: Línea principal de regulación, línea de reserva de regulación o stand-by y la línea de derivación manual o bypass.

Cuando se seleccione una Estación Distrital de Regulación y la capacidad sea menor o igual a 1000 MCH, el EDR podrá únicamente tener dos líneas que son: línea principal de regulación y línea de derivación manual o de bypass.

3.1.7.2. Capacidad de las EDR

Las capacidades son de acuerdo al cálculo realizado por los consumos en la red secundaria.

Tabla 3.4

Lista de algunas capacidades de la Estación Distrital de Regulación (EDR)

CAPACIDAD DE EDR $\left[\frac{m^3}{h}\right]$	DIAMETRO ENTRADA [plg]	DIAMETRO SALIDA [plg]	TRANSICION ANC- PE [mm]
500	2	3	90
1000	2	3	90
2000	3	4	110
5000	4	6	125

Nota. Existen algunos arreglos de EDR en el mercado boliviano, las empresas distribuidoras de gas natural trabajan con la mayoría de ellos. Elaboración propia.

3.1.7.3. Parámetros a Considerar en la Implementación

Se debe dimensionar la tubería de la Estación Distrital de Regulación (EDR) de manera tal que la velocidad del gas en tramos de medición no supere los 15 m/s y en otros tramos no

supere los 20 m/s.

Para ningún caso la tubería de la entrada a la Estación Distrital de regulación (EDR) será menor a un diámetro de 2 pulgadas y el diámetro de la tubería de salida de la EDR aguas abajo a la red secundaria no debe ser menor a 3 pulgadas.

3.1.7.4. Línea de Transición

Es la línea que sale del EDR, sirve para estabilizar las condiciones del gas dentro de la tubería, tiene una longitud de 60 m. y es de acero con un accesorio al final para el acople a la tubería de polietileno. En la **Tabla 3.4**

Listado de algunas capacidades de la Estación Distrital de Regulación (EDR) se muestra el diámetro con la cual debe trabajar según el diseño del proyecto.

3.1.8. CLASE DE TRAZADO

Se define como el área unitaria clasificada de acuerdo a la densidad de población para el diseño y la presión de prueba de las tuberías localizadas en esa área. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2015)

Se describe cuatro clases de trazado y su conocimiento es necesario debido a que se debe definir la clase de trazado para realizar cualquier tipo de diseño.

Tabla 3.5

Descripción de los diferentes Clases de Trazado.

CLASE DE TRAZADO	DESCRIPCIÓN	LÍMITE DE LA CLASE
1	Es la clase de trazado que contiene 10 o menos viviendas destinadas a ocupación humana.	
2	Es la clase de trazado que contiene 10 o más viviendas, pero menos de 46 viviendas que estén destinadas a la ocupación humana.	Cuando un grupo de edificios están destinados a ocupación humana, la clase 2 finalizara a 200 m. de las viviendas más próximas.

3	<p>Corresponde:</p> <p>1) Cuando la clase de trazado contiene 46 o más viviendas destinadas a la ocupación humana.</p> <p>2) Zona donde la tubería este colocada dentro de los 100 m. de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un edificio que es ocupado por 20 o más personas. - Pequeña área abierta, bien definida que es ocupada por 20 o más personas, como por ejemplo un campo de deportes y juegos, zona de recreación o cualquier área con objetivo de reunión pública. 	<p>Cuando se requiera una clase 3, esta terminara a 200 m. de los edificios más próximos de la clase.</p>
4	<p>Corresponde a la clase de trazado donde predominen los edificios con 4 o más niveles de pisos.</p>	<p>Finalizara a 200 m. del edificio de 4 o más pisos próximos a la clase.</p>

Nota. Adaptado de “ANEXO 1 Diseño de redes de gas natural”, 2015.

3.1.9. CONSIDERACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS

3.1.9.1. Respecto a la Velocidad del Gas

Para prevenir altas velocidades en las tuberías, que además generarían desgaste en la tubería, la pérdida de carga, ruido y dinámica del polvo que se encuentra en el gas, se limita la velocidad a los siguientes valores:

Tramos en la que la red es nueva: 20 m/s

Tramos donde existen equipos de medición: 15 m/s

Extremos de los tramos de la red y sin posibilidad de expansiones: 40 m/s

3.1.9.2. Respecto a la Red Primaria

Se debe tomar las siguientes consideraciones respecto a presiones:

- La presión máxima será de 42 bar o AP que dependerá de la clase de trazado.

- La presión mínima estará en función de los requerimientos de presión por parte de los usuarios: Industriales y GNV.

3.1.9.3. Respecto a la Red Secundaria

Se debe tomar las siguientes consideraciones respecto a presiones:

- La presión máxima será de 4 bar o MPB, considerando técnicamente para otorgarle una buena elasticidad operativa y un grado de seguridad compatible con el trazado en medio de la localidad.
- La presión mínima aun en los extremos será 1 bar a excepción de los lugares donde se anticipe futura ampliación.

Se debe tomar las siguientes consideraciones respecto al trazado:

- El trazado debe contemplar seguridad y permitir a válvulas de bloqueo, fácil instalación y operación sin causar mayores inconvenientes a terceros.
- Evitar atravesar por propiedades privadas o zonas de difícil acceso y se deberá elegir entre trazados que presenten menores riesgos.
- La red secundaria podrá ser instalada en áreas comunes como: calles, callejones que son de dominio público y que cumpla el reglamento técnico.
- Se obtendrá información correspondiente de los organismos competentes para considerar futuras ampliaciones o construcción de hogares.

Se debe tomar las siguientes consideraciones respecto al seccionamiento de la red:

- Para prevenir un corte de suministro de gas natural a un número mayor de usuarios, se deberá hacer el diseño de red de manera que quede cerrada en un anillo.
- Se deberá ubicar un conjunto de válvulas cuando se realice el seccionamiento de la red para simplificar el bloqueo.
- Se seccionará la red de acuerdo a un número de manzanas en relación al número

de usuarios que se abastezcan, de este modo permitir el bloqueo y venteo del área o zona seccionada en caso de algún accidente.

3.2. CALCULO DE TUBERIAS DE RED PRIMARIA

3.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL GAS NATURAL

El Gas Natural suministrado a través de los sistemas de distribución deberá contar con condiciones que aseguren su calidad de prestación y seguridad. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2015)

Tabla 3.6

Características del Gas Natural con su porcentaje molar.

COMPUESTOS	SÍMBOLOS	% MOLAR
Metano	CH_4	90.78
Etano	C_2H_6	5.17
Propano	C_3H_8	1.29
Iso Butano	C_4H_{10}	0.16
Normal Butano	C_4H_{10}	0.27
Iso Pentano	C_5H_{12}	0.09
Normal Pentano	C_5H_{12}	0.07
Hexano	C_6H_{14}	0.06
Nitrógeno	N_2	0.79
Dióxido de Carbono	CO_2	1.32
TOTAL		100

Nota. Obtenido del reporte cromatográfico de YPF B Transportes, 2020.

3.2.2. ECUACIÓN DE WEYMOUTH

Thomas R. Weymouth hizo las primeras formulas efectivas para calcular el diámetro de una tubería. Su ecuación es deducida a partir de parámetros operacionales y ha sido

ampliamente probada y mejorada por otras personas. (Martínez, 2006)

Para el cálculo de tuberías, en el caso de la red primaria se utiliza la ecuación de Weymouth que se aplica a tuberías entre 2 a 12 pulgadas.

La ecuación a continuación es la ecuación de Weymouth aplicada para el Sistema Ingles:

$$Q = 433.5 * E * \left(\frac{T_b}{P_b}\right) * \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{G * T_m * L * Z}\right)^{0.5} * D^{2.667} \quad \text{Ec. 3.7}$$

Donde:

Q = Caudal en condiciones estándar, $\left[\frac{ft^3}{d}\right]$.

E = Eficiencia de la tubería, un factor decimal entre 0 o hasta 1, [adimensional].

T_b = Temperatura base, $R[460 + ^\circ F]$.

P_b = Presión base, [psia].

P_1 = Presión absoluta de entrada, [psia].

P_2 = Presión absoluta de salida, [psia].

G = Gravedad específica del gas, [adimensional].

T_m = Temperatura promedio de flujo de gas, $R[460 + ^\circ F]$.

L = Longitud de tubería, [milla].

Z = Factor de compresibilidad del gas, [adimensional].

D = Diámetro interno de la tubería, [pulg].

El subíndice b en la presión y temperatura, significa condiciones estándar o condiciones base de la presión y la temperatura (14.7 Psi y 60 °F respectivamente)

La ecuación de Weymouth se utiliza para la determinación de caudal en las redes primarias que conforman la matriz del sistema de distribución (un sistema de redes de tuberías de gas).

La ecuación de Weymouth utiliza un parámetro de ajuste para determinar el caudal en la tubería tomando en cuenta correcciones debido a la elevación.

Entonces de acuerdo con ese parámetro la ecuación de Weymouth quedaría de la siguiente manera:

$$Q = 433.5 * E * \left(\frac{T_b}{P_b}\right) * \left(\frac{P_1^2 - e^s P_2^2}{G * T_m * L_e * Z}\right)^{0.5} * D^{2.667} \quad \text{Ec. 3.8}$$

Se tiene las siguientes ecuaciones para la determinación de la longitud equivalente:

$$L_e = \frac{L * (e^s - 1)}{s} \quad \text{Ec. 3.9}$$

Surge otra ecuación para el cálculo del parámetro de elevación:

$$s = 0.0684 * G * \left(\frac{H_2 - H_1}{T_m * Z}\right) \quad \text{Ec. 3.10}$$

Donde:

L_e = Longitud equivalente de tubería, [milla].

L = Longitud de la tubería, [milla].

s = Parámetro de ajuste por elevación, [adimensional].

e = Base de logaritmo natural.

G = Gravedad específica del gas, [adimensional].

H_1 = Elevación de la tubería a la entrada, [ft].

H_2 = Elevación de la tubería a la salida, [ft].

T_m = Temperatura promedio de flujo de gas, $R[460 + ^\circ F]$.

Z = Factor de compresibilidad del gas, [adimensional].

3.2.3. VELOCIDAD DE FLUJO

Para el cálculo de velocidad en cualquier punto de la tubería se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$v = 0.002122 * \left(\frac{Q}{D^2}\right) * \left(\frac{P_b}{T_b}\right) * \left(\frac{Z * T_i}{P_i}\right) \quad \text{Ec. 3.11}$$

Donde:

v = Velocidad del gas, $\left[\frac{ft}{s}\right]$.

Q = Caudal en condiciones estándar, $\left[\frac{ft^3}{d}\right]$.

D = Diámetro de la tubería, $[pulg]$.

T_b = Temperatura base, $R[460 + ^\circ F]$.

P_b = Presión base, $[psia]$.

Z = Factor de compresibilidad del gas, $[adimensional]$.

T = Temperatura promedio de flujo del gas en el punto i , $[R]$.

P = Presión en el punto i , $[psia]$.

3.2.4. VELOCIDAD EROSIONAL

Las altas velocidades de flujo en la tubería, pueden producir desgaste en la superficie de un cuerpo, en este caso de una tubería de acero debido a la fricción continua, además de presentar ruidos y vibraciones. La velocidad máxima del gas puede ser calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$v_e = \frac{1.22 * C}{\sqrt{\rho}} \quad \text{Ec. 3.12}$$

Donde:

v_e = Velocidad erosional de flujo, $\left[\frac{m}{s}\right]$.

C = Constante, se aplica un valor de 100 para servicio continuo y 125 para servicio intermitente.

ρ = Densidad del gas a temperatura del flujo, $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

La fórmula anterior puede ser expresado en términos de presión y temperatura mediante la siguiente ecuación:

$$v_e = C * \sqrt{\frac{Z * R * T}{29 * G * P}} \quad \text{Ec. 3.13}$$

Donde:

v_e = Velocidad erosional de flujo, $\left[\frac{ft}{s}\right]$.

Z = Factor de compresibilidad del gas a temperatura de flujo, [*adimensional*].

R = Constante universal de los gases, $\left[10.73 \text{ Psia} \frac{\text{ft}^3}{\text{lbmol} \cdot ^\circ\text{R}}\right]$.

T = Temperatura del gas, $^\circ\text{R}[460 + ^\circ\text{F}]$.

G = Gravedad especifica del gas, [*adimensional*].

P = Presión absoluta del gas, [*Psia*].

3.2.5. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

3.2.5.1. Cálculo de Espesor de Tuberías de Acero

Las tuberías de acero deben ser diseñados con un espesor adecuado para soportar cargas previsibles externas, que pueden ser impuestas después de ser instalado.

La presión de diseño se calcula con la siguiente formula:

$$P = \frac{2 * S * t}{D} * F * E * T \quad \text{Ec. 3.14}$$

Donde:

P = Presión de diseño, [*MPa*].

S = Tensión de fluencia, [*MPa*].

D = Diámetro nominal exterior de la tubería, [*mm*].

t = Espesor nominal de pared de la tubería, [*mm*].

F = Factor de diseño, [*adimensional*].

E = Factor de junta longitudinal, [*adimensional*].

T = Factor de temperatura, [*adimensional*].

3.2.5.2. Condiciones de Diseño

Presión de diseño: Se empleará la máxima presión de operación en la Red Primaria.

Diámetro nominal: Con el diámetro interior de diseño y la tabla 1 de ASME B36.10m.

Despejamos el espesor nominal de pared de la Ec. 3.8:

$$t = \frac{P * D}{2 * S * F * E * T} \quad \text{Ec. 3.15}$$

La siguiente tabla nos muestra un esquema de cómo está conformado las tuberías con sus respectivos diámetros.

Tabla 3.7

Especificaciones de la Tabla 1 de ASME B36.10M

Dimensions and Weights (Masses) of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

NPS (DN)	Identification [Note (1)]	Schedule No.	Outside Diameter, in. (mm)	Wall Thickness, in. (mm)	Plain End Weight (Mass), lb/ft (kg/m)
1¼ (32)	STD	40	1.660 (42.2)	0.140 (3.56)	2.27 (3.39)
1¼ (32)	XS	80	1.660 (42.2)	0.191 (4.85)	3.00 (4.47)
1¼ (32)	...	160	1.660 (42.2)	0.250 (6.35)	3.77 (5.61)
1¼ (32)	XXS	...	1.660 (42.2)	0.382 (9.70)	5.22 (7.77)
1½ (40)	...	5	1.900 (48.3)	0.065 (1.65)	1.28 (1.90)
1½ (40)	...	10	1.900 (48.3)	0.109 (2.77)	2.09 (3.11)
1½ (40)	...	30	1.900 (48.3)	0.125 (3.18)	2.37 (3.53)
1½ (40)	STD	40	1.900 (48.3)	0.145 (3.68)	2.72 (4.05)
1½ (40)	XS	80	1.900 (48.3)	0.200 (5.08)	3.63 (5.41)
1½ (40)	...	160	1.900 (48.3)	0.281 (7.14)	4.86 (7.25)
1½ (40)	XXS	...	1.900 (48.3)	0.400 (10.15)	6.41 (9.55)
2 (50)	...	5	2.375 (60.3)	0.065 (1.65)	1.61 (2.39)
2 (50)	...	...	2.375 (60.3)	0.083 (2.11)	2.03 (3.03)
2 (50)	...	10	2.375 (60.3)	0.109 (2.77)	2.64 (3.93)
2 (50)	...	30	2.375 (60.3)	0.125 (3.18)	3.01 (4.48)
2 (50)	...	...	2.375 (60.3)	0.141 (3.58)	3.37 (5.01)
2 (50)	STD	40	2.375 (60.3)	0.154 (3.91)	3.66 (5.44)
2 (50)	...	...	2.375 (60.3)	0.172 (4.37)	4.05 (6.03)
2 (50)	...	...	2.375 (60.3)	0.188 (4.78)	4.40 (6.54)
2 (50)	XS	80	2.375 (60.3)	0.218 (5.54)	5.03 (7.48)
2 (50)	...	...	2.375 (60.3)	0.250 (6.35)	5.68 (8.45)
2 (50)	...	...	2.375 (60.3)	0.281 (7.14)	6.29 (9.36)
2 (50)	...	160	2.375 (60.3)	0.344 (8.74)	7.47 (11.11)
2 (50)	XXS	...	2.375 (60.3)	0.436 (11.07)	9.04 (13.44)

Nota. Adaptado de ASME B36.10M (An American National Standard, 2018)

3.2.5.3. Tensión de Fluencia

Para tubos fabricados de acuerdo a una de las especificaciones: API 5L, ASTM A53, ASTM A72, ASTM A106, ASTM A211, ASTM A333, ASTM A377, ASTM A381, ASTM A539, IRAM-IAS y U500-2613 la tensión de fluencia a ser usada en la fórmula de cálculo está en la **Tabla 3.12**, en donde nos sugiere espesores nominales mínimos recomendados de pared a usar de acuerdo al diámetro de tubería a implementar y la clase de trazado.

La tensión de fluencia depende del grado de tubería de acuerdo a la Standard API 5L existen varios grados para tubos PSL1.

Las tensiones de fluencia (S) para grados de tubería se encuentran en la Standard API 5L, en la Tabla N°6 e interpretados con el apartado 6.1 (Grado del Tubo y Grado del Acero).

Tabla 3.8

Listado de tensiones de fluencia de "API 5L PSL 1 Pipe Mechanical Properties"

Pipe grade	Pipe body of seamless and welded pipe			Weld seam of EW, LSAW, SSAW and COW pipes
	Yield strength	Tensile strength	Elongation (on 50mm or 2 in)	Tensile strength
	Rt0.5	Rm	Af	Rm
	MPa (psi), min	MPa (psi), min	% minimum	MPa (psi), min
L175 or A25	175 (25 400)	310 (45 000)	c	310 (45 000)
L175P or A25P	175 (25 400)	310 (45 000)	c	310 (45 000)
L210 or A	210 (30 500)	335 (48 600)	c	335 (48 600)
L245 or B	245 (35 500)	415 (60 200)	c	415 (60 200)
L290 or X42	290 (42 100)	415 (60 200)	c	415 (60 200)
L320 or X46	320 (46 400)	435 (63 100)	c	435 (63 100)
L360 or X52	360 (52 200)	460 (66 700)	c	460 (66 700)
L390 or X56	390(56 600)	490 (71 100)	c	490 (71 100)
L415 or X60	415 (60 200)	520 (75 400)	c	520 (75 400)
L450 or X65	450 (65 300)	535 (77 600)	c	535 (77 600)
L485 or X70	485 (70 300)	570 (82 700)	c	570 (82 700)

Nota. Obtenido de API 5L PSL1, (OCTAL, 2019)

3.2.5.4. Factor de Diseño

El factor de diseño para tubos de acero (F) se establece de acuerdo a la clase de trazado, en el ANEXO 1 nos da el valor de este factor.

Para establecer el factor de diseño cuando la tubería principal de transporte de gas cruce por caminos y ferrocarriles se utilizará:

Caminos privados: 0.72 en todas las clases de trazados.

Caminos públicos no mejorados: 0.72 c/camisa y 0.60 s/camisa en clase de trazado 1.

Caminos autopistas o públicos: 0.60 c/camisa y 0.50 s/camisa en clase de trazado 2.

Tabla 3.9

Valores del Factor de Diseño (F) de acuerdo a la Clase de Trazado.

Clase de trazado	Factor de diseño (F)
1	0.72
2	0.60
3	0.50
4	0.40

Nota. Para establecer el factor de diseño. Obtenido de “ANEXO 1 Diseño de redes de gas”, 2015.

3.2.5.5. Factor de Junta Longitudinal

Los valores del factor de junta longitudinal para tubos de acero (E) están establecidas en el ANEXO 1 e indican lo siguiente:

Tabla 3.10

Valores del Factor de Junta Longitudinal (E).

Especificaciones	Clase de tubo	Factor de junta longitudinal (E)
IRAM-IAS U500-2613 (*)	Sin costura	1.00
	Soldado por resistencia eléctrica	1.00
	Soldado a tope en horno	0.60
ASTM A 106	Sin costura	1.00
ASTM A 333	Sin costura	1.00
	Soldado eléctricamente	1.00
ASTM A 381	Soldado por doble arco sumergido	1.00
ASTM A 671	Soldado por fusión eléctrica	1.00
ASTM A 672	Soldado por fusión eléctrica	1.00
ASTM A 691	Soldado por fusión eléctrica	1.00
API 5L	Sin costura	1.00
	Soldado por resistencia eléctrica	1.00
	Soldado por destello eléctrico	1.00
	Soldado a tope en horno	0.60
Otros	Tubo mayor de 101 mm	0.80
Otros	Tubo de 101 mm o menor	0.60

Nota. Obtenido de “ANEXO 1 Diseño de redes de gas”, 2015.

3.2.5.6. Factor de Variación por Temperatura

El factor de variación por temperatura para tubos de acero (T) está establecido en el ANEXO 1, que establece los valores de este factor de acuerdo a la temperatura de operación de la Red Primaria.

Tabla 3.11

Valores del Factor de Variación por Temperatura (T).

Temperatura del gas		Factor de reducción por temperatura (T)
°C	°F	
≤121	≤250	1.00
149	300	0.967
177	350	0.933
204	400	0.900
232	450	0.867

Nota. Obtenido de “ANEXO 1 Diseño de redes de gas”, 2015.

3.2.5.7. Espesor por Corrosión

Durante el tiempo de vida útil de la tubería de acero esta se encuentra sometida a la corrosión que deteriora el material, para que no suceda eso se emplea la protección catódica ya sea por el sistema de protección catódica galvánica o corriente impresa.

El objetivo de la protección catódica es reducir la corrosión, por lo cual se habla de la velocidad de corrosión que es la velocidad con la cual se pierde el material o espesor de la tubería, esta pérdida de material o pérdida de espesor de pared debe ser considerada en la selección de tuberías.

La siguiente ecuación nos muestra como calcular la pérdida del espesor por corrosión:

$$t_{CORROSIÓN} = v_{CORROSIÓN} * T_{VIDA UTIL} \quad \text{Ec. 3.16}$$

Donde:

$$v_{CORROSIÓN} = \text{Velocidad de corrosión, } \left[\frac{plg}{año} \right].$$

$$T_{VIDA UTIL} = \text{Tiempo de vida útil, [años]}.$$

$t_{CORROSIÓN}$ = Pérdida de espesor de pared por corrosión, [plg].

3.2.5.8. Recomendaciones Mínimas de Espesor de Pared

Como dato adicional para una guía rápida y precisa el ANEXO 1 recomienda los espesores mínimos de pared de acuerdo al arreglo a implementar.

Tabla 3.12

Espesores nominales mínimos recomendados de pared (plg).

Diámetro nominal (pulgadas)	Diámetro exterior (pulgadas)	Tubo extremo plano (1)				Tubo roscado todas las clases	Estaciones compresoras
		Trazado Clase 1	Conjunto Fabricado Clase 1	Trazado Clase 2	Trazado Clase 3 y 4		
1/8	0.405	0.035	0.065	0.065	0.065	0.068	0.095 *
1/4	0.540	0.037	0.065	0.065	0.065	0.088	0.119 *
3/8	0.676	0.041	0.065	0.065	0.065	0.091	0.126 *
1/2	0.840	0.046	0.065	0.065	0.065	0.109	0.147 *
3/4	1.050	0.048	0.065	0.065	0.065	0.113	0.154 *
1	1.315	0.053	0.065	0.065	0.065	0.133	0.179 *
1 1/4	1.660	0.061	0.065	0.065	0.065	0.140	0.191 *
1 1/2	1.900	0.065	0.065	0.065	0.065	0.145	0.200 *
2	2.375	0.075	0.075	0.075	0.075	0.154	0.218 *
2 1/2	2.875	0.083	0.085	0.085	0.085	0.203	0.203 *
3	3.500	0.083	0.098	0.098	0.098	0.216	0.216 *
3 1/2	4.000	0.083	0.108	0.108	0.108	0.226	0.226 *
4	4.500	0.083	0.116	0.116	0.116	0.237	0.237 *
5	5.563	0.083	0.125	0.125	0.125	0.258	0.250 **
6	6.625	0.083	0.134	0.134	0.156	0.280	0.250 **
8	8.625	0.104	0.134	0.134	0.172	0.322	0.250 **
10	10.750	0.104	0.164	0.164	0.188		0.250 **
12	12.750	0.104	0.164	0.164	0.203		0.250 **
14	14.000	0.134	0.164	0.164	0.210		0.250 **
16	16.000	0.134	0.164	0.164	0.219		0.250 **
18	18.000	0.134	0.188	0.188	0.250		0.250 **
20	20.000	0.134	0.188	0.188	0.250		0.250 **

Nota. La tabla ayuda a definir y comparar el espesor mínimo de pared. Obtenido de “ANEXO 1 Diseño de redes de gas”, 2015.

3.3. CALCULO DE TUBERIAS DE RED SECUNDARIA

3.3.1. PRESIÓN DE DISEÑO

Se designa los tubos de polietileno de acuerdo a su resistencia a la presión hidrostática

a un plazo de 50 años y su espesor expresado por su SDR, que es la relación del diámetro exterior y el espesor. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2015)

Los tubos de polietileno con presión hidrostática de $80 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$, son denominados como PE 80 mientras que para los tubos con presión hidrostática de $100 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$, son denominados PE 100. Para las redes de distribución en régimen de presión MPB se utilizan polietilenos con las siguientes especificaciones:

Para PE 80, SDR=11

Para PE 100, SDR=17.6 o SDR=11

La presión de diseño en una tubería de polietileno para red secundaria se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$P = 2 * S * \frac{t}{(D - t)} * 0.32 \quad \text{Ec. 3.17}$$

Donde:

P = Presión de diseño manométrica, $[kPa]$.

S = Resistencia hidrostática a largo plazo para tuberías de polietileno, determinada de acuerdo a la norma o especificación, $[kPa]$.

t = Espesor de pared especificado, $[mm]$.

D = Diámetro externo especificado, $[mm]$.

3.3.2. ECUACIÓN DE RENOARD CUADRÁTICA

Para el diseño de tuberías de polietileno en las redes secundarias se emplea la ecuación de Renouard Cuadrática, que es solamente aplicable a presiones de media presión B (MPB).

$$P_1^2 - P_2^2 = 48.6 * d_r * L_e * \frac{Q^{1.82}}{D^{4.82}} \quad \text{Ec. 3.18}$$

$$L_e = 1.20 * L \quad \text{Ec. 3.19}$$

Donde:

P_1 = Presión absoluta de entrada, [bar].

P_2 = Presión absoluta de salida, [bar].

d_r = Densidad relativa del gas que se transporta, [adimensional].

L_e = Longitud equivalente de la tubería, [m].

L = Longitud de la tubería, [m].

D = Diámetro interno de la tubería, [mm].

Q = Caudal en condiciones estándar, $\left[\frac{m^3}{h}\right]$.

3.3.3. VELOCIDAD DEL GAS

La velocidad del gas se encuentra expresada en m/s y se calcula mediante la formula:

$$v = 365.3 * \frac{Q}{D^2 * P_m} \quad \text{Ec. 3.20}$$

Donde:

v = Velocidad del gas, $\left[\frac{m}{s}\right]$.

Q = Caudal en condiciones base, $\left[\frac{m^3}{h}\right]$.

P_m = Presión absoluta promedio entre la presión al inicio y al final del tramo, [bar].

D = Diámetro interno de tubería, [mm].

La presión promedio P_m en un tramo del tendido de tubería puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{2 * (P_1^3 - P_2^3)}{3 * (P_1^2 - P_2^2)} \quad \text{Ec. 3.21}$$

Debiendo en estas condiciones verificarse la relación entre el caudal $Q \left[\frac{m^3}{h}\right]$ y el diámetro interno D [mm].

$$\frac{Q}{D} < 150 \quad \text{Ec. 3.22}$$

3.4. DESCRIPCIÓN DE APLICACIONES

3.4.1. PIPESIM

Es un simulador de flujo multifásico para el diseño y análisis de diagnóstico de los sistemas de producción de petróleo y gas, analiza también la línea de flujo y el rendimiento de las instalaciones de superficie para generar análisis exhaustivos sistemas de producción con algoritmos de modelado avanzado para el análisis nodal, análisis PVT, elevación de gas y la erosión y el modelado de la corrosión, el software ayuda a optimizar la producción y las operaciones de inyección. (Schlumberger, 2020)

PIPESIM ha sido diseñado para que pueda ser utilizado en un amplio rango de sistemas, ya sean actuales o un poco más antiguos.

3.4.2. CYPECAD

Suministro de gas de CypeCAD ha sido concebida para el cálculo, diseño, comprobación y dimensionamiento automático de redes de gas (malladas, ramificadas y mixtas), cuyo objetivo es hacer llegar el gas a cada punto de consumo. (CYPECAD, 2021)

Esta aplicación permite el acceso dinámico de los datos y la verificación de los resultados de cálculo.

La gráfica de los planos presenta los siguientes resultados de la red:

- Caudales en los tramos.
- Caudales de consumo en nodos.
- Presiones en los nudos.
- Velocidad en los tramos.
- Pérdida de presión en los tramos.
- Longitud de los tramos.
- Diámetro de los tramos.

CAPÍTULO 4 - APLICACIÓN PRÁCTICA Y PLAN DE CONTINGENCIAS DE POSIBLES RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN

4.1. APLICACIÓN PRÁCTICA

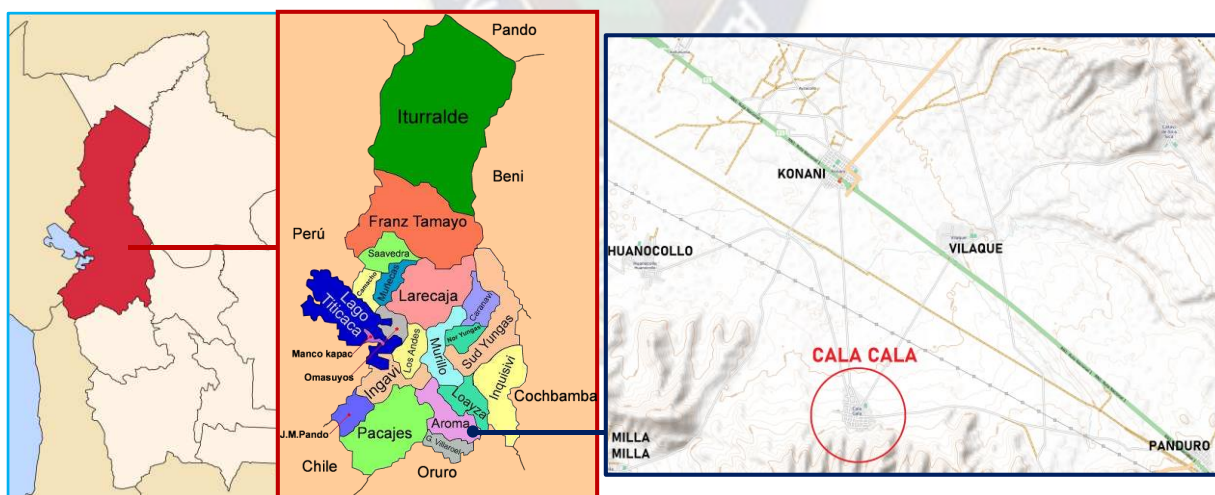
4.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

4.1.1.1. Ubicación del Lugar

La localidad de Cala Cala es un pueblo ubicado al sur de la Capital de la Primera Sección de la Provincia Aroma Sica Sica, a una distancia desde la ciudad de La Paz por la carretera denominada Panamericana hasta la localidad de Konani de 155 Km., desde ese lugar existe un camino vecinal de primer orden que se dirige a la población de Cala Cala con aproximadamente 5 Km. de recorrido. También cabe señalar que el pueblo de Cala Cala se encuentra a 3.6 Km. de la carretera entre La Paz – Oruro, la cual es directamente conectada por una carretera de tierra.

Figura 4.1

Ubicación de la localidad de Cala Cala.



Nota. Se hace una referencia mediante planos para mostrar el lugar de aplicación del proyecto.

Adaptado mediante la aplicación SAS.Planet “OSM Refuges”, 2022.

La localidad de Cala Cala como limites tiene a las siguientes poblaciones:

Norte: Ayzacollo-Konani

Sur: Milla Milla y Tarucamarca

Este: Panduro y Vilaque

Oeste: Huanocollo

4.1.1.2. Antecedentes

Por caracterizarse de climas típicas de altiplano, la producción agrícola es básicamente destinada a la seguridad alimentaria, con cultivos de papa, oca, cebolla, quinua, alfalfa, cebada y otros cultivos forrajeros, que le permiten alimentar a su ganado, tanto vacuno como ovino, producción que le otorga mayores réditos económicos a los pobladores.

La producción de leche y sus derivados, posibilitan ingresos complementarios. La artesanía textil es otra actividad económica practicada.

Figura 4.2

Población de Cala Cala.



Nota. Fuente: Se hace una referencia mediante imágenes Cala Cala - Provincia Aroma.

Adaptado de “Facebook”, 2021.

Según el líder de la localidad de Cala Cala con el pasar de los años siente la necesidad de poder aprovechar el gas natural como varias localidades que se encuentran en la carretera

principal cerca de donde pasa el gasoducto, porque aún no cuentan con ese servicio energético, así que se piensa incluirlo en el POA 2022.

4.1.2. DISEÑO DEL PLANO DE CALA CALA

Para el diseño del plano de la localidad de Cala Cala, primero se hizo una georeferencia del lugar con la ayuda de aplicaciones SAS.Planet y Global Mapper.

Lo que hace SAS.Planet es obtener una imagen de vista satelital de diferentes servidores, para nuestro caso se usó el servidor de Google-Satélite. Buscando y seleccionando el lugar para luego exportar en formato de archivo con extensión ecw.

Luego abrimos el archivo anterior con la aplicación Global Mapper, el trabajo principal de esta aplicación es generar las coordenadas UTM en formato de texto.

Figura 4.3

Vista satelital de la localidad de Cala Cala.



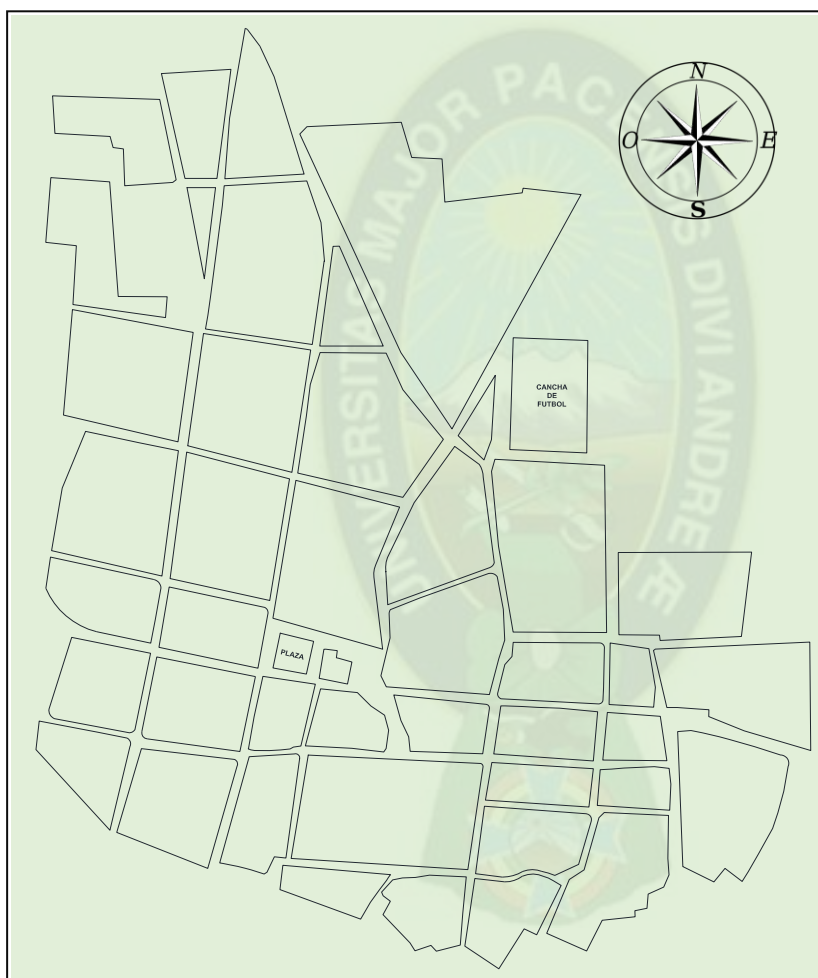
Nota. Esta es la vista satelital que se usó para el diseño del plano de la localidad de Cala Cala.

Fuente: Obtenida de "Google-Satélite", 2021.

El archivo generado en formato de texto nos muestra las coordenadas UTM, las cuales introducimos a la aplicación AutoCAD junto con el archivo que tiene la extensión ecw donde está la imagen seleccionada para luego hacer el trazado del diseño final del plano en donde se incluye los manzanos y calles.

Figura 4.4

Diseño final del plano de la localidad de Cala Cala.



