

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA PETROLERA



PROYECTO DE GRADO

**“PROPUESTA DE OPTIMIZACION DE LA ESTACION
DISTRITAL DE REGULACIÓN R-3 Y LA RED SECUNDARIA
QUE SUMINISTRA PARTE DE LOS DISTRITOS 1 Y 6 DE LA
CIUDAD DE EL ALTO UTILIZANDO EL SOFTWARE WINFLOW”**

POSTULANTE: Univ. Iván Carlos Chipana Ramos

TUTOR: Ing. Pedro Reynaldo Marín Domínguez

La Paz- Bolivia
2019



**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

Dedico este trabajo primeramente a Dios por darme la sabiduría necesaria para poder entender lo importante en esta vida.

A mis padres por haberme alentado y soportado en el tiempo que emplee para terminar este proyecto de grado.

Para ellos es esta dedicatoria de proyecto de grado.

Agradecimientos

A toda mi familia, ya que ellos han estado apoyándome incondicionalmente en cada etapa de mi vida; a ellos les debo lo que soy.

Quiero agradecer a todos mis amigos de la Carrera de Ingeniería Petrolera, por toda su amistad que me han brindado.

Agradecer finalmente, a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería, ya que sin su enseñanza y conocimiento, no habría llegado hasta esta etapa, quiero agradecer en especial a mi tutor, al Ingeniero Reynaldo Marín por todo su apoyo.

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	x
SIGLAS	xii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiii
CAPITULO 1 GENERALIDADES DEL PROYECTO	1
1.1 INTRODUCCION	2
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	4
1.3.2 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	5
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	5
1.5 JUSTIFICACIÓN	6
1.5.1 JUSTIFICACIÓN TECNICA	6
1.6 JUSTIFICACIÓN ECONOMICA	6
1.7 JUSTIFICACIÓN SOCIAL	6
1.7.1 ALCANCE	7
1.7.2 ALCANCE TEMÁTICO	7
1.7.3 ALCANCE GEOGRÁFICO.....	7
1.7.4 ALCANCE TEMPORAL	7
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 FUNDAMENTO DE LAS ECUACIONES DE FLUJO	10
2.1.1 PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE MASA.....	10
2.1.2 SEGUNDA LEY DE NEWTON	11
2.1.3 PÉRDIDA DE ENERGÍA O CABEZA DEBIDO A LA FRICCIÓN DELFLUIDO.....	15
2.1.4 FACTOR DE FRICCIÓN.....	16

2.1.5	ECUACIÓN GENERAL DE FLUJO.....	21
2.1.6	ECUACIÓN DE RENOARD	35
2.2	GAS NATURAL.....	38
2.2.1	CARACTERÍSTICAS	38
2.2.2	CLASIFICACIÓN POR ORIGEN.....	39
2.2.3	COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL.....	39
2.2.4	CLASIFICACIÓN POR COMPOSICIÓN	40
2.2.5	PROPIEDADES DEL GAS NATURAL.....	41
2.2.6	FACTOR DE COMPRESIBILIDAD	43
2.3	OBTENCIÓN DEL GAS NATURAL	47
2.3.1	TRANSPORTE DEL GAS NATURAL	48
2.4	ESTACION DISTRITAL DE REGULACIÓN	49
2.4.1	FUNCIONAMIENTO DEL EDR.....	49
2.4.2	COMPONENTES DEL EDR	50
2.4.3	FUNCIONAMIENTO DE LA REGULACION	53
2.5	SOFTWARE WINFLOW.....	54
2.5.1	REGLAS FUNDAMENTALES PARA LA SIMULACIÓN EN WINFLOW	54
2.5.2	REQUISITOS PARA LA MODELACION.....	57
2.5.3	METODOLOGIA DEL CÁLCULO DENTRO DEL SOFTWARE WINFLOW	58
2.5.4	SISTEMA RAMIFICADO	60
2.6	CRITERIOS PARA LOS TRABAJOS DE OBRAS CIVILES PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA.....	61
2.6.1	ROTURA DE PAVIMENTOS Y VEREDAS	61
2.6.2	ZANJEO	62
2.6.3	TENDIDO DE TUBERIA.....	62
2.6.4	SOLDADURA DE TUBERIAS DE POLIETILENO.....	63
2.6.5	TAPADA Y COMPACTACIÓN DE LA ZANJA.....	63
2.6.6	REPARACION DE VEREDAS Y PAVIMENTOS.....	64
2.6.7	PROGRAMA SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	65

2.6.1	CRITERIOS AMBIENTALES PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA	66
CAPITULO 3	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA EL MODELO	69
3.1	DEFINICION DEL SISTEMA.....	70
3.1.1	INSTALACIÓN DEL SOFTWARE WINFLOW.....	70
3.2	PARÁMETROS DE LOS DATOS A INTROUCIR EN LA SIMULACION Y LAS CONDICIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN.	76
3.2.1	PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA TUBERÍA.....	77
3.2.1.1	DIAMETRO INTERNO Y ESPESOR.....	77
3.2.1.2	LONGITUD.....	78
3.2.1.3	RUGOSIDAD.....	78
3.2.1.4	FACTOR EFICIENCIA	79
3.2.2	PARÁMETROS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL GAS.	79
3.2.2.1	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PODER CALORIFICO.....	79
3.2.2.2	CAUDAL CONSUMIDO.....	81
3.2.2.3	COMPRESIBILIDAD	81
3.2.3	PARÁMETROS OPERACIONALES DEL EDR.	82
3.2.3.1	SITUACIÓN ACTUAL DE LA EDR.....	83
3.2.3.2	DATOS GENERALES DEL EDR R-3.....	84
3.2.3.3	PRESION Y TEMPERATURA.....	85
3.2.3.4	CAMBIOS EN LA ELEVACIÓN.....	86
CAPITULO 4	APLICACIÓN PRÁCTICA.....	86
4.1	INTRODUCCIÓN	87
4.2	CALCULOS ANALÍTICOS.....	90
4.3	AJUSTE DEL MODELO DE SIMULACIÓN.	92
4.4	ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN.....	94
4.5	ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN	95
4.6	VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL EDR R-3.....	98
4.6.1	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	99
4.6.2	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROYECTO	102
CAPITULO 5	ANALISIS DE COSTOS	104

5.1	INVERSIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN.....	105
5.2	DEPRECIACIÓN.....	107
5.3	GENERACION DE INGRESOS	107
5.4	FLUJO DE CAJA E INDICADORES FINANCIEROS.....	108
CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		111
6.1	CONCLUSIONES	112
6.2	RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFÍA		116
GLOSARIO.....		118
ANEXO A		120
ANEXO B		129
ANEXO C		139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Distribución del gas natural	3
Figura 1.2. Actual situación Gas natural	4
Figura 1.3. Ubicación de la Estación Distrital de Regulación R-3	8
Figura 2.1. Esquema Principio Conservación de Masa	10
Figura 2.2. Esquema de las fuerzas sobre una partícula de fluido	12
Figura 2.3. Diagrama de Moody	20
Figura 2.4. Numero de Reynolds Crítico vs Rugosidad Tubería	33
Figura 2.5. Fuentes energéticas	38
Figura 2.6. Grafica para Encontrar el Factor de Compresibilidad Z del Gas Natural ..	46
Figura 2.7. Partes de un EDR	52
Figura 2. 8. Casos de Introducción de Parámetros de Nodos	55
Figura 3.1. Copia de contenido Software WinFlow	71
Figura 3.2. AbrirKey_DRVR	71
Figura 3.3. Instalación de Sentinel Protection Installer	72
Figura 3.4. Aceptar términos de Sentinel Protection	72
Figura 3.5. Abrir Set Key Server	73
Figura 3.6. Presionamos Find Key	73
Figura 3.7. Ventana de Verificación	74
Figura 3.8. Abrir Winflow32	74
Figura 3.9. Ventana de actualización de códigos	75
Figura 3.10. Buscamos ubicación de los códigos de actualización	75
Figura 3.11. Cargamos los códigos de actualización	75
Figura 3.12. Ventana de actualización de códigos	76
Figura 3.13. Vista frontal del EDR - 3	82
Figura 4.1. Cargar el archivo shape	88
Figura 4.2. Import shape Nodes y Pipes	88
Figura 4.3 Diámetros de la Red Secundaria	89
Figura 4.4 Situación actual de la Red Secundaria	93

Figura 4.5. Caso 4: Construcción de un loop por tuberías de 125 y 110 [mm]	97
Figura 4.6. Gradientes de colores en función a la Presión	101
Figura 4.7 Grafica Presión vs Nodos.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Distribución de Espesores de Tubería PE	77
Tabla 3.2. Longitud de Tubería PE.....	78
Tabla 3.3. Factor de Eficiencia de la Tubería	79
Tabla 3.4. Informe de Cromatografía del gas	80
Tabla 3.5. Características del EDR - 3	83
Tabla 3.6. Datos Generales para la Simulación	84
Tabla 3.7. Presiones y Temperaturas del EDR-3	85
Tabla 4.1. Comparación de resultados Obtenidos Con el Software WinFlow y resultados obtenidos analíticamente	92
Tabla 4.2. Inicio tabla de resultados de los Nodos o Nodes	99
Tabla 4.3. Inicio tabla de resultados de los Tramos o Legs	100
Tabla 5.1. Inversión para implementación de la mejora a la Red Secundaria	105
Tabla 5.2. Depreciación de Equipamiento de Inversión expresado en Bolivianos ...	107
Tabla 5.3. Generación de Ingresos	107
Tabla 5.4 Cuadro resumen de Indicadores Financieros	108
Tabla 5.5. Flujo de Caja e Indicadores Financieros.....	109