Nota. Este plano fue diseñado para fines de estudio con longitudes reales aproximados de la localidad de Cala Cala. Fuente: Elaborado con base de datos de la georeferencia mediante “Google-Satélite”, 2021.

El plano anterior de la localidad de Cala Cala, será de mucha ayuda al momento de hacer el trazado de la red secundaria y la ubicación del EDR.

4.1.3. CÁLCULO PARA LA PROYECCIÓN POBLACIONAL

Para realizar este cálculo se debe recopilar datos de información demográfica de la población de Cala Cala, que es el escenario principal para suministrar gas natural, estas deben ser: tasa de crecimiento, número de habitantes y tamaño promedio de hogar.

Según el Plan Territorial de Desarrollo Integral de Sica Sica 2015-2020, la localidad de Cala Cala está conformada de los siguientes datos:

Tabla 4.1

Datos del Censo 2012 de la localidad de Cala Cala.

Ficha Resumen Censo Población y Vivienda 2012	
Departamento estadístico:	La Paz
Provincia estadística:	Aroma
Municipio estadístico:	Sica Sica
Nombre ciudad:	Cala Cala
Población empadronada:	2087
Viviendas:	459
Tasa de crecimiento anual (No existe registro alguno, para nuestro calculo se asume el mínimo posible de 1%):	1%

Nota. Fuente: Elaborado en base a datos del Instituto Nacional de Estadística (INE).

Remplazamos datos en la **Ec. 3.1**

Cálculo de habitantes para el año 2022:

$$P_t = P_0 * (1 + r)^t$$

$$P_{2022} = 2087 * (1 + 1\%)^{2022-2012}$$

$$P_{2022} = 2087 * (1 + 0.01)^{10}$$

$$P_{2022} = 2306 \text{ Habitantes}$$

Cálculo de hogares o viviendas para el año 2022:

$$P_{2022} = 459 * (1 + 1\%)^{2022-2012}$$

$$P_{2022} = 459 * (1 + 0.01)^{10}$$

$$P_{2022} = 507 \text{ Viviendas}$$

Cálculo de habitantes para la proyección a 25 años (hasta el año 2047):

$$P_{2047} = 2306 * (1 + 0.01)^{25}$$

$$P_{2047} = 2957 \text{ Habitantes}$$

Cálculo de hogares o viviendas para la proyección a 25 años (hasta el año 2047):

$$P_{2047} = 507 * (1 + 0.01)^{25}$$

$$P_{2047} = 650 \text{ Viviendas}$$

La tabla presentada a continuación muestra el crecimiento del área de influencia del presente proyecto, con una proyección al año 2047

Tabla 4.2

Proyección completa de habitantes y hogares hasta el 2047 de la localidad de Cala Cala.

AÑO	N° DE HABITANTES	N° DE HOGARES
2022	2306	507
2023	2329	512
2024	2352	517
2025	2376	522
2026	2400	528
2027	2424	533
2028	2448	538
2029	2472	544
2030	2497	549
2031	2522	555
2032	2547	560
2033	2572	566
2034	2598	571
2035	2624	577
2036	2650	583

2037	2677	589
2038	2704	595
2039	2731	600
2040	2758	606
2041	2786	613
2042	2814	619
2043	2842	625
2044	2870	631
2045	2899	637
2046	2928	644
2047	2957	650

Nota. Fuente: Elaborado en base a datos del Instituto Nacional de Estadística (INE).

4.1.4. CÁLCULO DE LA DEMANDA DE GAS NATURAL

El análisis de la demanda del gas natural se realiza tomando en cuenta los siguientes usuarios:

- Usuarios domésticos.
- Usuarios comerciales.

4.1.4.1. Consumo Domestico

El cálculo del consumo domiciliario puede ser realizado a partir de la ecuación **Ec. 3.4** tomando las siguientes consideraciones:

Tabla 4.3

Potencia del equipo.

EQUIPO	POTENCIA DEL EQUIPO (<i>kW/h</i>)
Cocina	10.56
Calentador de baño	18

Fuente: Elaboración propia en base al D.S.1996.

Donde:

$$PCS = 10.87 \left[\frac{kW}{m^3} \right]$$

Cálculo de los consumos de los aparatos mediante la ecuación **Ec. 3.5**:

$$C = \frac{P}{PCS}$$

Para la cocina, reemplazamos datos:

$$C_1 = \frac{10.56 \left[\frac{kW}{h} \right]}{10.87 \left[\frac{kW}{m^3} \right]}$$

$$C_1 = 0,9715 \left[\frac{m^3}{kW} \right]$$

Para el calentador de baño, reemplazamos datos:

$$C_2 = \frac{18.00 \left[\frac{kW}{h} \right]}{10.87 \left[\frac{kW}{m^3} \right]}$$

$$C_2 = 1,6559 \left[\frac{m^3}{kW} \right]$$

Tabla 4.4

Resumen de los equipos a emplear.

DESCRIPCIÓN	COCINA	CALENTADOR DE BAÑO	UNIDADES
Porcentaje de hogares que cuentan con el equipo (A)	1	0.20	%/100
Consumo promedio (C)	0.9715	1.6559	m^3/h
Simultaneidad (S)	0.15	0.30	%/100

Fuente: Elaboración propia en base al D.S.1996.

Finalmente reemplazamos datos a la ecuación **Ec. 3.4**, tenemos:

$$Q_{DOM} = (A_1 * C_1 * S_1 + A_2 * C_2 * S_2) * N$$

Donde:

N = 650 Hogares o Viviendas.

$$Q_{DOM} = (1 * 0.9715 * 0.15 + 0.20 * 1.6559 * 0.3) * 650$$

$$Q_{DOM} = 159.3 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Tabla 4.5

Resumen del caudal doméstico y número de abonados.

Número de abonados (N)	650	Nº Hogares
Caudal domestico demandado (Q_{DOM})	159.3	m^3/h

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

4.1.4.2. Consumo Comercial

Para la proyección de consumo comercial de la localidad de Cala Cala se va considerar el 10% del consumo doméstico, reemplazamos datos en la ecuación **Ec. 3.6**:

$$Q_{COM} = \frac{\%}{100} * Q_{DOM}$$

$$Q_{COM} = \frac{10\%}{100} * 159.3 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_{COM} = 15.93 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Entonces nuestro consumo en la red secundaria se calculará de la siguiente manera en la ecuación **Ec. 3.3**:

$$Q_S = Q_{DOM} + Q_{COM}$$

$$Q_S = (159.3 + 15.93) \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_S = 175.23 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

4.1.4.3. Consumo Total

El consumo total a abastecer se determina mediante la suma de todas las categorías como se muestra en la ecuación **Ec. 3.2**:

$$Q_T = Q_S + Q_{IND} + Q_{GNV}$$

Considerando que la localidad de Cala Cala no cuenta con una industria ni con una GNV:

$$Q_{IND} = 0 \left[\frac{m^3}{h} \right].$$

$$Q_{GNV} = 0 \left[\frac{m^3}{h} \right].$$

Obtenemos:

$$Q_T = (175.23 + 0 + 0) \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_T = 175.23 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

4.1.4.4. Compensación de Caudales

Considerando que el consumo proyectado para el año 2047 de la categoría doméstica y comercial es de $175.23 \text{ m}^3/h$, es más que suficiente instalar un EDR con capacidad de $500 \text{ m}^3/h$ de esta manera realizar la compensación de caudales en el sistema hidráulico.

Tabla 4.6

Caudal total proyectado al 2047.

USUARIO	POBLACIÓN DE CALA CALA	UNIDADES
Domestico	159.3	m^3/h
Comercial	15.93	m^3/h
TOTAL	175.23	m^3/h

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

4.1.5. SELECCIÓN DE LA ESTACIÓN DISTRITAL DE REGULACIÓN (EDR)

La capacidad nominal de estos equipos está en base a los consumos proyectados en la **Tabla 3.4** del presente documento, la cual nos ayuda en la selección del EDR.

Cabe señalar como dato adicional que para su selección solo se toma el caudal de la red secundaria que contempla el caudal doméstico y el comercial respectivamente.

Tabla 4.7

Especificaciones de la Estación Distrital de Regulación (EDR) a implementar.

CARACTERÍSTICAS DEL GAS	EDR	UNIDADES
Caudal	175.23	m^3/h
Presión de suministro	4	Bares
Capacidad de suministro	500	m^3/h
Línea de enfriamiento	60	m

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

En la tabla anterior se muestra en resumen las características de la Estación Distrital de Regulación (EDR) que se va a implementar, se tuvo que asumir a un caudal de 500 SMCH ya que para su selección se emplea el consumo en la red secundaria.

Tabla 4.8

Coordenadas en donde se instalará el EDR de Cala Cala.

UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN DISTRITAL DE REGULACIÓN (EDR)			
EDR	500	m^3/h	657747.00 m E – 8066107.00 m S

Fuente: Elaborado en base a datos de Google Earth Pro, 2022.

4.1.5.1. Características Técnicas del EDR

- El EDR deberá estar en un recinto armario de manera que los equipos e instrumentos del EDR queden contenidos en su integridad dentro.
- Nivel sonoro: no deberá superar los 80 dB.
- La capacidad nominal del EDR será de 500 SMCH.
- Todas las soldaduras deben ser realizadas de acuerdo a procedimiento calificado de soldadura, conforme a API 1104.
- Realizar ensayos radiográficos al 100% de las juntas soldadas, de acuerdo a

ASME IX.

- Los ensayos hidráulicos de los componentes del EDR, deberán ser realizados a 1.5 veces la presión de 609 Psig durante 4 horas, debiéndose registrar presión y temperatura.
- Realizar pruebas con aire en los sistemas a la presión máxima de operación (609 Psig de entrada y 58 Psig de salida) y verificar la inexistencia de fugas con agua jabonosa.
- El EDR deberá contar con las siguientes líneas: Línea de Ingreso, Línea de Trabajo, Línea de Stand By, Línea de By Pass, Línea Común (a la salida de las Líneas de Trabajo y Stand By), Línea de medición, Línea de Alivio y Línea de Salida.
- Tanto la Línea de Ingreso como la de Salida de la EDR, deben ser bridadas y traer consigo, el juego de espárragos y pernos para unión, además de sus correspondientes kits de juntas dieléctricas.
- La activación de la Línea de Stand By debe ser automática (sincronizada en caso de falla de la Línea de Trabajo) con opción de activación manual.

Especificaciones del EDR (Véase Anexos).

4.1.6. SELECCIÓN DEL CITY GATE

En este proyecto se tomarán **dos alternativas** de selección de City Gate, para la derivación del Gasoducto al Altiplano hacia la localidad de Cala Cala.

4.1.6.1. Alternativa 1

La primera alternativa será implementar un nuevo City Gate llamado “City Gate Cala Cala” que estará ubicada al lado del Gasoducto al Altiplano (GAA), respetando las normas se procedió a llegar a un acuerdo del posible lugar donde estará ubicado este City Gate.

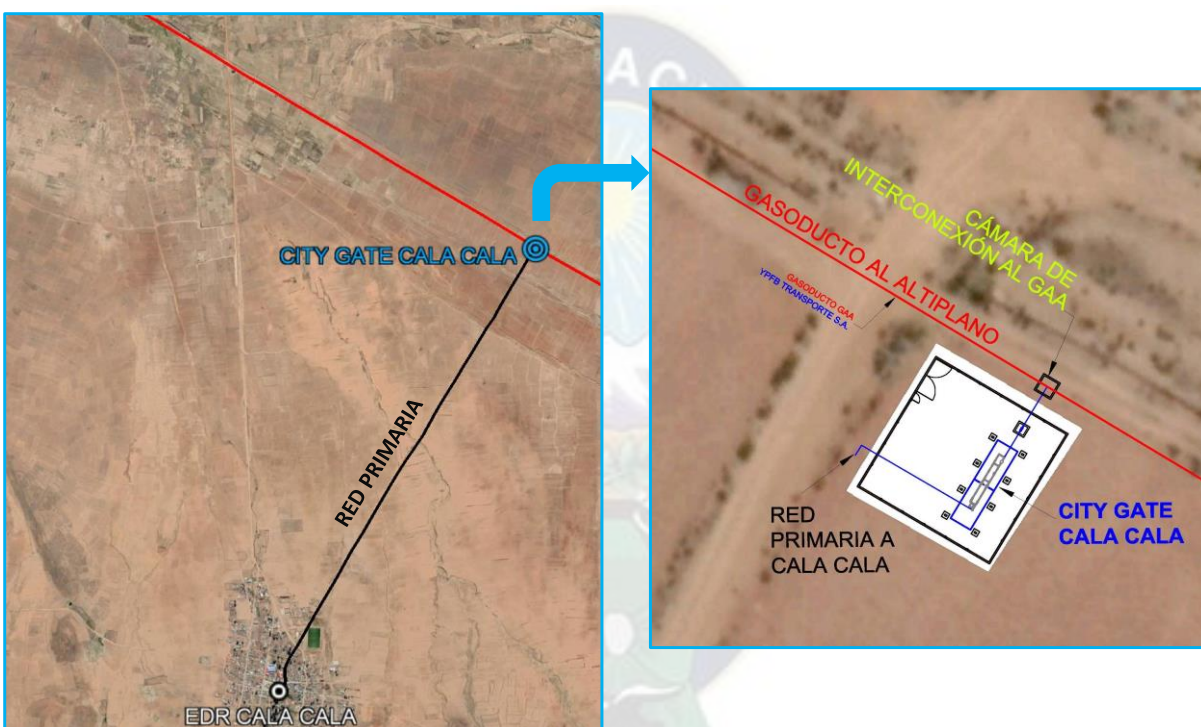
Las características del City Gate Cala Cala para su selección se basan en el consumo

total de los usuarios de categoría doméstica, comercial, industrial y GNV.

Como la localidad de Cala Cala no cuenta aún con categorías industrial y GNV asumiremos un caudal de 1400 SCM³/h, que es mucho más alto del calculado, debido a que en el mercado boliviano no hay arreglos de City Gates con menores caudales al ya mencionado.

Figura 4.5

Vista satelital de la ubicación donde implementar el City Gate de Cala Cala y su Red Primaria.



Nota. Se muestra el lugar donde se instalará el City Gate Cala Cala y el trazado de la acometida hacia el EDR (Red Primaria). Fuente: Elaborado en base a Google Earth Pro, 2021.

Figura 4.6

Coordenadas en donde se instalará el City Gate Cala Cala.

UBICACIÓN DEL CITY GATE CALA CALA			
CITY GATE CALA CALA	1400	m ³ /h	659165.00 m E – 8068490.00 m S

Fuente: Elaborado en base a datos de Google Earth Pro, 2022.

En la **Tabla 3.3** de este proyecto se muestran algunas capacidades de selección del City Gate.

Tabla 4.9

Características del City Gate Cala Cala a implementar.

CARACTERÍSTICAS DEL GAS	CITY GATE CALA CALA	UNIDADES
Caudal	175.23	m^3/h
Presión de Entrada	1400	PSI
Presión de Salida	200 - 450	PSI
Capacidad de suministro	1400	m^3/h

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

4.1.6.2. Alternativa 2

La segunda alternativa será conectarse (Red Primaria) mediante una cámara de derivación en el City Gate Konani.

La localidad de Konani se encuentra a 3.6 Km. aproximadamente de la localidad de Cala Cala, está ya cuenta con un City Gate llamado "City Gate Konani" que inicio su construcción en el año 2017.

El City Gate Konani ya está construida en su totalidad y se pretende implementarla con un caudal de 1400 SCMh para abastecer de gas natural a las localidades de Konani y Cala Cala.

La cámara de derivación ya está preparada con una Tee normal SCH40 DN 2 plg.

Figura 4.7

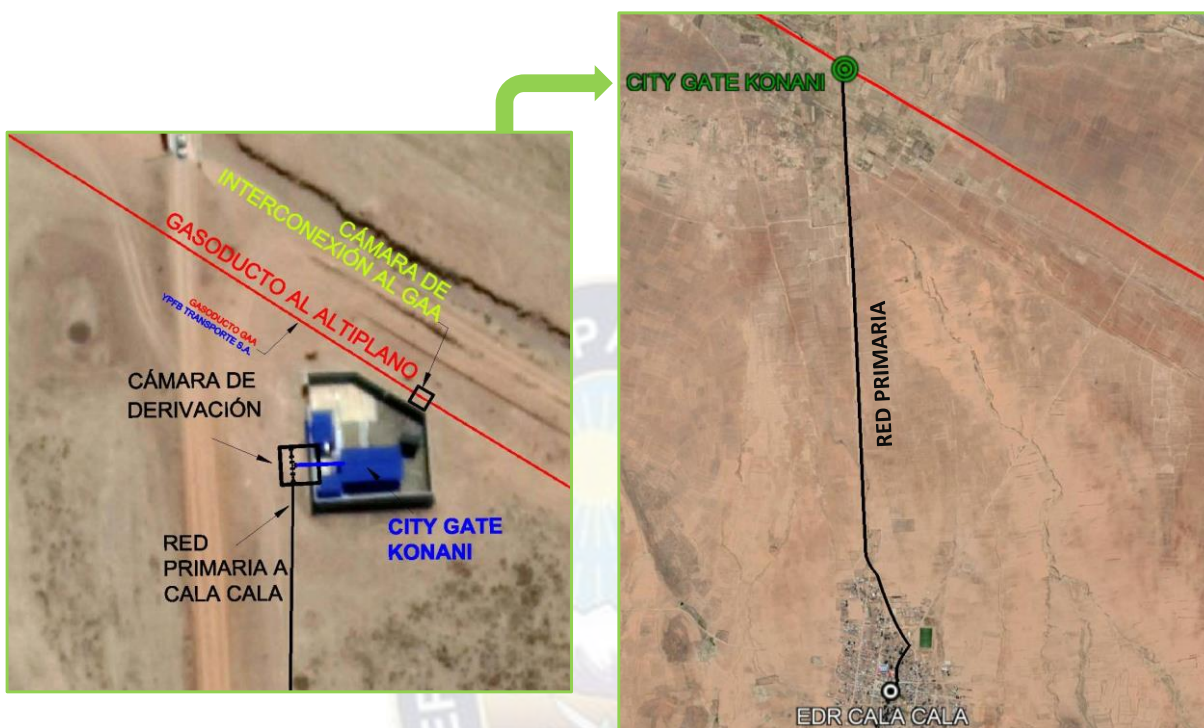
Coordenadas del City Gate de Konani.

UBICACIÓN DEL CITY GATE KONANI			
CITY GATE KONANI	1400	m^3/h	657498.00 m E– 8069497.00 m S

Fuente: Elaborado en base a datos Google Earth Pro, 2022.

Figura 4.8

Vista satelital donde está ubicado el City Gate Konani.



Nota. Se muestra el City Gate Konani lugar donde se instalará la derivación y el trazado de la acometida hacia el EDR (Red Primaria) a Cala Cala. Fuente: Elaborado en base a Google Earth Pro, 2021.

Tabla 4.10

Características del City Gate Konani implementado.

CARACTERÍSTICAS DEL GAS	CITY GATE KONANI	UNIDADES
Caudal	175.23	m^3/h
Presión de Entrada	1400	PSI
Presión de Salida	200 - 450	PSI
Capacidad de suministro	1400	m^3/h

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

4.1.6.3. Características Técnicas del City Gate

Algunas características importantes del City Gate para las dos alternativas:

- La Presión a la salida del City Gate, podrá variar entre 609 y 350 Psig.
- Densidad relativa del Gas Natural es de 0.62
- Temperatura nominal de trabajo entre -20°C a 50°C .
- El City Gate deberá contar con juntas aislantes dieléctricas ANSI 300 RF a su entrada y salida.
- El equipo en su integridad deberá ir montado sobre una estructura sólida tipo skid, cuyo diseño garantice que, en el City Gate, se eviten esfuerzos de tensión y/o tangenciales de corte.
- Los ensayos hidráulicos deberán ser realizados a 1.5 veces la presión máxima de operación de los componentes del puente durante cuatro 4 horas, debiéndose registrar presión y temperatura.
- Realizar ensayos radiográficos del 100% de las juntas soldadas, interpretándose los ensayos de acuerdo a API 1104.
- La instalación de los componentes involucrados en la medición debe cumplir con lo que dispone la norma AGA ANSI B109.3.

Especificaciones del City Gate (Véase Anexos).

4.1.6.4. Suministro de Gas

Los City Gates son instalaciones que se encuentran generalmente cerca a los lugares donde pasa el Gasoducto.

El suministro de gas a los City Gates se los realizara mediante una acometida de derivación de acero del Gasoducto al Altiplano (GAA) al City Gate que se ubicara en una cámara de interconexión, tal acometida cuenta con un sistema de seguridad o bloqueo que corta el suministro de gas cuando existe presiones y caudales anormales.

4.1.7. DISEÑO DE LA RED PRIMARIA

4.1.7.1. Características del Gas Natural

La composición del gas utilizada para los distintos cálculos se describe en la **Tabla 3.6** del presente documento.

4.1.7.2. Clase de Localidad

Tomando en cuenta el total de las rutas definidas para el tendido de red primaria en las dos alternativas propuestas y seccionados en tramos de 1 milla (1600 metros), según sugiere ASME B31.8 se considera al mismo como población **Clase 3**. (Véase Anexos)

4.1.7.3. Trazo

Las rutas contempladas fueron seleccionadas considerando:

- Que las autoridades correspondientes a la población mediante una concesión de uso de suelos han mostrado la zona de equipamiento donde se realizara la instalación del EDR. (Véase Anexos).
- La red primaria del City Gate (en las dos alternativas de cálculo) hacia el EDR presenta una elevación mayor a 30 metros por lo cual se realizó un perfil longitudinal mostrando la elevación del trayecto en este proyecto.

4.1.7.4. Perfil Longitudinal

Un perfil longitudinal consiste básicamente en dos ejes proyectadas en un plano de corte, reflejando en dichos planos las distintas pendientes y distancias parciales, nos servirán como reflejo de cómo va el trayecto de nuestra tubería sobre el terreno.

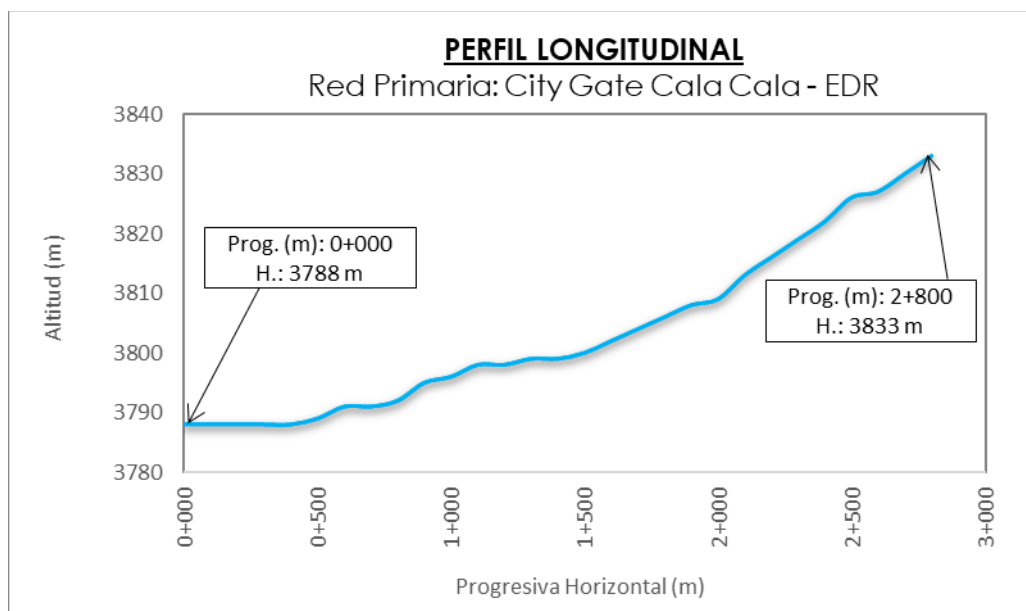
A la distancia recorrida de los perfiles se los denomina progresiva tomando está el valor cero en el origen del levantamiento y aumentando en el sentido de avance.

Para el presente proyecto se va realizar dos alternativas de trazado de la acometida al EDR de Cala Cala (Red Primaria), en las anteriores **Figuras 4.5** y **4.6** respectivamente se puede apreciar cómo va el trayecto de la tubería.

Alternativa 1: Comienza en el City Gate Cala Cala a implementar y llega al EDR.

Figura 4.9

Perfil longitudinal del City Gate Cala Cala al EDR.

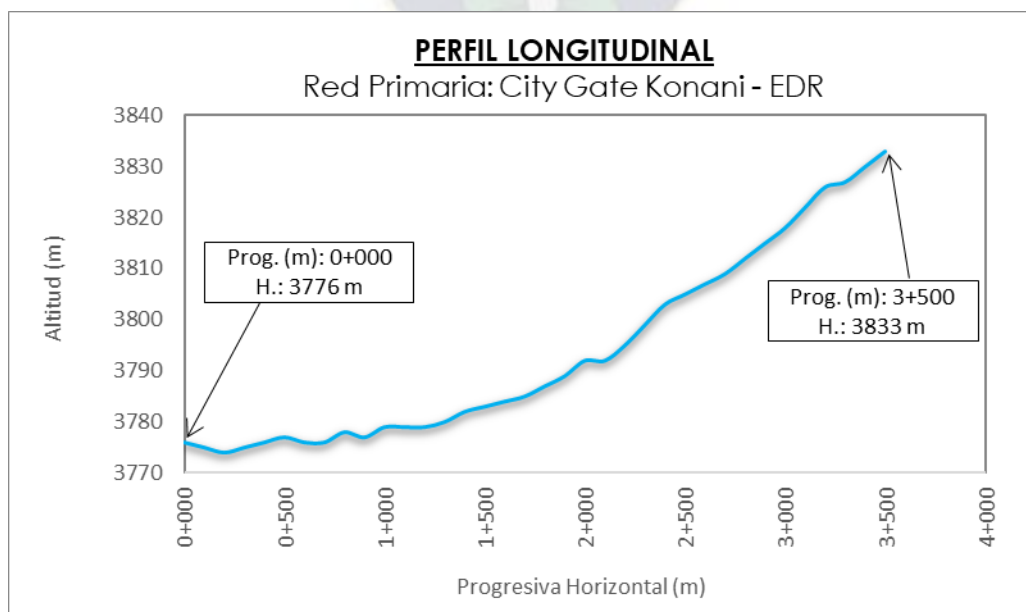


Fuente: Elaborado en base a datos propios.

Alternativa 2: Comienza en el City Gate Konani, cámara de derivación y llega al EDR.

Figura 4.10

Perfil longitudinal del City Gate Konani al EDR.



Fuente: Elaborado en base a datos propios.

Tabla 4.11

Resumen de longitud y elevación para las alternativas a implementar.

DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)	DIFERENCIA DE ELEVACIÓN (m)
Alternativa 1	2794	45
Alternativa 2	3488	57

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

4.1.7.5. Base de Calculo

Todos los cálculos serán realizados en función a los datos que se observan en las siguientes tablas, mismos que son obtenidos en función a las características del gas, la localización de la tubería y algunos datos estándar obtenidos de la norma **ASME B31.8**.

Tabla 4.12

Caudal que se requiere para el EDR.

DIMENSIONAMIENTO ACOMETIDA A EDR		
$EDR_{CONSUMO\ NOMINAL\ DE\ EDR}$	500 m ³ /h	423776.4 ft ³ /dia

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

Tabla 4.13

Parámetros para el cálculo del diámetro de tubería.

CARACTERÍSTICAS DEL GAS	RED PRIMARIA	UNIDAD
Temperatura de Flujo (T_m)	528	°R
Temperatura Base (T_b)	520	°R
Presión máxima en la Red de Distribución (P_1)	350	Psig
Presión Base (P_b)	14.7	Psig
Gravedad Especifica (G)	0.62	Adimensional
Poder Calorífico (PCS)	1048.4	°F(BTU/PC)

Factor de Eficiencia (E)	1	<i>Adimensional</i>
Factor de Compresibilidad (Z)	0.95	<i>Adimensional</i>
Caudal (Q)	423.77	<i>MSCFD</i>
Constante empírica con valor de 100-125 (C)	100	<i>Adimensional</i>
Constante Universal de los Gases(R)	10.73	<i>Psia ft³/lbmol R</i>

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

4.1.7.6. Dimensionamiento de la Tubería

La ubicación del City Gate y la Estación Distrital de Regulación (EDR) se encuentran en las figuras.

Para determinar el diámetro de la línea se utilizó la ecuación de Weymouth **Ec. 3.7** ya que la misma es usada para altas presiones, caudal elevado y diámetros menores a 15 pulgadas con buena exactitud.

$$Q = 433.5 * E * \left(\frac{T_b}{P_b}\right) * \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{G * T_m * L * Z}\right)^{0.5} * D^{2.667}$$

Considerando el parámetro de ajuste tomando en cuenta correcciones debido a la elevación usaremos la siguiente ecuación **Ec. 3.8**:

$$Q = 433.5 * E * \left(\frac{T_b}{P_b}\right) * \left(\frac{P_1^2 - e^s P_2^2}{G * T_m * L_e * Z}\right)^{0.5} * D^{2.667}$$

Alternativa 1: Considerando la red primaria desde el City Gate Cala Cala al EDR de la localidad con el mismo nombre.

Datos:

$$L = 2794 \text{ m} = 1.736 \text{ millas}$$

$$H_2 - H_1 = 45 \text{ m} = 147.638 \text{ ft}$$

Remplazamos datos en la ecuación **Ec. 3.10**:

$$s = 0.0684 * G * \left(\frac{H_2 - H_1}{T_m * Z}\right)$$

$$s = 0.0684 * 0.62 * \left(\frac{147.638}{528 * 0.95} \right)$$

$$s = 0.012482 \text{ [Adimensiona]}$$

Determinación de la longitud equivalente en la ecuación **Ec. 3.9**:

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

$$L_e = \frac{1.736 * (e^{0.012482} - 1)}{0.012482}$$

$$L_e = 1.747 \text{ [millas]}$$

Para determinar la presión de llegada vamos a proponer diámetros de 2 a 10 pulgadas.

Remplazamos datos para el diámetro de 2 pulgadas en la ecuación:

$$Q = 433.5 * E * \left(\frac{T_b}{P_b} \right) * \left(\frac{P_1^2 - e^s P_2^2}{G * T_m * L_e * Z} \right)^{0.5} * D^{2.667}$$

Despejamos:

$$P_2 = \sqrt{\frac{P_1^2 - \frac{(Q * P_b)^2 * G * T_m * L_e * Z}{(433.5 * E * T_b * D^{2.667})^2}}{e^s}}$$

$$P_2 = \sqrt{\frac{350^2 - \frac{(423776.4 * 14.7)^2 * .62 * 528 * 1.747 * 0.95}{(433.5 * 1 * 520 * 2^{2.667})^2}}{e^{0.012482}}}$$

$$P_2 = 332.898 \text{ [Psig]}$$

Cálculo de la velocidad del flujo tomando la ecuación **Ec. 3.11**:

$$v = 0.002122 * \left(\frac{Q}{D^2} \right) * \left(\frac{P_b}{T_b} \right) * \left(\frac{Z * T_i}{P_i} \right)$$

Remplazamos datos:

$$v = 0.002122 * \left(\frac{423776.4}{2^2} \right) * \left(\frac{14.7}{520} \right) * \left(\frac{0.95 * 528}{332.898} \right)$$

$$v = 9.576 \left[\frac{ft}{s} \right] = 2.919 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Cálculo de la velocidad erosional a partir de la ecuación **Ec. 3.13**:

$$v_e = C * \sqrt{\frac{Z * R * T}{29 * G * P}}$$

Remplazamos datos:

$$v_e = 100 * \sqrt{\frac{0.95 * 10.73 * 528}{29 * 0.62 * 332.898}}$$

$$v_e = 94.83 \left[\frac{ft}{s} \right] = 28.90 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Se cumple que $v < 20 \text{ m/s}$

Se cumple que $v < v_e$

Entonces el diámetro adoptado es de 2 pulgadas.

Tabla 4.14

Resumen de cálculos de presión adoptando diferentes diámetros Alternativa 1.

WEYMOUTH							
D	Q	P1	P2	DP	Ve	V	V < 20
(Plg)	(PCD)	(PSlg)	(PSlg)	(PSlg)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
10	423776.4	350	347.8197	2.1803	28.2762	0.1117	CUMPLE
8	423776.4	350	347.8135	2.1865	28.2765	0.1746	CUMPLE
6	423776.4	350	347.7808	2.2192	28.2778	0.3104	CUMPLE
4	423776.4	350	347.4602	2.5398	28.2909	0.6991	CUMPLE
3	423776.4	350	346.1388	3.8612	28.3448	1.2476	CUMPLE
2	423776.4	350	332.8986	17.1014	28.9030	2.9187	CUMPLE

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

Como resultado del dimensionamiento de la Red Primaria desde el City Gate Cala Cala al EDR del mismo nombre se tiene los siguientes datos:

TRAMOS DE DISEÑO	PRESION INICIAL	PRESION FINAL	DIAMETRO COMERCIAL
	<i>(Psig)</i>	<i>(Psig)</i>	ADOPTADO <i>(Plg)</i>
RED PRIMARIA	350	333	2

Alternativa 2: Considerando la red primaria desde el City Gate Konani al EDR Cala Cala.

Datos:

$$L = 3488 \text{ m} = 2.167 \text{ millas}$$

$$H_2 - H_1 = 57 \text{ m} = 187.008 \text{ ft}$$

Remplazamos datos en la ecuación **Ec. 3.10**:

$$s = 0.0684 * G * \left(\frac{H_2 - H_1}{T_m * Z} \right)$$

$$s = 0.0684 * 0.62 * \left(\frac{187.008}{528 * 0.95} \right)$$

$$s = 0.015811 \text{ [Adimensiona]}$$

Determinación de la longitud equivalente en la ecuación **Ec. 3.9**:

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

$$L_e = \frac{2.167 * (e^{0.015811} - 1)}{0.015811}$$

$$L_e = 2.185 \text{ [millas]}$$

Para determinar la presión de llegada vamos a proponer diámetros de 2 a 10 pulgadas.

Remplazamos datos para el diámetro de 2 pulgadas en la ecuación:

$$Q = 433.5 * E * \left(\frac{T_b}{P_b} \right) * \left(\frac{P_1^2 - e^s P_2^2}{G * T_m * L_e * Z} \right)^{0.5} * D^{2.667}$$

Despejamos:

$$P_2 = \sqrt{\frac{P_1^2 - \frac{(Q * P_b)^2 * G * T_m * L_e * Z}{(433.5 * E * T_b * D^{2.667})^2}}{e^s}}$$

$$P_2 = \sqrt{\frac{350^2 - \frac{(423776.4 * 14.7)^2 * .62 * 528 * 2.185 * 0.95}{(433.5 * 1 * 520 * 2^{2.667})^2}}{e^{0.015811}}}$$

$$P_2 = 328.507 \text{ [Psig]}$$

Cálculo de la velocidad del flujo tomando la ecuación **Ec. 3.11**:

$$v = 0.002122 * \left(\frac{Q}{D^2}\right) * \left(\frac{P_b}{T_b}\right) * \left(\frac{Z * T_i}{P_i}\right)$$

Remplazamos datos:

$$v = 0.002122 * \left(\frac{423776.4}{2^2}\right) * \left(\frac{14.7}{520}\right) * \left(\frac{0.95 * 528}{328.507}\right)$$

$$v = 9.703 \left[\frac{ft}{s}\right] = 2.958 \left[\frac{m}{s}\right]$$

Cálculo de la velocidad erosional a partir de la ecuación **Ec. 3.13**:

$$v_e = C * \sqrt{\frac{Z * R * T}{29 * G * P}}$$

Remplazamos datos:

$$v_e = 100 * \sqrt{\frac{0.95 * 10.73 * 528}{29 * 0.62 * 328.507}}$$

$$v_e = 95.44 \left[\frac{ft}{s}\right] = 29.09 \left[\frac{m}{s}\right]$$

Se cumple que $v < 20 \text{ m/s}$

Se cumple que $v < v_e$

Entonces el diámetro adoptado es de 2 pulgadas.

Tabla 4.15

Resumen de cálculos de presión adoptando diferentes diámetros Alternativa 2.

WEYMOUTH							
D	Q	P1	P2	DP	Ve	V	V < 20
(Pig)	(PCD)	(PSig)	(PSig)	(PSig)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
10	423776.4	350	347.2406	2.7594	28.2998	0.1119	CUMPLE
8	423776.4	350	347.2328	2.7672	28.3001	0.1749	CUMPLE
6	423776.4	350	347.1921	2.8079	28.3018	0.3110	CUMPLE
4	423776.4	350	346.7918	3.2082	28.3181	0.7005	CUMPLE
3	423776.4	350	345.1409	4.8591	28.3858	1.2512	CUMPLE

2	423776.4	350	328.5074	21.4926	29.0955	2.9578	CUMPLE
---	----------	-----	----------	---------	---------	--------	--------

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

Como resultado del dimensionamiento de la Red Primaria desde el City Gate Konani al EDR de Cala Cala se tiene los siguientes datos:

TRAMOS DE DISEÑO	PRESION INICIAL (<i>Psig</i>)	PRESION FINAL (<i>Psig</i>)	DIAMETRO COMERCIAL ADOPTADO (<i>Plg</i>)
RED PRIMARIA	350	329	2

4.1.7.7. Suministro

La línea de red primaria a implementar será de diámetro nominal de **2 pulgadas** considerando ambas alternativas (City Gate Cala Cala o Konani) de derivación hacia el EDR de Cala Cala.

4.1.7.8. Selección del Material de la Tubería

Para tener una buena selección de tubería vamos realizar el cálculo del espesor mediante la ecuación **Ec. 3.14**:

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

Con las siguientes condiciones de diseño:

- Máxima presión de operación según ANEXO 1 es de 42 Bar (**4.2 MPa**)
- Diámetro interno según nuestro diseño es de 2 pulgadas, para obtener el diámetro nominal nos vamos a la **Tabla 3.7** donde nos muestra la ASME B36.10M el valor de 2.375 pulgadas (**60.3 mm**).
- Velocidad de corrosión en tuberías de acero 0.003125 plg/año (NACE).
- Tiempo de vida útil será de 25 años como indica el proyecto.

Se propone 3 grados de tubería:

Opción 1: Tubería API 5L Gr A25 PSL 1

Opción 2: Tubería API 5L Gr X52 PSL 1

Opción 3: Tubería API 5L Gr B PSL 1

En la **Tabla 3.6** nos indica el valor de la tensión de fluencia.

Tabla 4.16

Valores de tensión de fluencia (S) seleccionados.

TENSIÓN DE FLUENCIA (S)	
GRADO DE TUBERIA	TENSION DE FLUENCIA MPa (PSI)
A25	175 (25000)
X52	360 (52000)
B	245 (35000)

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

Como nuestra clase de trazado es de **Clase 3** en la **Tabla 3.9** encontraremos nuestro valor de factor de diseño (F) que es de **0.5**.

El valor de factor de junta longitudinal (E) para una tubería API 5L sin costura es de **1.00** que se encuentra en la **Tabla 3.10**.

Para el factor de variación por temperatura (T), normalmente en redes de distribución se trabaja a temperaturas menores a 121 °C entonces nuestro valor será de **1.00**.

Despejamos:

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

Reemplazamos datos:

Opción 1:

$$t = \frac{4.2 * 60.3}{2 * 175 * 0.5 * 1 * 1} = 1.4472 [mm]$$

Opción 2:

$$t = \frac{4.2 * 60.3}{2 * 360 * 0.5 * 1 * 1} = 0.7035 [mm]$$

Opción 3:

$$t = \frac{4.2 * 60.3}{2 * 245 * 0.5 * 1 * 1} = 1.0337 [mm]$$

Para el cálculo de nuestro espesor por corrosión tendremos:

$$t_{CORROSIÓN} = v_{CORROSIÓN} * T_{VIDA UTIL}$$

$$t_{CORROSIÓN} = 0.003125 * 25$$

$$t_{CORROSIÓN} = 0.0781 [plg] = 1.984 [mm]$$

Para el cálculo final de espesores adicionaremos el espesor por corrosión a los espesores calculados, tendremos:

Opción 1:

$$t = \frac{4.2 * 60.3}{2 * 175 * 0.5 * 1 * 1} = 1.4472 [mm] + 1.984 [mm] = 3.4312 [mm]$$

Opción 2:

$$t = \frac{4.2 * 60.3}{2 * 360 * 0.5 * 1 * 1} = 0.7035 [mm] + 1.984 [mm] = 2.6875 [mm]$$

Opción 3:

$$t = \frac{4.2 * 60.3}{2 * 245 * 0.5 * 1 * 1} = 1.0337 [mm] + 1.984 [mm] = 3.0177 [mm]$$

Finalmente comparamos los resultados con los espesores mínimos de pared recomendado de la **Tabla 3.12**, donde nos indica el valor del espesor usando la clase de trazado y el diámetro propuesto de la tubería. Para trazado Clase 3 y diámetro de 2 pulgadas tenemos un espesor mínimo de pared de 0.075 pulgadas (**1.905 mm**)

Opción 1: $t = 3.4312 \text{ mm} > 1.905 \text{ mm} = \text{Cumple}$

Opción 2: $t = 2.6875 \text{ mm} > 1.905 \text{ mm} = \text{Cumple}$

Opción 3: $t = 3.0177 \text{ mm} > 1.905 \text{ mm} = \text{Cumple}$

Los espesores calculados para las tres opciones todas cumplen y son mayores a los mínimos recomendados. Para el proyecto se va seleccionar la opción 3 de la ASME B36.10M:

Tubería API 5L Gr B PSL 1, STD 40, Espesor = 3.91 mm, S = 245 MPa, S/Costura.

4.1.7.9. Modelamiento mediante PIPESIM

Pipesim es un software creado por Schlumberger para modelar sistemas de producción y transporte de hidrocarburos, con un comportamiento turbulento o estable.

Para eso se usó el software Pipesim 2017.2, en esta versión no es necesario la conversión de unidades, el software ya cuenta con un catálogo amplio de unidades y tiene ya incorporada los tipos de tuberías de diferentes diámetros, grados y esquemas a usar.

Cabe señalar que cuenta con “GIS map” la cual permite de forma cómoda el trazado de la tubería en vista satelital, tiene un soporte para calcular las elevaciones “Capture Elevation” que nos permite seleccionar una fuente como ESRI, SRTM y ASTER para colocarlo automáticamente la diferencia de desnivel de nuestro trazado.

4.1.7.9.1. Condiciones Iniciales

Para el ingreso de datos al simulador es necesario tener las características del gas natural, en la **Tabla 3.6** se muestra los porcentajes molares.

Para correr nuestra simulación primero debemos ingresar los datos requeridos. La siguiente tabla muestra los parámetros a ingresar al simulador.

Tabla 4.17

Parámetros a ingresar al simulador.

CARACTERISTICAS DEL GAS	RED PRIMARIA	UNIDAD
Temperatura de Flujo (T_m)	68	$^{\circ}F$
Presión máxima en la Red de Distribución (P_1)	350	$Psig$
Diámetro Nominal (D)	2	Plg
Caudal (Q)	500	m^3/h

Nota. El diámetro de la tubería se va seleccionar en el software en base al esquema y grado

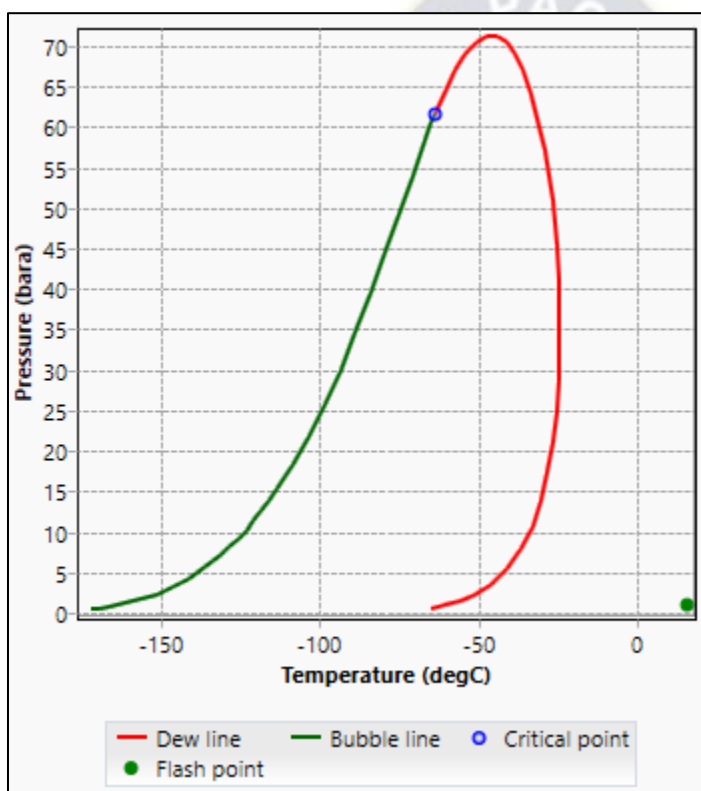
Fuente: Elaborado en base a datos propios.

4.1.7.9.2. Dimensionamiento de la Tubería mediante el Simulador

- **Características de la tubería:** Para la simulación se tomará una tubería de diámetro 2 plg., el software en su catálogo amplio de tuberías nos mostrará sus características como OD, ID, Thickness, Roughness y Weight.
- **Características del gas:** realizamos la elección de los componentes del GN, para luego darle valores de sus porcentajes molares, el resultado fue el siguiente:

Figura 4.11

Comportamiento del GN en función a la presión y temperatura.



Nota. Se muestra el diagrama del GN de acuerdo a sus características introducidas en el simulador Pipesim. Fuente: Elaborado en base a datos de “YPFB Transportes”.

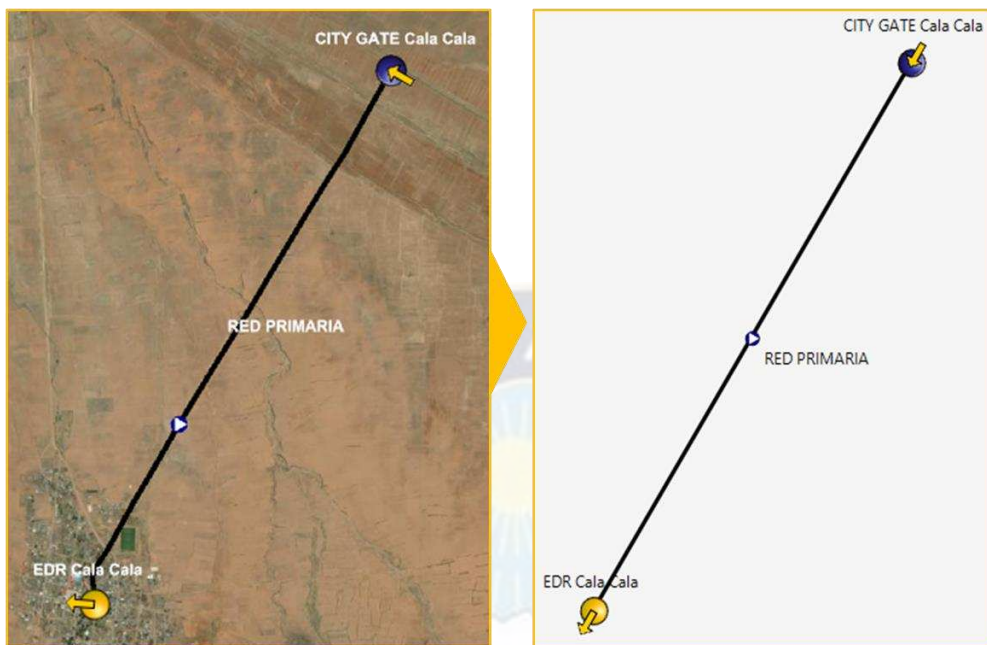
Al igual que en el cálculo analítico se va a tomar dos alternativas para el trazado de la tubería respectivamente.

Alternativa 1: Tomando desde el City Gate Cala Cala a implantar hasta el EDR.

Alternativa 2: Tomando desde el City Gate Konani ya implementada hasta el EDR.

Figura 4.12

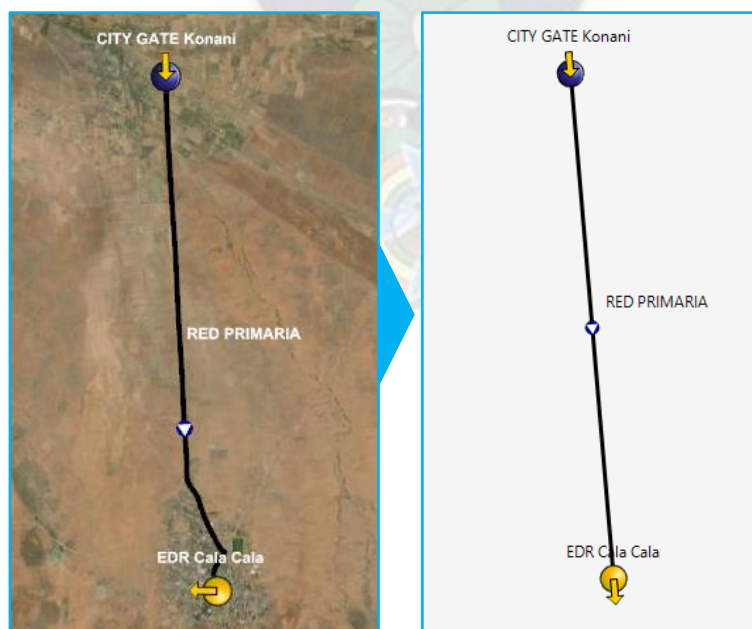
Trazado de la red primaria a partir del City Gate Cala Cala.



Fuente: Elaborado en base al software de simulación Pipesim.

Figura 4.13

Trazado de la red primaria a partir del City Gate Konani.



Fuente: Elaborado en base al software de simulación Pipesim.

4.1.7.9.3. Análisis de Resultados

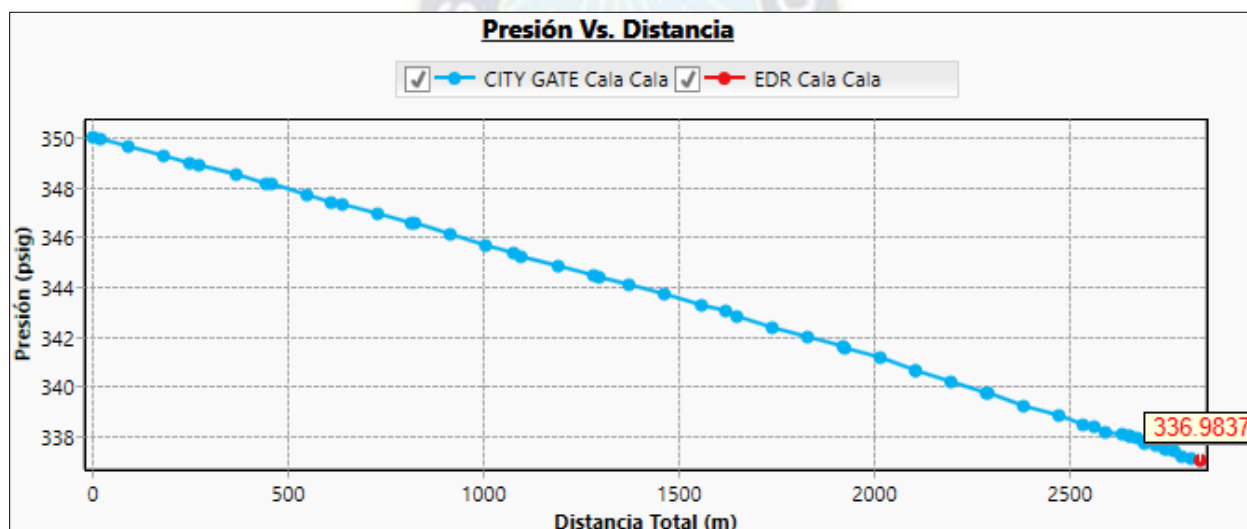
Durante el desarrollo de la simulación se hicieron también pruebas con diferentes diámetros con el fin de ajustar el diseño y cumplir con las normas técnicas. La memoria de cálculo de los resultados se muestra en el apartado de Anexos de este documento.

Resultados de la Alternativa 1:

En la siguiente figura se muestra el comportamiento de la presión con respecto a la distancia, en el grafico se puede observar que no existe una pérdida de presión muy elevada, esta presión está en el rango de lo permitido.

Figura 4.14

Comportamiento de la presión respecto a la distancia.

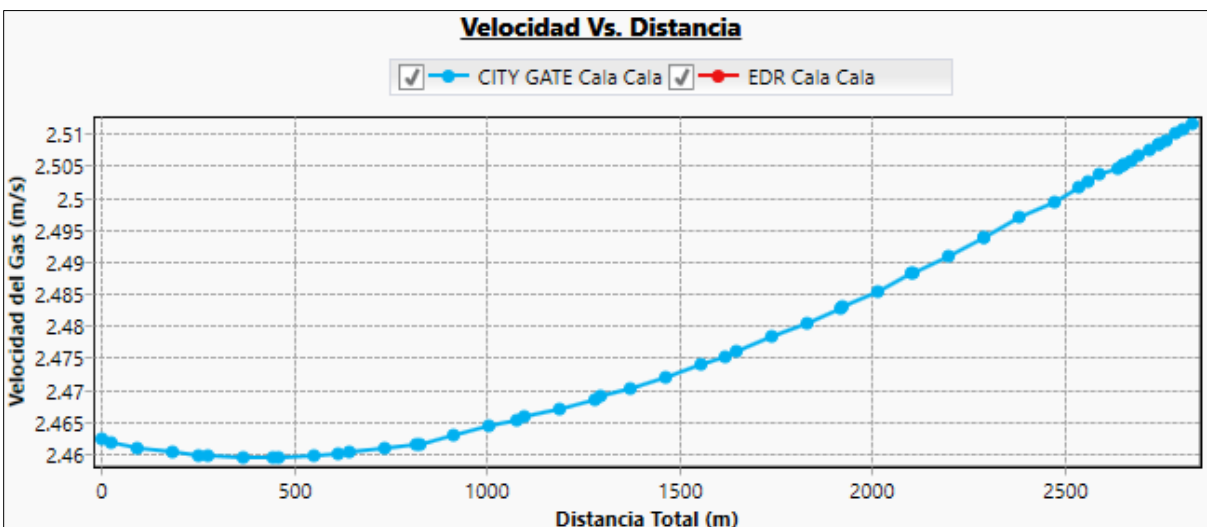


Nota. Se puede observar el valor de la presión de llegada. Fuente: Elaboración en base a la simulación en Pipesim.

El comportamiento de la velocidad del gas con respecto a la distancia que recorre es muy importante ya que es un indicador para la elección del diámetro a implementar, por este motivo se asumió un diámetro de 2 pulgadas. En la siguiente figura podemos observar que la velocidad del gas no es mayor a 20 m/s que es la velocidad máxima permitida según la norma de diseño de redes de gas.

Figura 4.15

Comportamiento de la velocidad del gas respecto a la distancia.

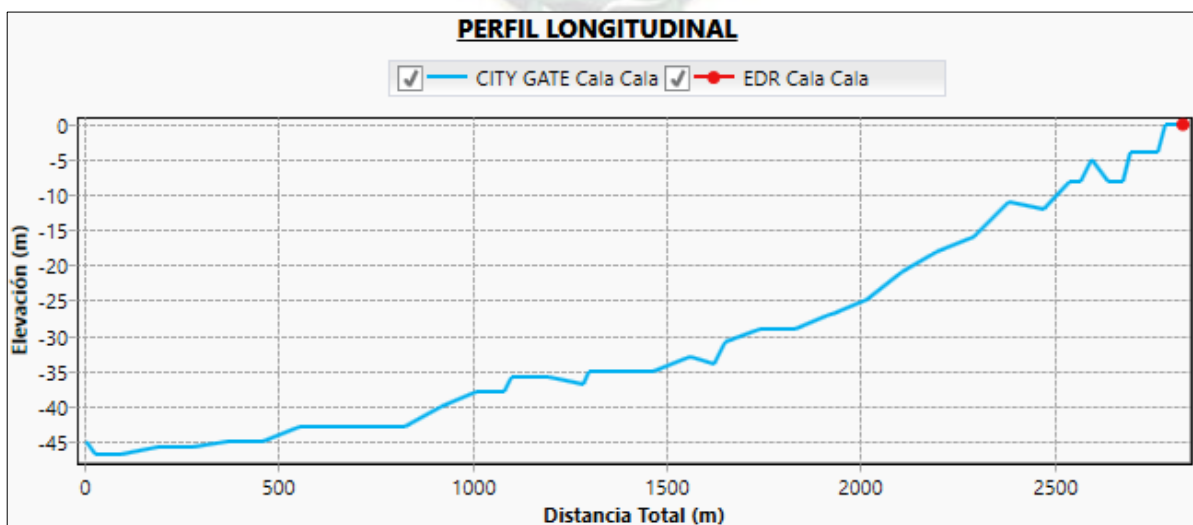


Fuente: Elaboración en base a la simulación en Pipesim.

Otro indicador importante en el diseño de redes de gas es el perfil longitudinal de la trayectoria que va recorrer la tubería, nos permite determinar que acciones tomar al momento de realizar la construcción.

Figura 4.16

Perfil longitudinal mediante la simulación con Pipesim (Alternativa 1).



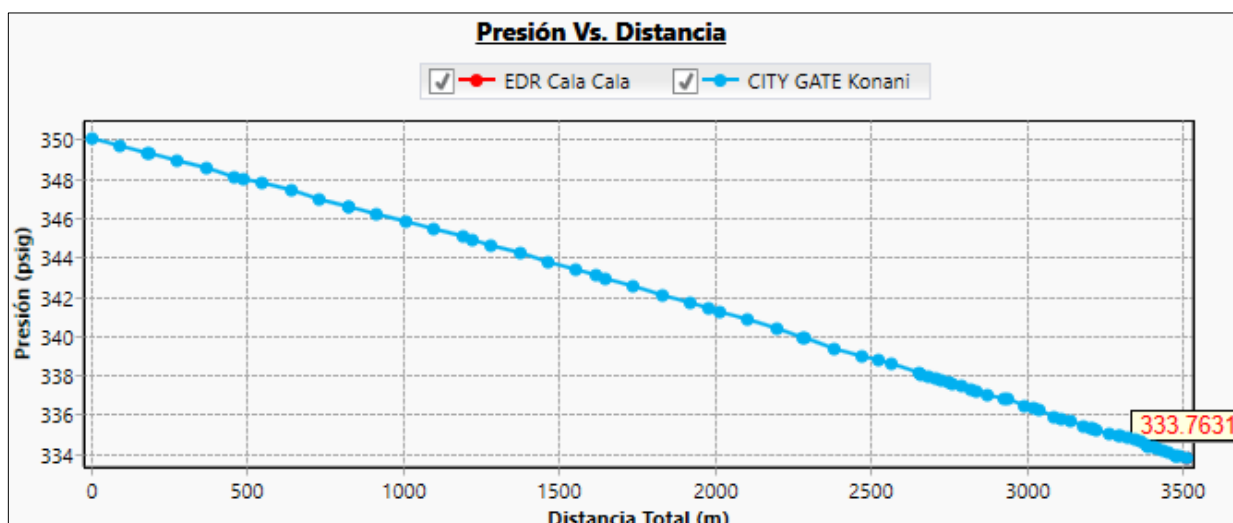
Fuente: Elaboración en base a la simulación en Pipesim.

Resultados de la Alternativa 2:

Los resultados tienen similitud con la primera alternativa. Con un parámetro menor de diferencia.

Figura 4.17

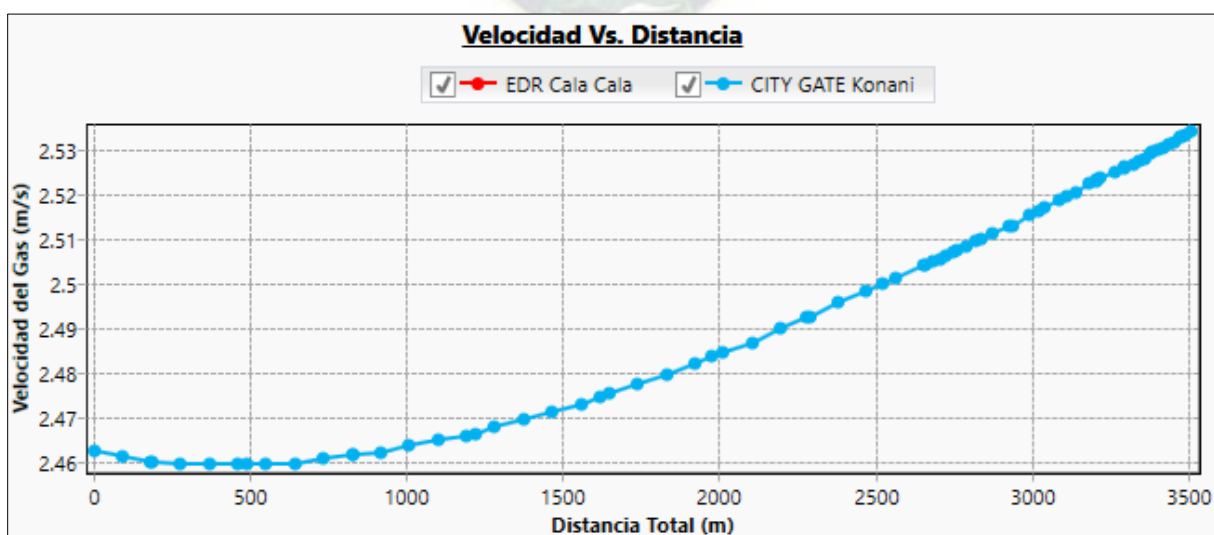
Comportamiento de la presión respecto a la distancia.



Fuente: Elaboración en base a la simulación en Pipesim.

Figura 4.18

Comportamiento de la velocidad del gas respecto a la distancia.

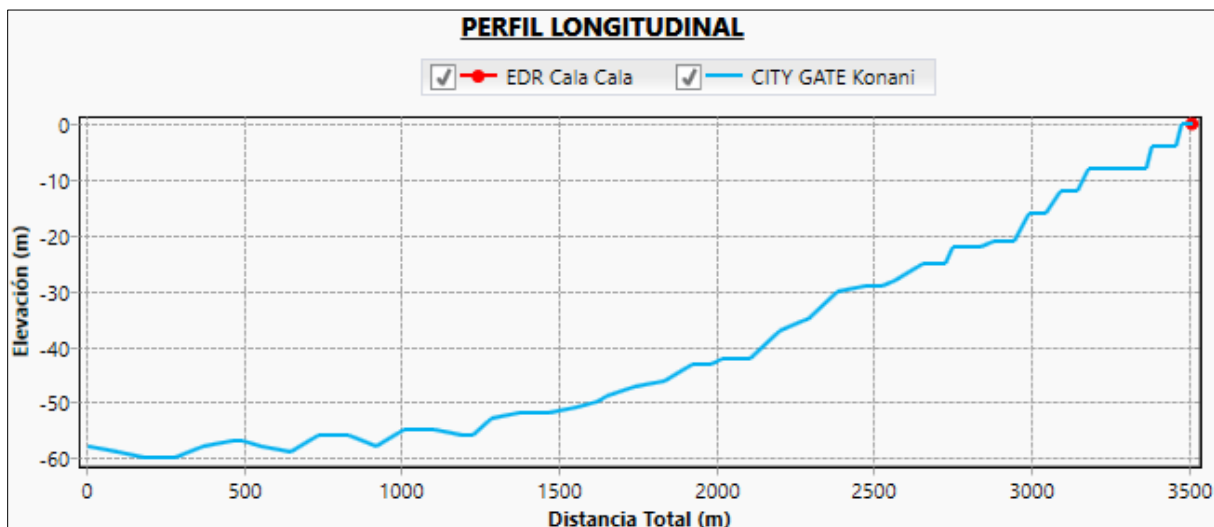


Fuente: Elaboración en base a la simulación en Pipesim.

De igual manera esta alternativa tiene un perfil longitudinal:

Figura 4.19

Perfil longitudinal mediante la simulación con Pipesim (Alternativa 2).



Fuente: Elaboración en base a la simulación en Pipesim.

4.1.7.10. Comparación de Resultados

A continuación, presentamos las comparaciones de los cálculos realizados.

Tabla 4.18

Resultados de la Alternativa 1.

ALTERNATIVA 1: COMPARACIÓN DE RESULTADOS		
DESCRIPCIÓN	CALCULO ANALÍTICO	SIMULACIÓN PIPESIM
Diámetro (<i>Plg</i>)	2	2
Longitud (<i>m</i>)	2794	2830.29
Elevación (<i>m</i>)	45	44.98
Presión (<i>Psig</i>)	332.8986	336.9837
Velocidad del Gas (<i>m/s</i>)	2.9187	2.5114
Velocidad Erosional (<i>m/s</i>)	28.9030	27.7229

Fuente: Elaboración en base a cálculos analíticos y la simulación en Pipesim.

Tabla 4.19*Resultados de la Alternativa 2.*

ALTERNATIVA 2: COMPARACIÓN DE RESULTADOS		
DESCRIPCIÓN	CÁLCULO ANALÍTICO	SIMULACIÓN PIPESIM
Diámetro (<i>Plg</i>)	2	2
Longitud (<i>m</i>)	3488	3508.28
Elevación (<i>m</i>)	57	57.97
Presión (<i>Psig</i>)	328.5074	333.7631
Velocidad del Gas (<i>m/s</i>)	2.9578	2.5341
Velocidad Erosional (<i>m/s</i>)	29.0955	27.8479

Fuente: Elaboración en base a cálculos analíticos y la simulación en Pipesim.

4.1.8. DISEÑO DE LA RED SECUNDARIA

Para diseñar la red secundaria se utilizó el software CypeCAD 2018m, es la que se utiliza en YPFB Redes de Gas para este tipo de trabajos porque su cálculo analítico de forma manual es muy complejo.

La red secundaria fue diseñada con el fin de suministrar gas a la población de Cala Cala considerando los siguientes parámetros:

- Demanda proyectada a 25 años.
- Estimaciones de crecimiento urbano de la población.
- Ubicación de la Estación Distrital de Regulación (EDR).
- Disponibilidad de diámetros de tubería de polietileno, siendo los diámetros disponibles en el mercado de 40, 63, 90 y 110 *mm*.

4.1.8.1. Base de Calculo

El cálculo de la red secundaria se efectúa en base a la relación de los consumos picos, con respecto a los diversos nudos de la red proyectada, los mismos que fueron obtenidos en

base al consumo la densidad demográfica del sector.

Otras características se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4.20

Datos a ingresar a CypeCAD.

CARACTERÍSTICAS DEL GAS	VALOR	UNIDAD
Temperatura de flujo	520	°R
Presión máxima en la red de distribución	4	Bar
Presión mínima en sistema de distribución	1	Bar
Presión base	14.7	Psig
Gravedad específica	0.62	Adimensional

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

4.1.8.2. Metodología de Calculo

En el presente proyecto se utilizó para la resolución del sistema de ecuaciones ramificado, el método de los elementos finitos de forma discreta. Se proporciono el consumo en los nudos en forma de caudal.

Para la resolución de cada uno de los segmentos de la instalación se calcularon las caídas de presión entre dos nudos conectados por un tramo, por medio de la fórmula de Renouard, como la presión de suministro es mayor a 0.1 bar se utilizó la fórmula de Renouard cuadrática:

$$P_1^2 - P_2^2 = 48.6 * d_r * L_e * \frac{Q^{1.82}}{D^{4.82}}$$

Para la resolución de un tramo con consumo uniforme se realiza una desratización de los caudales o potencias demandadas por metro lineal en pequeños consumos puntuales.

La conducción de esta desratización incrementa el número de nudos que tiene la instalación y por tanto el número de ecuaciones del sistema. Esto implica un aumento en el tiempo de cálculo similar al producido por la introducción manual de cada uno de los nudos

generados por dicha desratización.

Una vez obtenida la solución del sistema de ecuaciones para los sub tramos, se obtienen un caudal y una velocidad variable linealmente con la longitud del tramo y la curva correspondiente de presiones, que podrá variar en función de si la conducción aporte de caudal por los dos extremos, etc.

Este último caso provoca que el tramo este recorrido por el flujo en los dos sentidos, encontrando a lo largo del mismo un punto de caudal y velocidad nula, correspondiente a una presión mínima (máxima caída en el tramo).

4.1.8.2.1. Ruta de la Red Secundaria

El trazado de la red secundaria se puede ver en la sección de Anexos del presente documento, respetando la misma los criterios de:

- Minimizar el uso de tuberías de diámetro mayor.
- Realizar la menor cantidad de cruces posibles.
- Proyectar las líneas troncales con la finalidad de prever el crecimiento de la población.
- Permitir futuras ampliaciones.

El cálculo de la velocidad se lo realiza por medio de:

$$v = 365.3 * \frac{Q}{D^2 * P_m}$$

La fórmula de Renouard no tiene validez para valores de P_1 y P_2 menores que cero (0). En efecto, la fórmula de Renouard cuadrática proporciona el mismo valor de caudal tanto si P_1 es igual a 1 bar y P_2 igual a 0.5 bar, como en el caso en que P_2 sea igual a -0.5 bares.

La fórmula de Renouard es válida por debajo de los 20 m/s de velocidad de flujo. Para velocidades mayores, los resultados son tan solo orientativos.

4.1.8.3. Resolución de Sistema Ramificado

Para resolver el sistema ramificado, se emplea una variante del método de los elementos

finitos sincretizado. Se considera el modelo de la conducción como una matriz de rigidez (K) para cada uno de los elementos de la red:

$$[K] = G^{(e)} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Donde:

$G^{(e)}$ = Factor que relaciona la caída de presión en el elemento e con el caudal circulante de forma lineal. Se denominará $G^{(e)}$ al factor de rigidez del elemento e .

Se realiza posteriormente el ensamblado de las matrices de rigidez de la instalación en una sola matriz, cuya resolución se aborda por métodos frontales.

Gracias a este método, es posible resolver indistintamente sistemas mallados, ramificados o mixtos, en el presente caso se trata de un sistema ramificado, con uno o varios puntos de suministro a presión fija.

4.1.8.4. Cálculo para la Simulación

El diseño hidráulico para la red secundaria para el proyecto de distribución considera los siguientes parámetros:

Tabla 4.21

Parámetros de selección necesarios en CypeCAD.

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Presión de servicio efectiva	4.00	Bar
Densidad relativa del gas	0.62	Adimensional
Coefficiente de Renouard cuadrática	48.6	Adimensional
Presión mínima en la red	1	Bar
Velocidad máxima en la red	20	m/s
Coefficiente de velocidad	365.3	Adimensional

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

4.1.8.5. Trazado de la Red Secundaria

Primeramente, se realizó una planimetría de la localidad de Cala Cala que se muestra en la **Figura 4.4**, posterior a eso se ubicó el lugar del EDR, se trazó la línea troncal y los ramales en cada manzano.

El trazado de la red secundaria se muestra en la sección de Anexos de este proyecto.

Cabe señalar que se optó por una tubería troncal de 90 mm que sale del EDR, las posteriores de 63 mm y 40 mm para la ramificación de los manzanos de la localidad de Cala Cala.

4.1.8.6. Resultados de la Simulación

Los resultados de los cálculos efectuados para determinar las caídas de presión en cada uno de los nudos, así como los caudales demandados y disponibles en cada tramo, se pueden observar en la sección de Memorias de Calculo en Anexos. El diámetro de tubería a utilizar se calculó de forma que la velocidad en la conducción no exceda la velocidad máxima exigida en la norma.

Las condiciones críticas del sistema de red secundaria se muestran en las siguientes tablas, para la población de Cala Cala:

Tabla 4.22

Puntos y tramos críticos.

CONDICIONES CRITICAS		
Nudo	Presión (<i>bar</i>)	Observaciones
EDR	4.00	Presión de suministro
Nudo	Presión (<i>bar</i>)	Observaciones
	$1 < P < 4 \text{ bar}$	
NC213	3.9996	Presión Max.
NC134	3.9899	Presión Min.

Tramo	Velocidad (m/s)	Observaciones
	$V < 20 \text{ m/s}$	
NC211 – NC212	2.37	Velocidad Max.

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

Los diámetros y longitudes de diseño para el suministro de gas natural por red secundaria se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 4.23

Longitud de tuberías de red secundaria.

DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)
DN 40	12039.52
DN 63	2057.46
DN 90	786.81

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

LONGITUD LÍNEA DE ENFRIAMIENTO	
DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)
DN 3"	60.00

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

4.1.8.7. Material para la Construcción del Sistema de Red Secundaria

Para la selección de los materiales a utilizar en la construcción de la red secundaria se tomaron en cuenta diferentes aspectos, tales como:

- Costos.
- Transporte.
- Manipulación del material.
- Seguridad en su operación.

4.1.8.7.1. Tubería de Polietileno

Los tubos de polietileno deberán estar diseñados y construidos exclusivamente para la conducción subterránea de gas natural, a una presión máxima en servicio normal de 4 bar efectivos y una temperatura no superior a 30°C.

4.1.8.7.2. Condiciones y Normativas de las Tuberías

Las tuberías utilizadas para la conducción de gas serán de materiales no atacables por el gas ni por el medio exterior o en caso contrario, estas deben estar recubiertas con sustancias que garanticen su protección.

4.1.8.7.3. Relación Espesor/Diámetro

El espesor de la pared de la tubería de polietileno está determinado, en función de su diámetro exterior, mediante la relación de su Standard Dimension Ratio, SDR 11, según la cual el cociente del diámetro nominal sobre el espesor de la pared de la tubería.

$$SDR, 11 = \frac{\text{Diámetro Nominal Externo (mm)}}{\text{Espesor (mm)}}$$

Para nuestros materiales elegidos tenemos:

Tabla 4.24

Relación diámetro/espesor de las tuberías elegidas.

DIÁMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	DIÁMETRO INTERNO (mm)
40	3.7	32.60
63	5.7	51.40
90	8.2	73.60

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

4.2. ANÁLISIS PARA PRUEBAS HIDRÁULICAS

4.2.1. PRUEBA HIDROSTÁTICA DE TUBERÍA DE RED PRIMARIA

Comprende los siguientes trabajos:

4.2.1.1. Soldadura de Cabezales

Los cabezales a utilizar deben ser aptos para realizar el lanzamiento y recepción de los polly pigs de forma segura, durante los trabajos necesarios en la prueba hidrostática.

Las soldaduras que posean los cabezales deben tener los ensayos de radiografía en 100%, mientras que los fittings deben poseer los ensayos de tintas penetrantes aprobados. Asimismo, los cabezales deberán estar aprobados mediante prueba hidrostática y la prueba debe ser mayor o igual a la prueba máxima que se empleará en la prueba hidrostática de la línea.

Los cabezales pueden ser instalados a la línea a ser probada a través de bridas o mediante soldadura directa.

4.2.1.2. Limpieza de Tuberías

Para realizar la limpieza de tuberías se debe utilizar polly pigs de media o alta densidad y polly pigs de media o alta densidad con cepillos incorporados.

La cantidad de polly pigs con cepillos y sin cepillos a utilizar será una vez logrado la limpieza de la tubería.

Se dará por terminada la limpieza cuando se evidencia que la tubería está limpia.

4.2.1.3. Paso de Placa Calibradora

El paso de la placa verifica la inexistencia de abolladuras, ovalizaciones o reducciones en la sección interna de la tubería.

4.2.1.4. Provisión y Llenado de Agua

El agua a utilizar en la prueba debe ser agua dulce, limpia, exenta de elementos agresivos al tubo y previamente aprobado por un análisis fisicoquímico por un laboratorio que proporcione el contenido completo de los componentes del agua.

Para realizar el llenado de la línea a probar se debe utilizar Pigs de Llenado, que deben ser impulsados por agua a un flujo continuo y uniforme evitando y asegurando de esta manera que no se formen bolsones de aire dentro de la línea y el desalojo del aire en la cañería y consecuentemente el llenado de la misma.

Una vez se llene la línea se debería dejar circular agua hasta que salga limpia y sin aire, para luego realizar la estabilización térmica.

Los volúmenes de agua necesaria para el llenado de la sección deberían ser calculados aplicando la siguiente formula:

$$V_{agua} = L * \frac{\pi}{4} * Di^2 \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

V_{agua} = Volumen del agua requerido (m^3).

Di = Diámetro interno del ducto (m^2).

L = Longitud de la tubería (m).

4.2.1.5. Prueba Hidrostática

La primera parte de la prueba hidrostática debe consistir en una prueba de resistencia mecánica de 4 horas, la cual servirá para verificar la integridad estructural y resistencia mecánica de la tubería, así como también aliviar tensiones que surgen a la hora del montaje.

La segunda parte será la prueba de estanqueidad de 24 horas.

Los siguientes dos puntos serán cumplidos:

- La presión en el punto más alto del tramo a probar debe ser igual o mayor que la mínima presión especificada de prueba.
- La presión en el punto más bajo del tramo debe ser igual o menor que la máxima presión especificada de prueba.

La presión de prueba debe ser 1.5 veces la presión de operación, sin embargo, esto puede variar en función de la clase, localización, etc. Indicada en la ASME B31.8.

Secuencia de presurización:

- La línea será llenada de agua y deberá ser mantenida a una presión del 50% de la presión de prueba 0.5 hora antes del inicio de la misma. Durante este periodo de estabilización se debe esperar a que la temperatura del agua del interior de la tubería tienda a igualarse con la

temperatura ambiente o del subsuelo.

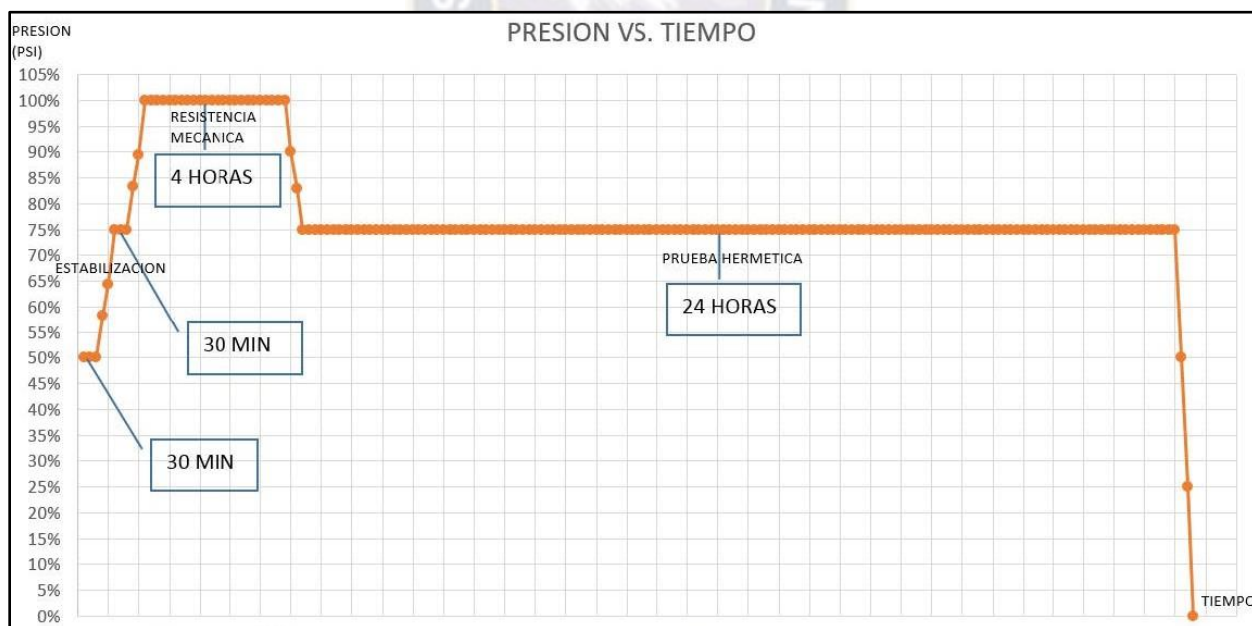
- Posteriormente la presión debe ser elevada hasta el 75% de la presión de prueba, la elevación debe ser de forma moderada aproximadamente en 15 minutos. Una vez alcanzado el 75% se debe mantener por 0.5 hora.

- Luego la presión debe ser elevada de forma moderada y a una variación constante hasta alcanzar el 100% de la presión de prueba y mantenida durante 4 horas, en este periodo se realiza la prueba de resistencia mecánica.

- Luego se debe purgar la cantidad de agua necesaria para que la presión baje nuevamente al 75% de la presión de prueba. Esto con el propósito de sacar bolsones de aire en el tramo, y dar inicio a la prueba de hermeticidad por 24 horas.

Figura 4.20

Detección y localización de perdidas.



Fuente: Obtenida de la “Gerencia de Redes de Gas y Ductos – YPF”, 2021.

Si cualquiera de las presiones registrara disminuciones que superen las admitidas por las variaciones de las temperaturas, se localizará visualmente la zona en que se produce la pérdida, por la aparición de humedad o baño sobre la superficie.

La prueba de hermeticidad o fugas es dada por concluida si el ducto, después de un período continuo de 24 horas, la presión de prueba, no se haya verificado u observado cualquier fuga.

4.2.1.6. Vaciado y Disposición Final del Agua

Después de obtener resultados satisfactorios en la prueba hidrostática y cuando todos los datos obtenidos hayan sido debidamente registrados, se debe proceder al venteo para bajar la presión y seguidamente se abrirán las válvulas de drenaje para eliminar el agua de la tubería. El vaciado del agua se debe realizar hacia un reservorio preparado ya sea piscinas temporales, tanques cisternas, etc.

Para asegurar la eliminación total de agua en el tramo se hará uso de mas chanchos de vaciado que serán impulsados usando aire comprimido según el sentido más conveniente para la operación. Esta operación se podrá repetir hasta que deje salir agua y el tramo quede en condiciones para iniciar el secado final.

4.2.1.7. Secado de Tubería

Para realizar el secado de tuberías se debe utilizar polly pigs de media o alta densidad. Se dará por terminado el secado cuando se evidencia que la tubería está completamente seca.

4.2.2. PRUEBA DE RESISTENCIA Y HERMETICIDAD EN TUBERÍA DE RED SECUNDARIA

Se refiere al procedimiento de realización de las Pruebas de Resistencia y Hermeticidad, de todos los puntos antes de realizar las interconexiones en la red secundaria.

4.2.2.1. Venteo

Antes del inicio de las pruebas de resistencia y hermeticidad se deberá realizar el venteo correspondiente en los circuitos conformantes de la red, hasta lograr que la línea construida quede libre de agua, suciedad y algún objeto que pueda obstruir el flujo y/o dañar los aparatos de medición (Medidores).

4.2.2.2. Longitud de los Tramos

La longitud de los tramos a probar será de:

- Hasta 400 m. para tuberías de diámetro nominal menor a 63 mm.
- Hasta 100 m. para tuberías de diámetro nominal mayor o igual a 63 mm.

4.2.2.3. Procedimiento de la Prueba

El procedimiento de la prueba deberá asegurar la detección de toda pérdida en el tramo sometido a ensayo.

4.2.2.3.1. Presión de Prueba de Resistencia

La presión de prueba de resistencia deberá ser como mínimo 1.5 veces la máxima presión de operación o 4 bar la que sea mayor con una duración mínima de 4 horas.

4.2.2.3.2. Material a usar para la Presurización

La tubería será presurizada con aire cuya temperatura no deberá superar los 40°C dejando transcurrir un lapso de 1 hora como mínimo para estabilizar la presión y temperatura, antes de iniciar la prueba de resistencias. Si se recurre a un compresor, deberá estar provisto con un filtro para eliminar los vapores de aceite en el gas de inyección.

4.2.2.3.3. Tiempo de la Prueba

En la prueba de hermeticidad, la presión deberá ser 1.5 bar con una duración que estará en función a la longitud de la tubería de distribución a ser probada de acuerdo al siguiente detalle:

- 24 h para longitudes de hasta 5000 m.
- 48 h para longitudes de hasta 10000 m.
- 72 h para longitudes mayores de 10000 m.

Se deberá verificar cada unión para detectar posibles pérdidas con una solución espumante, cuyos componentes no ataquen al PE la cual se eliminará en forma inmediata después de realizada la prueba.

4.2.2.3.4. Disposición Final

Aprobada la prueba, cada zona de bloqueo se presurizará hasta la presión máxima de operación, tomando los recaudos para que se mantenga en esa condición hasta su habilitación

definitiva, a fin de detectar cualquier intervención o deterioro accidental.

4.2.2.3.5. Detección de Fugas

Si se produjera una despresurización antes de su habilitación, se deberá detectar la causa y solucionar el defecto. En este caso o cuando ha vencido el plazo de validez, deberá realizarse durante 24 horas una nueva prueba de hermeticidad para su habilitación, cualquiera sea la longitud de la tubería.

Efectuada la prueba de fuga del tramo, se descomprimirá bruscamente para que la salida repentina del medio de prueba limpie internamente la tubería. Esta operación (“pop”) se repetirá tantas veces como sea necesario hasta que el tramo quede completamente limpio.

Durante estas operaciones deberán tomarse las precauciones necesarias para evitar desplazamientos de la tubería por descompresión repentina. Los tapones y trampas utilizados como cabezales de prueba deberán contar con dispositivos de seguridad que eviten su expulsión accidental.

Todo el instrumental utilizado para la ejecución de la prueba de hermeticidad (red secundaria) deberá estar debidamente calibrado.

4.3. PLAN DE CONTINGENCIAS A POSIBLES RIESGOS EN LA CONSTRUCCIÓN

4.3.1. PLAN DE CONTINGENCIAS EN LA INSTALACIÓN DEL CITY GATE Y EDR

Para el caso de las instalaciones de regulación de presión como City Gates y EDR, así como para cámaras para válvulas se deberán tomar en cuenta los siguientes requisitos y recomendaciones en su construcción:

- El sitio elegido debe ser un terreno saneado y con la autorización de la Gobernación Municipal o los dueños específicos del lugar.
- Se debe contar con respaldos sobre el conocimiento y consentimiento de la población circundante y beneficiaria para la construcción de este tipo de instalaciones.
- Se deberá señalizar adecuadamente la instalación para prevenir a la población

del riesgo que representa y las precauciones a considerar.

- Los áridos a utilizar deberán ser adquiridos de empresas legalmente establecidas.
- No se deberá dejar ningún tipo de residuo en el área una vez finalizada la construcción.

4.3.2. PLAN DE CONTINGENCIAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE RED PRIMARIA

4.3.2.1. Preservación Del Medio Ambiente

En el diseño de los sistemas de distribución de gas natural se deberán considerar criterios de preservación ambiental. Se recomienda que para las rutas de redes primarias se cumplan los siguientes aspectos importantes:

- Definir la ruta en lo posible siguiendo un Derecho de Vía (DDV) preexistente.
- No deben estar ubicados en áreas protegidas del sistema nacional de áreas protegidas (SNAP).
- No atravesar áreas de agricultura.
- No atravesar áreas de patrimonio cultural o arqueológico.
- No definir rutas sobre bosques con vegetación en buen estado de conservación.
- Evitar en los posible pasar por quebradas y cuerpos de agua con recargas intempestivas.

A continuación, posibles Impactos Ambientales en la localidad de Cala Cala

Se considera que en la construcción de redes primarias se generan distintos impactos ambientales para los cuales han sido identificadas las actividades generadoras y las formas de poder prevenir y mitigar los mismos en la localidad de Cala Cala.

4.3.2.2. Consideraciones en Replanteo

Pueden presentarse obstáculos como:

- Áreas protegidas
- Zonas con presencia de vegetación comercial u ornamental.

- Zonas agrícolas.
- Zonas con presencia de patrimonio cultural.

Plan de Contingencias:

4.3.2.2.1. Áreas protegidas

Deberá coordinarse con la instancia correspondiente ya que el sistema de distribución de gas tendría el objetivo de mejorar la calidad de vida de los pobladores de la localidad.

4.3.2.2.2. Zonas con presencia de Vegetación Comercial u Ornamental.

Deberá coordinarse con el dueño de la parcela o tierras, para definir una ruta que no presente afectación al propósito por el cual la vegetación fue establecida.

4.3.2.2.3. Zonas Agrícolas.

Deberá coordinarse con el dueño de la parcela o tierras, para definir una ruta que no presente afectación a estas zonas.

4.3.2.2.4. Zonas con presencia de Patrimonio Cultural

Deberá replantearse una ruta alternativa que no afecte el patrimonio cultural identificado.

4.3.2.3. Gestión de Residuos Sólidos

Durante la construcción de la red primaria se generan distintos tipos de residuos sólidos los cuales deberán ser gestionados adecuadamente.

Plan de Contingencias:

4.3.2.3.1. Tapas Plásticas

Las tapas plásticas de cada extremo de los tubos son retiradas generándose cada 11 metros 2 tapas plásticas, por lo que deberán ser recolectadas en todo momento evitando que las mismas estén expuestas al sol y a la tierra u otros medios que puedan contaminarla.

4.3.2.3.2. Bolsas de Apoyo para Tuberías

Para el desfile de la tubería la empresa utiliza como apoyos bolsas llenas de aserrín, chala de arroz o arena, las mismas deben ser recolectadas una vez concluido su uso.

4.3.2.3.3. Restos de Varillas de Soldar

En la red primaria los residuos de mayor importancia generados son los restos de varillas de soldar, al ser estos de gran cantidad y por sus características, deben ser recolectados al momento de su generación.

4.3.2.3.4. Escombros

En el trayecto planteado para la red primaria pueden existir áreas urbanizadas con aceras y calzadas, donde la excavación de zanjas generará cantidades significativas de escombros, los mismos que deben ser acomodados cerca de la zanja según la especificación técnica de construcción.

4.3.2.3.5. Residuos Comunes

Los residuos comunes se generan por el personal de la empresa, entre los cuales se pueden citar papeles, restos de comida, botellas plásticas u otros, se deberá aplicar la política de reducción en origen, es decir evitar la generación de los residuos, cada empresa se encargará de ver el mecanismo de capacitación o concientización a su personal para evitar la generación de los mismos.

4.3.2.4. Control de Calidad de Aire

En el caso del factor Aire se identificaron como aspectos ambientales de importancia los siguientes: generación de partículas suspendidas y gases de combustión.

Plan de Contingencias:

4.3.2.4.1. Partículas Suspendidas

Para realizar la Mitigación de las partículas suspendidas o polvo se deberá regar con agua permanentemente los sitios donde se realicen excavaciones y reposiciones.

4.3.2.4.2. Gases de Combustión

Los gases de combustión son gases generados por la combustión de los hidrocarburos generando principalmente CO₂, CO, NO₂ y SO₂ los cuales salen por los escapes de vehículos y maquinarias utilizadas durante la construcción de la red primaria y tienen efectos negativos en la calidad del aire se deberá presentar planillas o registros del último mantenimiento realizado a

cada vehículo y maquinaria pesada para respaldar el control de emisión de contaminantes.

4.3.2.5. Gestión de agua en Pruebas Hidráulicas

Durante la construcción de redes primarias el aspecto ambiental de más importancia en el factor agua es la realización las pruebas hidráulicas, debido a la gran cantidad a ser utilizada, por lo que se debe tener en cuenta consideraciones tanto para extracción de la fuente del agua a utilizar como para la descarga de las mismas.

Plan de Contingencias:

- Limitar la extracción de agua a una cantidad que no sobrepase el 10 % del volumen de cuerpos de agua estáticos, tales como lagos o lagunas, ni el 10 % del flujo de cuerpos de agua dinámicos tales como ríos o arroyos.
- Descargar el agua usada en las pruebas en la misma cuenca de la que fue extraída, sin causar erosión en las orillas o áreas circundantes.
- Analizar el agua de las pruebas hidrostáticas antes de la descarga, para asegurar que no contenga contaminantes.

4.3.2.6. Abandono y Restauración del Área

En el abandono de ejecución una vez concluidas todas las actividades de construcción de las redes primarias se debe limpiar el área evitando dejar cualquier tipo de residuo que se haya generado debiendo dejar el área en condiciones similares a las que existían antes de la construcción.

4.3.3. PLAN DE CONTINGENCIAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE RED SECUNDARIA

Obras Civiles:

4.3.3.1. Consideraciones en Replanteo

Las redes secundarias son diseñadas generalmente sobre las aceras existiendo eventualmente obstáculos que son de consideración ambiental como ser árboles.

Plan de Contingencias:

- Se prohíbe talar o extraer árboles.
- Se deberá en lo posible bordear con la trayectoria de la red el árbol.

4.3.3.2. Gestión de Residuos Sólidos

Durante la construcción de las redes secundarias se generan distintos tipos de residuos sólidos los cuales deberán ser gestionados adecuadamente.

Plan de Contingencias:

4.3.3.2.1. Escombros

Deben ser acomodados cerca de la zanja según la especificación técnica de construcción.

4.3.3.2.2. Residuos Comunes

Se deberá aplicar la política de reducción en origen.

Contar mínimamente un contenedor en obra para estos residuos.

4.3.3.3. Control de Calidad de Aire

Para realizar la Mitigación de las partículas suspendidas o polvo se deberá regar con agua permanentemente los sitios donde se realicen excavaciones y reposiciones.

4.3.3.4. Abandono y Restauración

En el abandono de ejecución una vez concluidas todas las actividades de construcción de las redes secundarias se debe limpiar el área intervenida evitando dejar cualquier tipo de residuo que haya generado.

Obras Mecánicas:

4.3.3.5. Restos de tubería de Polietileno

Durante la construcción de redes secundarias se generan cortes a las tuberías generando así restos de tubería de polietileno los cuales por ningún motivo deberán dejarse en zanja o en el sitio de la obra los mismos deben ser recolectados.

4.3.3.6. Viruta Plástica

Durante la construcción específicamente en la actividad de soldadura por electro fusión, se raspa el extremo de cada tubería a ser unida con el accesorio, esta actividad genera viruta de

polietileno que considerando la cantidad de juntas puede llegar a ser representativa por lo que se recomienda recolectar esta viruta en bolsas o contenedores.

4.3.3.7. Bolsas Plásticas

Los accesorios de polietileno vienen en bolsas plásticas reciclables, las cuales considerando la cantidad de accesorios a utilizar en redes y acometidas son de cantidad considerable por lo que se ha dispuesto recolectar todas las bolsas de polietileno el momento de abrir el empaque de cada accesorio evitando dejar bolsas en las zanjas o en el área de intervención.



CAPÍTULO 5 - EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

5.1. COSTO DE LA CONSTRUCCIÓN

Para la localidad de Cala Cala, el costo del proyecto se analiza para dos alternativas teniendo en cuenta desde el punto de derivación, hasta la distribución del gas natural para las categorías doméstico y comercial.

5.1.1. COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL CITY GATE

A continuación, se presenta el costo general de implementar un nuevo City Gate llamado Cala Cala:

Tabla 5.1

Descripción del costo de la implementación y puesta en marcha del City Gate Cala Cala.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	IMPORTE TOTAL (Bs.)
1	Implementación y construcción del área para la instalación del City Gate	Global	1	903,860.06	903,860.06
2	Implementación y puesta en marcha del City Gate	Global	1	1,494,863.05	1,494,863.05
3	Obras civiles y mecánicas acometida de interconexión al City Gate	Global	1	439,580.00	439,580.00
				TOTAL	2,838,303.11

Fuente: Elaborado en base a investigación de costos de equipos y materiales en el mercado nacional.

5.1.2. COSTO DE LA RED PRIMARIA

Para calcular el costo de la red primaria se tomaron dos alternativas de diseño para este proyecto:

Alternativa 1: Punto inicial City Gate Cala Cala

Alternativa 2: Punto inicial City Gate Konani

5.1.2.1. Alternativa 1

A continuación, se presentan los costos de la primera alternativa para la construcción de la Red Primaria.

5.1.2.1.1. Costo de Materiales

Son los costos de todos los materiales para realizar la construcción de la Red Primaria.

Tabla 5.2

Costo de los materiales para la Red Primaria (Alternativa 1).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	IMPORTE TOTAL (Bs.)
1	Tubería 2"	M	2,830	221.47	626,760.10
2	Tubería 3"	M	60	221.47	13,288.20
3	Tee	Pieza	1	240.00	240.00
4	Válvulas	Pieza	4	4,477.34	17,909.36
5	Brida ciega	Pieza	1	365.00	365.00
6	Bridas	Pieza	7	196.00	1,372.00
7	Espárragos	Pieza	32	18.20	582.40
8	Mantas termo contraíbles	Pieza	300	87.50	26,250.00
9	Hot Tap	Global	1	30,000.00	30,000.00
TOTAL					716,767.06

Fuente: Elaborado en base a investigación de costos de equipos y materiales en el mercado nacional.

5.1.2.1.2. Costo de Obras Civiles

Son los gastos generales que permiten la ejecución de los trabajos de obra civil.

Tabla 5.3

Costo de las obras civiles en la Red Primaria (Alternativa 1).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	IMPORTE TOTAL (Bs.)
1	Instalación de faenas	Global	1	3,341.63	3,341.63
2	Movilización de personal y equipo	Global	1	2,635.17	2,635.17
3	Replanteo topográfico	M	2,890	4.80	13,872.00
4	Excavación de zanjas	M3	1,877	67.53	126,753.81

5	Relleno y compactado de zanjias con provisión de material	M3	1,109	54.02	59,892.51
6	Señalización vertical	Pieza	17	1,072.03	18,224.51
7	Construcción de cámaras de hormigón	Pieza	2	1,430.34	2,860.68
8	Elaboración de Data Book	Global	1	3,493.84	3,493.84
9	Elaboración de planos As Built	M	2,890	0.61	1,762.90
10	Limpieza y retiro de escombros	Global	1	9,220.85	9,220.85
TOTAL					242,057.90

Fuente: Elaborado en base a investigación de costos de equipos y materiales en el mercado nacional.

5.1.2.1.3. Costo de Obras Mecánicas

Son los gastos generales que permiten la ejecución de los trabajos de obras mecánicas.

Tabla 5.4

Costo de las obras mecánicas en la Red Primaria (Alternativa 1).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	IMPORTE TOTAL (Bs.)
1	Carguío, transporte y descarguío de tubería y accesorios de ANC DN 2" SCH 40	TN	15.39	395.13	6,081.05
2	Carguío, transporte y descarguío de tubería y accesorios de ANC DN 3" SCH 40	TN	0.68	395.13	268.69
3	Desfile y bajado de tubería de ANC DN 2" SCH 40	M	2,830	101.21	286,424.30
4	Desfile y bajado de tubería de ANC DN 3" SCH 40	M	60	101.21	6,072.60
5	Curvado y alineado de tubería de ANC DN 2" SCH 40	Pieza	8	2,606.78	20,854.24
6	Curvado y alineado de tubería de ANC DN 3" SCH 40	Pieza	1	2,606.78	2,606.78

7	Corte de tubería de ANC DN 2" SCH 40	Punto	13	55.88	726.44
8	Corte de tubería de ANC DN 3" SCH 40	Punto	6	55.88	335.28
9	Soldadura de tubería y accesorios de ANC DN 2" SCH 40	Junta	270	533.65	144,084.15
10	Soldadura de tubería y accesorios de ANC DN 3" SCH 40	Junta	10	533.65	5,336.45
11	END por radiografiado de juntas soldadas DN 2" SCH 40	Junta	270	479.26	129,398.85
12	END por radiografiado de juntas soldadas DN 3" SCH 40	Junta	10	479.26	4,792.55
13	Limpieza y revestimiento de tubería y accesorios	Junta	528	453.00	239,184.00
14	Prueba hidrostática de tubería ANC DN 2"	M	2,830	112.04	317,073.20
15	Prueba hidrostática de tubería ANC DN 3"	M	60	112.04	6,722.40
16	Verificación de revestimiento mediante Holiday detector y reparación de revestimiento	Global	2,890	12.45	35,980.50
17	Montaje de válvula y accesorios de ANC 2"	Pieza	2	5,484.07	10,968.14
18	Purgado en línea	Global	1	421.36	421.36
19	Interizado de tubería	Global	1	7,559.16	7,559.16
20	Detección de gas c/detector portátil	Global	1	1,818.48	1,818.48
21	Instalación y puesta en marcha del sistema de puesta a tierra de la EDR	Global	1	6,960.00	6,960.00
22	Estudio e implementación de Protección Catódica	Global	1	17,400.00	17,400.00
				TOTAL	1,251,068.62

Fuente: Elaborado en base a investigación de costos de equipos y materiales en el mercado nacional.

5.1.2.2. Alternativa 2

A continuación, se presentan los costos de la segunda alternativa para la construcción de

la Red Primaria.

5.1.2.2.1. Costo de Materiales

Son los costos de todos los materiales para realizar la construcción de la Red Primaria.

Tabla 5.5

Costo de los materiales para la Red Primaria (Alternativa 2).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	IMPORTE TOTAL (Bs.)
1	Tubería 2"	M	3,508	221.47	776,916.76
2	Tubería 3"	M	60	221.47	13,288.20
3	Tee	Pieza	2	240.00	480.00
4	Válvulas	Pieza	4	4,477.34	17,909.36
5	Brida ciega	Pieza	1	365.00	365.00
6	Bridas	Pieza	6	196.00	1,176.00
7	Espárragos	Pieza	24	18.20	436.80
8	Mantas Termo contraíbles	Pieza	380	87.50	33,250.00
TOTAL					843,822.12

Fuente: Elaborado en base a investigación de costos de equipos y materiales en el mercado nacional.

5.1.2.2.2. Costo de Obras Civiles

Son los gastos generales que permiten la ejecución de los trabajos de obra civil.

Tabla 5.6

Costo de las obras civiles en la Red Primaria (Alternativa 2).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	IMPORTE TOTAL (Bs.)
1	Instalación de faenas	Global	1	3,341.63	3,341.63
2	Movilización de personal y equipo	Global	1	2,635.17	2,635.17
3	Replanteo topográfico	M	3,568	4.80	17,126.40
4	Excavación de zanjas	M3	2,317	67.53	156,490.52
5	Relleno y compactado de zanjas con provisión de material	M3	1,369	54.02	73,943.42
6	Señalización vertical	Pieza	18	1,072.03	19,296.54
7	Construcción de cámaras de hormigón	Pieza	1	1,430.34	1,430.34

8	Elaboración de data book	Global	1	3,493.84	3,493.84
9	Elaboración de planos As Built	M	3,568	0.61	2,176.48
10	Limpieza y retiro de escombros	Global	1	9,220.85	9,220.85
TOTAL					289,155.19

Fuente: Elaborado en base a investigación de costos de equipos y materiales en el mercado nacional.

5.1.2.2.3. Costo de Obras Mecánicas

Son los gastos generales que permiten la ejecución de los trabajos de obras mecánicas.

Tabla 5.7

Costo de las obras mecánicas en la Red Primaria (Alternativa 2).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	IMPORTE TOTAL (Bs.)
1	Carguío, transporte y descarguío de tubería y accesorios de ANC DN 2" SCH 40	TN	19.08	395.13	7,537.92
2	Carguío, transporte y descarguío de tubería y accesorios de ANC DN 3" SCH 40	TN	0.68	395.13	268.69
3	Desfile y bajado de tubería de ANC DN 2" SCH 40	M	3,508	101.21	355,044.68
4	Desfile y bajado de tubería de ANC DN 3" SCH 40	M	60	101.21	6,072.60
5	Curvado y alineado de tubería de ANC DN 2" SCH 40	Pieza	10	2,606.78	25,850.41
6	Curvado y alineado de tubería de ANC DN 3" SCH 40	Pieza	1	2,606.78	2,606.78
7	Corte de tubería de ANC DN 2" SCH 40	Punto	13	55.88	726.44
8	Corte de tubería de ANC DN 3" SCH 40	Punto	6	55.88	335.28
9	Soldadura de tubería y accesorios de ANC DN 2" SCH 40	Junta	335	533.65	178,603.25

10	Soldadura de tubería y accesorios de ANC DN 3" SCH 40	Junta	10	533.65	5,336.45
11	END por radiografiado de juntas soldadas DN 2" SCH 40	Junta	335	479.26	160,399.71
12	END por radiografiado de juntas soldadas DN 3" SCH 40	Junta	10	479.26	4,792.55
13	Limpieza y revestimiento de tubería y accesorios	Junta	654	453.00	296,486.74
14	Prueba hidrostática de tubería ANC DN 2"	M	3,508	112.04	393,036.32
15	Prueba hidrostática de tubería ANC DN 3"	M	60	112.04	6,722.40
16	Verificación de revestimiento mediante Holiday detector y reparación de revestimiento	Global	3,568	12.45	44,421.60
17	Montaje de válvula y accesorios de ANC 2"	Pieza	2	5,484.07	10,968.14
18	Purgado en línea	Global	1	421.36	421.36
19	Interizado de tubería	Global	1	7,559.16	7,559.16
20	Detección de gas c/detector portátil	Global	1	1,818.48	1,818.48
21	Instalación y puesta en marcha del sistema de puesta a tierra de la EDR	Global	1	8,352.00	8,352.00
22	Estudio e implementación de Protección Catódica	Global	1	20,880.00	20,880.00
				TOTAL	1,538,240.96

Fuente: Elaborado en base a investigación de costos de equipos y materiales en el mercado nacional.

5.1.2.3. Costo Total de la Red Primaria

En la siguiente tabla se presenta el costo total de la Red Primaria para las dos alternativas.

Tabla 5.8

Comparación del Costo Total de la Red Primaria.

DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVA 1 (Bs.)	ALTERNATIVA 2 (Bs.)
Costo de los Materiales	716,767.06	843,822.12
Costo de Obras Civiles	242,057.90	289,155.19

Costo de Obras Mecánicas	1,251,068.62	1,538,240.96
TOTAL	2,209,893.58	2,671,218.27

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

5.1.3. COSTO DE LA ESTACIÓN DISTRITAL DE REGULACIÓN (EDR)

A continuación, se presenta el costo general de la construcción, montaje y puesta en marcha de la Estación Distrital de Regulación (EDR).

Tabla 5.9

Costo de la Estación Distrital de Regulación (EDR).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	IMPORTE TOTAL (Bs.)
1	Construcción, montaje y puesta en marcha del EDR	Global	1	520,548.40	520,548.40
TOTAL					520,548.40

Fuente: Elaborado en base a investigación de costos de equipos y materiales en el mercado nacional.

5.1.4. COSTO DE LA RED SECUNDARIA

A continuación, se presentan los costos de la implementación de la Red Secundaria.

5.1.4.1. Costo de los Materiales

Son los costos de todos los materiales para realizar la construcción de la Red Secundaria.

Tabla 5.10

Costo de los materiales de la Red Secundaria.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	IMPORTE TOTAL (Bs.)
1	Tubería de P.E.Ø 40 mm	M	12,039.52	11.19	134,722.23
2	Tubería de P.E.Ø 63 mm	M	2,057.46	55.16	113,489.49
3	Tubería de P.E.Ø 90 mm	M	786.81	106.15	83,519.88
4	Tee de P.E.Ø 40 mm	Pieza	28	105.00	2,940.00
5	Tee de P.E.Ø 63 mm	Pieza	1	155.00	155.00
6	Tee de P.E.Ø 90 mm	Pieza	1	170.00	170.00
7	Cupla P.E.Ø 40 mm	Pieza	60	40.00	2,400.00
8	Tapón de P.E.Ø 40 mm	Pieza	65	50.00	3,250.00
9	Tapón de P.E.Ø 63 mm	Pieza	6	90.00	540.00

10	Tapón de P.E.Ø 90 mm	Pieza	2	120.00	240.00
11	Válvula de servicio P.E.Ø 40 mm	Pieza	4	110.00	440.00
12	Válvula de servicio P.E.Ø 63 mm	Pieza	2	125.00	250.00
13	Válvula de servicio P.E.Ø 90 mm	Pieza	1	131.20	131.20
				TOTAL	342,247.80

Fuente: Elaborado en base a investigación de costos de equipos y materiales en el mercado nacional.

5.1.4.2. Costo de Obras Civiles y Mecánicas

Tabla 5.11

Costo de Obras Civiles y Mecánicas de la Red Secundaria.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	IMPORTE TOTAL (Bs.)
1	Instalación de faenas - provisión y colocado de letreros de obra	Global	1	9,182.66	9,182.66
2	Replanteo y trazado topográfico	M	14883.79	3.05	45,395.56
3	Excavación de zanja	M3	5382.93	54.64	294,123.07
4	Transporte de tubería	Global	1	13,272.25	13,272.25
5	Tendido de tubería	M	14883.79	3.34	49,711.86
6	Obras civiles fijación para válvula de P.E.Ø 40 mm	Pieza	4	556.37	2,225.48
7	Obras civiles fijación para válvula de P.E.Ø 63 mm	Pieza	2	598.65	1,197.30
8	Obras civiles fijación para válvula de P.E.Ø 90 mm	Pieza	1	683.21	683.21
9	Provisión y colocado de cinta de señalización horizontal	M	14883.79	2.68	39,888.56
10	Provisión y colocado de plaquetas de señalización horizontal	Pieza	149	94.56	14,074.11
11	Relleno de zanja con tierra cernida	M3	2084.27	50.08	104,380.19
12	Relleno y compactado de zanja con tierra común	M3	3298.66	57.29	188,980.06
13	Elaboración de planos As Built	M	14883.79	3.65	54,325.83

14	Limpieza y retiro de escombros	Global	1	13,528.79	13,528.79
15	Elaboración de Data Book	Global	1	9,795.20	9,795.20
				TOTAL	840,764.12

Fuente: Elaborado en base a investigación de costos de equipos y materiales en el mercado nacional.

5.1.4.3. Costo Total de la Red Secundaria

En la siguiente tabla se presenta el costo total de la Red Secundaria a implementar.

Tabla 5.12

Costo Total de la Red Secundaria a implementar.

DESCRIPCIÓN	PRECIO (Bs.)
Costo de los Materiales	342,247.80
Costo de Obras Civiles	840,764.12
TOTAL	1,183,011.93

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

5.2. COSTO TOTAL DEL PROYECTO PARA CADA ALTERNATIVA

En la siguiente tabla se muestra el costo total del proyecto para cada alternativa, para el suministro de gas natural a la localidad de Cala Cala mediante una derivación del Gasoducto al Altiplano, implementando un City Gate, Red Primaria, EDR y Red Secundaria.

Tabla 5.13

Costo Total del Proyecto.

DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVA 1 (Bs.)	ALTERNATIVA 2 (Bs.)
Costo Total de la Implementación y Puesta en Marcha del City Gate	2,838,303.11	
Costo Total de la Red Primaria	2,209,893.58	2,671,218.27
Costo Total de la Estación Distrital de Regulación (EDR)	520,548.40	520,548.40
Costo Total de la Red Secundaria	1,183,011.93	1,183,011.93
TOTALES	6,751,757.02	4,374,778.60

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

5.3. TARIFAS DEL GAS NATURAL

Dentro la categoría de consumidores de gas natural, se reconocen cuatro tipos: Industrial, Comercial, Domestico y Gas Natural Vehicular (GNV).