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecc. 2. 1. Masa por unidad de tiempo a través de la sección 1	11
Ecc. 2. 2. La masa por unidad de tiempo a través de la sección 2	11
Ecc. 2. 1. Igualación de ecuaciones de secciones 1 y 2.....	11
Ecc. 2. 3. Ecuacion de continuidad	11
Ecc. 2. 4. Ecuación de la fuerza resultante debida a la presión.....	12
Ecc. 2. 5. Ecuación del peso de la particula	12
Ecc. 2. 6. Ecuación de la componente de la gravedad en la dirección del movimiento	12
Ecc. 2. 8. Ecuación de la segunda ley de Newton	13
Ecc. 2. 9. Ecuación de Euler	13
Ecc. 2. 10. Ecuación de Bernoulli para fluido ideal	13
Ecc. 2. 11. Ecuación de Bernoulli con perdida de Energía	14
Ecc. 2. 12. Ecuación de Darcy-Weisbach.....	15
Ecc. 2. 13. Ecuación del factor de fricción de Fanning	15
Ecc. 2. 14. Ecuación del número de Reynolds	16
Ecc. 2. 15. Ecuación Modificada del número de Reynolds	16
Ecc. 2. 16. Ecuación de Hagen- Poseuille.....	17
Ecc. 2. 17. Ecuación de Nikuradse.....	18
Ecc. 2. 18. Ecuación de Von Karman y Prandtl	18
Ecc. 2. 19. Ecuación de Von Karman y Prandtl modificada	19
Ecc. 2. 20. Ecuación de Colebrook Modificada	19
Ecc. 2. 21. Ecuación General de Flujo	23
Ecc. 2. 22. Ecuación de Muller	26
Ecc. 2. 23. Ecuación de Spitzglas para alta presión	27
Ecc. 2. 24. Ecuación de Weymouth.....	28
Ecc. 2. 25. Ecuación Panhandle A	29
Ecc. 2. 26. Ecuación Panhandle B	29
Ecc. 2. 27. Ecuación IGT Distribution	30

Ecc. 2. 28. Ecuación para tubería lisa	30
Ecc. 2. 29. Ecuación para tubería rugosa.....	31
Ecc. 2. 30. Ecuación de AGA parcialente turbulento	32
Ecc. 2. 31. Ecuación de AGA totalmente turbulento	32
Ecc. 2. 32. Numero de Reynolds para cambio de comportamiento de flujo parcialmente turbulento a totalmente turbulento.....	34
Ecc. 2. 33. Ecuación de flujo basada en Colebrook	35
Ecc. 2. 34. Ecuación de factor de fricción en función del numero de Reynolds	35
Ecc. 2. 35. Ecuación de Renouard para medir la presión	35
Ecc. 2. 36. Ecuación de energía potencial	36
Ecc. 2. 37. Ecuación de baja presión para perdida de carga	36
Ecc. 2. 38. Ecuación de Renouard para baja presión.....	37
Ecc. 2. 39. Ecuación peso molecular del gas natural	41
Ecc. 2. 40. Ecuación gravedad específica.....	41
Ecc. 2. 41. Ecuación densidad del gas natural	42
Ecc. 2. 42. Ecuación poder calorífico	42
Ecc. 2. 43. Ecuación de gases ideales con factor Z	44
Ecc. 2. 44. Ecuación temperatura pseudocrítica	44
Ecc. 2. 45. Ecuación presión pseudocrítica.....	44
Ecc. 2. 46. Ecuación presión pseudoreducida.....	44
Ecc. 2. 47. Ecuación temperatura pseudoreducida	44
Ecc. 2. 48. Ecuación de temperatura pseudocritica corregida	45
Ecc. 2. 49. Ecuación de presión pseudocritica corregida	45
Ecc. 2. 50. Ecuación error relativo.....	45
Ecc. 2. 51. Ecuación presión pseudoreducida corregida	45
Ecc. 2. 52. Ecuación temperatura pseudoreducida corregida.....	45
Ecc. 2. 53. Ecuación de Renouard cuadrático	58
Ecc. 2. 54. Ecuación para el cálculo de la velocidad en tubería	59
Ecc. 2. 55. Matriz de rigidez (K)	60

SIGLAS

ANH = Agencia Nacional de Hidrocarburos

ASME = the American Society of Mechanical Engineering

DN = Diámetro Nominal

DP = Presión de Diseño

E = Error

EDR = Estación Distrital de Regulación

f = Factor de Fricción Fanning

GE = Gravedad Específica

GNV = Gas Natural Vehicular

IGT = Distribution of Gas Technology

MDP = Presión Máxima de Diseño

Nre = Numero de Reynolds

PE = Polietileno

PEA = presión de Ensayo Admisible

PFA = Presión de Funcionamiento Admisible

PM = Peso Molecular

PMA = Presión Máxima Admisible

PN = Presión Nominal

YPFB = Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos

Z = Factor de compresibilidad

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto se ha elaborado con la finalidad de determinar el correcto abastecimiento de la distribución de gas natural de la Estación Distrital de Regulación R-3 hacia todos los usuarios domésticos, mediante la simulación de un modelo de la red secundaria en el software WinFlow.

Básicamente el proyecto contiene seis capítulos a desarrollarse, en el primer capítulo se delimita el punto de estudio que es la red secundaria de la Estación Distrital de Regulación R-3 ubicado en la ciudad de El Alto, se plantea los objetivos y alcances para comprobar las condiciones abastecimiento de gas natural respecto a un EDR mediante un modelo de simulación usando el software WinFlow y de tal manera plantear la mejor solución para que se establezca con certeza el correcto abastecimiento. La ciudad de El Alto llega a ser la ciudad con mayor incremento de usuarios en las Estaciones Distritales de Regulación, con este crecimiento no se puede tener la certeza en el correcto abastecimiento, el estudio se realiza en el EDR R-3 ya que es uno de los primeros EDR construidos.

Dentro del segundo capítulo se hace una revisión bibliográfica sobre las bases teóricas, ya que es muy importante aclarar los principales temas con lo que trabajamos en el desarrollo del proyecto.

El capítulo tres nos provee de toda la información con respecto a los parámetros para el diseño del modelo de simulación del EDR, entre estos están los parámetros geométricos de la tubería, parámetros de las características del gas y parámetros operacionales del EDR, y también se define el sistema donde se trabajara la simulación, se procede con la instalación del software WinFlow.

El capítulo cuatro se prepara los archivos necesarios para la simulación e introducción de datos, se analizan las diferentes alternativas de optimización. De esta manera se obtiene la solución de implementar un loop de 125mm y 110 mm de tubería y la conexión algunos circuitos que ayudaran a corregir el correcto

abastecimiento a toda la red secundaria del EDR R-3. Esta solución se puede implementar mediante un proyecto, el cual consta de la obra civil y la parte mecánica.

En el capítulo cinco se ve la implementación de la mejora en la red secundaria, esta necesita una inversión la cual es efectivamente rentable para Y.P.F.B. según el análisis realizado el cual detalla los diferentes ítems que contempla la construcción de un loop en la red secundaria para mejorar el abastecimiento a todos los usuarios domésticos de esta red.

CAPITULO 1

GENERALIDADES DEL

PROYECTO

CAPITULO 1

Generalidades del Proyecto

1.1 INTRODUCCION

El gas natural es un recurso no renovable que consiste en una mezcla de hidrocarburos livianos, especialmente metano, etano y propano, además puede tener otros compuestos contaminantes como dióxido de carbono, agua, ácido sulfhídrico, helio y nitrógeno. 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 sulfurados, 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”, el cual es transportado hasta los centros de consumo. Al entrar a la ciudad el gas natural es odorizado para posteriormente ser distribuido mediante redes a los domicilios, estaciones de servicio (GNV), comercios e industrias.

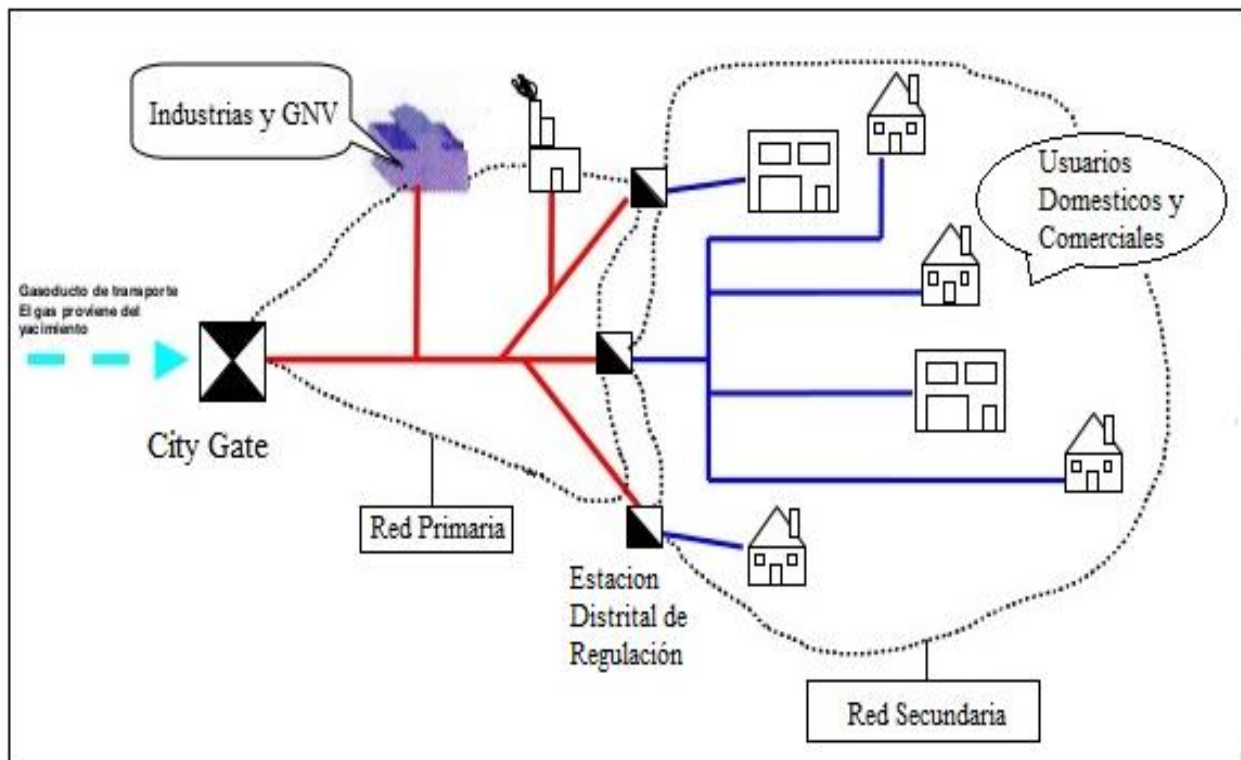
En este proyecto se realizara un estudio para mejorar el abastecimiento de gas natural a los usuarios domésticos en general mejorando la presión en los puntos más alejados de la red secundaria, ya que con el tiempo han incrementado considerablemente los usuarios domésticos, es por este motivo que se realizara una simulación con el Software WinFlow para comprobar y mejorar este objetivo en una Estación Distrital de Regulación, tomando como punto de estudio al EDR R-3 y su red secundaria.

1.2 ANTECEDENTES

A partir del año 1994, el gas natural se convierte en un energético importante en Bolivia. Muchos hogares ya utilizan el Gas Natural para preparar sus alimentos,

para la calefacción y otros usos del hogar, ya que se trata de un servicio económico y que permite generar ahorro en la población boliviana. Dentro de la cadena productiva del gas natural en Bolivia se encuentra el productor, el comercializador, el transportador, el distribuidor y finalmente llegan al consumidor.

Figura 1.1. Distribución del gas natural



Fuente: naturgy.com.pe [en línea]

La Gerencia Nacional de Redes de Gas y Ductos, en cumplimiento a lo que establece la Constitución Política del Estado y la Ley de Hidrocarburos, está encargada de la parte operativa de YPFB Corporación dedicada a la distribución del Gas Natural a nivel nacional (véase la Figura 1.1), responsable de la planificación y ejecución de un conjunto de actividades, entre ellas tendido de la red primaria y secundaria, instalación de Estación Distrital de Regulación (EDR) o Estaciones de Recepción y Despacho (City Gate), el mantenimiento y operación de las mismas para el correcto abastecimiento desde el City Gate hasta las instalaciones domésticas, comerciales, industriales y GNV.

Según interés del proyecto se tomará una Estación Distrital de Regulación de la ciudad de El Alto y la red secundaria que alimenta como punto de estudio para su optimización.

Figura 1.2. Actual situación Gas natural

Reservas de Gas Natural	48,7 TCF
Reservas de Petróleo	856 MMbbl
Producción de Gas	38,9 MMm³/día
Producción de Petróleo(**)	50.186 bpd
Quema de Gas (*)	0,40 MMm³/día
Consumo Gas Natural	4,90 MMm³/día, mercado interno
Consumo de Petróleo	39.000 bpd Déficit en diesel
Exportación de Gas	26,92 MMm³/día

Fuente: ypfb.gob.bo [en línea]

Según la Figura 1.2 Bolivia cuenta con 48,7 trillones de pies cúbicos los cuales como reservas de gas natural, se produce 38,9 millones de metros cúbicos por día y de esta 4,90 millones de metros cúbicos por día es para el consumo interno y 26,92 millones de metros cúbicos por día para las exportaciones.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

En los últimos años Bolivia ha incrementado considerablemente con las instalaciones de gas natural llegando a beneficiar a cerca de 530 mil usuarios

aproximadamente en todo el país. La ciudad de El Alto con un aproximado de 176 mil usuarios¹ llega a ser la ciudad con mayor incremento de usuarios en las Estaciones Distritales de Regulación, con este crecimiento no se puede tener la certeza en el correcto abastecimiento en el futuro, puesto que en cada EDR se va incrementando el número de usuarios gradualmente, en especial los primeros EDR construidos podrían exceder la capacidad del mismo.

1.3.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

Con el uso del software WinFlow en la Estación Distrital de Regulación R-3 ¿Se podrá determinar un correcto abastecimiento a los usuarios que alimenta esta?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el correcto abastecimiento de la red secundaria con el modelado en el software WinFlow.

1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Definir los parámetros para el modelo de la simulación.
- Realizar el diseño del modelo de simulación mediante el software WinFlow.
- Establecer el diagnóstico de la situación actual de la EDR y su respectiva red secundaria en el modelo de simulación.
- Verificar la capacidad máxima de la EDR no sobrepase en el futuro.

¹Recopilación Informe usuarios Distrito de Redes de gas El Alto, Y.P.F.B, 2015

- Establecer la viabilidad económica de la implementación de la optimización.

1.5 JUSTIFICACIÓN

1.5.1 JUSTIFICACIÓN TECNICA

Se considera un modelo de simulación como la herramienta más flexible y la más utilizada de la investigación de operaciones ya que, sin ser muy compleja, permite probar con el modelo, y no privilegia al número sino al comportamiento del mismo, a la vez que deja la oportunidad de mejorar constantemente.

1.6 JUSTIFICACIÓN ECONOMICA

Los usuarios domésticos son los principales afectados en el consumo de gas natural, ya que esta es una fuente energética esencial así como la energía eléctrica, están en su derecho de recibir el correcto abastecimiento de gas natural por el cual realizan un pago y Y.P.F.B. debe realizar los mantenimientos necesarios para dar un servicio de este. Al determinar las posibles soluciones que establezcan el correcto abastecimiento a los usuarios se podrá plantear los costos del proyecto de modificación de la red secundaria del EDR R-3 con el fin de evitar gastos innecesarios en el futuro.

1.7 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Según el Parágrafo I del Artículo 20 de la Constitución Política del Estado señala que, toda persona tiene derecho al acceso universal y equitativo a los servicios básicos de agua potable, alcantarillado, electricidad, *gas domiciliario*, postal y telecomunicaciones, por este motivo todo usuario doméstico debe tener el adecuado abastecimiento de gas, el cual no sea afectado por cortes o malas condiciones de suministro.

1.7.1 ALCANCE

1.7.2 ALCANCE TEMÁTICO

El proyecto está dirigido al público en general, usuarios que consumen gas natural, la implementación del proyecto a dará a conocer una propuesta de optimización para mejorar el abastecimiento de gas natural utilizando el software WinFlow como una herramienta practica para el estudio de la red secundaria, dentro de los parámetros que afectan el análisis de las condiciones de flujo que realiza este se encuentran: el diámetro, la longitud, la gravedad específica, la viscosidad y la presión, así como en cualquier punto de la red secundaria.

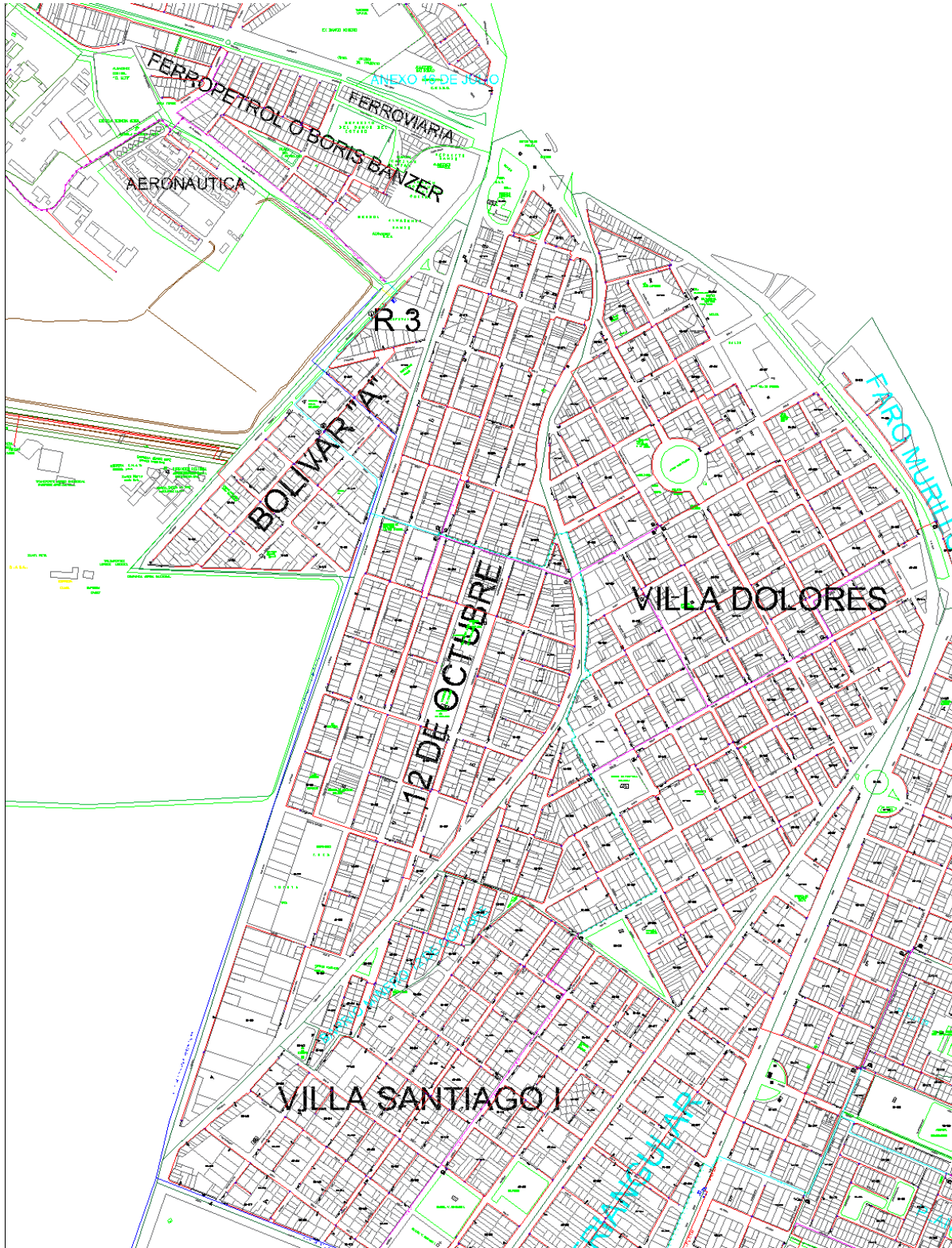
1.7.3 ALCANCE GEOGRÁFICO

La aplicación del proyecto se realiza en el EDR R-3 con coordenadas geográficas con latitud -16.506664 y longitud -68.164684, y su red secundaria que está conformado por las zonas 12 de Octubre, Villa Bolívar "A", Ferroviaria, Villa Dolores y Santiago I de la ciudad de El Alto, este estudio se encuentra conformado como parte de los distritos 1 y 6, ya que estos distritos son los primeros en la etapa del tendido de red secundaria y por tal motivo tiene un número considerable de usuarios. En la Figura1.3 se puede observar la ubicación del EDR R-3 en la ciudad de El Alto.

1.7.4 ALCANCE TEMPORAL

El presente proyecto se basará en datos del 2015, en los cuales se verificará la situación actual del EDR R-3 y los parámetros de estudio de la red secundaria para la simulación, en los que se buscara una solución para mejorar el abastecimiento de gas natural, así como se verificara si la capacidad del EDR R-3 será el necesario o se excederá el caso que todas las viviendas obtengan el servicio en una proyección de 15 años.