En este proyecto nos vamos a dirigir solo en los consumidores de categoría Domestica y Comercial, porque la población de Cala Cala no cuenta aún con sectores industriales ni GNV.

Las tarifas aplicadas por YPFB en sus categorías doméstica y comercial, se establecen en bolivianos por Millar de Pie cubico Estándar (*Bs./MPCS*), mismos que se expresan en los siguientes cuadros:

Tabla 5.14

Precios aplicados - Categoría Domestica.

N°	CLASIFICACIÓN POR RANGO DE CONSUMO	LA PAZ	SANTA CRUZ	COCHABAMBA	CHUQUISACA
		ORURO	BENI		
		POTOSÍ	PANDO		
	(MPCS)	(Bs./MPCS)	(Bs./MPCS)	(Bs./MPCS)	(Bs./MPCS)
1	≥ 0 y ≤ 0.441	18.14 ¹	18.14 ¹	18.14 ¹	18.14 ¹
2	> 0.441 y ≤ 0.882	17.07 ²	17.07 ²	17.07 ²	17.07 ²
3	> 0.882 y ≤ 1.324	17.65 ²	17.65 ²	17.65 ²	17.65 ²
4	> 1.324	22.22	37.38	35.98	42.65

¹ Se aplica cargo fijo de Bs. 8.00

² Precio/Tarifa escalonada

Fuente: Elaborado en base a datos de la “Gerencia de Redes de Gas y Ductos-YPFB”, 2021.

Tabla 5.15

Precios aplicados - Categoría Comercial.

DEPARTAMENTO	VOLUMEN MÍNIMO	CARGO FIJO	PRECIO
	(MPCS)	(Bs.)	(Bs./MPCS)
La Paz-Oruro-Potosí	4.5	81.00	18.00

Santa Cruz (Comercial II)	100	1767.50	17.675
Santa Cruz (Comercial I)-Beni-Pando	1	35.35	35.35
Cochabamba	1	35.98	35.98
Chuquisaca	4.5	143.17	31.815

Fuente: Elaborado en base a datos de la “Gerencia de Redes de Gas y Ductos-YPFB”, 2021.

Tabla 5.16

Resumen de las tarifas de Gas Natural.

CATEGORÍA	TARIFA DEL GAS NATURAL	
	(Bs./MPCS)	(Bs./m ³)
Domestico	22.22	0.79
Comercial	18.00	0.64

Fuente: Elaborado en base a datos de la “Gerencia de Redes de Gas y Ductos-YPFB”, 2021.

5.4. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DEL GAS NATURAL A 25 AÑOS

En base a las tarifas establecidas del gas natural se procede al cálculo del flujo de caja de la demanda de la población de Cala Cala a una proyección de 25 años.

Tabla 5.17

Ingreso anual de la demanda del gas natural de la localidad de Cala Cala.

AÑO	CAUDAL DOM. (m ³ /h)	CAUDAL COM. (m ³ /h)	CAUDAL ANUAL DOMESTICO (m ³)	CAUDAL ANUAL COMERCIAL (m ³)	INGRESO ANUAL DOMESTICO (Bs.)	INGRESO ANUAL COMERCIAL (Bs.)	INGRESO ANUAL TOTAL (Bs.)
2022	124.26	12.43	1,088,474.26	108,847.43	854,625.38	69,231.58	923,856.96
2023	125.50	12.55	1,099,359.01	109,935.90	863,171.63	69,923.89	933,095.52
2024	126.75	12.68	1,110,352.60	111,035.26	871,803.35	70,623.13	942,426.48
2025	128.02	12.80	1,121,456.12	112,145.61	880,521.38	71,329.36	951,850.74
2026	129.30	12.93	1,132,670.68	113,267.07	889,326.59	72,042.66	961,369.25
2027	130.59	13.06	1,143,997.39	114,399.74	898,219.86	72,763.08	970,982.94
2028	131.90	13.19	1,155,437.36	115,543.74	907,202.06	73,490.72	980,692.77
2029	133.22	13.32	1,166,991.74	116,699.17	916,274.08	74,225.62	990,499.70
2030	134.55	13.46	1,178,661.66	117,866.17	925,436.82	74,967.88	1,000,404.70
2031	135.90	13.59	1,190,448.27	119,044.83	934,691.19	75,717.56	1,010,408.75
2032	137.25	13.73	1,202,352.76	120,235.28	944,038.10	76,474.73	1,020,512.83
2033	138.63	13.86	1,214,376.28	121,437.63	953,478.48	77,239.48	1,030,717.96

2034	140.01	14.00	1,226,520.05	122,652.00	963,013.27	78,011.88	1,041,025.14
2035	141.41	14.14	1,238,785.25	123,878.52	972,643.40	78,791.99	1,051,435.39
2036	142.83	14.28	1,251,173.10	125,117.31	982,369.83	79,579.91	1,061,949.75
2037	144.26	14.43	1,263,684.83	126,368.48	992,193.53	80,375.71	1,072,569.24
2038	145.70	14.57	1,276,321.68	127,632.17	1,002,115.47	81,179.47	1,083,294.94
2039	147.16	14.72	1,289,084.89	128,908.49	1,012,136.62	81,991.27	1,094,127.89
2040	148.63	14.86	1,301,975.74	130,197.57	1,022,257.99	82,811.18	1,105,069.16
2041	150.11	15.01	1,314,995.50	131,499.55	1,032,480.57	83,639.29	1,116,119.86
2042	151.61	15.16	1,328,145.46	132,814.55	1,042,805.37	84,475.68	1,127,281.05
2043	153.13	15.31	1,341,426.91	134,142.69	1,053,233.43	85,320.44	1,138,553.87
2044	154.66	15.47	1,354,841.18	135,484.12	1,063,765.76	86,173.64	1,149,939.40
2045	156.21	15.62	1,368,389.59	136,838.96	1,074,403.42	87,035.38	1,161,438.80
2046	157.77	15.78	1,382,073.49	138,207.35	1,085,147.45	87,905.73	1,173,053.19
2047	159.35	15.93	1,395,894.22	139,589.42	1,095,998.93	88,784.79	1,184,783.72

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

5.5. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Dos parámetros importantes muy usados a la hora de calcular la viabilidad de cualquier proyecto son el *VAN* (Valor Actualizado Neto) y el *TIR* (Tasa Interna de Retorno). Estos dos conceptos tienen el mismo trabajo, la de dar la estimación de los flujos de caja, simplificando así ingresos menos gastos netos.

La fórmula que nos permite calcular el *VAN* es:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+k)^n} \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde:

I = Representa la inversión.

Q_n = Es el flujo de caja del año (n).

k = La tasa de interés con la que se está comparando.

N = Numero de años de la inversión.

El cálculo del *VAN* constituye una herramienta fundamental para realizar la evaluación y gerencia de proyectos, así como para la administración financiera.

En la siguiente tabla se muestra la forma de cómo interpretar los valores del *VAN*.

Tabla 5.18*Interpretaciones del VAN.*

VALOR	SIGNIFICADO	DECISIÓN A TOMAR
$VAN > 0$	La inversión produciría ganancias.	El proyecto puede aceptarse.
$VAN < 0$	La inversión produciría pérdidas.	El proyecto debería rechazarse.
$VAN = 0$	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas.	Toma de decisiones en otros criterios para un mejor posicionamiento.

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

Quando se iguala el VAN a 0, k pasa a llamarse TIR .

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1 + TIR)^n} = 0 \quad \text{Ec. 5.2}$$

La TIR es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para comparar la factibilidad de diferentes opciones de inversión. Generalmente la opción de inversión con la TIR mas alta es la preferida.

Tabla 5.19*Interpretaciones de la TIR.*

$Si TIR > k \rightarrow VAN > 0$	Rentable
$Si TIR < k \rightarrow VAN < 0$	No rentable
$Si TIR = k \rightarrow VAN = 0$	Indiferente

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

En base a lo mencionado anteriormente procedemos a realizar los cálculos del VAN y TIR para el presente proyecto.

El presupuesto requerido para la implementación del proyecto tiene dos componentes, uno esta referido al presupuesto de la Alternativa 1 y la otra al presupuesto de la Alternativa 2.

5.5.1. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD PARA LA ALTERNATIVA 1

El tipo de descuento que se aplica a proyectos de inversión es del 10%. Es decir que nuestra k será igual a 10%.

Tabla 5.20

Estado general financiero de la Alternativa 1.

AÑO	DESEMBOLSOS (Bs.)	INGRESOS (Bs.)	INTERESES (k)	FLUJO DESCONTADO (Bs.)	TASA INTERNA DE RETORNO (Bs.)
0	-6,751,757.02	0	10%	-6,751,757.02	-6,751,757.02
1		933,095.52	848,268.66	-5,903,488.36	933,095.52
2		942,426.48	778,864.86	-5,124,623.50	942,426.48
3		951,850.74	715,139.55	-4,409,483.95	951,850.74
4		961,369.25	656,628.13	-3,752,855.81	961,369.25
5		970,982.94	602,904.01	-3,149,951.80	970,982.94
6		980,692.77	553,575.50	-2,596,376.30	980,692.77
7		990,499.70	508,282.96	-2,088,093.33	990,499.70
8		1,000,404.70	466,696.18	-1,621,397.16	1,000,404.70
9		1,010,408.75	428,511.94	-1,192,885.21	1,010,408.75
10		1,020,512.83	393,451.87	-799,433.34	1,020,512.83
11		1,030,717.96	361,260.36	-438,172.98	1,030,717.96
12		1,041,025.14	331,702.69	-106,470.29	1,041,025.14
13		1,051,435.39	304,563.38	198,093.09	1,051,435.39
14		1,061,949.75	279,644.56	477,737.65	1,061,949.75
15		1,072,569.24	256,764.55	734,502.20	1,072,569.24
16		1,083,294.94	235,756.54	970,258.74	1,083,294.94
17		1,094,127.89	216,467.37	1,186,726.11	1,094,127.89
18		1,105,069.16	198,756.40	1,385,482.51	1,105,069.16
19		1,116,119.86	182,494.52	1,567,977.03	1,116,119.86
20		1,127,281.05	167,563.15	1,735,540.17	1,127,281.05
21		1,138,553.87	153,853.43	1,889,393.61	1,138,553.87
22		1,149,939.40	141,265.43	2,030,659.03	1,149,939.40
23		1,161,438.80	129,707.35	2,160,366.38	1,161,438.80
24		1,173,053.19	119,094.93	2,279,461.30	1,173,053.19
25		1,184,783.72	109,350.80	2,388,812.10	1,184,783.72
				TIR =	14%
				VAN =	2,388,812.10

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

De acuerdo con la tabla anterior tendremos lo siguiente:

$$TIR = 10\% \rightarrow 13 \text{ años}$$

5.5.2. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD PARA LA ALTERNATIVA 2

El tipo de descuento que se aplica a proyectos de inversión es del 10%. Es decir que nuestra k será igual a 10%.

Tabla 5.21

Estado general financiero de la Alternativa 2.

AÑO	DESEMBOLSOS (Bs.)	INGRESOS (Bs.)	INTERESES (k)	FLUJO DESCONTADO (Bs.)	TASA INTERNA DE RETORNO (Bs.)
0	-4,374,778.60	0	10%	-4,374,778.60	-4,374,778.60
1		933,095.52	848,268.66	-3,526,509.94	933,095.52
2		942,426.48	778,864.86	-2,747,645.08	942,426.48
3		951,850.74	715,139.55	-2,032,505.53	951,850.74
4		961,369.25	656,628.13	-1,375,877.39	961,369.25
5		970,982.94	602,904.01	-772,973.38	970,982.94
6		980,692.77	553,575.50	-219,397.87	980,692.77
7		990,499.70	508,282.96	288,885.09	990,499.70
8		1,000,404.70	466,696.18	755,581.26	1,000,404.70
9		1,010,408.75	428,511.94	1,184,093.21	1,010,408.75
10		1,020,512.83	393,451.87	1,577,545.08	1,020,512.83
11		1,030,717.96	361,260.36	1,938,805.44	1,030,717.96
12		1,041,025.14	331,702.69	2,270,508.13	1,041,025.14
13		1,051,435.39	304,563.38	2,575,071.51	1,051,435.39
14		1,061,949.75	279,644.56	2,854,716.07	1,061,949.75
15		1,072,569.24	256,764.55	3,111,480.62	1,072,569.24
16		1,083,294.94	235,756.54	3,347,237.16	1,083,294.94
17		1,094,127.89	216,467.37	3,563,704.53	1,094,127.89
18		1,105,069.16	198,756.40	3,762,460.93	1,105,069.16
19		1,116,119.86	182,494.52	3,944,955.45	1,116,119.86
20		1,127,281.05	167,563.15	4,112,518.59	1,127,281.05
21		1,138,553.87	153,853.43	4,266,372.03	1,138,553.87
22		1,149,939.40	141,265.43	4,407,637.45	1,149,939.40
23		1,161,438.80	129,707.35	4,537,344.80	1,161,438.80
24		1,173,053.19	119,094.93	4,656,439.72	1,173,053.19
25		1,184,783.72	109,350.80	4,765,790.52	1,184,783.72
				TIR =	22%
				VAN =	4,765,790.52

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

De acuerdo con la tabla anterior tendremos lo siguiente:

$$TIR > 10\% \rightarrow 7 \text{ años}$$

5.5.3. CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Al analizar las dos alternativas que rigen el proyecto considerando una tasa de descuento de un 10% y al tener claros los conceptos de TIR y VAN, se toma la decisión:

Alternativa 2: $VAN = 4,765,790.52$, $TIR = 22\%$ con recuperacion de 7 años → RENTABLE

En conclusión, la alternativa 2 es la más viable para la construcción de una derivación del Gasoducto al Altiplano (GAA) a la localidad de Cala Cala que implica tomar la conexión de la cámara de derivación a la salida del City Gate de Konani la cual se encarga de regular la presión en una primera etapa, que se encuentra ya implementada en su totalidad mediante la construcción de una red primaria hasta el EDR de la localidad de Cala Cala, para su regulación de presión en una segunda etapa y posterior alimentación de gas natural a los habitantes del lugar.



CAPÍTULO 6 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

A partir de los objetivos planteados en el proyecto, a continuación, se presentan las conclusiones que se determinaron en base a los resultados obtenidos tras del diseño:

- El gas natural es una fuente de energía limpia y segura, además tiene un gran amplio campo de acción y aplicación. La ingeniería se ha ocupado que llegue a las regiones más alejadas de nuestro país.
- El proyecto de masificación del consumo de gas natural, está sujeta al mejoramiento de calidad de vida de los habitantes de la localidad de Cala Cala ya que disminuye riesgos potenciales y mejora la oferta energética de los usuarios, promoviendo la seguridad y economía.
- Con la implementación del presente proyecto se aprovecha parte del gas provenientes de los campos bolivianos, beneficiando así a otra comunidad o localidad más, que carecía de este servicio, desplazando otros recursos como la leña y el GLP.
- Para realizar una derivación de un gasoducto hacia una localidad lo primero que se estableció es implementar o en todo caso buscar alternativas que conlleven a la reducción de presión, ya sea en primera y segunda o tercera etapa de regulación. Es el caso de este proyecto que mediante un City Gate pasamos de un sistema de Transporte a un sistema de Distribución del gas natural y finalmente se llega al usuario final para su consumo.
- Se selecciono tomar la Alternativa 2, teniendo en cuenta que el City Gate Konani ya está implementada, es un proyecto que está diseñado para dos poblaciones: Konani y Cala Cala. Esta cuenta ya con la cámara de interconexión con el Gasoducto al Altiplano lista para la derivación del gas natural en primera instancia a la localidad de Konani y

posteriormente a la localidad de Cala Cala (cuando se ejecuten obras civiles y mecánicas para la construcción de una red primaria) mediante una cámara de derivación.

- Mediante un análisis de mercado a la localidad de Cala Cala, se obtuvo conocimiento acerca de la necesidad de los habitantes de tener este potencial energético. Y que mediante este proyecto se evidencio que, con una inversión de beneficio social a largo plazo, también se puede generar ganancias en el futuro.

6.1.1. VENTAJAS

- Que, de acuerdo al cálculo del consumo de proyección requerido, no es necesario realizar una implementación de un nuevo City Gate, ya que esta implica gastos innecesarios y nada favorables para la recuperación de la inversión que se va a realizar.
- La Estación Distrital de Regulación (EDR) que se va a implementar tiene la capacidad de soportar más del doble del caudal requerido.
- El trazo realizado de la tubería para la Red Primaria en ambas alternativas está localizado en lugares estratégicos para que en un futuro puedan generarse Empresas Industriales e implementación de alguna GNV (Gas Natural Vehicular).
- El desarrollo y creación de redes primarias contribuye a la masificación del uso de gas natural en la población boliviana y apoya a la implantación de grandes complejos industriales.
- Con el proyecto implementado los comercios actuales o futuros comercios tendrán esa oportunidad de crecer y generar mayor ganancia que lleva el uso del gas natural.

6.1.2. DESVENTAJAS

- Debido a las grandes sumas de inversión en los equipos, accesorios y materiales que implican en la construcción, esta debe ser financiada y gestionada para su ejecución por entidades estatales.
- Existen otros factores importantes que frenan el avance de las conexiones de gas natural

a las localidades: la subvención del gas licuado de petróleo, la inversión que se requiere y la falta de información de los beneficiarios sobre la forma de cómo se lleva a cabo la conexión individual del gas por redes.

- Una de las desventajas directas es que la localidad de Cala Cala no cuenta con la categoría de usuarios industriales, es por esta razón que aún no se ha realizado el sistema de distribución de gas natural a esa localidad.

6.2. RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo el trabajo de campo detallado para verificar distancias y topografía en la zona, con el fin de corregir parámetros a la hora del trazado de la tubería.
- El plano de la población o zona de interés debe ser el que se brinda por la alcaldía o la localidad con la última modificación para así tener mayor exactitud a la hora de realizar el proyecto de un sistema de distribución del gas natural.
- Es recomendable realizar el diseño de trazado de red secundaria con diámetro mayor en las avenidas o calles principales, debido a que en estas zonas existe mayor índice de crecimiento poblacional además de la implementación de centros comerciales.
- Realizar un estudio de población y vivienda el mismo año de elaboración de diseño del proyecto, que permita contar con información demográfica actualizada y real.
- En lo relacionado al uso del gas natural a escala domiciliaria este se debe impulsar a través de distintos tipos de proyectos de inversión.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (17 de Junio de 2010). *Gasoductos*. Obtenido de Cámara Boliviana de Hidrocarburos y Energía: <http://www.cbhe.org.bo/index.php/informacion-de-la-industria/mapas/207-gasoductos>
- Agencia Nacional de Hidrocarburos. (27 de Julio de 2015). *ANEXO 1 Diseño de Redes de Gas Natural*. Obtenido de Agencia Nacional de Hidrocarburos: https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos_Id-180-180403-0317-0.pdf
- Agencia Nacional de Hidrocarburos. (13 de Noviembre de 2015). *ANEXO 4 Calidad del Gas Natural*. Obtenido de Agencia Nacional de Hidrocarburos: https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos_Id-283-180403-0315-0.pdf
- Agencia Nacional de Hidrocarburos de Colombia. (2020). *La Cadena del Sector Hidrocarburos*. Obtenido de Agencia Nacional de Hidrocarburos de Colombia: <http://www.anh.gov.co/porta regionalizacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>
- An American National Standard. (2018). *ASME B36.10M Welded and Seamless Wrought Steel Pipe*. New York: The American Society Of Mechanical Engineers.
- ARCO. (27 de Diciembre de 2018). *Tubería Polietileno (PE): Accesorios y Sistemas de Unión*. Obtenido de ARCO: <https://cutt.ly/rSV6BJz>
- Campos, J. G. (2021). *City Gate*. Obtenido de City Gate: <https://www.yumpu.com/es/document/read/65040267/city-gate>
- CYPECAD. (2021). *Suministro de gas*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2021, de CYPECAD: <https://www.cype.pe/instalaciones-urbanas/suministro-de-gas/>
- DINCORSA. (2017). *Tuberías de Acero al Carbono: Tipos y Aplicaciones*. Obtenido de DINCORSA: <https://www.dincorsa.com/blog/tipos-aplicaciones-tuberias-acero-carbono/>

- EPMEX. (2020). *Cadena de Valor en la Industria Petrolera*. Obtenido de EPMEX:
<https://epmex.org/news/2020/07/02/cadena-de-valor-en-la-industria-petrolera/>
- Estaciones de Entrega-City Gates. (2021). Obtenido de Estaciones de Entrega-City Gates:
<https://es.scribd.com/document/334826586/City-Gates>
- García Barrezueta, E. (2012). *Protección Catódica: Corriente Impresa*. Recuperado el 8 de Diciembre de 2021, de WordPress: <https://proteccioncatodica.wordpress.com/corriente-impresa/>
- Gobierno Autónomo Municipal de Sica Sica. (2020). *Plan Territorial de Desarrollo Integral 2015-2020*. Sica Sica.
- INEGAS. (2016). *Experto en Pruebas Hidrostáticas y Neumáticas para ductos de Transporte de Hidrocarburos*. La Paz, Murillo, Bolivia: INEGAS. Obtenido de www.inegas.edu.bo
- INEGAS. (2017). *Corrosión y Protección Catódica*. La Paz, Murillo, Bolivia: INEGAS.
- INFOCAL. (2008). *Técnico de Proyectos I*. La Paz, Murillo, Bolivia: INFOCAL.
- INFOCAL. (2021). *Diseño y Construcción de Redes de Gas*. Pando, Pando, Bolivia: INFOCAL.
- IR Corrosión. (2019). *Protección Catódica*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2021, de IR Corrosión: <https://ircorrosion.com/>
- Laboratorio de Instrumentación Industrial. (2022). *Prueba Hidráulica*. Recuperado el 24 de Febrero de 2022, de Universidad Nacional de Tucumán:
<https://instrumentacion.com.ar/prueba-hidraulica/>
- Martínez, M. j. (2006). *Cálculo de Tuberías y Redes de Gas*. Caracas, Venezuela: Ingenieros Consultores Asociados, C.A.
- Metrogas. (2020). *Características del Gas Natural*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2021, de <http://www.metrogas.cl>.
- NACE. (2019). *National Association of Corrosion Engineers*. NACE. Recuperado el 20 de Diciembre de 2021, de <https://inspectioneering.com/tag/nace>
- OCTAL. (28 de Enero de 2019). *API 5L Pipe Specification*. Obtenido de OCTAL:

<https://www.octalsteel.com/api-5l-pipe-specification>

- Otálora Orrego, J., & Tinoco Muñoz, J. C. (2016). Rediseño del Gasoducto entre Popayán y Pasto con el uso de las herramientas ArcGis y Pipesim. *Proyecto de grado para licenciatura*. Fundación Universidad de América, Bogotá.
- Prado, J. F. (2014). Diseño de una Estación reductora de presión (City Gate) de Gas Natural procedente de Camisea. *Diseño de una Estación reductora de presión (City Gate) de Gas Natural procedente de Camisea*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Arequipa, Peru.
- Rodas, J. E. (2016). Una estrategia para la industrialización del Gas Natural Boliviano. *Ingeniería del Gas Natural*. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Santa Cruz, Bolivia. Obtenido de <https://es.slideshare.net/gersonatorrez/ingeniera-del-gas-natural>
- Schlumberger. (2020). *PIPESIM Steady-State Multiphase Flow Simulator*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2021, de Schlumberger: <https://www.software.slb.com/products/pipesim>
- Total Services Bolivia. (2014). *Sistemas de Regulación y Medición de Fluidos*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2021, de Total Services Bolivia: <https://www.t-s.bo/servicios>
- TUVALREP. (16 de Octubre de 2016). *Gas Polietileno Tuberías y Accesorios*. Obtenido de TUVALREP: <https://cutt.ly/kSBevEG>
- Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. (23 de Mayo de 2013). *La Industria del Petróleo y del Gas*. Obtenido de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos: <https://www.ypfb.gob.bo/es/informacion-institucional/informaci%C3%B3n-de-contacto/9-ypfb-corporacion/23-cadena-productiva-mas.html>
- YPFB Transportes S.A. (10 de Mayo de 2020). *Sistema de Transportes de Gas*. Obtenido de YPFB Transportes S.A.: <https://www.ypfbtransporte.com.bo/nuestras-operaciones/sistemas-de-transporte-de-gas/>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

GEOREFERENCIA: Técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica en un sistema de coordenadas.

COORDENADAS UTM: Es un sistema basado en la proyección cartográfica de Mercator, sus unidades son los metros a nivel del mar, que es la base del sistema de referencia.

VELOCIDAD EROSIVA: Es la máxima velocidad del gas en la tubería en la cual por fricción puede destruir la película del inhibidor la cual protege a la tubería de la corrosión.

SIG (SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA): Información que esta geográficamente referenciada la cual se puede integrar, almacenar, editar, analizar y mostrar.

LINEA MUNICIPAL: Línea que deslinda la propiedad de la vía pública actual o la línea señalada por la municipalidad para las futuras vías públicas.

NODO: Toda intersección de tubería que modifique la continuidad de la misma.

PIPELINE: Son todas las partes físicas constructivas a través de las que el gas es transportado, incluyendo tubos, válvulas, accesorios, bridas, reguladores y otros dispositivos montados sobre la tubería.

INTEGRIDAD: Es una condición de un activo físico a la cual se llega y que representa a la certeza de que el activo pueda operar continuamente en forma segura.

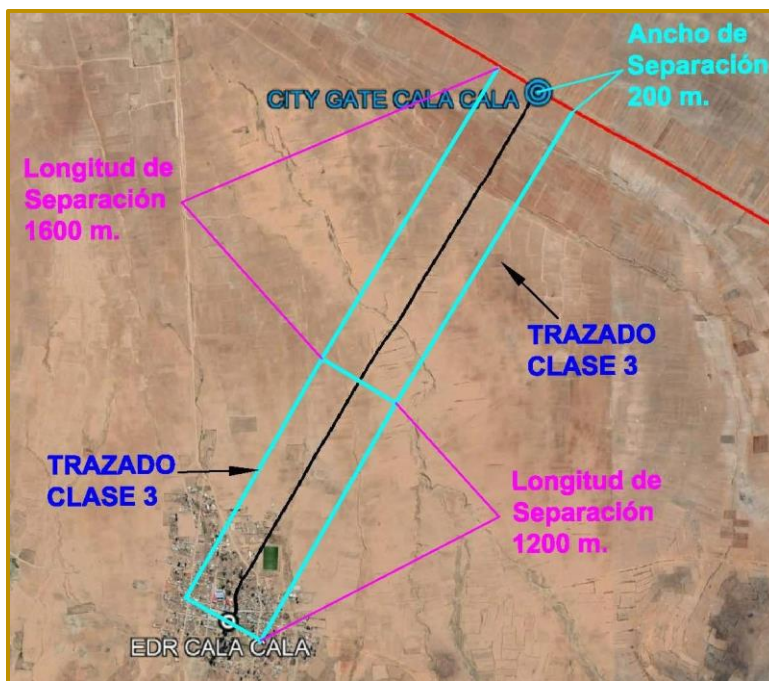
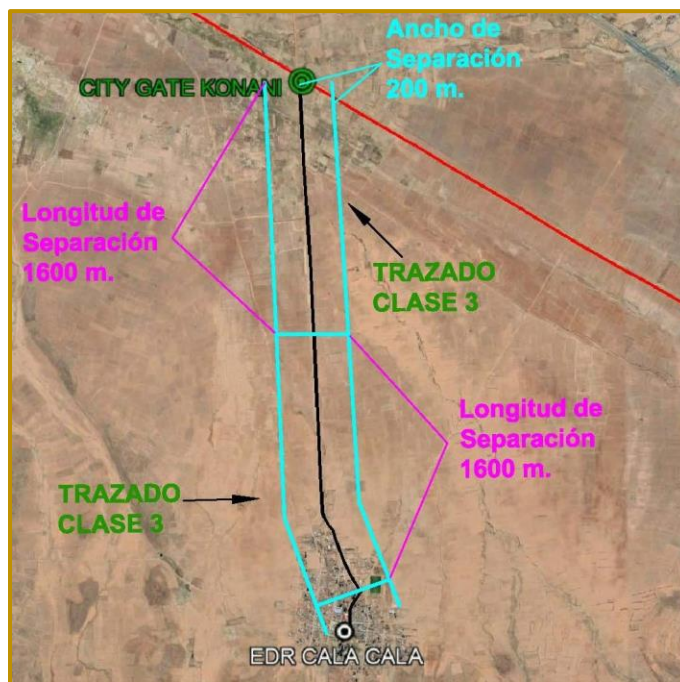
API 1104: Es un código de referencia que tiene por objetivo principal presentar un método para la producción de soldaduras de alta calidad mediante el empleo de soldadores calificados usando equipos, materiales y procedimientos de soldadura aprobados.

ANEXOS

ANEXO 1 – BOLETA DE ENCUESTA

1. ¿Cuál es su género?				
FEMENINO <input type="checkbox"/>		MASCULINO <input type="checkbox"/>		
2. ¿Le gustaría tener una instalación de gas natural a domicilio en lugar de usar garrafas?				
			SI <input type="checkbox"/>	
			NO <input type="checkbox"/>	
3. Las instalaciones de gas natural son financiadas por el estado hasta 22 metros, si desea que funcionen otros aparatos a gas como ser calefones, estufas, parrilleros y hornos. ¿Está dispuesto a pagar un costo extra?				
SI <input type="checkbox"/>		NO <input type="checkbox"/>		
4. ¿Cuánto dinero paga por una garrafa?				
22.5 Bs. <input type="checkbox"/>	24 Bs. <input type="checkbox"/>	30 Bs. <input type="checkbox"/>	35 Bs. <input type="checkbox"/>	40 Bs. <input type="checkbox"/>
5. ¿Cuántas garrafas usa al mes?				
2 garrafas/mes <input type="checkbox"/>		1 garrafa /mes <input type="checkbox"/>		
6. ¿Tiene algún local comercial o industrial (horno, restaurante, fábrica, etc.) y desearía que funcione con gas natural?				
SI <input type="checkbox"/>		NO <input type="checkbox"/>		

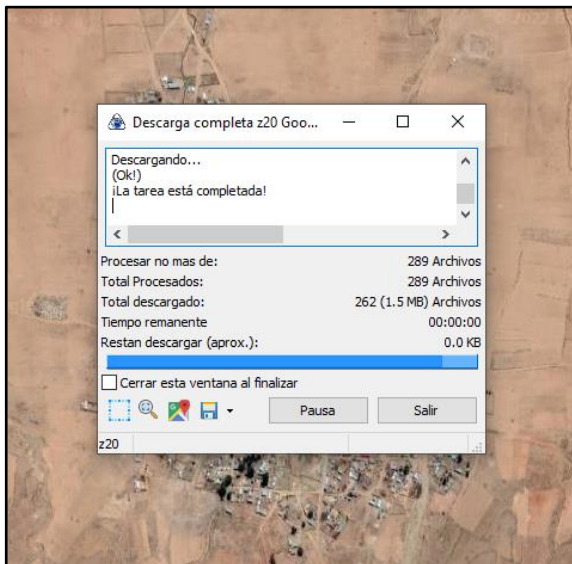
Fuente: Elaborado en base a datos propios.

ANEXO 2 – CLASE DE TRAZADO (RED PRIMARIA)**ALTERNATIVA 1:****ALTERNATIVA 2:**

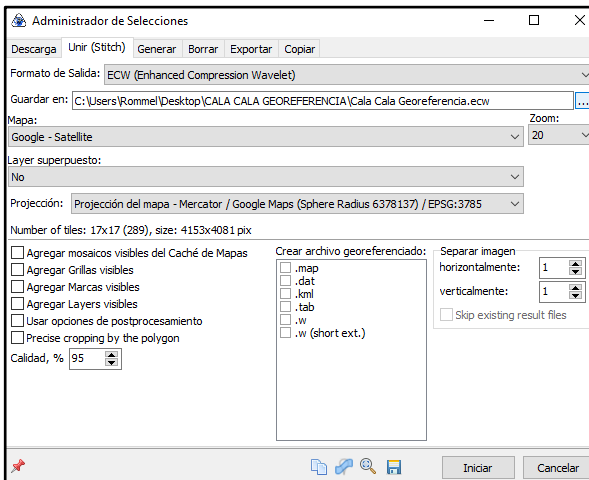
Fuente: Elaborado en base a datos propios.

ANEXO 3 – PROCEDIMIENTO DE LA GEOREFERENCIA A CALA CALA

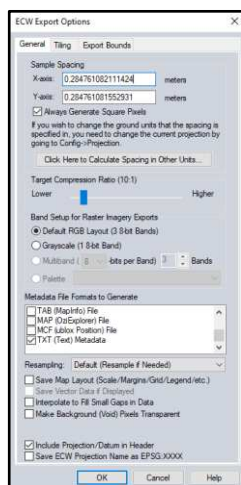
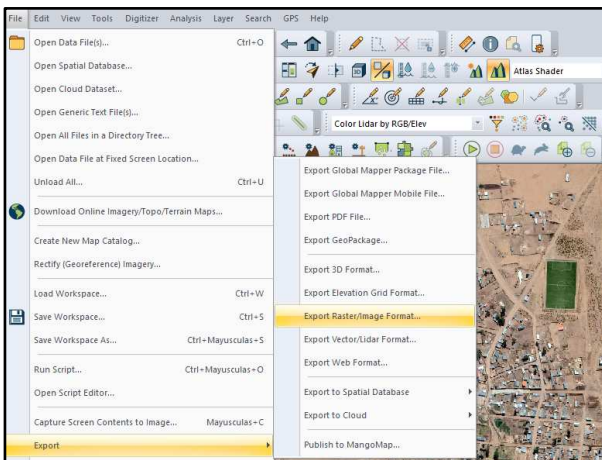
PASO 1. Ubicamos el lugar en SAS.Planet.



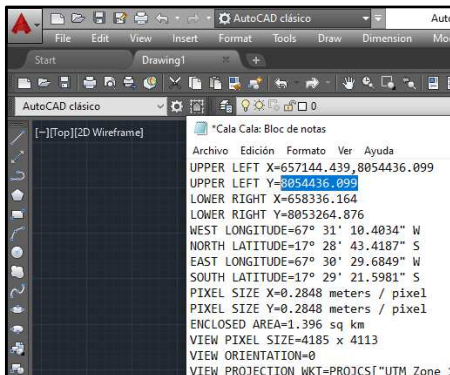
PASO 2. Guardamos en formato ecw.



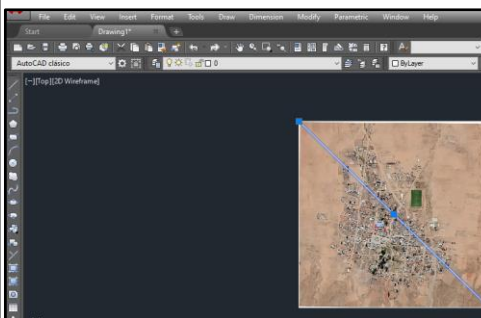
PASO 3. Abrimos el archivo ecw y procedemos a darle formato con coordenadas UTM.



PASO 4. Introducimos las coordenadas en Autocad.