Figura 1.3. Ubicación de la Estación Distrital de Regulación R-3



Fuente: Datos Recopilados de YPFB La Paz - El Alto

The background features a large, faded watermark of the University of the Pacific logo. The logo is an oval shape with a sunburst at the top, a landscape with a tree in the middle, and a shield with a cross at the bottom. The text "UNIVERSITAS MAJOR PACENSIS DIVI ANDREAE" is written around the perimeter of the oval.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1 FUNDAMENTO DE LAS ECUACIONES DE FLUJO

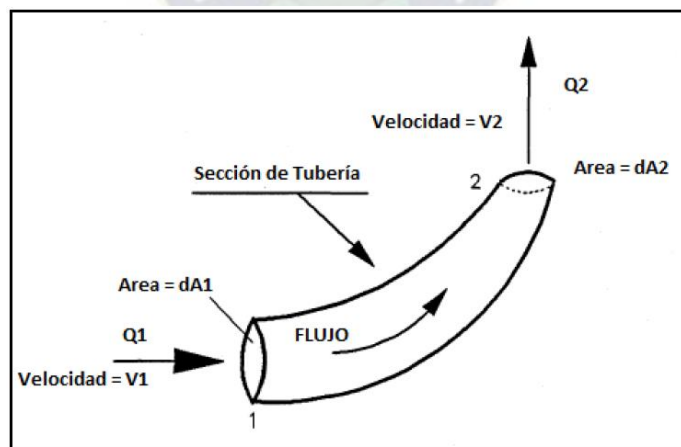
Entender y aplicar dos principios básicos, permite realizar la derivación de la Ecuación general de flujo, que toma forma de la ecuación de Bernoulli, la cual puede ser desarrollada a partir del principio de conservación de Masa y de la Segunda Ley de Newton.

2.1.1 PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE MASA

Este principio establece que el flujo de masa en cualquier punto de un sistema debe ser constante. El principio provee la continuidad del flujo²:

Considere la Figura 2.1:

Figura 2.1. Esquema Principio Conservación de Masa



Fuente:<http://aquaproomnibus.hidrodinámica> [en línea]

²Finch J. C. y Ko D. W. *Fluid Flow Formulas. Pipeline SimulationInterestGroupAnnual Meeting. Toronto, Ontario, Canada 1988. Traducción*

En la Figura 2.1 el flujo va desde el punto 1 y hacia el punto 2 en condiciones de flujo permanente. La velocidad en el punto 1 y el punto 2 son normales a las áreas de corte transversal de cada uno de los puntos.

$$dM_1 = \rho_1 v_1 dA_1$$

Ecc. 2.1. Masa por unidad de tiempo a través de la sección 1

$$dM_2 = \rho_2 v_2 dA_2$$

Ecc. 2.2. La masa por unidad de tiempo a través de la sección 2

Teniendo en cuenta que el flujo es permanente, la cantidad de masa por unidad de tiempo a través de las secciones de la tubería no varía y por lo tanto:

$$\rho_1 v_1 dA_1 = \rho_2 v_2 dA_2 = \text{Constante}$$

Ecc. 2.1. Igualación de ecuaciones de secciones 1 y 2

Teniendo en cuenta un sistema de flujo cualquiera de área definida, se puede expresar la ecuación de la siguiente manera.

$$M = \rho_1 v_1 dA_1 = \rho_2 v_2 dA_2$$

Ecc. 2.3. Ecuacion de continuidad

2.1.2 SEGUNDA LEY DE NEWTON

La relación entre la velocidad y la presión en un sistema de flujo permanente debe ser estudiada utilizando la segunda ley de Newton. Esta ley establece que, dada una partícula de fluido, la fuerza actuando sobre esa partícula es igual a la masa de la partícula multiplicada por la aceleración de la partícula. Considere la partícula de la Figura 2.2 la cual es parte de una pequeña sección de tubería.

La partícula tiene una sección transversal A, longitud dx, velocidad v y aceleración a. Las fuerzas externas actuando sobre la partícula son debidas al peso W de la

partícula y la presión P del fluido. Considerando que no hay fricción y que las únicas fuerzas a ser tenidas en cuenta están en la misma dirección del movimiento de la partícula:

$$PA - (P + dP)A = -dPA$$

Ecc. 2.4. Ecuación de la fuerza resultante debida a la presión

El peso W de la partícula es:

$$W = A \times dx \times \rho \times g$$

Ecc. 2.5. Ecuación del peso de la partícula

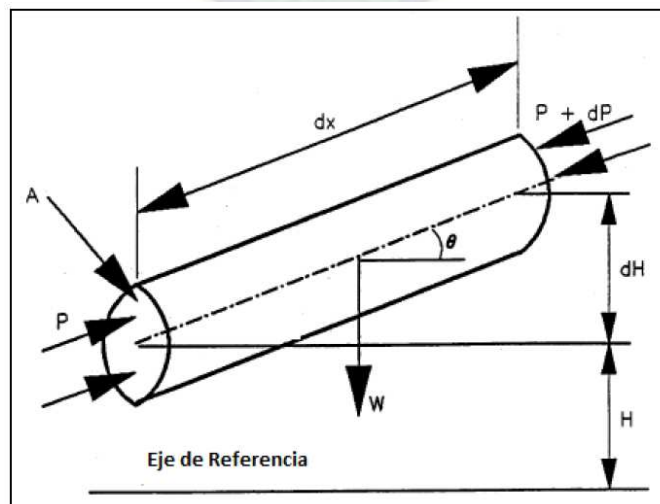
La componente de la gravedad en la dirección del movimiento es:

$$-W \text{Sen} \theta = -(\rho \times g \times A \times dx) \left(\frac{dH}{dx} \right)$$

Ecc. 2.6. Ecuación de la componente de la gravedad en la dirección del movimiento

Donde H es la altura de referencia.

Figura 2.2. Esquema de las fuerzas sobre una partícula de fluido



Fuente: <http://laplace.us.es/index.php> [en línea]

De acuerdo a la segunda ley de Newton la suma de las fuerzas externas generada por la presión y la gravedad son iguales a la masa M multiplicada por la aceleración de la partícula:

$$F = M * a$$

Ecc. 2. 7. Ecuación de la segunda ley de Newton

Donde: $M = \rho \times A \times dx$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = v \frac{dv}{dx}$$

$$F = -dA - (\rho \times g \times A \times dx) \left(\frac{dH}{dx} \right)$$

Reemplazando y dividiendo todos los factores por $\rho \times g \times A \times dx$ y reorganizando la ecuación, se obtiene la Ecuación de EULER:

$$\frac{1}{\rho g} \frac{dP}{dx} + \frac{v}{g} \frac{dv}{dx} + \left(\frac{dH}{dx} \right) = 0$$

Ecc. 2. 8. Ecuación de Euler

Si se considera la densidad, ρ , constante o como una función de la presión, entonces la ecuación de Euler puede ser integrada con respecto a X , y se obtiene la ecuación de Bernoulli para un fluido ideal, sin fricción, incompresible y en condiciones de flujo permanente:

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + H = Constante$$

Ecc. 2. 9. Ecuación de Bernoulli para fluido ideal

Los tres términos en la ecuación de Bernoulli, representan la cantidad de energía por unidad de peso de fluido, en donde, la cabeza de presión representa la habilidad del fluido para hacer un trabajo en virtud de su presión, la cabeza de velocidad

representa la energía cinética del fluido y la cabeza de potencial representa la energía potencial del fluido dado un nivel de referencia.

Para que la ecuación de Bernoulli pueda representar el comportamiento de fluidos reales, es decir fluidos viscosos y compresibles, se requiere realizar algunos ajustes. En el flujo de un fluido real, pueden ocurrir pérdidas de energía debido a la fricción, la separación y la turbulencia o arremolinamiento del fluido, por lo tanto la cabeza de energía total no será constante, sino que disminuirá en dirección del flujo. La mayor parte de la pérdida de esta energía es debida a la fricción del fluido viscoso, por lo tanto, el término **hf** debe ser adicionado a la ecuación básica de Bernoulli para tener en cuenta las pérdidas de cabeza debidas a la fricción.

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{v_1^2}{2g} + H_1 = \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{v_2^2}{2g} + H_2 + hf$$

Ecc. 2. 10. Ecuación de Bernoulli con pérdida de Energía

Los subíndices 1 y 2 de la Ecc. 2.11. Ecuación de Bernoulli con pérdida de energía, designan las condiciones en las secciones de entrada y de salida, respectivamente.

H: Energía potencial por unidad de peso de fluido, debida a su posición, medida por su altura por encima de un nivel de referencia asumido.

$P/\rho g$: Energía mecánica exigida para pasar la unidad de peso de fluido a través de la sección de tubería. Donde P es la presión absoluta del fluido y ρ es el peso específico del fluido a la presión P, que a su vez es el inverso del volumen específico v , que representa el volumen de la unidad de peso del fluido a la presión P^3

$V^2/2g$: Energía cinética por unidad de peso del fluido. Donde V es la velocidad del fluido en la sección de tubería y g es la gravedad.

³Finch J. C. y Ko D. W. *Fluid Flow Formulas. Pipeline Simulation Interest Group Annual Meeting. Toronto, Ontario, Canada 1988. Traducción*

hf: Pérdida de Energía o Cabeza. Trabajo (energía) mecánico desarrollado por la unidad de peso de fluido en vencer la resistencia cortante de la fricción entre las secciones de entrada y salida del tramo considerado.

2.1.3 PÉRDIDA DE ENERGÍA O CABEZA DEBIDO A LA FRICCIÓN DEL FLUIDO

Para flujo en tuberías circulares, la pérdida de cabeza debida a la fricción del fluido con la pared de la tubería, está relacionada con la cabeza de velocidad, la longitud del segmento de tubería, el diámetro de la tubería, el número de Reynolds y la rugosidad relativa. Esta fórmula también introduce el factor de fricción, **f**, el cual es adimensional y está en función del Número de Reynolds y de la rugosidad Relativa de la tubería. A continuación se presenta la ecuación de Darcy-Weisbach⁴:

$$hf = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

Ecc. 2. 11. Ecuación de Darcy-Weisbach

Años más tarde y de manera independiente, Fanning desarrolló una relación similar, la cual presenta la misma forma de la ecuación de Darcy-Weisbach con la diferencia que el factor de fricción de Fanning equivale a un cuarto del factor de fricción de Darcy-Weisbach. A continuación se presenta la ecuación desarrollada por Fanning.

$$hf = 4f_F \frac{L V^2}{D 2g} = f_F \frac{2L V^2}{D g}$$

Ecc. 2. 12. Ecuación del factor de fricción de Fanning

El factor de fricción de Fanning es ampliamente utilizada en la industria de las tuberías de gas, mientras que el factor de fricción de Darcy-Weisbach es más utilizado en la industria de los fluidos líquidos.

⁴Finch J. C. y Ko D. W. *Fluid Flow Formulas. Pipeline SimulationInterestGroupAnnual Meeting. Toronto, Ontario, Canada 1988. Traducción*

2.1.4 FACTOR DE FRICCIÓN

Para determinar el valor del factor de fricción se han desarrollado gran cantidad de ecuaciones, las cuales pueden depender del Número de Reynolds y/o de la rugosidad relativa.

El Número de Reynolds, es un número adimensional que caracteriza el flujo de un fluido por medio de la relación entre las fuerzas cinéticas y las fuerzas viscosas que actúan sobre dicho fluido. A continuación, se presenta la ecuación básica del Número de Reynolds, Nre:

$$Nre = \frac{D * V * \rho}{\mu}$$

Ecc. 2. 13. Ecuación del número de Reynolds

Donde,

Nre= Numero de Reynolds (Adimensional)

D = Diámetro Interno de la Tubería (Pies)

V = Velocidad media del Fluido (Pies/Segundo)

p = Densidad del Fluido (Lbm/pie²)

μ = Viscosidad dinámica del Fluido (Lbm/Segundo-Pie)

Teniendo en cuenta el grupo de unidades utilizadas para la definición de la ecuación General de Flujo y realizando algunas sustituciones, obtenemos la siguiente ecuación modificada del número de Reynolds⁵:

$$Nre = \frac{0.015379 * Q * g * P_b}{\mu \times D \times T_b}$$

Ecc. 2. 14. Ecuación Modificada del número de Reynolds

⁵Donald W. Schroeder, Jr. StonerAssociates, Inc, Carlisle, A Tutorial on Pipe FlowEquations. Pennsylvania 17013-0086. 2001. Traducción

Donde

Nre= Numero de Reynolds (Adimensional)

D = Diámetro de la Tubería (Pulgadas)

g = Gravedad Específica del Gas (adimensional)

Pb = Presión Base (psia)

Q = Caudal de flujo del Gas (SCFD)

Tb = Temperatura Base (°R)

μ = Viscosidad del Fluido (Lbf-Sec/Pie²)

La Rugosidad Relativa es la relación entre la Rugosidad Absoluta o la rugosidad efectiva y el diámetro interno de la tubería. A continuación, se presentan algunos valores típicos de rugosidad efectiva en sistemas de tuberías según Finch J. C. y Ko D. W⁶. El comportamiento del flujo de un fluido se puede analizar en cuatro zonas principalmente: Laminar, Crítica, Parcialmente Turbulenta y totalmente Turbulenta.

Zona Laminar: En esta zona el factor de fricción es totalmente dependiente del número de Reynolds e independiente de la rugosidad relativa de la tubería. En esta franja se encuentran los sistemas con caudal de flujo muy bajas, altas viscosidades o número de Reynolds menores o iguales a 2000. La Ecuación de Hagen-Poiseuille ofrece un buen ajuste para el cálculo del factor de fricción de Fanning.

$$f = 16 / Nre$$

Ecc. 2. 15. Ecuación de Hagen- Poseuille

Zona Crítica: En esta zona no existen funciones que describan las condiciones del flujo debido a que este se vuelve muy inestable y muestra varios comportamientos de manera aleatoria. En la zona crítica, las condiciones dependen de la turbulencia

⁶Finch J. C. y Ko D. W. *Fluid Flow Formulas. Pipeline Simulation Interest Group Annual Meeting. Toronto, Ontario, Canada. 1988.*

inicial debida a factores extraños tales como cambios de sección repentinos, obstrucciones o bordes agudos⁷.

Zona de Flujo Turbulento: En esta zona el factor de fricción es totalmente dependiente de la Rugosidad relativa e independiente del Número de Reynolds. En esta franja se encuentran los sistemas de tuberías rugosas, con caudal de flujo extremadamente alta y/o con bajas viscosidades. La ecuación de Nikuradse de Tubería Rugosa, puede ser utilizada para describir el comportamiento del factor de fricción en esta zona.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \text{Log} \left(\frac{3.7D}{K} \right)$$

Ecc. 2. 16. Ecuación de Nikuradse

Zona de Flujo Parcialmente Turbulento: En esta zona el factor de fricción es dependiente tanto de la Rugosidad Relativa como del Número de Reynolds, en esta franja se encuentran los sistemas de tuberías lisas y/o con caudales de flujo moderadamente altas. La ecuación de Von Karman y Prandtl de tubería Lisa, desarrollada en los años 1900s, puede ser utilizada para describir el comportamiento del factor de fricción en esta zona.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \text{Log} \left(\frac{Nre}{1.25 \sqrt{\frac{1}{f}}} \right)$$

Ecc. 2. 17. Ecuación de Von Karman y Prandtl

En 1956 el US Bureau of Mines realizó algunos experimentos que condujeron a ajustes en los coeficientes de la ecuación de Von Karman y Prandtl. La nueva ecuación desarrollada por el US Bureau es:

⁷Lewis F. Moody, *PeperFrictionFactorsfor Pipe Flow*, Princeton, N. J. Traducción

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \text{Log} \left(\frac{Nre}{1.4126 \sqrt{\frac{1}{f}}} \right)$$

Ecc. 2. 18. Ecuación de Von Karman y Prandtl modificada

Las zonas de flujo parcialmente turbulento y totalmente turbulento son las regiones operativas más comúnmente utilizadas en la industria de transporte y distribución de gas. En 1939, Colebrook propuso una ecuación que combinaba la ley de tubería Rugosa y la ley de tubería Lisa.

La ecuación de Colebrook describe el factor de fricción con un comportamiento asintótico a la ley de tubería lisa a bajos números de Reynolds y un comportamiento asintótico a la ley de tubería rugosa en altos números de Reynolds. En 1956 el US Bureau of Mines ajustó la ecuación de Colebrook teniendo en cuenta los cambios realizados a la ecuación de tubería lisa.

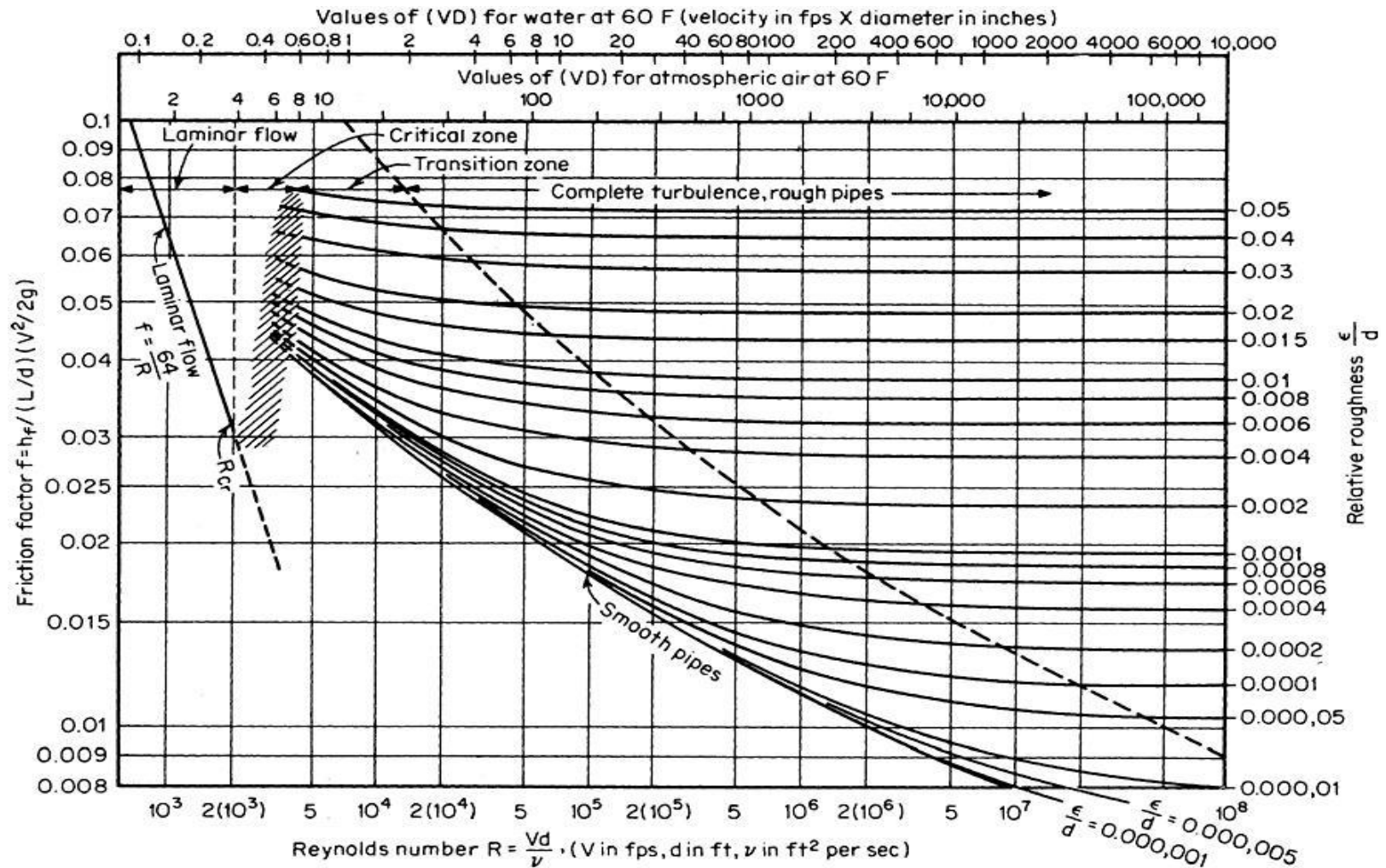
$$-4 \text{Log} \left(\frac{Ke}{3.7D} + \frac{1.4 \sqrt{1/f}}{Nre} \right)$$

Ecc. 2. 19. Ecuación de Colebrook Modificada

La Ecuación de Colebrook modificada fue utilizada junto con la ecuación de Hagen-Poiseville para desarrollar en 1944 el diagrama de Moody (Figura 2.3), que representa una alternativa gráfica para calcular el valor del factor de fricción sin necesidad de realizar cálculos complejos e iterativos necesarios para desarrollar la ecuación de Colebrook, los cuales para la época representaban una dificultad importante.