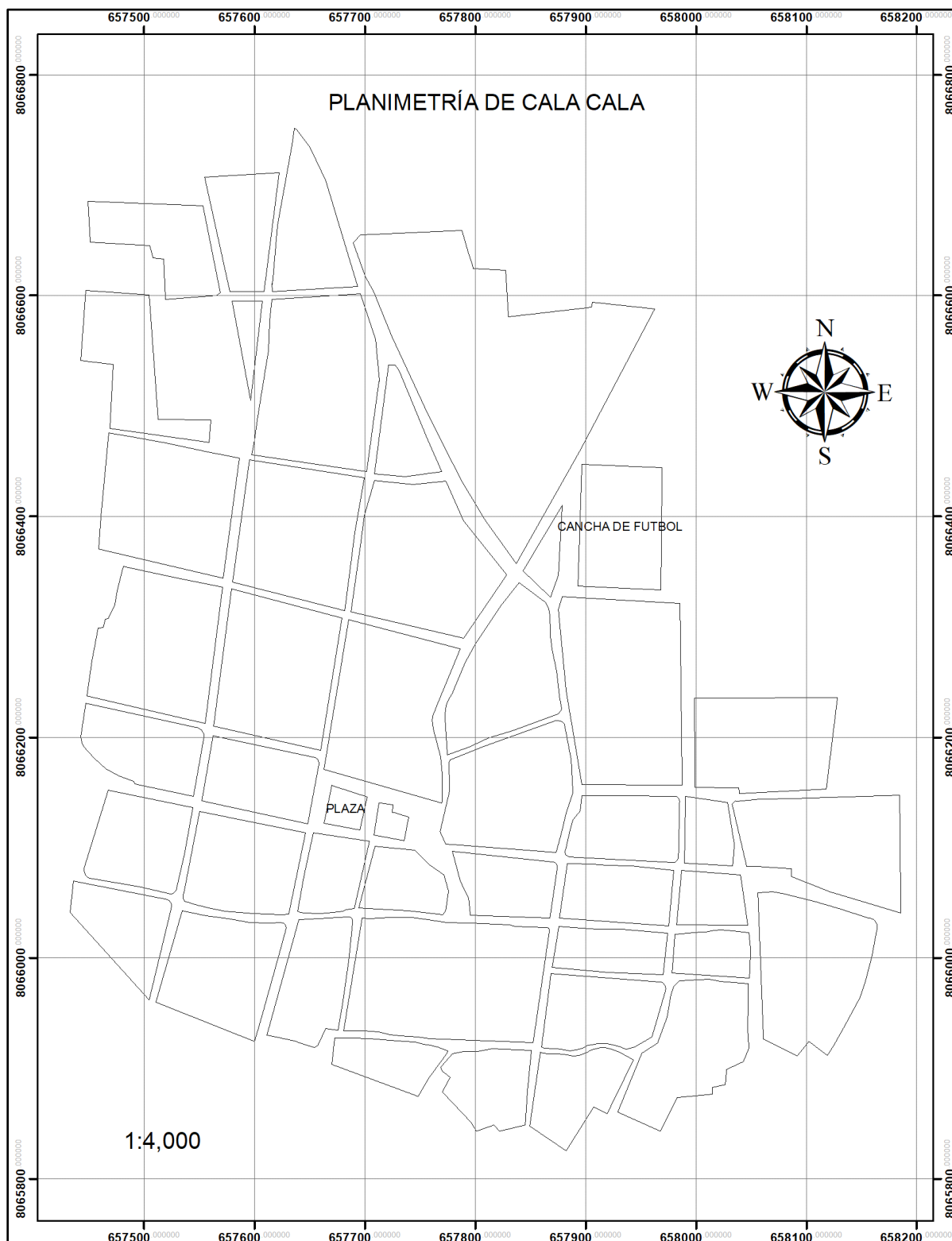


PASO 5. Procedemos al trazado de Cala Cala.

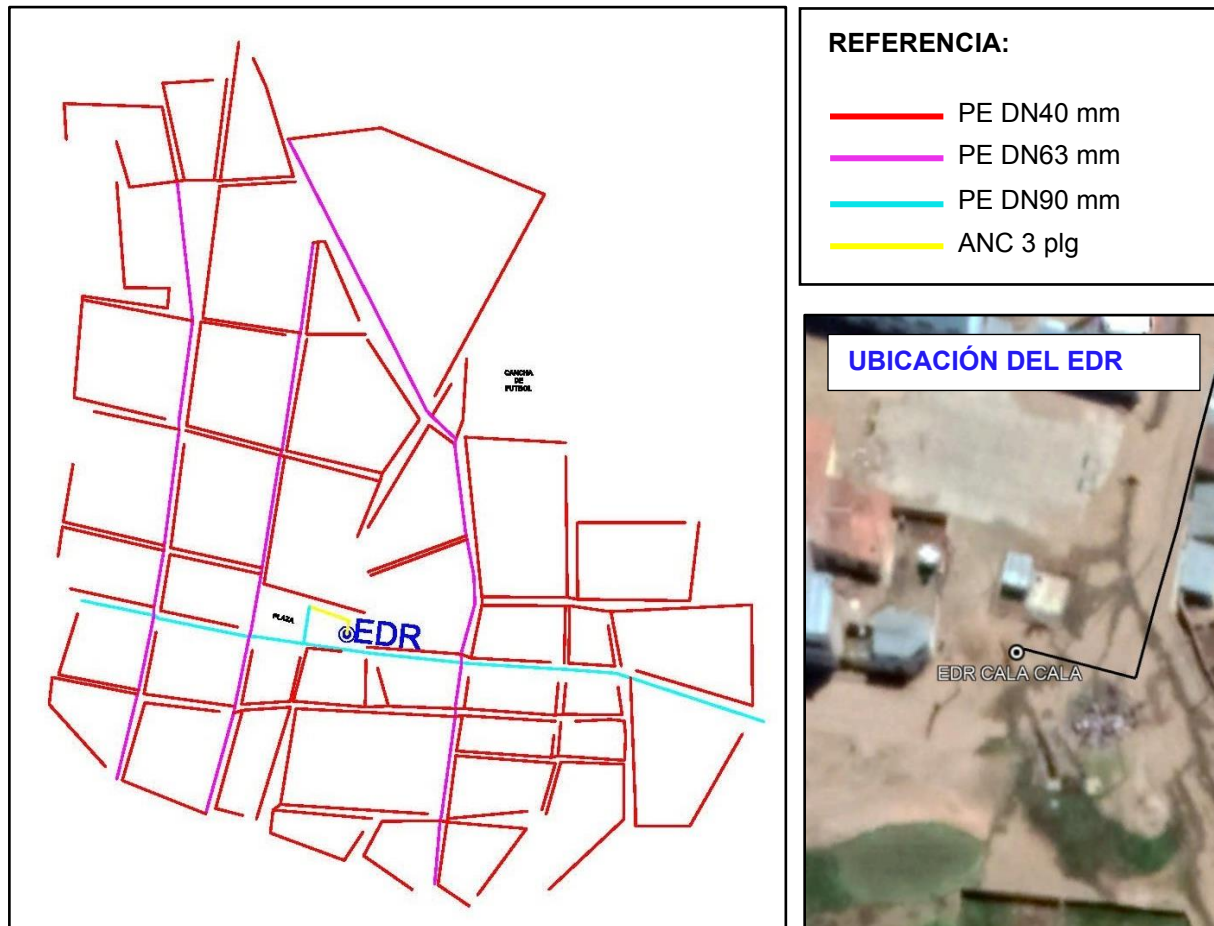


Fuente: Elaborado en base a datos propios.

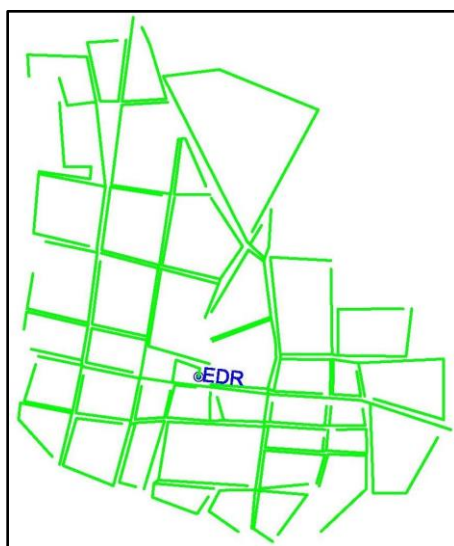
ANEXO 4 – PLANIMETRÍA OBTENIDA DE CALA CALA



Fuente: Elaborado en base a datos propios.

ANEXO 5 – TRAZADO DE LA RED SECUNDARIA

PREPARADO PARA EXPORTAR A CYPECAD



Fuente: Elaborado en base a datos propios.

ANEXO 6 – PROCEDIMIENTO DE LA SIMULACIÓN CON CYPECAD (RED SECUNDARIA)

PASO 1: Introducir datos generales a CypeCAD

PASO 2: Introducir parámetros de calculo

PASO 3: Selección de los límites de calculo

Combinación	Velocidad (m/s)
Combinación 1	20.00

PASO 4: Introducir coeficientes de calculo

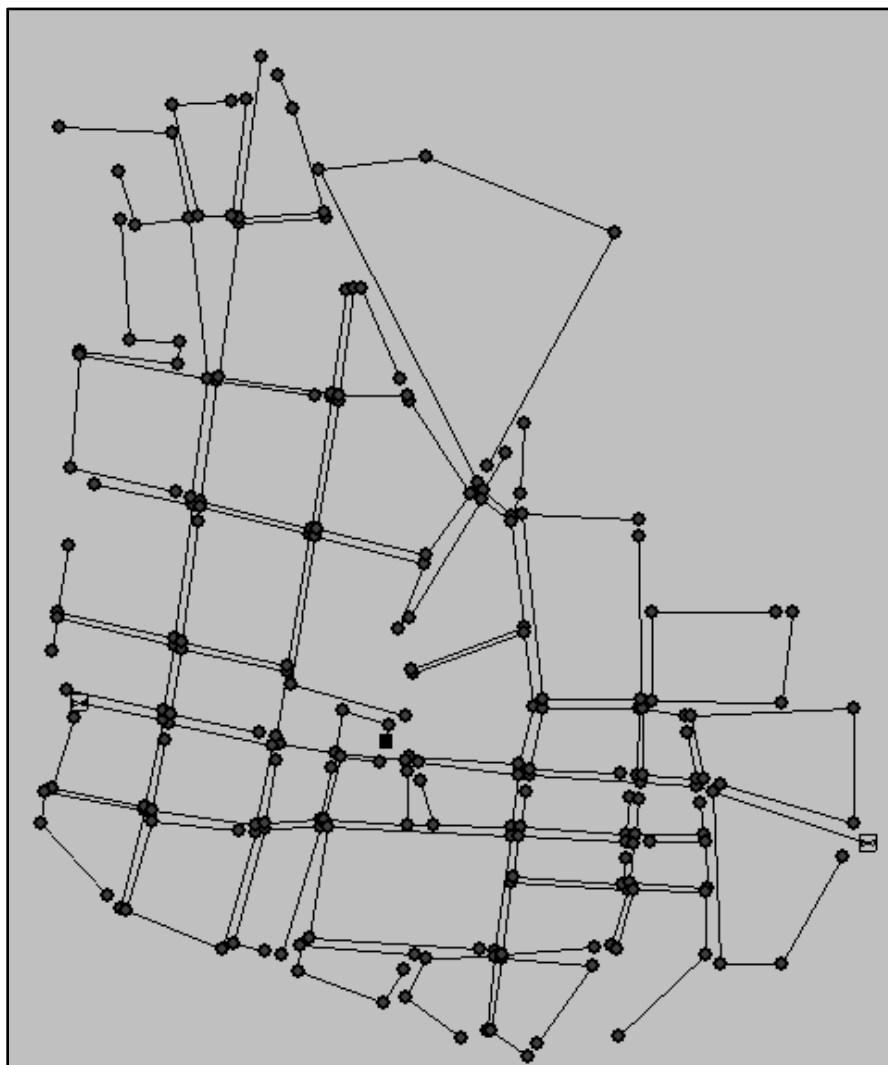
PASO 5: Selección del tipo de material

PASO 6: Introducir caudales de cada nodo

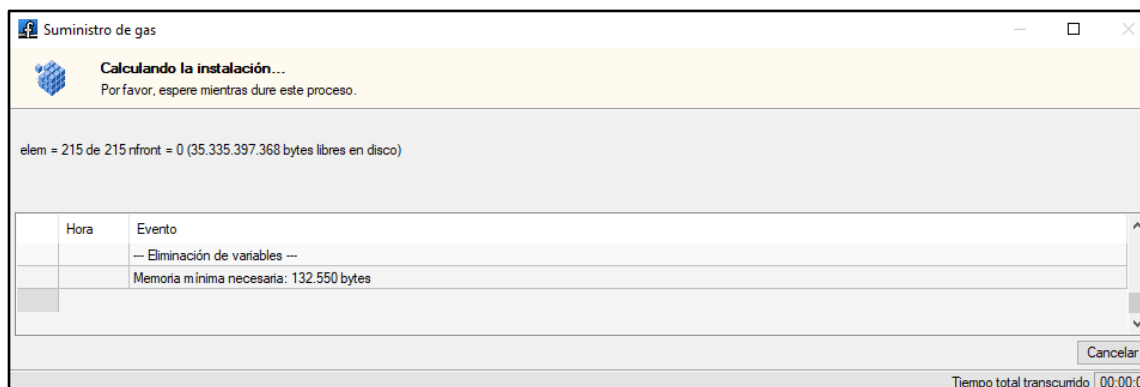
Hipótesis	Cargas	Caudal (m³/h)	Caudal (m³/h) - Total
Única	Directa	2.33800000	2.33800000

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

PASO 7: Preparación para la corrida final



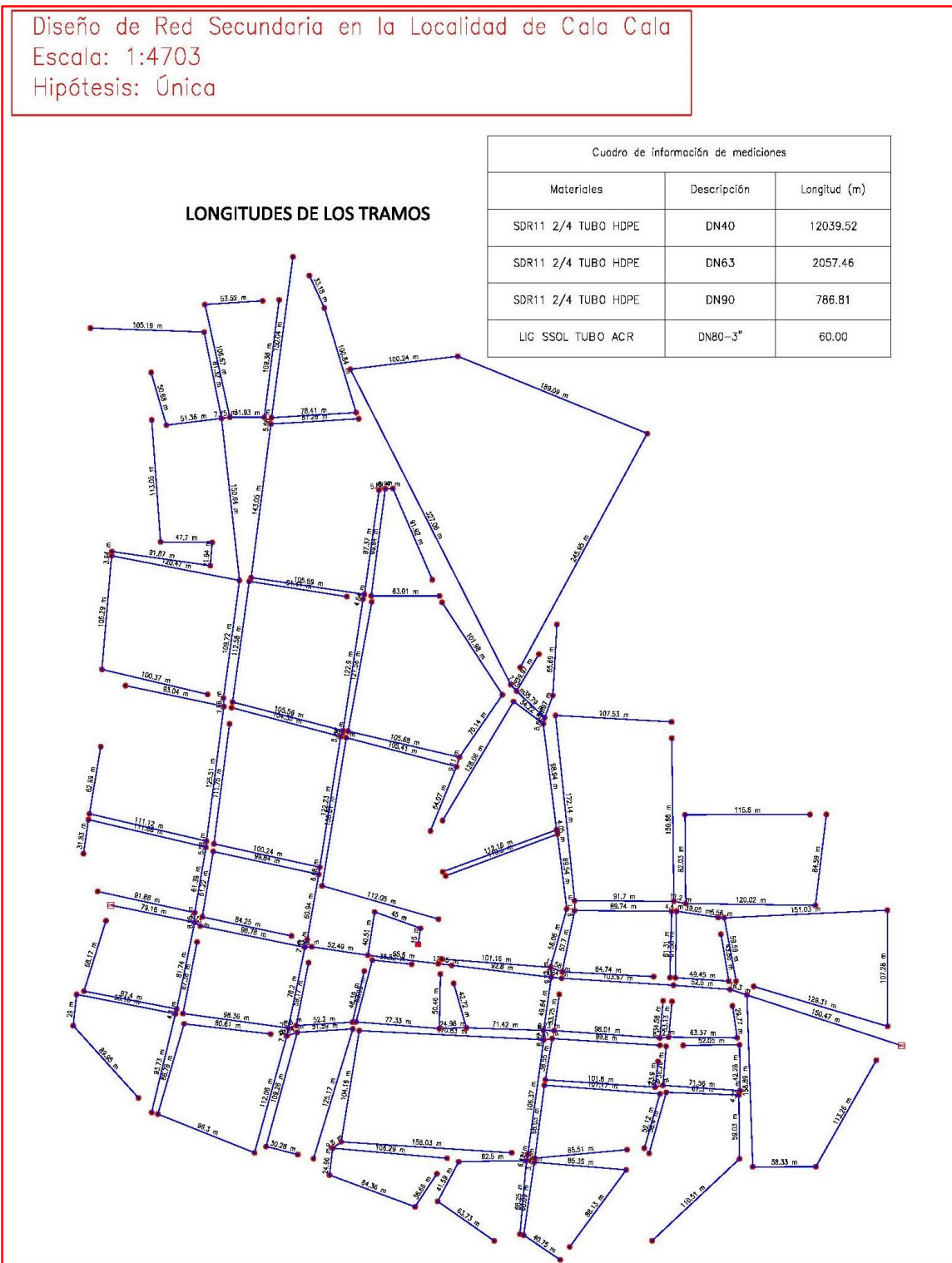
PASO 8: Proceso de simulación



Fuente: Elaborado en base a datos propios.

RESULTADOS:

MUESTRA DE TRAMOS



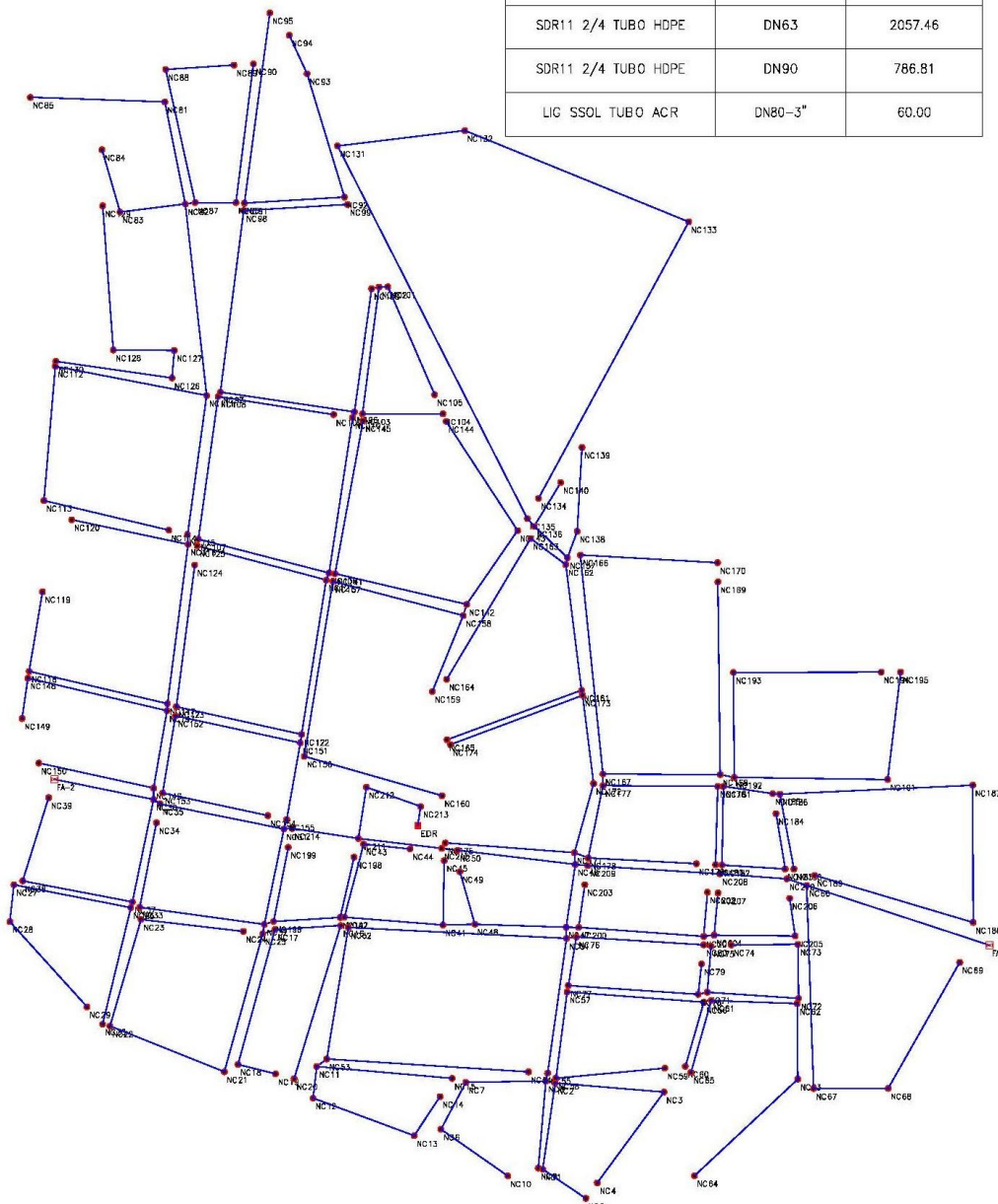
Fuente: Elaborado en base a datos propios.

MUESTRA DE NUDOS

Diseño de Red Secundaria en la Localidad de Cala Cala
 Escala: 1:4703
 Hipótesis: Única

Cuadro de información de mediciones		
Materiales	Descripción	Longitud (m)
SDR11 2/4 TUBO HDPE	DN40	12039.52
SDR11 2/4 TUBO HDPE	DN63	2057.46
SDR11 2/4 TUBO HDPE	DN90	786.81
LIG SSOL TUBO ACR	DN80-3"	60.00

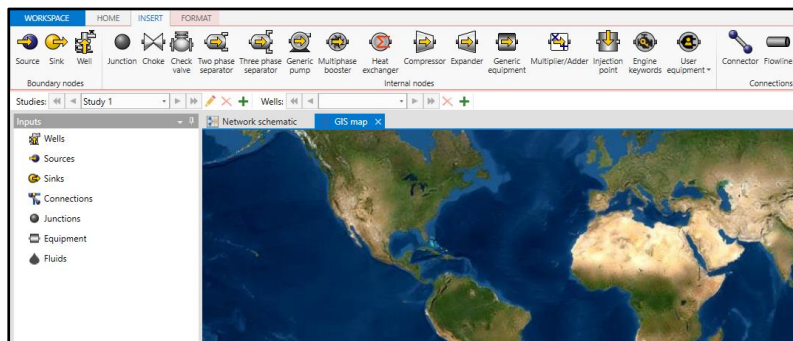
NUDOS



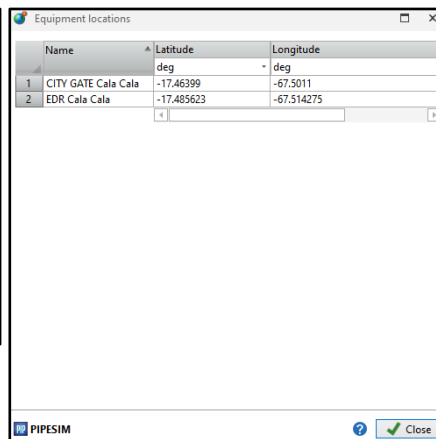
Fuente: Elaborado en base a datos propios.

ANEXO 7 – PROCEDIMIENTO DE LA SIMULACIÓN CON PIPESIM (RED PRIMARIA)

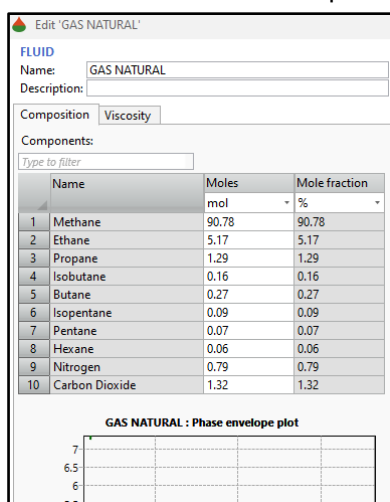
PASO 1: Ventana de trabajo de Pipesim, modo GIS map



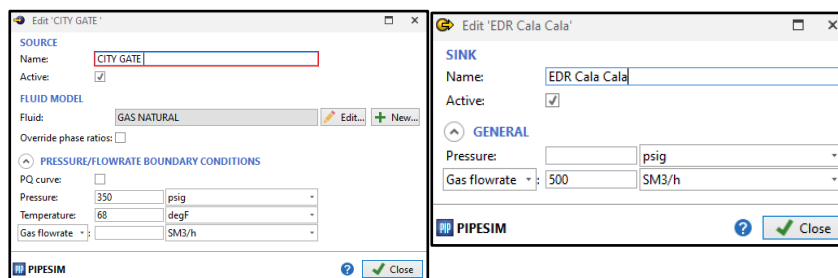
PASO 2: Localizar los equipos



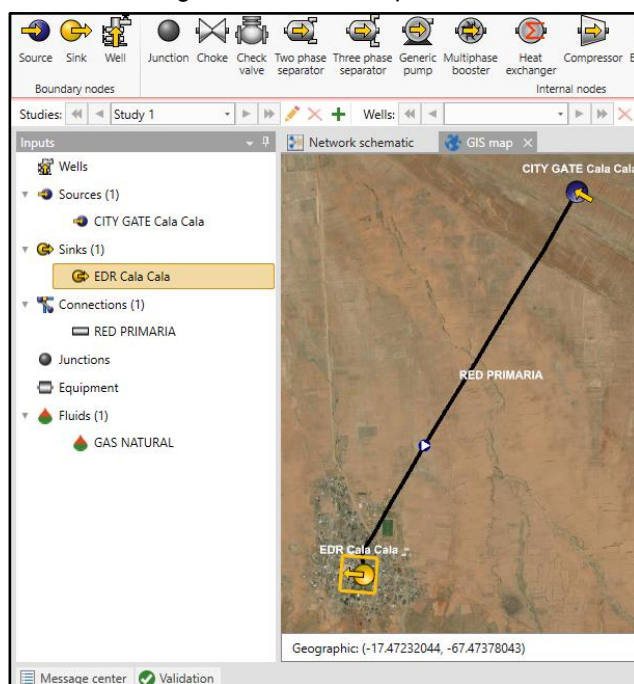
PASO 3: Introducir la composición del GN



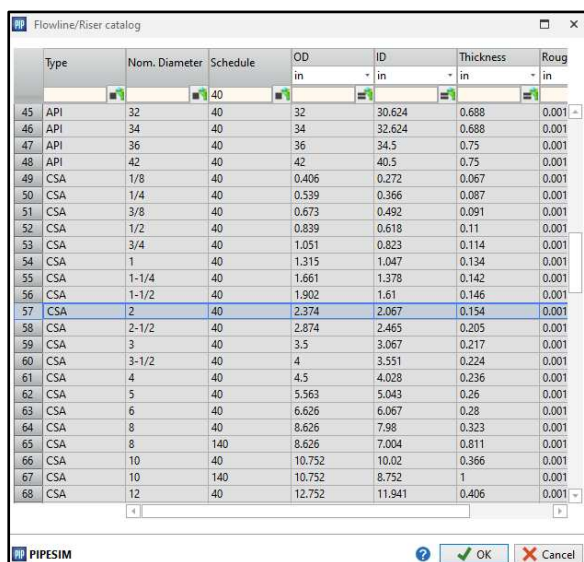
PASO 4: Introducir los parámetros del City Gate y EDR



PASO 6: Arreglo verificado listo para la corrida final

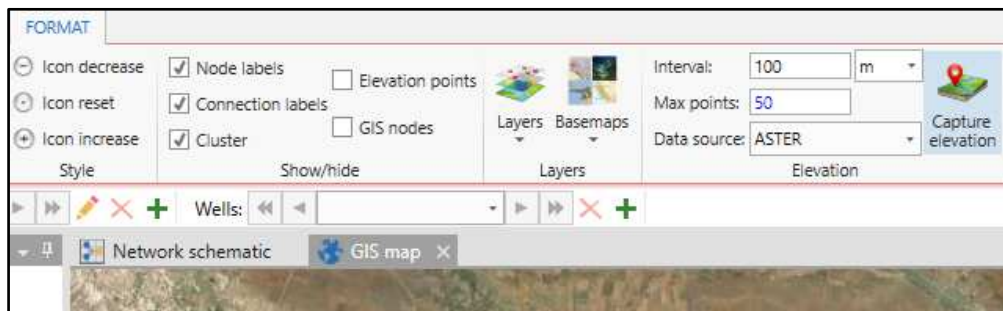


PASO 5: Seleccionar el diámetro de la tubería



Fuente: Elaborado en base a datos propios.

PASO 7: Los datos de diferencia de altura: Capture elvation – ESRI, SRTM o ASTER



PASO 8: Corrida final y muestra de resultados

Name: Alternativa 1
Description: Red Primaria desde el City Gate Cala Cala al EDR.

Network simulation Engine console

```
Service starting...
Loading engine from C:\Program Files\Schubert\Engine
Service listening at net.pipe://localhost/pipe/3046
COP to use C:\Users\Bomek\AppData\Local\Temp\322622
Processing C:\Users\Bomek\AppData\Local\Temp\322622
```

Run Stop Restart

Results manager

RESULTS

Current selection Current study Type to filter

Date/Time	Study	Task name	Task type	Start node	Status	Description
06/04/2022 18:47	Study 1	Alternativa 1	Network simulation		Completed	Red Primaria desde e...

Node/Branch results Profile results

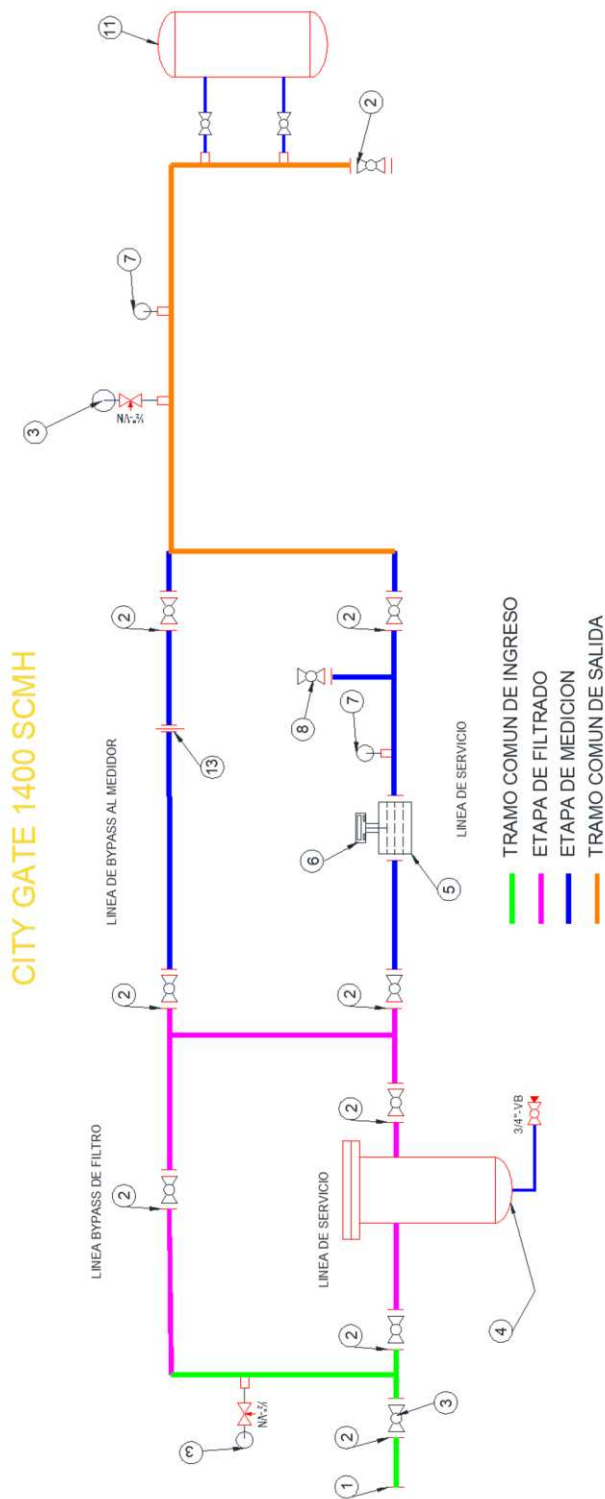
Type to filter

Branch

Branch	Equipment	Total distance	Elevation	Pressure	Temperature	Gas vel.	EV
		m	m	psig	degF	m/s	m/s
1 EDR Cala Cala		2830.29	0	336.9837	60.08906		
2 CITY GATE Cala Cala	RED PRIMA...	0	-44.98848	350.0041	68	2.462438	27.45111
3 CITY GATE Cala Cala		21.50103	-47.00016	349.9717	67.8593	2.461838	27.44776
4 CITY GATE Cala Cala		91.53432	-47.00016	349.6823	67.3558	2.460922	27.44266
5 CITY GATE Cala Cala		182.9798	-45.99432	349.2762	66.73414	2.460157	27.43839
6 CITY GATE Cala Cala		249.2714	-45.99432	349.003	66.23189	2.459693	27.43561

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

ANEXO 8 – ESPECIFICACIONES DEL CITY GATE

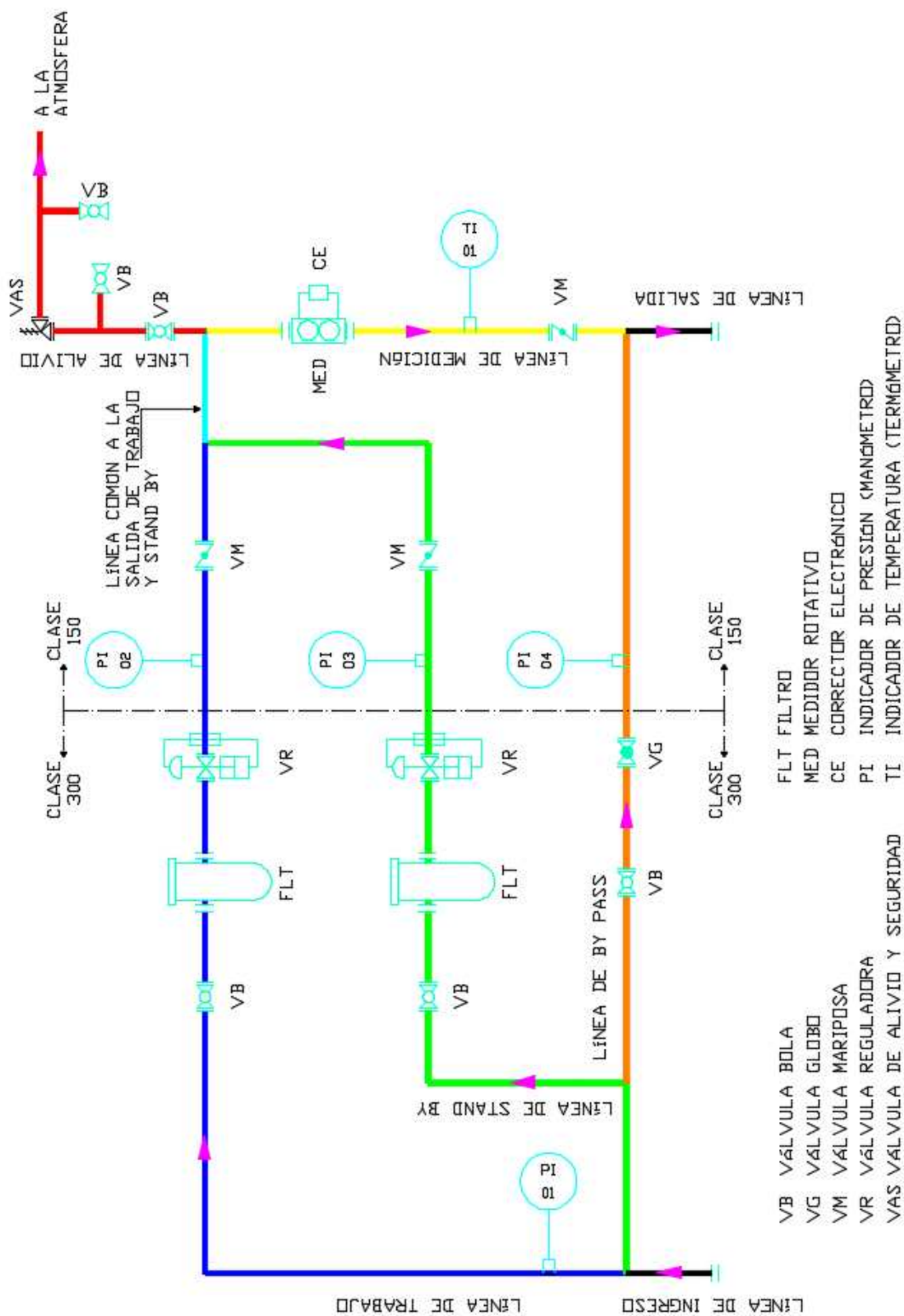


Fuente: Adaptado de los requerimientos de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos.

TRAMO	RAMAL	COMPONENTES	DIÁMETRO		
			[pulg]	CLASE	REF.
TRAMO COMUN DE INGRESO	Único	Bridas RF W.N. de conexión.	2	ANSI 300	1
		Válvulas de bola de Paso Total	2	ANSI 300	2
		Manómetro			3
ETAPA DE FILTRADO	Línea de servicio	Válvulas de bola de Paso Total	2	ANSI 300	2
		Filtro Separador de Partículas Coalescente.			4
		Válvulas de bola de Paso Total	2	ANSI 300	2
	Línea bypass de filtro	Válvulas de bola de Paso Total	2	ANSI 300	2
ETAPA DE MEDICION	Línea de servicio	Válvulas de bola de Paso Total	2	ANSI 300	2
		Termómetro			7
		Medidor tipo desplazamiento positivo (Rotativo apto para transferencia de custodia)	2	ANSI 300	5
		Válvulas de bola de Paso Total	2	ANSI 300	2
		Válvula de flujo critico	2	ANSI 300	8
		Computador de flujo			6
	Línea de bypass al medidor	Válvulas de bola de Paso Total	2	ANSI 300	2
		Figura ocho.	2	ANSI 300	13
		Válvulas de bola de Paso Total	2	ANSI 300	2
TRAMO COMÚN DE SALIDA	Único	Manómetro			3
		Termómetro			7
		Sistema de odorización			11
		Válvulas de bola de Paso Total	2	ANSI 300	2

Fuente: Adaptado de los requerimientos de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos.