En el sector de transición entre la condición de flujo Parcialmente Turbulento a Flujo Totalmente Turbulento, la ecuación de Colebrook muestra una curva que se aleja un poco del comportamiento predicho por las ecuaciones de Tubería Lisa y Tubería rugosa.

Figura 2.3. Diagrama de Moody



Fuente: <https://www.mathworks.com> [en línea]

Algunos autores recomiendan que en lugar de buscar un comportamiento como el que muestra la ecuación de Colebrook, es mejor proyectarla línea que describe al flujo completamente turbulento, sobre la línea que describe al flujo parcialmente turbulento, de esta manera se obtiene un punto de intersección, el cual se convierte en el punto de inflexión o de cambio en el régimen de flujo.

Las ecuaciones de AGA para el caso de transporte y distribución de Gas Natural, tienen un punto de inflexión como punto de cambio del régimen de flujo, ofrece mayor precisión en el cálculo del factor de fricción, pero exige el uso de dos ecuaciones diferentes en cada uno de los regímenes de flujo. Por otro lado, las ecuaciones como la de Colebrook, permiten utilizar una única ecuación en todo el rango del régimen parcialmente turbulento y total mente turbulento, con la consecuente pérdida de precisión en la zona de transición al predecir factores de fricción mayores a los reales, esta es la razón por la cual se considera que la ecuación de Colebrook-White es una ecuación conservadora para algunos casos específicos.

Como mencionamos anteriormente, el mayor inconveniente con el uso de las ecuaciones de AGA, es que es preciso definir el punto donde ocurre el cambio entre flujo parcialmente turbulento y flujo totalmente turbulento con el fin de poder utilizar la ecuación de flujo más apropiada para cada caso. Una de las ventajas operativas del software WinFlow es que permite elegir la opción de “Ecuación AGA” y mediante cálculos del número de Reynolds, el software establece la ecuación más apropiada a ser utilizada, es decir la ecuación AGA Parcialmente Turbulento o la ecuación AGA Totalmente Turbulento.

2.1.5 ECUACIÓN GENERAL DE FLUJO

La ecuación de Bernoulli de continuidad puede ser utilizada para derivar fórmulas aplicables a gran cantidad de condiciones de flujo, teniendo en cuenta que se busca derivar la ecuación general para el flujo de gas natural, el cual es un fluido compresible, podemos utilizar la ecuación de Bernoulli (Que se deriva del Principio

de conservación de Masa y de la segunda ley de Newton), la ley de gases reales y la fórmula de Darcy-Weisbach.

Para poder derivar la ecuación general de flujo es necesario realizar las siguientes asunciones⁸:

- El flujo es Permanente a lo largo de la Tubería, es decir que el mismo peso de gas pasa por cada sección de la tubería durante un intervalo de tiempo.
- El flujo es Isotérmico o que casi alcanza una condición Isotérmica, por lo tanto la temperatura del fluido se puede caracterizar por un valor medio o promedio.
- La compresibilidad del gas es constante o con una variación que puede ser caracterizada como un valor constante a través de la tubería a una presión media y una temperatura media.
- La variación en la Energía Cinética en la tubería es despreciable, por lo tanto la Energía Cinética puede ser eliminada de la expresión inicial de Bernoulli. Las pérdidas por fricción se mantienen a través de la tubería.
- La velocidad de flujo se puede caracterizar por la Velocidad media de masa aparente. La Presión, en la cabeza de energía potencial, es igual a la presión promedio en la longitud de la tubería.
- El factor de fricción es constante a lo largo de toda la tubería. El coeficiente de fricción es independiente de la densidad del fluido.
- El cambio de la presión con la elevación es caracterizado como una función de una densidad media constante a la presión media. Se ignoran las pérdidas de calor debido a remolinos u otras irregularidades en el flujo.

En 1935, el US Bureau of Mines presentó la Ecuación de Flujo General como la fórmula para predecir la caída de presión de un fluido compresible. La ecuación fue desarrollada a partir de la ecuación de Bernoulli, el equivalente Hidrodinámico de la

⁸GreggEngineering –GEI. 2012 Training –ModelingEquations, Capacitation on line Houston-Texas 2012. Traducción

primera ley de la Termodinámica. La forma usual de la Ecuación General de Flujo es la siguiente⁹:

$$Q_b = C_1 \frac{T_b}{P_b} \sqrt{\frac{1}{f} \left[\frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right]^{0.5}} D^{0.5}$$

Ecc. 2. 20. Ecuación General de Flujo

donde $E = \frac{C_2 P_{av} G (H_2 - H_1)}{ZT}$

Q = Flujo (SCF/D)

f = Factor de Fricción de Fanning (Adimensional)

Tb = Temperatura Base (°R)

Pb = Presión Base (psia)

P1 = Presión en el punto de entrada (psia)

P2 = Presión en el punto de salida (psia)

Pav = Presión Promedio (psia)

G = Gravedad Específica (Adimensional)

H1 = Elevación en el punto de entrada, con respecto a un punto de referencia (pies)

H2 = Elevación en el punto de salida, con respecto a un punto de referencia (pies)

Z = Compresibilidad del Gas (Adimensional)

T = Temperatura promedio del Gas (°R)

L = Longitud de la Tubería (Millas)

D = Diámetro Interno de la Tubería (Pulgadas)

P = Densidad del Gas (lb/pie³)

C1, C2 son constantes y dependen del sistema de unidades utilizado

⁹GreggEngineering –GEI. 2012 Training –ModelingEquations, Capacitation on line Houston-Texas 2012. Traducción

Esta ecuación puede ser utilizada para modelar sistemas de transporte de gas natural en los siguientes casos:

- Dimensionamiento de nuevas líneas.
- Determinación de requerimientos de potencia.
- Efectos de los anillos o Loop
- Determinación de presiones de entrega a clientes
- Tiempos de duración del proceso de limpieza interna con raspa tubos
- Efectos de variar la composición del gas.
- Efectos de variación de la rugosidad efectiva, para definir frecuencias de corrida de herramientas de limpieza.

Sin embargo no puede ser utilizada o debe ser utilizada con precaución bajo los siguientes escenarios de simulación de sistemas de transporte¹⁰:

- Determinar la posibilidad de superar los picos de consumo con la ayuda del Empaquetamiento del ducto. En estos casos se debe utilizar un análisis de flujo transiente, por ejemplo utilizando el Software WinFlow.
- Gran cambio en la elevación de la tubería en distancias cortas, ya que los cambios de presión podrían tener un efecto sobre la asunción de que la presión es igual a la presión promedio del tramo ($P = P_{av}$). En estos casos se podría llegar a utilizar la ecuación de flujo pero teniendo en cuenta los cambios en la presión atmosférica.
- Cualquier condición en la tubería que contribuya con cambios de velocidad significativos, tal como venteos, algunas derivaciones, medidores y reguladores, a excepción del Factor de Fricción, todos los parámetros de la Ecuación General de Flujo están bien definidos y son fácilmente determinados.

¹⁰GreggEngineering –GEI. 2012 Training –ModelingEquations, Capacitation on line Houston-Texas 2012. Traducción

2.1.5.1 FACTOR DE TRANSMISIÓN

La definición del Factor de fricción ha sido objeto de controversia entre los estudiosos de este tema y dependiendo de su definición, la ecuación de flujo puede ser transformada en alguna de las ecuaciones de flujo más conocidas y utilizadas en la industria. Este factor refleja el grado de transmisibilidad del gas a través de la tubería y puede ser expresado en términos del factor de fricción. La expresión básica del Factor de Transmisión es: $\sqrt{1/f}$, sin embargo como veremos más adelante, este factor se puede expresar de diversas maneras.

En la Tabla 2.1 se presentan diferentes definiciones de Factor de Transmisión que generan las diversas ecuaciones de flujo disponibles para la industria del transporte de gas natural:

Tabla 2.1. Ecuaciones de Flujo y su Factor de Transmisión

ECUACIÓN DE FLUJO ESTABLECIDA	FACTOR DE TRANSMISIÓN $\sqrt{\frac{1}{f}}$
Muller	No depende de un factor de transmisión
Spitglass	$18.815 / \sqrt{(1 + (3.6/D) + 0.03D)}$
Weymouth	$11.18D^{0.167}$
Panhandle A	$6.87Nre^{0.07305}$
Panhandle B	$16.49Nre^{0.01961}$
IGT Distribution	$4.619Nre^{0.1}$
Smooth Pipe Law (Para tuberías lisas)	$4\text{Log}(Nre/1.4126\sqrt{1/f})$
Rough Pipe Law (Para Tuberías Rugosas)	$4\text{Log}(3.7D/K)$
Colebrook-White	$-4\text{Log}\left(\frac{Ke}{3.7D} + \frac{1.4\sqrt{1/f}}{Nre}\right)$
AGA Partially Turbulent	$4Df \times \text{Log}(Nre/1.4126\sqrt{1/f})$
AGA Fully Turbulent	$4\text{Log}(3.7D/Ke)$
Renouard	$2.4112Nre^{0.09}$

Fuente: Training –Modeling Equations, 2012

2.1.5.2 ECUACIONES QUE NO DEPENDEN DEL FACTOR DE FRICCIÓN O DE TRANSMISIÓN

Muller¹¹:

Esta ecuación no depende de un factor de fricción y fue desarrollada para gas a presiones por encima de 1 psig y hasta 20 psig. La ecuación asume que el gas está fluyendo a través de una tubería lisa. Este caso se da en tuberías de cobre, plástico, vidrio entre otros materiales lisos.

$$Q_b = \frac{490.7597D^{2.725}}{G^{0.425}} \left(\frac{(P_1^2 - P_2^2)}{ZL} \right)^{0.575}$$

Ecc. 2. 21. Ecuación de Muller

Adicionalmente, esta ecuación asume una temperatura base de 60°F, una presión base de 14.7 psia y una temperatura de flujo de 60°F. La ecuación de Muller sigue la ley de tubería Lisa cuando se presentan números de Reynolds entre 500.000 y 5.000.000. A $N_{re} < 5.000.000$, la desviación de la ley de tubería lisa es muy grande.

Si se utiliza un factor de eficiencia, la ecuación puede desplazarse de manera paralela para ajustarse aún más al comportamiento de la ecuación de tubería lisa, sin embargo el rango aplicable para este tipo de factores de eficiencia está limitado para el flujo parcialmente turbulento, ya que a medida que el flujo se hace más turbulento, la ecuación se vuelve menos aplicable.

2.1.5.3 ECUACIONES QUE DEPENDEN DEL FACTOR DE FRICCIÓN O DE TRANSMISIÓN

Estas ecuaciones pueden ser clasificadas en tres grandes grupos:

- De factor de fricción constante

¹¹Finch J. C. y Ko D. W. *Fluid Flow Formulas. Pipeline Simulation Interest Group Annual Meeting. Toronto, Ontario, Canada 1988. . Traducción*

- De factor de fricción dependiente del diámetro
- De factor de fricción dependiente del número de Reynolds.

2.1.5.3.1 ECUACIONES DE FACTOR DE FRICCIÓN CONSTANTE

Estas ecuaciones pueden ser utilizadas únicamente en condiciones de flujo turbulento y en tuberías con una relación Diámetro-Rugosidad especificada. Hoy en día se utilizan muy poco debido a su poca flexibilidad.

2.1.5.3.2 ECUACIONES DE FACTOR DE FRICCIÓN DEPENDIENTE DEL DIÁMETRO

Spitzglas:

Fue publicada en 1912 y es probablemente la ecuación más antigua que aún es utilizada en la industria. Esta ecuación presenta un factor de transmisión que está en función del Diámetro de la tubería. Esta ecuación se presenta en dos formas, una para alta presión y otra para muy baja presión, a continuación se presenta la ecuación desarrollada para Alta Presión.

$$Q_b = 729.45D^{2.5} \left(\frac{(P_1^2 - P_2^2)}{LG \left(1 + \frac{3.6}{D+0.03D} \right)} \right)^{0.5}$$

Ecc. 2. 22. Ecuación de Spitzglas para alta presión

Esta ecuación es válida para tuberías con diámetro alrededor de 10 pulgadas cuando la rugosidad es 1000 micropulgadas o muy próxima a este valor¹².

Weymouth¹³:

Es útil para modelar diámetros de tubería de 36 pulgadas en flujo totalmente

¹²Finch J. C. y Ko D. W. *Fluid Flow Formulas. Pipeline SimulationInterestGroupAnnual Meeting. Toronto, Ontario, Canada. 1988.Traducción*

¹³GreggEngineering –GEI. *2012 Training –ModelingEquations, Capacitation on line Houston-Texas 2012.Traducción*

turbulento y con una rugosidad equivalente de 1000 micropulgadas. Cuando la ecuación es usada en tubería menor o igual a 30 pulgadas y con una rugosidad efectiva de 1000 micropulgadas, el factor de fricción obtenido es demasiado grande y solo puede ser ajustado por el uso de un factor de eficiencia que son mayores a 1 o 100%. Otro ejemplo de buenos resultados de modelado de la ecuación de Weymouth es cuando se realiza sobre tuberías de 24 pulgadas con una rugosidad efectiva cercana a 1800 Micropulgadas.

La ecuación de Weymouth es normalmente utilizada para evaluar el cambio en el desempeño de una tubería existente, por lo mismo no es recomendable para diseñar o dimensionar una tubería nueva. En general, para flujo totalmente turbulento, y dadas las condiciones de diámetro y la rugosidad equivalente, la ecuación de Weymouth podría ser utilizada siempre y cuando se cuente con suficiente información histórica del comportamiento del flujo de gas a través de la tubería, con el fin de establecer el factor de eficiencia adecuado. Es importante resaltar que esta ecuación no entrega buenos resultados cuando se utiliza para modelar flujos parcialmente turbulentos¹⁴. La Ecuación de flujo Weymouth es:

$$Q_b = 432.7 \frac{T_b}{P_b} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right)^{0.5} \times D^{2.667}$$

Ecc. 2. 23. Ecuación de Weymouth

2.1.5.3.3 ECUACIONES DE FACTOR DE FRICCIÓN DEPENDIENTE DEL NÚMERO DE REYNOLDS

Panhandle A¹⁵:

Esta ecuación fue desarrollada con base en datos operacionales del Gasoducto TEXAS PANHANDLE en Chicago. Este gasoducto fue operado a presiones de

¹⁴Finch J. C. y Ko D. W. *Fluid Flow Formulas. Pipeline Simulation Interest Group Annual Meeting. Toronto, Ontario, Canada 1988. Traducción*

¹⁵E. Menon. *Gas Pipeline Hydraulics. Taylor & Francis Group. 2005. Traducción*

hasta 900 psia y a caudales de flujo en el régimen parcialmente turbulento. La ecuación de Panhandle A es una expresión dependiente del Número de Reynolds se aproxima mucho al comportamiento de la ley de Tubería Lisa. La ecuación de flujo basada en Panhandle A se expresa como:

$$Q_b = 435.9 \left(\frac{T_b}{P_b} \right)^{1.0788} \times 6.87 Nre^{0.07305} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{G^{0.8539} LTZ} \right)^{0.5394} \times D^{2.6182}$$

Ecc. 2. 24. Ecuación Panhandle A

Usualmente se utiliza un Factor de Eficiencia con la Ecuación Panhandle A para proveer un buen ajuste de los datos operativos en un régimen de flujo parcialmente turbulento.

La Ecuación Panhandle A, no es adecuada como herramienta de planificación o diseño porque un buen estimado del factor de eficiencia solo puede alcanzarse por medio de comparación con datos históricos de operación.

Panhandle B¹⁶:

Esta ecuación, también llamada Panhandle Modificado, fue desarrollada con base en datos operacionales obtenidos de tuberías que operaban a altas caudales de flujo y por lo tanto tubería cuyo flujo se encontraba en el régimen Totalmente Turbulento. La ecuación Panhandle B es una expresión dependiente del Número de Reynolds aunque en menor proporción que la ecuación Panhandle A, e incluye un valor implícito de rugosidad de la tubería para cada diámetro en la cual la ecuación es aplicada. La ecuación de flujo basada en Panhandle B se expresa como:

$$Q_b = 737 \left(\frac{T_b}{P_b} \right)^{1.020} \times 16.49 Nre^{0.01961} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{G^{0.926} LTZ} \right)^{0.510} \times D^{2.530}$$

Ecuación 2. 25. Ecuación Panhandle B

¹⁶E. Menon. *Gas Pipeline Hydraulics*. Taylor & Francis Group. 2005. Traducción

Usualmente se utiliza un Factor de Eficiencia con la Ecuación Panhandle B para proveer un buen ajuste de los datos operativos en un régimen de flujo totalmente turbulento. La Ecuación Panhandle B no es adecuada como herramienta de planificación o diseño porque un buen estimado del factor de eficiencia solo puede alcanzarse por medio de comparación con datos históricos de operación.

IGT Distribution- Institute of Gas Technology¹⁷:

Cuando se tienen sistemas con números de Reynolds entre 20.000 y 1.000.000, la ecuación IGT se ajusta mucho mejor a la ley de tubería lisa que cualquiera de las ecuaciones de Panhandle

$$Q_b = 38.77 \frac{T_b}{P_b} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right)^{0.5} \times 4.619 Nre^{0.1} \times D^{2.5}$$

Ecc. 2. 26. Ecuación IGT Distribution

Smooth Pipe Law (Tubería lisa)¹⁸:

Esta ecuación establece que el factor de fricción depende únicamente del Número de Reynolds. En el flujo por tuberías lisas, una capa viscosa, junto a la pared de la tubería, rodea un fluido turbulento. La ecuación de flujo basada en la ley de tubería Lisa se expresa como:

$$Q_b = 38.77 \frac{T_b}{P_b} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right)^{0.5} \times 4 \text{Log} \left(\frac{Nre}{1.4126 \sqrt{1/f}} \right) \times D^{2.5}$$

Ecc. 2. 27. Ecuación para tubería lisa

Esta ecuación solo es utilizada en condiciones ideales o de laboratorio y no debería ser utilizada para diseñar facilidades, sin embargo, si se utiliza el Factor de Arrastre dentro de la ecuación, esta podría ser utilizada para predecir el comportamiento del

¹⁷ y ¹⁸E. Menon. *Gas Pipeline Hydraulics*. Taylor & Francis Group. 2005. Traducción

fluido en sistemas de tubería operando en un régimen de flujo parcialmente turbulento.

Rough Pipe Law (Tubería Rugosa)¹⁹:

Esta ecuación establece que el factor de fricción es función únicamente del área de sección transversal de la tubería. De esta manera, el factor de fricción depende de la rugosidad relativa de la tubería (Relación entre el diámetro y la rugosidad de la superficie) y no de las propiedades del fluido o de la caudal de flujo. La ecuación de flujo basada en la ley de tubería rugosa se expresa como:

$$Q_b = 38.77 \frac{T_b}{P_b} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right)^{0.5} \times 4 \text{Log} \left(3.7 \frac{D}{K} \right) \times D^{2.5}$$

Ecc. 2. 28. Ecuación para tubería rugosa

Esta ecuación predice el comportamiento de un fluido ideal en un régimen de flujo totalmente turbulento. Para poder aplicar esta ecuación en un sistema real, se requiere convertir la Rugosidad Absoluta K, en términos de una rugosidad efectiva o rugosidad operativa.

AGA Parcialmente Turbulento y AGA Totalmente Turbulento²⁰:

Los estudios realizados por AGA muestran Factores de Fricción mayores que los predichos por la ley de Tubería Lisa y la ley de Tubería Rugosa. Estos estudios confirmaron que para flujos turbulentos a bajos caudales de flujo (flujo parcialmente turbulento), el factor de fricción es dependiente del Número de Reynolds, y para flujo turbulento y altos caudales de flujo (Flujo Totalmente Turbulento), el factor de fricción es una función de la rugosidad relativa de la tubería.

Para flujo Parcialmente Turbulento (Bajos caudales de flujo de gas), el factor de fricción es un múltiplo constante del factor definido por la ley de tubería Lisa. La

¹⁹E. Menon. *Gas Pipeline Hydraulics*. Taylor & Francis Group. 2005. Traducción

²⁰E. Menon. *Gas Pipeline Hydraulics*. Taylor & Francis Group. 2005. Traducción

constante de proporcionalidad es una función del factor de arrastre Df , y refleja la contribución de la caída de presión por fricción en los accesorios, curvas, soldaduras, etc. del sistema de tubería. El Factor de Arrastre varía entre 92% y 98% dependiendo del número y el grado de inducción de arrastre de los elementos presentes. La ecuación de flujo basada en AGA Parcialmente Turbulento se expresa como:

$$Q_b = 38.77 \frac{T_b}{P_b} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right)^{0.5} \times 4Df \times \text{Log} \left(\frac{Nre}{1.4126\sqrt{1/f}} \right) \times D^{2.5}$$

Ecc. 2. 29. Ecuación de AGA parcialente turbulento

Para flujo Totalmente Turbulento (Números de Reynolds mayores a 1.000.000), la teoría y los experimentos han demostrado que el factor de fricción es independiente de la caudal de flujo. El comportamiento del flujo bajo condición es totalmente turbulentas se aproxima mucho a la ley de Tubería Rugosa. De esta manera, el factor de Fricción es una función únicamente de la rugosidad relativa K/D .