ANEXO 9 – ESPECIFICACIONES DEL EDR



Fuente: Adaptado de los requerimientos de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos.

LÍNEA		COMPONENTES	CLASE	DIÁMETRO [pulg]
INGRESO		Brida RF W.N. de Conexión	ANSI 300	2
TRABAJO	AGUAS ARRIBA A LA VÁLVULA REGULADORA	Manómetro		
		Válvula de Bola de Paso Total	ANSI 300	2
		Filtro		
	AGUAS ABAJO A LA VÁLVULA REGULADORA	Válvula Reguladora	ANSI 300	1
		Válvula Mariposa	ANSI 150	3
STAND BY	AGUAS ARRIBA A LA VÁLVULA REGULADORA	Válvula de Bola de Paso Total	ANSI 300	2
		Filtro		
		Válvula reguladora	ANSI 300	1
	AGUAS ABAJO A LA VÁLVULA REGULADORA	Válvula mariposa	ANSI 150	3
		Manómetro		
COMÚN A LA SALIDA DE LAS LÍNEAS DE TRABAJO Y STAND BY		-	ANSI 150	3
BY PASS	Válvula globo (Cv para que el efecto sea igual al del regulador)		ANSI 300	Diámetro igual al de la válvula globo, de manera que en esta línea se pueda regular manualmente a las presiones de Trabajo y Stand By
	Válvula de Bola Paso Total		ANSI 300	
	Manómetro			
ALIVIO	Válvula bola (bloqueo, diámetro igual al de la línea)			Los diámetros (aguas arriba y abajo de la válvula de alivio) serán igual a la entrada y salida de las válvulas de alivio
	Válvula bola (purga y calibración local)			
	Válvula de Alivio y Seguridad			
	Válvula bola (purga agua de lluvia)			
MEDICIÓN	Medidor tipo Desplazamiento Positivo (Rotativo)		ANSI 150	3
	Corrector Electrónico			
	Termómetro			
	Válvula Mariposa		ANSI 150	3
SALIDA		Brida RF W.N. de conexión	ANSI 150	3

Fuente: Adaptado de los requerimientos de la Gerencia de Redes de Gas y Ductos.

ANEXO 10 – MEMORIA DE CÁLCULO SIMULADOR PIPESIM (RED PRIMARIA)

ALTERNATIVA 1

Rama	Equipo	Distancia (m)	Elevación (m)	Presión (Psig)	Temp. (°F)	V (m/s)	Ve (m/s)
CITY GATE Cala Cala	RED PRIMARIA	0.000	-44.988	350.004	68.000	2.462	27.451
CITY GATE Cala Cala		21.501	-47.000	349.972	67.859	2.462	27.448
CITY GATE Cala Cala		91.534	-47.000	349.682	67.356	2.461	27.443
CITY GATE Cala Cala		182.980	-45.994	349.276	66.734	2.460	27.438
CITY GATE Cala Cala		249.371	-45.994	349.002	66.322	2.460	27.436
CITY GATE Cala Cala		274.420	-45.994	348.899	66.173	2.460	27.435
CITY GATE Cala Cala		365.865	-44.988	348.493	65.646	2.459	27.434
CITY GATE Cala Cala		441.944	-44.988	348.178	65.248	2.459	27.434
CITY GATE Cala Cala		457.305	-44.988	348.115	65.171	2.459	27.434
CITY GATE Cala Cala		548.768	-42.977	347.681	64.714	2.460	27.436
CITY GATE Cala Cala		610.520	-42.977	347.426	64.440	2.460	27.438
CITY GATE Cala Cala		640.208	-42.977	347.303	64.314	2.460	27.438
CITY GATE Cala Cala		731.648	-42.977	346.925	63.944	2.461	27.442
CITY GATE Cala Cala		814.035	-42.977	346.585	63.636	2.461	27.445
CITY GATE Cala Cala		823.088	-42.977	346.547	63.604	2.461	27.446
CITY GATE Cala Cala		914.576	-39.990	346.085	63.263	2.463	27.453
CITY GATE Cala Cala		1006.038	-37.978	345.650	62.958	2.464	27.461
CITY GATE Cala Cala		1077.423	-37.978	345.355	62.752	2.465	27.466
CITY GATE Cala Cala		1097.576	-35.997	345.216	62.678	2.466	27.469
CITY GATE Cala Cala		1189.016	-35.997	344.837	62.438	2.467	27.477
CITY GATE Cala Cala		1280.462	-37.003	344.486	62.228	2.468	27.484
CITY GATE Cala Cala		1295.139	-34.991	344.369	62.175	2.469	27.487
CITY GATE Cala Cala		1372.040	-34.991	344.050	62.006	2.470	27.494
CITY GATE Cala Cala		1463.480	-34.991	343.671	61.821	2.472	27.504
CITY GATE Cala Cala		1554.942	-32.979	343.235	61.631	2.474	27.515
CITY GATE Cala Cala		1618.653	-33.985	342.998	61.531	2.475	27.522
CITY GATE Cala Cala		1646.551	-30.998	342.799	61.456	2.476	27.527
CITY GATE Cala Cala		1738.013	-28.986	342.362	61.295	2.478	27.540
CITY GATE Cala Cala		1829.453	-28.986	341.981	61.166	2.480	27.551
CITY GATE Cala Cala		1917.197	-26.975	341.560	61.033	2.483	27.564
CITY GATE Cala Cala		1920.916	-26.975	341.544	61.028	2.483	27.565
CITY GATE Cala Cala		2012.377	-24.994	341.107	60.902	2.485	27.578
CITY GATE Cala Cala		2102.382	-21.001	340.620	60.768	2.488	27.594
CITY GATE Cala Cala		2103.906	-21.001	340.614	60.766	2.488	27.594
CITY GATE Cala Cala		2195.396	-17.983	340.148	60.651	2.491	27.610
CITY GATE Cala Cala		2286.857	-16.002	339.710	60.555	2.494	27.625
CITY GATE Cala Cala		2287.802	-16.002	339.706	60.554	2.494	27.625
CITY GATE Cala Cala		2378.437	-10.973	339.187	60.437	2.497	27.642

CITY GATE Cala Cala	2469.882	-11.979	338.831	60.386	2.499	27.656
CITY GATE Cala Cala	2534.075	-7.986	338.451	60.308	2.502	27.669
CITY GATE Cala Cala	2561.446	-7.986	338.336	60.292	2.502	27.673
CITY GATE Cala Cala	2590.162	-4.999	338.133	60.248	2.504	27.680
CITY GATE Cala Cala	2634.064	-7.986	338.031	60.254	2.504	27.685
CITY GATE Cala Cala	2652.199	-7.986	337.954	60.245	2.505	27.687
CITY GATE Cala Cala	2653.144	-7.986	337.950	60.244	2.505	27.688
CITY GATE Cala Cala	2671.950	-7.986	337.871	60.235	2.506	27.691
CITY GATE Cala Cala	2690.193	-3.993	337.684	60.187	2.507	27.697
CITY GATE Cala Cala	2716.924	-3.993	337.572	60.175	2.507	27.701
CITY GATE Cala Cala	2742.527	-3.993	337.464	60.163	2.508	27.705
CITY GATE Cala Cala	2745.026	-3.993	337.453	60.162	2.508	27.706
CITY GATE Cala Cala	2764.290	-3.993	337.372	60.154	2.509	27.709
CITY GATE Cala Cala	2784.052	0.000	337.179	60.107	2.510	27.715
CITY GATE Cala Cala	2806.028	0.000	337.086	60.098	2.511	27.719
CITY GATE Cala Cala	2830.290	0.000	336.984	60.089	2.511	27.723
EDR Cala Cala	2830.290	0.000	336.984	60.089		

Fuente: Elaborado en a base de datos y cálculos propios.

ALTERNATIVA 2

Rama	Equipo	Distancia (m)	Elevación (m)	Presión (Psig)	Temp. (°F)	V (m/s)	Ve (m/s)
EDR Cala Cala		3508.278	0.000	333.763	59.759		
CITY GATE Konani	RED PRIMARIA	0.000	-57.973	350.004	68.000	2.462	27.451
CITY GATE Konani		91.446	-58.979	349.654	67.346	2.461	27.443
CITY GATE Konani		178.307	-59.985	349.324	66.774	2.460	27.438
CITY GATE Konani		182.891	-59.985	349.305	66.744	2.460	27.438
CITY GATE Konani		274.331	-59.985	348.927	66.181	2.459	27.434
CITY GATE Konani		365.794	-57.973	348.493	65.643	2.459	27.434
CITY GATE Konani		457.239	-56.998	348.088	65.158	2.459	27.434
CITY GATE Konani		488.542	-56.998	347.959	65.005	2.459	27.435
CITY GATE Konani		548.687	-57.973	347.738	64.732	2.459	27.434
CITY GATE Konani		640.132	-58.979	347.388	64.338	2.460	27.436
CITY GATE Konani		731.621	-55.992	346.926	63.938	2.461	27.441
CITY GATE Konani		823.061	-55.992	346.548	63.599	2.461	27.446
CITY GATE Konani		827.023	-55.992	346.532	63.585	2.461	27.446
CITY GATE Konani		914.523	-57.973	346.226	63.305	2.462	27.449
CITY GATE Konani		1006.012	-54.986	345.764	62.987	2.464	27.457
CITY GATE Konani		1097.452	-54.986	345.385	62.723	2.465	27.464
CITY GATE Konani		1188.898	-55.992	345.035	62.490	2.466	27.470
CITY GATE Konani		1219.378	-55.992	344.909	62.414	2.466	27.473
CITY GATE Konani		1280.412	-52.974	344.571	62.238	2.468	27.481

CITY GATE Konani	1371.857	-51.999	344.165	62.024	2.469	27.490
CITY GATE Konani	1463.297	-51.999	343.786	61.837	2.471	27.500
CITY GATE Konani	1554.743	-50.993	343.378	61.655	2.473	27.510
CITY GATE Konani	1615.132	-49.987	343.099	61.541	2.474	27.518
CITY GATE Konani	1646.208	-48.981	342.942	61.479	2.475	27.522
CITY GATE Konani	1737.669	-47.000	342.506	61.317	2.477	27.535
CITY GATE Konani	1829.115	-45.994	342.097	61.177	2.480	27.547
CITY GATE Konani	1920.604	-42.977	341.632	61.029	2.482	27.561
CITY GATE Konani	1976.352	-42.977	341.400	60.962	2.484	27.568
CITY GATE Konani	2012.058	-42.001	341.223	60.912	2.485	27.574
CITY GATE Konani	2103.498	-42.001	340.842	60.813	2.487	27.586
CITY GATE Konani	2195.074	-37.003	340.320	60.675	2.490	27.603
CITY GATE Konani	2278.705	-34.991	339.914	60.583	2.492	27.617
CITY GATE Konani	2286.538	-34.991	339.882	60.577	2.493	27.618
CITY GATE Konani	2378.115	-29.992	339.359	60.458	2.496	27.636
CITY GATE Konani	2469.561	-28.986	338.948	60.386	2.498	27.651
CITY GATE Konani	2523.083	-28.986	338.723	60.353	2.500	27.659
CITY GATE Konani	2561.014	-27.981	338.536	60.320	2.501	27.666
CITY GATE Konani	2652.503	-24.994	338.069	60.241	2.504	27.682
CITY GATE Konani	2656.130	-24.994	338.054	60.239	2.504	27.683
CITY GATE Konani	2681.855	-24.994	337.946	60.226	2.505	27.687
CITY GATE Konani	2703.130	-24.994	337.856	60.215	2.506	27.691
CITY GATE Konani	2722.180	-24.994	337.776	60.206	2.506	27.694
CITY GATE Konani	2744.151	-21.976	337.600	60.166	2.507	27.700
CITY GATE Konani	2761.220	-21.976	337.528	60.159	2.508	27.702
CITY GATE Konani	2788.743	-21.976	337.412	60.147	2.509	27.707
CITY GATE Konani	2819.162	-21.976	337.284	60.134	2.509	27.712
CITY GATE Konani	2835.591	-21.976	337.215	60.128	2.510	27.714
CITY GATE Konani	2874.008	-21.001	337.026	60.103	2.511	27.722
CITY GATE Konani	2927.043	-21.001	336.802	60.083	2.513	27.730
CITY GATE Konani	2937.772	-21.001	336.757	60.079	2.513	27.732
CITY GATE Konani	2990.102	-16.002	336.399	60.012	2.515	27.745
CITY GATE Konani	3018.723	-16.002	336.278	60.004	2.516	27.750
CITY GATE Konani	3039.297	-16.002	336.191	59.998	2.517	27.753
CITY GATE Konani	3085.922	-11.979	335.883	59.946	2.519	27.764
CITY GATE Konani	3110.336	-11.979	335.780	59.940	2.520	27.769
CITY GATE Konani	3139.963	-11.979	335.654	59.933	2.521	27.774
CITY GATE Konani	3177.787	-7.986	335.385	59.886	2.522	27.783
CITY GATE Konani	3201.988	-7.986	335.282	59.881	2.523	27.788
CITY GATE Konani	3205.889	-7.986	335.266	59.881	2.523	27.788
CITY GATE Konani	3217.746	-7.986	335.215	59.878	2.524	27.790
CITY GATE Konani	3264.441	-7.986	335.017	59.870	2.525	27.798
CITY GATE Konani	3293.428	-7.986	334.894	59.865	2.526	27.803

CITY GATE Konani	3296.415	-7.986	334.882	59.864	2.526	27.804
CITY GATE Konani	3321.347	-7.986	334.776	59.860	2.527	27.808
CITY GATE Konani	3343.049	-7.986	334.684	59.856	2.528	27.812
CITY GATE Konani	3359.478	-7.986	334.614	59.854	2.528	27.815
CITY GATE Konani	3379.390	-3.993	334.420	59.812	2.529	27.822
CITY GATE Konani	3385.272	-3.993	334.395	59.811	2.530	27.823
CITY GATE Konani	3403.195	-3.993	334.319	59.809	2.530	27.826
CITY GATE Konani	3417.246	-3.993	334.259	59.807	2.531	27.828
CITY GATE Konani	3434.315	-3.993	334.187	59.805	2.531	27.831
CITY GATE Konani	3453.121	-3.993	334.107	59.803	2.532	27.835
CITY GATE Konani	3474.019	0.000	333.909	59.762	2.533	27.842
CITY GATE Konani	3477.097	0.000	333.896	59.762	2.533	27.842
CITY GATE Konani	3488.954	0.000	333.845	59.761	2.534	27.844
CITY GATE Konani	3508.278	0.000	333.763	59.759	2.534	27.848

Fuente: Elaborado en a base de datos y cálculos propios.

ANEXO 11 – MEMORIA DE CÁLCULO SIMULADOR CYPECAD (RED SECUNDARIA)

DESCRIPCIÓN DE LA RED DE GAS:

- Título: Diseño de Red Secundaria en la Localidad de Cala Cala
- Dirección: CALA CALA
- Población: 2306
- Fecha: 01 de Enero de 2022

- Presión de servicio efectiva: 4.00 bar
- Densidad relativa del gas: 0.62
- Se usa el Coef. Renouard cuadrático 48.6000

DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales utilizados para esta instalación son:

SDR11 2/4 TUBO HDPE

Descripción	Diámetros mm
DN40	33.3
DN63	52.2
DN90	73.8

LIG SSOL TUBO ACR

Descripción	Diámetros mm
DN80-3"	81.6

El diámetro a utilizar se calculará de forma que la velocidad en la conducción no exceda la velocidad máxima y supere la velocidad mínima establecidas para el cálculo.

FORMULACIÓN

Para la fórmula de Renouard cuadrática (presión de servicio mayor a 0.10 bar):

$$P1^2 - P2^2 = CRc \cdot dr \cdot Le \cdot Q^2 \cdot D^{-4.82}$$

$$v = \frac{365 \cdot Q}{Ps \cdot D^2} \cdot Z$$

Donde:

- P1 y P2 son las presiones absolutas en el origen y extremo en bar.
- CRc es el coeficiente de Renouard cuadrático, igual a 48.60
- dr es la densidad relativa del gas
- Le es la longitud equivalente del tramo en m
- Q es el caudal en Nm³/h

- D es el diámetro interior de la conducción en mm
- v es la velocidad del gas en la conducción en m/s
- Ps es la presión de servicio en bar
- Z es el coeficiente de compresibilidad

RESULTADOS

LISTADO DE NUDOS:

Nudo	Caudal dem. m ³ /h	Presión bar	Caída pres. %	Coment.
EDR	---	4.0000	0.0000	
FA-1	10.00	3.9942	0.1458	
FA-2	10.00	3.9956	0.1102	
NC1	0.58	3.9935	0.1618	
NC2	0.82	3.9935	0.1617	
NC3	0.93	3.9935	0.1623	
NC4	0.47	3.9935	0.1624	
NC5	0.22	3.9935	0.1619	
NC6	0.57	3.9935	0.1614	
NC7	0.56	3.9935	0.1613	
NC8	0.70	3.9936	0.1607	
NC9	0.37	3.9936	0.1608	
NC10	0.34	3.9935	0.1614	
NC11	0.70	3.9925	0.1868	
NC12	0.59	3.9925	0.1870	
NC13	0.65	3.9925	0.1873	
NC14	0.20	3.9925	0.1873	
NC15	0.57	3.9925	0.1870	
NC16	0.95	3.9957	0.1067	
NC17	0.86	3.9958	0.1062	
NC18	0.75	3.9957	0.1065	
NC19	0.16	3.9957	0.1065	
NC20	0.67	3.9957	0.1069	
NC21	1.12	3.9957	0.1063	
NC22	0.98	3.9957	0.1081	
NC23	0.90	3.9957	0.1087	
NC24	0.43	3.9956	0.1088	
NC25	0.60	3.9958	0.1058	
NC26	1.00	3.9956	0.1106	
NC27	0.66	3.9955	0.1117	
NC28	0.64	3.9955	0.1118	
NC29	0.48	3.9955	0.1119	
NC30	0.50	3.9956	0.1106	
NC31	0.94	3.9959	0.1026	
NC32	0.94	3.9958	0.1056	
NC33	0.89	3.9957	0.1063	

Nudo	Caudal dem. m ³ /h	Presión bar	Caída pres. %	Coment.
NC34	0.36	3.9957	0.1063	
NC35	0.53	3.9956	0.1093	
NC36	0.86	3.9956	0.1097	
NC37	0.91	3.9956	0.1106	
NC38	0.84	3.9956	0.1111	
NC39	0.37	3.9956	0.1111	
NC41	0.69	3.9936	0.1591	
NC42	0.73	3.9936	0.1597	
NC43	0.51	3.9936	0.1598	
NC44	0.20	3.9936	0.1598	
NC45	0.27	3.9936	0.1591	
NC46	0.77	3.9943	0.1426	
NC47	0.65	3.9938	0.1560	
NC48	0.61	3.9937	0.1586	
NC49	0.23	3.9937	0.1586	
NC50	0.50	3.9955	0.1119	
NC51	1.49	3.9937	0.1575	
NC52	1.48	3.9929	0.1786	
NC53	1.41	3.9925	0.1866	
NC54	0.85	3.9925	0.1870	
NC55	0.57	3.9936	0.1606	
NC56	0.86	3.9935	0.1634	
NC57	0.94	3.9935	0.1629	
NC58	0.82	3.9935	0.1618	
NC59	0.46	3.9935	0.1619	
NC60	0.28	3.9935	0.1634	
NC61	0.68	3.9927	0.1817	
NC62	0.68	3.9927	0.1814	
NC63	0.91	3.9927	0.1819	
NC64	0.59	3.9927	0.1821	
NC65	0.31	3.9927	0.1817	
NC66	1.66	3.9942	0.1449	
NC67	1.17	3.9940	0.1489	
NC68	0.92	3.9940	0.1494	
NC69	0.61	3.9940	0.1496	
NC71	0.58	3.9929	0.1765	
NC72	0.61	3.9927	0.1813	
NC73	0.51	3.9927	0.1814	
NC74	0.28	3.9927	0.1814	
NC75	0.20	3.9929	0.1765	
NC76	0.74	3.9936	0.1590	
NC77	0.75	3.9934	0.1644	
NC78	0.68	3.9930	0.1759	
NC79	0.13	3.9930	0.1759	
NC80	0.54	3.9936	0.1592	

Nudo	Caudal dem. m ³ /h	Presión bar	Caída pres. %	Coment.
NC81	1.00	3.9946	0.1362	
NC82	0.71	3.9946	0.1354	
NC83	0.55	3.9946	0.1356	
NC84	0.27	3.9946	0.1356	
NC85	0.56	3.9945	0.1364	
NC86	0.76	3.9946	0.1359	
NC87	0.75	3.9946	0.1357	
NC88	0.86	3.9945	0.1363	
NC89	0.29	3.9945	0.1363	
NC90	0.59	3.9946	0.1361	
NC91	1.23	3.9923	0.1918	
NC92	0.96	3.9923	0.1928	
NC93	0.72	3.9923	0.1932	
NC94	0.18	3.9923	0.1932	
NC95	0.81	3.9923	0.1922	
NC96	1.09	3.9938	0.1547	
NC97	1.34	3.9931	0.1735	
NC98	1.21	3.9923	0.1915	
NC99	1.44	3.9923	0.1922	
NC100	0.52	3.9938	0.1551	
NC101	0.53	3.9938	0.1553	
NC102	0.57	3.9938	0.1553	
NC103	0.88	3.9938	0.1559	
NC104	0.34	3.9938	0.1559	
NC105	0.49	3.9938	0.1554	
NC106	1.23	3.9941	0.1483	
NC107	1.17	3.9940	0.1511	
NC108	1.10	3.9939	0.1522	
NC109	0.49	3.9939	0.1523	
NC110	0.66	3.9938	0.1545	
NC111	1.24	3.9947	0.1334	
NC112	1.21	3.9942	0.1456	
NC113	1.11	3.9941	0.1467	
NC114	0.54	3.9941	0.1468	
NC115	0.59	3.9949	0.1275	
NC116	1.17	3.9949	0.1271	
NC117	1.27	3.9953	0.1182	
NC118	0.94	3.9952	0.1189	
NC119	0.34	3.9952	0.1189	
NC120	0.50	3.9949	0.1272	
NC121	1.22	3.9941	0.1478	
NC122	1.20	3.9951	0.1236	
NC123	1.14	3.9950	0.1247	
NC124	0.60	3.9950	0.1249	
NC125	0.56	3.9941	0.1480	

Nudo	Caudal dem. m ³ /h	Presión bar	Caída pres. %	Coment.
NC126	0.61	3.9941	0.1477	
NC127	0.37	3.9941	0.1480	
NC128	0.86	3.9941	0.1484	
NC129	0.61	3.9941	0.1486	
NC130	0.49	3.9942	0.1457	
NC131	2.30	3.9906	0.2347	
NC132	1.55	3.9903	0.2431	
NC133	2.34	3.9899	0.2514	
NC134	1.32	3.9899	0.2531	Pres. min.
NC135	1.76	3.9909	0.2286	
NC136	0.41	3.9909	0.2284	
NC137	0.31	3.9909	0.2273	
NC138	0.47	3.9909	0.2284	
NC139	3.53	3.9908	0.2311	
NC140	0.22	3.9909	0.2284	
NC141	1.22	3.9936	0.1608	
NC142	0.94	3.9936	0.1594	
NC143	0.93	3.9936	0.1600	
NC144	0.55	3.9936	0.1601	
NC145	0.65	3.9936	0.1610	
NC146	0.82	3.9956	0.1108	
NC147	0.93	3.9953	0.1177	
NC148	0.77	3.9953	0.1181	
NC149	0.17	3.9953	0.1181	
NC150	0.49	3.9956	0.1109	
NC151	0.86	3.9951	0.1220	
NC152	0.86	3.9951	0.1236	
NC153	0.78	3.9950	0.1240	
NC154	0.45	3.9950	0.1241	
NC155	0.33	3.9958	0.1048	
NC156	1.35	3.9940	0.1509	
NC157	1.31	3.9940	0.1490	
NC158	0.91	3.9936	0.1589	
NC159	0.34	3.9936	0.1589	
NC160	0.60	3.9940	0.1511	
NC161	1.13	3.9912	0.2192	
NC162	0.72	3.9909	0.2269	
NC163	0.87	3.9909	0.2272	
NC164	0.69	3.9909	0.2275	
NC165	0.60	3.9912	0.2194	
NC166	1.50	3.9915	0.2125	
NC167	1.42	3.9916	0.2098	
NC168	1.30	3.9912	0.2211	
NC169	0.81	3.9911	0.2215	
NC170	0.58	3.9915	0.2127	

Nudo	Caudal dem. m ³ /h	Presión bar	Caída pres. %	Coment.
NC171	0.84	3.9941	0.1465	
NC172	0.68	3.9939	0.1530	
NC173	0.97	3.9912	0.2188	
NC174	0.59	3.9912	0.2190	
NC175	0.54	3.9941	0.1467	
NC176	0.81	3.9910	0.2238	
NC177	0.79	3.9917	0.2073	
NC178	0.77	3.9937	0.1577	
NC179	0.46	3.9937	0.1578	
NC180	0.33	3.9910	0.2239	
NC181	0.54	3.9910	0.2244	
NC182	0.60	3.9910	0.2249	
NC183	0.50	3.9910	0.2250	
NC184	0.24	3.9910	0.2250	
NC185	0.21	3.9909	0.2275	
NC186	1.13	3.9909	0.2279	
NC187	1.39	3.9907	0.2336	
NC188	1.27	3.9906	0.2351	
NC189	0.69	3.9906	0.2353	
NC190	0.32	3.9909	0.2279	
NC191	1.10	3.9911	0.2228	
NC192	1.09	3.9911	0.2217	
NC193	1.06	3.9911	0.2226	
NC194	0.62	3.9911	0.2228	
NC195	0.46	3.9911	0.2229	
NC196	0.60	3.9958	0.1057	
NC197	0.54	3.9958	0.1059	
NC198	0.26	3.9958	0.1059	
NC199	0.32	3.9958	0.1058	
NC200	0.71	3.9937	0.1564	
NC201	0.71	3.9937	0.1581	
NC202	0.19	3.9937	0.1581	
NC203	0.18	3.9937	0.1564	
NC204	0.52	3.9937	0.1582	
NC205	0.50	3.9937	0.1583	
NC206	0.16	3.9937	0.1583	
NC207	0.18	3.9937	0.1582	
NC208	0.37	3.9942	0.1441	
NC209	0.84	3.9943	0.1427	
NC210	0.56	3.9942	0.1447	
NC211	0.57	3.9966	0.0857	
NC212	0.46	3.9984	0.0410	
NC213	0.32	3.9996	0.0103	Pres. máx.
NC214	0.35	3.9960	0.1008	
NC215	0.08	3.9957	0.1077	

LISTADO DE TRAMOS:

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m ³ /h	Velocidad m/s	Péridid. bar/100m	Coment.
EDR	NC213	15.00	DN80-3"	177.87	1.95	0.0027	
FA-1	NC66	150.47	DN90	-10.00	-0.13	0.0000	
FA-2	NC36	79.16	DN90	-10.00	-0.13	0.0000	
NC1	NC2	68.09	DN40	-0.80	-0.05	0.0000	
NC1	NC5	40.75	DN40	0.22	0.01	0.0000	
NC2	NC3	85.35	DN40	1.41	0.09	0.0000	
NC2	NC8	7.49	DN40	-6.40	-0.42	0.0005	
NC2	NC58	3.74	DN40	3.36	0.22	0.0002	
NC3	NC4	88.13	DN40	0.47	0.03	0.0000	
NC6	NC7	41.59	DN40	-0.91	-0.06	0.0000	
NC6	NC10	63.73	DN40	0.34	0.02	0.0000	
NC7	NC8	62.50	DN40	-1.47	-0.10	0.0000	
NC8	NC9	68.25	DN63	0.37	0.01	0.0000	
NC8	NC55	6.42	DN63	-8.93	-0.24	0.0001	
NC11	NC12	24.96	DN40	1.43	0.09	0.0000	
NC11	NC15	106.29	DN40	0.57	0.04	0.0000	
NC11	NC53	9.80	DN40	-2.71	-0.18	0.0001	
NC12	NC13	84.36	DN40	0.85	0.06	0.0000	
NC13	NC14	36.66	DN40	0.20	0.01	0.0000	
NC16	NC17	51.59	DN40	-1.62	-0.11	0.0000	
NC16	NC20	125.17	DN40	0.67	0.04	0.0000	
NC17	NC18	109.26	DN40	0.91	0.06	0.0000	
NC17	NC25	10.04	DN40	-3.40	-0.22	0.0002	
NC18	NC19	30.28	DN40	0.16	0.01	0.0000	
NC21	NC22	96.30	DN40	2.31	0.15	0.0001	
NC21	NC25	112.06	DN63	-3.43	-0.09	0.0000	
NC22	NC23	86.78	DN40	1.33	0.09	0.0000	
NC23	NC24	80.61	DN40	0.43	0.03	0.0000	
NC25	NC32	7.36	DN63	-7.43	-0.20	0.0001	
NC26	NC27	93.15	DN40	1.78	0.12	0.0000	
NC26	NC30	93.73	DN63	0.50	0.01	0.0000	
NC26	NC37	4.60	DN63	-3.29	-0.09	0.0000	
NC27	NC28	29.00	DN40	1.12	0.07	0.0000	
NC28	NC29	89.95	DN40	0.48	0.03	0.0000	
NC31	NC32	76.20	DN63	11.34	0.30	0.0002	
NC31	NC35	98.78	DN90	38.18	0.51	0.0003	
NC31	NC155	7.63	DN63	33.76	0.90	0.0011	
NC31	NC214	6.29	DN90	-84.22	-1.13	0.0011	
NC32	NC33	98.36	DN40	1.25	0.08	0.0000	
NC32	NC196	7.58	DN40	1.72	0.11	0.0000	
NC33	NC34	67.38	DN40	0.36	0.02	0.0000	
NC35	NC36	6.15	DN90	37.65	0.50	0.0003	
NC36	NC37	81.74	DN63	5.40	0.14	0.0000	

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m ³ /h	Velocidad m/s	Péridid. bar/100m	Coment.
NC36	NC146	8.95	DN63	21.38	0.57	0.0005	
NC37	NC38	87.40	DN40	1.20	0.08	0.0000	
NC38	NC39	68.17	DN40	0.37	0.02	0.0000	
NC41	NC42	77.33	DN40	1.44	0.09	0.0000	
NC41	NC45	50.46	DN40	0.27	0.02	0.0000	
NC41	NC48	24.98	DN40	-2.40	-0.16	0.0001	
NC42	NC43	59.06	DN40	0.71	0.05	0.0000	
NC43	NC44	36.52	DN40	0.20	0.01	0.0000	
NC46	NC47	49.64	DN63	32.66	0.87	0.0011	
NC46	NC50	92.80	DN90	-91.37	-1.22	0.0013	
NC46	NC171	9.22	DN63	41.82	1.12	0.0017	
NC46	NC209	9.64	DN90	16.13	0.22	0.0001	
NC47	NC48	71.42	DN40	3.24	0.21	0.0001	
NC47	NC51	8.67	DN63	25.62	0.69	0.0007	
NC47	NC200	9.73	DN40	3.14	0.21	0.0001	
NC48	NC49	42.72	DN40	0.23	0.02	0.0000	
NC50	NC215	12.45	DN90	-91.87	-1.23	0.0013	
NC51	NC52	170.83	DN40	6.45	0.42	0.0005	
NC51	NC55	106.37	DN63	9.50	0.25	0.0001	
NC51	NC76	7.81	DN40	8.18	0.54	0.0008	
NC52	NC53	104.16	DN40	4.97	0.33	0.0003	
NC53	NC54	158.03	DN40	0.85	0.06	0.0000	
NC56	NC57	107.17	DN40	-1.14	-0.07	0.0000	
NC56	NC60	52.12	DN40	0.28	0.02	0.0000	
NC57	NC58	68.03	DN40	-2.08	-0.14	0.0001	
NC58	NC59	85.51	DN40	0.46	0.03	0.0000	
NC61	NC62	67.30	DN40	-0.99	-0.06	0.0000	
NC61	NC65	58.40	DN40	0.31	0.02	0.0000	
NC62	NC63	59.03	DN40	1.51	0.10	0.0000	
NC62	NC72	4.22	DN40	-3.17	-0.21	0.0001	
NC63	NC64	110.51	DN40	0.59	0.04	0.0000	
NC66	NC67	158.89	DN40	2.70	0.18	0.0001	
NC66	NC210	16.30	DN90	-14.36	-0.19	0.0000	
NC67	NC68	58.33	DN40	1.53	0.10	0.0000	
NC68	NC69	113.26	DN40	0.61	0.04	0.0000	
NC71	NC72	71.56	DN40	4.57	0.30	0.0003	
NC71	NC75	36.26	DN40	0.20	0.01	0.0000	
NC71	NC78	7.29	DN40	-5.35	-0.35	0.0004	
NC72	NC73	42.26	DN40	0.79	0.05	0.0000	
NC73	NC74	52.05	DN40	0.28	0.02	0.0000	
NC76	NC77	38.55	DN40	6.90	0.45	0.0006	
NC76	NC80	99.80	DN40	0.54	0.04	0.0000	
NC77	NC78	101.80	DN40	6.15	0.40	0.0005	
NC78	NC79	23.90	DN40	0.13	0.01	0.0000	Vel.mín.
NC81	NC82	81.32	DN40	-1.57	-0.10	0.0000	

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m ³ /h	Velocidad m/s	Péridid. bar/100m	Coment.
NC81	NC85	105.19	DN40	0.57	0.04	0.0000	
NC82	NC83	51.36	DN40	0.82	0.05	0.0000	
NC82	NC87	7.75	DN40	3.24	0.21	0.0001	
NC82	NC111	150.64	DN63	-6.34	-0.17	0.0001	
NC83	NC84	50.68	DN40	0.27	0.02	0.0000	
NC86	NC87	31.93	DN40	-1.35	-0.09	0.0000	
NC86	NC90	109.38	DN40	0.59	0.04	0.0000	
NC87	NC88	106.67	DN40	1.15	0.08	0.0000	
NC88	NC89	53.52	DN40	0.29	0.02	0.0000	
NC91	NC92	78.41	DN40	1.86	0.12	0.0001	
NC91	NC95	150.04	DN40	0.81	0.05	0.0000	
NC91	NC98	5.88	DN40	-3.90	-0.26	0.0002	
NC92	NC93	100.84	DN40	0.90	0.06	0.0000	
NC93	NC94	33.18	DN40	0.18	0.01	0.0000	
NC96	NC97	105.89	DN40	7.88	0.52	0.0007	
NC96	NC100	97.37	DN63	3.34	0.09	0.0000	
NC96	NC110	4.64	DN63	-12.30	-0.33	0.0002	
NC97	NC98	143.05	DN40	6.54	0.43	0.0005	
NC98	NC99	81.26	DN40	1.44	0.09	0.0000	
NC100	NC102	5.89	DN40	2.81	0.18	0.0001	
NC101	NC102	6.97	DN40	-1.03	-0.07	0.0000	
NC101	NC105	91.92	DN40	0.49	0.03	0.0000	
NC102	NC103	99.94	DN40	1.22	0.08	0.0000	
NC103	NC104	63.01	DN40	0.34	0.02	0.0000	
NC106	NC107	105.59	DN40	2.76	0.18	0.0001	
NC106	NC110	122.90	DN63	12.96	0.35	0.0002	
NC106	NC121	5.88	DN63	-16.95	-0.45	0.0003	
NC107	NC108	112.58	DN40	1.59	0.10	0.0000	
NC108	NC109	91.41	DN40	0.49	0.03	0.0000	
NC111	NC112	120.47	DN40	5.81	0.38	0.0004	
NC111	NC115	109.72	DN63	-13.38	-0.36	0.0002	
NC112	NC113	105.29	DN40	1.64	0.11	0.0000	
NC112	NC130	3.94	DN40	2.95	0.19	0.0001	
NC113	NC114	100.37	DN40	0.54	0.04	0.0000	
NC115	NC116	7.68	DN63	-13.97	-0.37	0.0002	
NC116	NC117	125.51	DN63	-15.65	-0.42	0.0003	
NC116	NC120	93.04	DN40	0.50	0.03	0.0000	
NC117	NC118	111.12	DN40	1.27	0.08	0.0000	
NC117	NC147	5.58	DN63	-18.19	-0.49	0.0004	
NC118	NC119	62.99	DN40	0.34	0.02	0.0000	
NC121	NC122	122.23	DN63	-27.54	-0.74	0.0008	
NC121	NC125	104.35	DN40	0.56	0.04	0.0000	
NC121	NC157	5.32	DN40	8.81	0.58	0.0009	
NC122	NC123	100.24	DN40	1.74	0.11	0.0000	
NC122	NC151	6.68	DN63	-30.47	-0.81	0.0010	

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m ³ /h	Velocidad m/s	Péridid. bar/100m	Coment.
NC123	NC124	111.75	DN40	0.60	0.04	0.0000	
NC126	NC127	21.64	DN40	1.84	0.12	0.0001	
NC126	NC130	91.87	DN40	-2.45	-0.16	0.0001	
NC127	NC128	47.70	DN40	1.47	0.10	0.0000	
NC128	NC129	113.05	DN40	0.61	0.04	0.0000	
NC131	NC132	100.24	DN40	5.22	0.34	0.0003	
NC131	NC135	327.06	DN63	-7.51	-0.20	0.0001	
NC132	NC133	189.09	DN40	3.66	0.24	0.0002	
NC133	NC134	245.95	DN40	1.32	0.09	0.0000	
NC135	NC136	7.93	DN63	-9.27	-0.25	0.0001	
NC136	NC137	35.79	DN63	-9.89	-0.26	0.0001	
NC136	NC140	39.97	DN40	0.22	0.01	0.0000	
NC137	NC138	21.97	DN40	4.00	0.26	0.0002	
NC137	NC162	5.62	DN63	-14.20	-0.38	0.0002	
NC138	NC139	65.69	DN40	3.53	0.23	0.0002	
NC141	NC142	105.68	DN40	-1.87	-0.12	0.0001	
NC141	NC145	121.56	DN40	0.65	0.04	0.0000	
NC142	NC143	70.14	DN40	1.47	0.10	0.0000	
NC142	NC158	9.11	DN40	-4.29	-0.28	0.0002	
NC143	NC144	101.98	DN40	0.55	0.04	0.0000	
NC146	NC147	61.39	DN63	20.07	0.54	0.0004	
NC146	NC150	91.88	DN40	0.49	0.03	0.0000	
NC147	NC148	111.66	DN40	0.94	0.06	0.0000	
NC148	NC149	31.83	DN40	0.17	0.01	0.0000	
NC151	NC152	99.84	DN40	2.10	0.14	0.0001	
NC151	NC155	60.94	DN63	-33.44	-0.89	0.0011	
NC152	NC153	61.22	DN40	1.24	0.08	0.0000	
NC153	NC154	84.25	DN40	0.45	0.03	0.0000	
NC156	NC157	138.61	DN40	-1.95	-0.13	0.0001	
NC156	NC160	112.05	DN40	0.60	0.04	0.0000	
NC157	NC158	105.41	DN40	5.55	0.36	0.0004	
NC158	NC159	64.07	DN40	0.34	0.02	0.0000	
NC161	NC162	98.94	DN63	16.48	0.44	0.0003	
NC161	NC165	112.16	DN40	0.60	0.04	0.0000	
NC161	NC173	4.05	DN63	-18.21	-0.49	0.0004	
NC162	NC163	34.22	DN40	1.56	0.10	0.0000	
NC163	NC164	128.06	DN40	0.69	0.05	0.0000	
NC166	NC167	172.14	DN40	-2.08	-0.14	0.0001	
NC166	NC170	107.53	DN40	0.58	0.04	0.0000	
NC167	NC168	91.70	DN40	6.44	0.42	0.0005	
NC167	NC177	9.11	DN40	-9.93	-0.65	0.0011	
NC168	NC169	150.66	DN40	0.81	0.05	0.0000	
NC168	NC192	11.20	DN40	4.32	0.28	0.0002	
NC171	NC172	56.06	DN63	20.45	0.55	0.0005	
NC171	NC175	101.16	DN40	0.54	0.04	0.0000	

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Velocidad m/s	Péridid. bar/100m	Coment.
NC171	NC178	11.58	DN40	19.98	1.31	0.0039	
NC172	NC173	69.54	DN40	19.77	1.30	0.0038	
NC173	NC174	110.30	DN40	0.59	0.04	0.0000	
NC176	NC177	89.74	DN40	-8.03	-0.53	0.0007	
NC176	NC180	61.31	DN40	0.33	0.02	0.0000	
NC176	NC181	4.40	DN40	6.89	0.45	0.0006	
NC177	NC178	57.70	DN40	-18.76	-1.23	0.0034	
NC178	NC179	84.74	DN40	0.46	0.03	0.0000	
NC181	NC182	61.58	DN40	1.33	0.09	0.0000	
NC181	NC185	39.05	DN40	5.02	0.33	0.0003	
NC182	NC183	49.45	DN40	0.74	0.05	0.0000	
NC183	NC184	43.86	DN40	0.24	0.02	0.0000	
NC185	NC186	5.56	DN40	4.81	0.32	0.0003	
NC186	NC187	151.03	DN40	3.35	0.22	0.0002	
NC186	NC190	59.59	DN40	0.32	0.02	0.0000	
NC187	NC188	107.28	DN40	1.97	0.13	0.0001	
NC188	NC189	129.31	DN40	0.70	0.05	0.0000	
NC191	NC192	120.02	DN40	-1.55	-0.10	0.0000	
NC191	NC195	84.59	DN40	0.46	0.03	0.0000	
NC192	NC193	82.03	DN40	1.68	0.11	0.0000	
NC193	NC194	115.60	DN40	0.62	0.04	0.0000	
NC196	NC197	52.20	DN40	0.80	0.05	0.0000	
NC196	NC199	59.17	DN40	0.32	0.02	0.0000	
NC197	NC198	48.39	DN40	0.26	0.02	0.0000	
NC200	NC201	98.01	DN40	2.26	0.15	0.0001	
NC200	NC203	33.75	DN40	0.18	0.01	0.0000	
NC201	NC202	34.58	DN40	0.19	0.01	0.0000	
NC201	NC204	8.22	DN40	1.36	0.09	0.0000	
NC204	NC205	63.37	DN40	0.66	0.04	0.0000	
NC204	NC207	33.13	DN40	0.18	0.01	0.0000	
NC205	NC206	29.77	DN40	0.16	0.01	0.0000	
NC208	NC209	103.67	DN90	-15.29	-0.20	0.0001	
NC208	NC210	52.50	DN90	14.92	0.20	0.0000	
NC211	NC212	40.51	DN90	-177.09	-2.37	0.0044	Vel.máx.
NC211	NC214	52.49	DN90	84.57	1.13	0.0012	
NC211	NC215	65.60	DN90	91.95	1.23	0.0013	
NC212	NC213	45.00	DN80-3"	-177.55	-1.94	0.0027	

ENVOLVENTE:

Se indican los máximos de los valores absolutos.

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Péridid. bar/100m	Velocidad m/s
EDR	NC213	15.00	DN80-3"	177.87	0.00	1.95
FA-1	NC66	150.47	DN90	10.00	0.00	0.13

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m ³ /h	Pérdid. bar/100m	Velocidad m/s
FA-2	NC36	79.16	DN90	10.00	0.00	0.13
NC1	NC2	68.09	DN40	0.80	0.00	0.05
NC1	NC5	40.75	DN40	0.22	0.00	0.01
NC2	NC3	85.35	DN40	1.41	0.00	0.09
NC2	NC8	7.49	DN40	6.40	0.00	0.42
NC2	NC58	3.74	DN40	3.36	0.00	0.22
NC3	NC4	88.13	DN40	0.47	0.00	0.03
NC6	NC7	41.59	DN40	0.91	0.00	0.06
NC6	NC10	63.73	DN40	0.34	0.00	0.02
NC7	NC8	62.50	DN40	1.47	0.00	0.10
NC8	NC9	68.25	DN63	0.37	0.00	0.01
NC8	NC55	6.42	DN63	8.93	0.00	0.24
NC11	NC12	24.96	DN40	1.43	0.00	0.09
NC11	NC15	106.29	DN40	0.57	0.00	0.04
NC11	NC53	9.80	DN40	2.71	0.00	0.18
NC12	NC13	84.36	DN40	0.85	0.00	0.06
NC13	NC14	36.66	DN40	0.20	0.00	0.01
NC16	NC17	51.59	DN40	1.62	0.00	0.11
NC16	NC20	125.17	DN40	0.67	0.00	0.04
NC17	NC18	109.26	DN40	0.91	0.00	0.06
NC17	NC25	10.04	DN40	3.40	0.00	0.22
NC18	NC19	30.28	DN40	0.16	0.00	0.01
NC21	NC22	96.30	DN40	2.31	0.00	0.15
NC21	NC25	112.06	DN63	3.43	0.00	0.09
NC22	NC23	86.78	DN40	1.33	0.00	0.09
NC23	NC24	80.61	DN40	0.43	0.00	0.03
NC25	NC32	7.36	DN63	7.43	0.00	0.20
NC26	NC27	93.15	DN40	1.78	0.00	0.12
NC26	NC30	93.73	DN63	0.50	0.00	0.01
NC26	NC37	4.60	DN63	3.29	0.00	0.09
NC27	NC28	29.00	DN40	1.12	0.00	0.07
NC28	NC29	89.95	DN40	0.48	0.00	0.03
NC31	NC32	76.20	DN63	11.34	0.00	0.30
NC31	NC35	98.78	DN90	38.18	0.00	0.51
NC31	NC155	7.63	DN63	33.76	0.00	0.90
NC31	NC214	6.29	DN90	84.22	0.00	1.13
NC32	NC33	98.36	DN40	1.25	0.00	0.08
NC32	NC196	7.58	DN40	1.72	0.00	0.11
NC33	NC34	67.38	DN40	0.36	0.00	0.02
NC35	NC36	6.15	DN90	37.65	0.00	0.50
NC36	NC37	81.74	DN63	5.40	0.00	0.14
NC36	NC146	8.95	DN63	21.38	0.00	0.57
NC37	NC38	87.40	DN40	1.20	0.00	0.08
NC38	NC39	68.17	DN40	0.37	0.00	0.02
NC41	NC42	77.33	DN40	1.44	0.00	0.09

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m ³ /h	Péridid. bar/100m	Velocidad m/s
NC41	NC45	50.46	DN40	0.27	0.00	0.02
NC41	NC48	24.98	DN40	2.40	0.00	0.16
NC42	NC43	59.06	DN40	0.71	0.00	0.05
NC43	NC44	36.52	DN40	0.20	0.00	0.01
NC46	NC47	49.64	DN63	32.66	0.00	0.87
NC46	NC50	92.80	DN90	91.37	0.00	1.22
NC46	NC171	9.22	DN63	41.82	0.00	1.12
NC46	NC209	9.64	DN90	16.13	0.00	0.22
NC47	NC48	71.42	DN40	3.24	0.00	0.21
NC47	NC51	8.67	DN63	25.62	0.00	0.69
NC47	NC200	9.73	DN40	3.14	0.00	0.21
NC48	NC49	42.72	DN40	0.23	0.00	0.02
NC50	NC215	12.45	DN90	91.87	0.00	1.23
NC51	NC52	170.83	DN40	6.45	0.00	0.42
NC51	NC55	106.37	DN63	9.50	0.00	0.25
NC51	NC76	7.81	DN40	8.18	0.00	0.54
NC52	NC53	104.16	DN40	4.97	0.00	0.33
NC53	NC54	158.03	DN40	0.85	0.00	0.06
NC56	NC57	107.17	DN40	1.14	0.00	0.07
NC56	NC60	52.12	DN40	0.28	0.00	0.02
NC57	NC58	68.03	DN40	2.08	0.00	0.14
NC58	NC59	85.51	DN40	0.46	0.00	0.03
NC61	NC62	67.30	DN40	0.99	0.00	0.06
NC61	NC65	58.40	DN40	0.31	0.00	0.02
NC62	NC63	59.03	DN40	1.51	0.00	0.10
NC62	NC72	4.22	DN40	3.17	0.00	0.21
NC63	NC64	110.51	DN40	0.59	0.00	0.04
NC66	NC67	158.89	DN40	2.70	0.00	0.18
NC66	NC210	16.30	DN90	14.36	0.00	0.19
NC67	NC68	58.33	DN40	1.53	0.00	0.10
NC68	NC69	113.26	DN40	0.61	0.00	0.04
NC71	NC72	71.56	DN40	4.57	0.00	0.30
NC71	NC75	36.26	DN40	0.20	0.00	0.01
NC71	NC78	7.29	DN40	5.35	0.00	0.35
NC72	NC73	42.26	DN40	0.79	0.00	0.05
NC73	NC74	52.05	DN40	0.28	0.00	0.02
NC76	NC77	38.55	DN40	6.90	0.00	0.45
NC76	NC80	99.80	DN40	0.54	0.00	0.04
NC77	NC78	101.80	DN40	6.15	0.00	0.40
NC78	NC79	23.90	DN40	0.13	0.00	0.01
NC81	NC82	81.32	DN40	1.57	0.00	0.10
NC81	NC85	105.19	DN40	0.57	0.00	0.04
NC82	NC83	51.36	DN40	0.82	0.00	0.05
NC82	NC87	7.75	DN40	3.24	0.00	0.21
NC82	NC111	150.64	DN63	6.34	0.00	0.17

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Péridid. bar/100m	Velocidad m/s
NC83	NC84	50.68	DN40	0.27	0.00	0.02
NC86	NC87	31.93	DN40	1.35	0.00	0.09
NC86	NC90	109.38	DN40	0.59	0.00	0.04
NC87	NC88	106.67	DN40	1.15	0.00	0.08
NC88	NC89	53.52	DN40	0.29	0.00	0.02
NC91	NC92	78.41	DN40	1.86	0.00	0.12
NC91	NC95	150.04	DN40	0.81	0.00	0.05
NC91	NC98	5.88	DN40	3.90	0.00	0.26
NC92	NC93	100.84	DN40	0.90	0.00	0.06
NC93	NC94	33.18	DN40	0.18	0.00	0.01
NC96	NC97	105.89	DN40	7.88	0.00	0.52
NC96	NC100	97.37	DN63	3.34	0.00	0.09
NC96	NC110	4.64	DN63	12.30	0.00	0.33
NC97	NC98	143.05	DN40	6.54	0.00	0.43
NC98	NC99	81.26	DN40	1.44	0.00	0.09
NC100	NC102	5.89	DN40	2.81	0.00	0.18
NC101	NC102	6.97	DN40	1.03	0.00	0.07
NC101	NC105	91.92	DN40	0.49	0.00	0.03
NC102	NC103	99.94	DN40	1.22	0.00	0.08
NC103	NC104	63.01	DN40	0.34	0.00	0.02
NC106	NC107	105.59	DN40	2.76	0.00	0.18
NC106	NC110	122.90	DN63	12.96	0.00	0.35
NC106	NC121	5.88	DN63	16.95	0.00	0.45
NC107	NC108	112.58	DN40	1.59	0.00	0.10
NC108	NC109	91.41	DN40	0.49	0.00	0.03
NC111	NC112	120.47	DN40	5.81	0.00	0.38
NC111	NC115	109.72	DN63	13.38	0.00	0.36
NC112	NC113	105.29	DN40	1.64	0.00	0.11
NC112	NC130	3.94	DN40	2.95	0.00	0.19
NC113	NC114	100.37	DN40	0.54	0.00	0.04
NC115	NC116	7.68	DN63	13.97	0.00	0.37
NC116	NC117	125.51	DN63	15.65	0.00	0.42
NC116	NC120	93.04	DN40	0.50	0.00	0.03
NC117	NC118	111.12	DN40	1.27	0.00	0.08
NC117	NC147	5.58	DN63	18.19	0.00	0.49
NC118	NC119	62.99	DN40	0.34	0.00	0.02
NC121	NC122	122.23	DN63	27.54	0.00	0.74
NC121	NC125	104.35	DN40	0.56	0.00	0.04
NC121	NC157	5.32	DN40	8.81	0.00	0.58
NC122	NC123	100.24	DN40	1.74	0.00	0.11
NC122	NC151	6.68	DN63	30.47	0.00	0.81
NC123	NC124	111.75	DN40	0.60	0.00	0.04
NC126	NC127	21.64	DN40	1.84	0.00	0.12
NC126	NC130	91.87	DN40	2.45	0.00	0.16
NC127	NC128	47.70	DN40	1.47	0.00	0.10

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Péridid. bar/100m	Velocidad m/s
NC128	NC129	113.05	DN40	0.61	0.00	0.04
NC131	NC132	100.24	DN40	5.22	0.00	0.34
NC131	NC135	327.06	DN63	7.51	0.00	0.20
NC132	NC133	189.09	DN40	3.66	0.00	0.24
NC133	NC134	245.95	DN40	1.32	0.00	0.09
NC135	NC136	7.93	DN63	9.27	0.00	0.25
NC136	NC137	35.79	DN63	9.89	0.00	0.26
NC136	NC140	39.97	DN40	0.22	0.00	0.01
NC137	NC138	21.97	DN40	4.00	0.00	0.26
NC137	NC162	5.62	DN63	14.20	0.00	0.38
NC138	NC139	65.69	DN40	3.53	0.00	0.23
NC141	NC142	105.68	DN40	1.87	0.00	0.12
NC141	NC145	121.56	DN40	0.65	0.00	0.04
NC142	NC143	70.14	DN40	1.47	0.00	0.10
NC142	NC158	9.11	DN40	4.29	0.00	0.28
NC143	NC144	101.98	DN40	0.55	0.00	0.04
NC146	NC147	61.39	DN63	20.07	0.00	0.54
NC146	NC150	91.88	DN40	0.49	0.00	0.03
NC147	NC148	111.66	DN40	0.94	0.00	0.06
NC148	NC149	31.83	DN40	0.17	0.00	0.01
NC151	NC152	99.84	DN40	2.10	0.00	0.14
NC151	NC155	60.94	DN63	33.44	0.00	0.89
NC152	NC153	61.22	DN40	1.24	0.00	0.08
NC153	NC154	84.25	DN40	0.45	0.00	0.03
NC156	NC157	138.61	DN40	1.95	0.00	0.13
NC156	NC160	112.05	DN40	0.60	0.00	0.04
NC157	NC158	105.41	DN40	5.55	0.00	0.36
NC158	NC159	64.07	DN40	0.34	0.00	0.02
NC161	NC162	98.94	DN63	16.48	0.00	0.44
NC161	NC165	112.16	DN40	0.60	0.00	0.04
NC161	NC173	4.05	DN63	18.21	0.00	0.49
NC162	NC163	34.22	DN40	1.56	0.00	0.10
NC163	NC164	128.06	DN40	0.69	0.00	0.05
NC166	NC167	172.14	DN40	2.08	0.00	0.14
NC166	NC170	107.53	DN40	0.58	0.00	0.04
NC167	NC168	91.70	DN40	6.44	0.00	0.42
NC167	NC177	9.11	DN40	9.93	0.00	0.65
NC168	NC169	150.66	DN40	0.81	0.00	0.05
NC168	NC192	11.20	DN40	4.32	0.00	0.28
NC171	NC172	56.06	DN63	20.45	0.00	0.55
NC171	NC175	101.16	DN40	0.54	0.00	0.04
NC171	NC178	11.58	DN40	19.98	0.00	1.31
NC172	NC173	69.54	DN40	19.77	0.00	1.30
NC173	NC174	110.30	DN40	0.59	0.00	0.04
NC176	NC177	89.74	DN40	8.03	0.00	0.53

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m ³ /h	Pérdid. bar/100m	Velocidad m/s
NC176	NC180	61.31	DN40	0.33	0.00	0.02
NC176	NC181	4.40	DN40	6.89	0.00	0.45
NC177	NC178	57.70	DN40	18.76	0.00	1.23
NC178	NC179	84.74	DN40	0.46	0.00	0.03
NC181	NC182	61.58	DN40	1.33	0.00	0.09
NC181	NC185	39.05	DN40	5.02	0.00	0.33
NC182	NC183	49.45	DN40	0.74	0.00	0.05
NC183	NC184	43.86	DN40	0.24	0.00	0.02
NC185	NC186	5.56	DN40	4.81	0.00	0.32
NC186	NC187	151.03	DN40	3.35	0.00	0.22
NC186	NC190	59.59	DN40	0.32	0.00	0.02
NC187	NC188	107.28	DN40	1.97	0.00	0.13
NC188	NC189	129.31	DN40	0.70	0.00	0.05
NC191	NC192	120.02	DN40	1.55	0.00	0.10
NC191	NC195	84.59	DN40	0.46	0.00	0.03
NC192	NC193	82.03	DN40	1.68	0.00	0.11
NC193	NC194	115.60	DN40	0.62	0.00	0.04
NC196	NC197	52.20	DN40	0.80	0.00	0.05
NC196	NC199	59.17	DN40	0.32	0.00	0.02
NC197	NC198	48.39	DN40	0.26	0.00	0.02
NC200	NC201	98.01	DN40	2.26	0.00	0.15
NC200	NC203	33.75	DN40	0.18	0.00	0.01
NC201	NC202	34.58	DN40	0.19	0.00	0.01
NC201	NC204	8.22	DN40	1.36	0.00	0.09
NC204	NC205	63.37	DN40	0.66	0.00	0.04
NC204	NC207	33.13	DN40	0.18	0.00	0.01
NC205	NC206	29.77	DN40	0.16	0.00	0.01
NC208	NC209	103.67	DN90	15.29	0.00	0.20
NC208	NC210	52.50	DN90	14.92	0.00	0.20
NC211	NC212	40.51	DN90	177.09	0.00	2.37
NC211	NC214	52.49	DN90	84.57	0.00	1.13
NC211	NC215	65.60	DN90	91.95	0.00	1.23
NC212	NC213	45.00	DN80-3"	177.55	0.00	1.94

Se indican los mínimos de los valores absolutos.

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m ³ /h	Pérdid. bar/100m	Velocidad m/s
EDR	NC213	15.00	DN80-3"	177.87	0.00	1.95
FA-1	NC66	150.47	DN90	10.00	0.00	0.13
FA-2	NC36	79.16	DN90	10.00	0.00	0.13
NC1	NC2	68.09	DN40	0.80	0.00	0.05
NC1	NC5	40.75	DN40	0.22	0.00	0.01
NC2	NC3	85.35	DN40	1.41	0.00	0.09

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Pérdid. bar/100m	Velocidad m/s
NC2	NC8	7.49	DN40	6.40	0.00	0.42
NC2	NC58	3.74	DN40	3.36	0.00	0.22
NC3	NC4	88.13	DN40	0.47	0.00	0.03
NC6	NC7	41.59	DN40	0.91	0.00	0.06
NC6	NC10	63.73	DN40	0.34	0.00	0.02
NC7	NC8	62.50	DN40	1.47	0.00	0.10
NC8	NC9	68.25	DN63	0.37	0.00	0.01
NC8	NC55	6.42	DN63	8.93	0.00	0.24
NC11	NC12	24.96	DN40	1.43	0.00	0.09
NC11	NC15	106.29	DN40	0.57	0.00	0.04
NC11	NC53	9.80	DN40	2.71	0.00	0.18
NC12	NC13	84.36	DN40	0.85	0.00	0.06
NC13	NC14	36.66	DN40	0.20	0.00	0.01
NC16	NC17	51.59	DN40	1.62	0.00	0.11
NC16	NC20	125.17	DN40	0.67	0.00	0.04
NC17	NC18	109.26	DN40	0.91	0.00	0.06
NC17	NC25	10.04	DN40	3.40	0.00	0.22
NC18	NC19	30.28	DN40	0.16	0.00	0.01
NC21	NC22	96.30	DN40	2.31	0.00	0.15
NC21	NC25	112.06	DN63	3.43	0.00	0.09
NC22	NC23	86.78	DN40	1.33	0.00	0.09
NC23	NC24	80.61	DN40	0.43	0.00	0.03
NC25	NC32	7.36	DN63	7.43	0.00	0.20
NC26	NC27	93.15	DN40	1.78	0.00	0.12
NC26	NC30	93.73	DN63	0.50	0.00	0.01
NC26	NC37	4.60	DN63	3.29	0.00	0.09
NC27	NC28	29.00	DN40	1.12	0.00	0.07
NC28	NC29	89.95	DN40	0.48	0.00	0.03
NC31	NC32	76.20	DN63	11.34	0.00	0.30
NC31	NC35	98.78	DN90	38.18	0.00	0.51
NC31	NC155	7.63	DN63	33.76	0.00	0.90
NC31	NC214	6.29	DN90	84.22	0.00	1.13
NC32	NC33	98.36	DN40	1.25	0.00	0.08
NC32	NC196	7.58	DN40	1.72	0.00	0.11
NC33	NC34	67.38	DN40	0.36	0.00	0.02
NC35	NC36	6.15	DN90	37.65	0.00	0.50
NC36	NC37	81.74	DN63	5.40	0.00	0.14
NC36	NC146	8.95	DN63	21.38	0.00	0.57
NC37	NC38	87.40	DN40	1.20	0.00	0.08
NC38	NC39	68.17	DN40	0.37	0.00	0.02
NC41	NC42	77.33	DN40	1.44	0.00	0.09
NC41	NC45	50.46	DN40	0.27	0.00	0.02
NC41	NC48	24.98	DN40	2.40	0.00	0.16
NC42	NC43	59.06	DN40	0.71	0.00	0.05
NC43	NC44	36.52	DN40	0.20	0.00	0.01

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Péridid. bar/100m	Velocidad m/s
NC46	NC47	49.64	DN63	32.66	0.00	0.87
NC46	NC50	92.80	DN90	91.37	0.00	1.22
NC46	NC171	9.22	DN63	41.82	0.00	1.12
NC46	NC209	9.64	DN90	16.13	0.00	0.22
NC47	NC48	71.42	DN40	3.24	0.00	0.21
NC47	NC51	8.67	DN63	25.62	0.00	0.69
NC47	NC200	9.73	DN40	3.14	0.00	0.21
NC48	NC49	42.72	DN40	0.23	0.00	0.02
NC50	NC215	12.45	DN90	91.87	0.00	1.23
NC51	NC52	170.83	DN40	6.45	0.00	0.42
NC51	NC55	106.37	DN63	9.50	0.00	0.25
NC51	NC76	7.81	DN40	8.18	0.00	0.54
NC52	NC53	104.16	DN40	4.97	0.00	0.33
NC53	NC54	158.03	DN40	0.85	0.00	0.06
NC56	NC57	107.17	DN40	1.14	0.00	0.07
NC56	NC60	52.12	DN40	0.28	0.00	0.02
NC57	NC58	68.03	DN40	2.08	0.00	0.14
NC58	NC59	85.51	DN40	0.46	0.00	0.03
NC61	NC62	67.30	DN40	0.99	0.00	0.06
NC61	NC65	58.40	DN40	0.31	0.00	0.02
NC62	NC63	59.03	DN40	1.51	0.00	0.10
NC62	NC72	4.22	DN40	3.17	0.00	0.21
NC63	NC64	110.51	DN40	0.59	0.00	0.04
NC66	NC67	158.89	DN40	2.70	0.00	0.18
NC66	NC210	16.30	DN90	14.36	0.00	0.19
NC67	NC68	58.33	DN40	1.53	0.00	0.10
NC68	NC69	113.26	DN40	0.61	0.00	0.04
NC71	NC72	71.56	DN40	4.57	0.00	0.30
NC71	NC75	36.26	DN40	0.20	0.00	0.01
NC71	NC78	7.29	DN40	5.35	0.00	0.35
NC72	NC73	42.26	DN40	0.79	0.00	0.05
NC73	NC74	52.05	DN40	0.28	0.00	0.02
NC76	NC77	38.55	DN40	6.90	0.00	0.45
NC76	NC80	99.80	DN40	0.54	0.00	0.04
NC77	NC78	101.80	DN40	6.15	0.00	0.40
NC78	NC79	23.90	DN40	0.13	0.00	0.01
NC81	NC82	81.32	DN40	1.57	0.00	0.10
NC81	NC85	105.19	DN40	0.57	0.00	0.04
NC82	NC83	51.36	DN40	0.82	0.00	0.05
NC82	NC87	7.75	DN40	3.24	0.00	0.21
NC82	NC111	150.64	DN63	6.34	0.00	0.17
NC83	NC84	50.68	DN40	0.27	0.00	0.02
NC86	NC87	31.93	DN40	1.35	0.00	0.09
NC86	NC90	109.38	DN40	0.59	0.00	0.04
NC87	NC88	106.67	DN40	1.15	0.00	0.08

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Péridid. bar/100m	Velocidad m/s
NC88	NC89	53.52	DN40	0.29	0.00	0.02
NC91	NC92	78.41	DN40	1.86	0.00	0.12
NC91	NC95	150.04	DN40	0.81	0.00	0.05
NC91	NC98	5.88	DN40	3.90	0.00	0.26
NC92	NC93	100.84	DN40	0.90	0.00	0.06
NC93	NC94	33.18	DN40	0.18	0.00	0.01
NC96	NC97	105.89	DN40	7.88	0.00	0.52
NC96	NC100	97.37	DN63	3.34	0.00	0.09
NC96	NC110	4.64	DN63	12.30	0.00	0.33
NC97	NC98	143.05	DN40	6.54	0.00	0.43
NC98	NC99	81.26	DN40	1.44	0.00	0.09
NC100	NC102	5.89	DN40	2.81	0.00	0.18
NC101	NC102	6.97	DN40	1.03	0.00	0.07
NC101	NC105	91.92	DN40	0.49	0.00	0.03
NC102	NC103	99.94	DN40	1.22	0.00	0.08
NC103	NC104	63.01	DN40	0.34	0.00	0.02
NC106	NC107	105.59	DN40	2.76	0.00	0.18
NC106	NC110	122.90	DN63	12.96	0.00	0.35
NC106	NC121	5.88	DN63	16.95	0.00	0.45
NC107	NC108	112.58	DN40	1.59	0.00	0.10
NC108	NC109	91.41	DN40	0.49	0.00	0.03
NC111	NC112	120.47	DN40	5.81	0.00	0.38
NC111	NC115	109.72	DN63	13.38	0.00	0.36
NC112	NC113	105.29	DN40	1.64	0.00	0.11
NC112	NC130	3.94	DN40	2.95	0.00	0.19
NC113	NC114	100.37	DN40	0.54	0.00	0.04
NC115	NC116	7.68	DN63	13.97	0.00	0.37
NC116	NC117	125.51	DN63	15.65	0.00	0.42
NC116	NC120	93.04	DN40	0.50	0.00	0.03
NC117	NC118	111.12	DN40	1.27	0.00	0.08
NC117	NC147	5.58	DN63	18.19	0.00	0.49
NC118	NC119	62.99	DN40	0.34	0.00	0.02
NC121	NC122	122.23	DN63	27.54	0.00	0.74
NC121	NC125	104.35	DN40	0.56	0.00	0.04
NC121	NC157	5.32	DN40	8.81	0.00	0.58
NC122	NC123	100.24	DN40	1.74	0.00	0.11
NC122	NC151	6.68	DN63	30.47	0.00	0.81
NC123	NC124	111.75	DN40	0.60	0.00	0.04
NC126	NC127	21.64	DN40	1.84	0.00	0.12
NC126	NC130	91.87	DN40	2.45	0.00	0.16
NC127	NC128	47.70	DN40	1.47	0.00	0.10
NC128	NC129	113.05	DN40	0.61	0.00	0.04
NC131	NC132	100.24	DN40	5.22	0.00	0.34
NC131	NC135	327.06	DN63	7.51	0.00	0.20
NC132	NC133	189.09	DN40	3.66	0.00	0.24

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Péridid. bar/100m	Velocidad m/s
NC133	NC134	245.95	DN40	1.32	0.00	0.09
NC135	NC136	7.93	DN63	9.27	0.00	0.25
NC136	NC137	35.79	DN63	9.89	0.00	0.26
NC136	NC140	39.97	DN40	0.22	0.00	0.01
NC137	NC138	21.97	DN40	4.00	0.00	0.26
NC137	NC162	5.62	DN63	14.20	0.00	0.38
NC138	NC139	65.69	DN40	3.53	0.00	0.23
NC141	NC142	105.68	DN40	1.87	0.00	0.12
NC141	NC145	121.56	DN40	0.65	0.00	0.04
NC142	NC143	70.14	DN40	1.47	0.00	0.10
NC142	NC158	9.11	DN40	4.29	0.00	0.28
NC143	NC144	101.98	DN40	0.55	0.00	0.04
NC146	NC147	61.39	DN63	20.07	0.00	0.54
NC146	NC150	91.88	DN40	0.49	0.00	0.03
NC147	NC148	111.66	DN40	0.94	0.00	0.06
NC148	NC149	31.83	DN40	0.17	0.00	0.01
NC151	NC152	99.84	DN40	2.10	0.00	0.14
NC151	NC155	60.94	DN63	33.44	0.00	0.89
NC152	NC153	61.22	DN40	1.24	0.00	0.08
NC153	NC154	84.25	DN40	0.45	0.00	0.03
NC156	NC157	138.61	DN40	1.95	0.00	0.13
NC156	NC160	112.05	DN40	0.60	0.00	0.04
NC157	NC158	105.41	DN40	5.55	0.00	0.36
NC158	NC159	64.07	DN40	0.34	0.00	0.02
NC161	NC162	98.94	DN63	16.48	0.00	0.44
NC161	NC165	112.16	DN40	0.60	0.00	0.04
NC161	NC173	4.05	DN63	18.21	0.00	0.49
NC162	NC163	34.22	DN40	1.56	0.00	0.10
NC163	NC164	128.06	DN40	0.69	0.00	0.05
NC166	NC167	172.14	DN40	2.08	0.00	0.14
NC166	NC170	107.53	DN40	0.58	0.00	0.04
NC167	NC168	91.70	DN40	6.44	0.00	0.42
NC167	NC177	9.11	DN40	9.93	0.00	0.65
NC168	NC169	150.66	DN40	0.81	0.00	0.05
NC168	NC192	11.20	DN40	4.32	0.00	0.28
NC171	NC172	56.06	DN63	20.45	0.00	0.55
NC171	NC175	101.16	DN40	0.54	0.00	0.04
NC171	NC178	11.58	DN40	19.98	0.00	1.31
NC172	NC173	69.54	DN40	19.77	0.00	1.30
NC173	NC174	110.30	DN40	0.59	0.00	0.04
NC176	NC177	89.74	DN40	8.03	0.00	0.53
NC176	NC180	61.31	DN40	0.33	0.00	0.02
NC176	NC181	4.40	DN40	6.89	0.00	0.45
NC177	NC178	57.70	DN40	18.76	0.00	1.23
NC178	NC179	84.74	DN40	0.46	0.00	0.03

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m ³ /h	Péridid. bar/100m	Velocidad m/s
NC181	NC182	61.58	DN40	1.33	0.00	0.09
NC181	NC185	39.05	DN40	5.02	0.00	0.33
NC182	NC183	49.45	DN40	0.74	0.00	0.05
NC183	NC184	43.86	DN40	0.24	0.00	0.02
NC185	NC186	5.56	DN40	4.81	0.00	0.32
NC186	NC187	151.03	DN40	3.35	0.00	0.22
NC186	NC190	59.59	DN40	0.32	0.00	0.02
NC187	NC188	107.28	DN40	1.97	0.00	0.13
NC188	NC189	129.31	DN40	0.70	0.00	0.05
NC191	NC192	120.02	DN40	1.55	0.00	0.10
NC191	NC195	84.59	DN40	0.46	0.00	0.03
NC192	NC193	82.03	DN40	1.68	0.00	0.11
NC193	NC194	115.60	DN40	0.62	0.00	0.04
NC196	NC197	52.20	DN40	0.80	0.00	0.05
NC196	NC199	59.17	DN40	0.32	0.00	0.02
NC197	NC198	48.39	DN40	0.26	0.00	0.02
NC200	NC201	98.01	DN40	2.26	0.00	0.15
NC200	NC203	33.75	DN40	0.18	0.00	0.01
NC201	NC202	34.58	DN40	0.19	0.00	0.01
NC201	NC204	8.22	DN40	1.36	0.00	0.09
NC204	NC205	63.37	DN40	0.66	0.00	0.04
NC204	NC207	33.13	DN40	0.18	0.00	0.01
NC205	NC206	29.77	DN40	0.16	0.00	0.01
NC208	NC209	103.67	DN90	15.29	0.00	0.20
NC208	NC210	52.50	DN90	14.92	0.00	0.20
NC211	NC212	40.51	DN90	177.09	0.00	2.37
NC211	NC214	52.49	DN90	84.57	0.00	1.13
NC211	NC215	65.60	DN90	91.95	0.00	1.23
NC212	NC213	45.00	DN80-3"	177.55	0.00	1.94

MEDICIÓN:

A continuación, se detallan las longitudes totales de los materiales utilizados en la instalación.

SDR11 2/4 TUBO HDPE

Descripción	Longitud m	Long. mayorada m
DN40	12039.52	14447.42
DN63	2057.46	2468.95
DN90	786.81	944.17

LIG SSOL TUBO ACR

Descripción	Longitud m	Long. mayorada m
DN80-3"	60.00	72.00

Se emplea un coeficiente de mayoración en las longitudes del 20.0 % para simular en el cálculo las pérdidas en elementos especiales no tenidos en cuenta en el diseño.

ANEXO 12 – REGISTRO FOTOGRÁFICO DE CALA CALA



ENTRADA A LA LOCALIDAD DE CALA CALA



LUGAR DE UBICACIÓN DEL EDR



LOCALIDAD DE CALA CALA

Fuente: Elaborado en base a datos propios.

Correo electrónico: romel.sacari@gmail.com
Celular: 71922132