En la ecuación AGA Totalmente Turbulento, la rugosidad se define como la rugosidad efectiva o rugosidad operativa, la cual refleja el efecto compuesto dela rugosidad interna y la rugosidad inducida por el arrastre de accesorios, curvas, soldaduras etc. Por lo tanto es opuesto a la ley de Tubería Rugosa, en donde K se define como la Rugosidad Absoluta y refleja solo la condición interna de la pared de la tubería. La ecuación de flujo basada en AGA Totalmente Turbulento se expresa como:

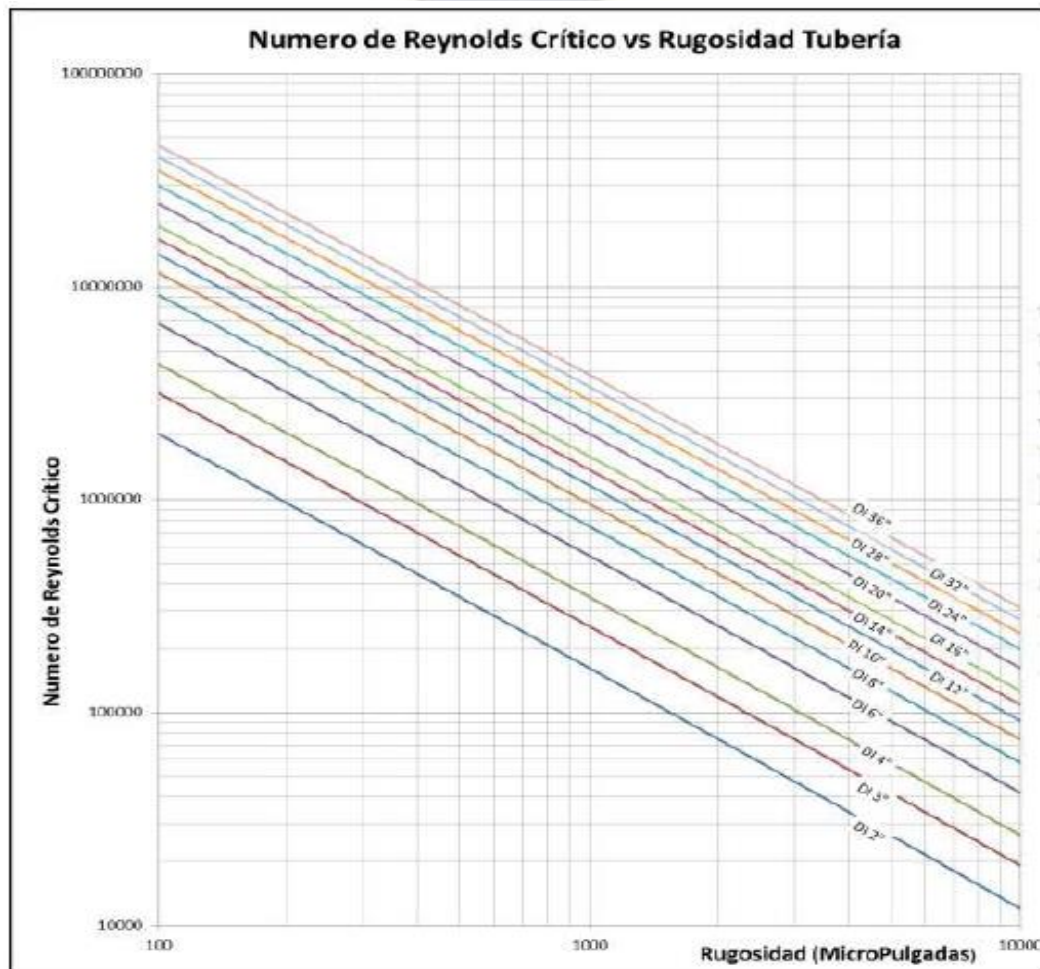
$$Q_b = 38.77 \frac{T_b}{P_b} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right)^{0.5} \times 4\text{Log} \left(3.7 \frac{D}{Ke} \right) \times D^{2.5}$$

Ecc. 2. 30. Ecuación de AGA totalmente turbulento

Donde **Ke** es la Rugosidad Efectiva

Para determinar la caudal de flujo donde se presenta el punto de inflexión entre flujo parcialmente turbulento y flujo totalmente turbulento, se debe igualar la ecuación de flujo totalmente turbulento y la ecuación de flujo en tubería lisa y resolver la incógnita del número de Reynolds, este número de Reynolds puede entonces ser utilizado para calcular la caudal de flujo del punto de inflexión utilizando la ecuación AGA parcialmente turbulento.

Figura 2.4. Numero de Reynolds Crítico vs Rugosidad Tubería



Fuente: Finch J. C. y Ko D. W. Fluid Flow Formulas

Una vez realizadas las igualdades propuestas anteriormente y despejando el Número de Reynolds, se obtiene la siguiente ecuación:

$$N_{Re} = \frac{20.91D}{Ke} \text{Log} \frac{3.7D}{Ke}$$

Ecc. 2. 31. Numero de Reynolds para cambio de comportamiento de flujo parcialmente turbulento a totalmente turbulento

Con la ecuación anterior se puede calcular el número de Reynolds en el cual ocurre el cambio entre comportamiento Parcialmente Turbulento y totalmenteturbulento. En la Figura 2.4 se presenta una gráfica diseñada a partir de la Ecc.2.32, la cual permite encontrar fácilmente el valor del número de Reynolds en el punto de inflexión.

Como se mencionó anteriormente, escogiendo la opción de ecuación "AGA", el software WinFlow puede realizar este cálculo automáticamente para cada caudal de flujo y determinar en qué casos se debe utilizar la ecuación AGA Parcialmente Turbulento y en cuales la ecuación AGA Totalmente Turbulento.

Colebrook-White²¹:

Esta ecuación combina tanto la ley de tubería lisa como la ley de tubería rugosa, convirtiéndose en el primer intento exitoso en definir el factor de fricción en todo el régimen turbulento con una sola ecuación, está basada en análisis de datos de una tubería de agua de diámetro pequeño con rugosidades absolutas creadas artificialmente.

Colebrook utiliza datos extrapolados en el régimen totalmente turbulento y no tiene un método independiente para determinar la rugosidad relativa de las piezas de tubería experimentales.

La Ecuación de Colebrook está caracterizada por una curva suave en los límites de transición entre el flujo parcialmente turbulento y el flujo totalmente turbulento. Esta ecuación entrega una estimación de caída de presión conservadora generalmente

²¹E. Menon. *Gas Pipeline Hydraulics*. Taylor & Francis Group. 2005. Traducción

predice altas caídas de presión, por encima de las predichas por las ecuaciones de AGA.

La ecuación de flujo basada en Colebrook se expresa como:

$$Q_b = 38.77 \frac{T_b}{P_b} \left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - E}{GLTZ} \right)^{0.5} \times 4 \text{Log} \left(\frac{Ke}{3.7D} + \frac{1.4\sqrt{1/f}}{Nre} \right) \times D^{2.5}$$

Ecc. 2. 32. Ecuación de flujo basada en Colebrook

2.1.6 ECUACIÓN DE RENOARD

2.1.6.1 ECUACIÓN DE RENOARD PARA MEDIA PRESIÓN²².

El factor de fricción f que utiliza la ecuación de Renouard en función del Número de Reynolds (Nre) es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.4112 Nre^{0.09}$$

Ecc. 2. 33. Ecuación de factor de fricción en función del numero de Reynolds

Dando como resultado la siguiente ecuación cuadrática para media presión.

Ecuación de Renouard – Media Presión (unidades SI).

$$Q = 26.4437 \frac{1}{\mu^{0.0989}} \frac{T_b}{P_b} \left[\frac{(P_1^2 - P_2^2) - E_p}{Ld_r^{0.82} T_m Z} \right]^{1.82} D^{4.82/1.82}$$

Ecc. 2. 34. Ecuación de Renouard para medir la presión

Donde:

Q = Caudal en condiciones estándar, (m³/h)

m = viscosidad dinámica del gas, (Pa.s)

Tb = Temperatura base, K (273+°C)

²²Normativa Para Distribución De Gas Natural Por Redes - Agencia Nacional de Hidrocarburos, Anexo 1 Diseño de Redes 2015

Pb = Presión base, (1,01325´105 Pa)
 P1 = Presión absoluta de entrada, (Pa)
 P2 = Presión absoluta de salida, (Pa)
 Ep = Energía potencial por diferencia de elevación, (Pa²)
 L = Longitud de la tubería, (km)
 dr = Densidad relativa del gas, (adimensional)
 Tm = Temperatura promedio del flujo del gas, °K (273+°C)
 Z = Factor de compresibilidad del gas, (adimensional)
 D = Diámetro interno de la tubería, (m).

Siendo Ep la Energía potencial que toma en cuenta la diferencia de elevación y se expresa como:

$$E_p = 0.06843 d_r (H_2 - H_1) \frac{P_m^2}{T_m^2 Z}$$

Ecc. 2. 35. Ecuación de energía potencial

Donde:

H1 = Elevación de entrada en el punto 1, (m)
 H2 = Elevación de entrada en el punto 2, (m)
 Pm = Presión media absoluta, (Pa)
 Tm = Temperatura promedio del flujo del gas, °K (273+°C)
 Z = Factor de compresibilidad del gas, (adimensional).

2.1.6.2 ECUACIÓN DE RENOARD PARA BAJA PRESIÓN²³.

Para Baja Presión, se utiliza el mismo factor de fricción pero la pérdida de carga se simplifica con:

$$P_1^2 - P_2^2 = (P_1 - P_2) * 2P_m$$

Ecc. 2. 36. Ecuación de baja presión para perdida de carga

²³Normativa Para Distribución De Gas Natural Por Redes - Agencia Nacional de Hidrocarburos, Anexo 1 Diseño de Redes 2015

Para dar la siguiente ecuación:

Ecuación de Renouard – Baja Presión. (Unidades SI)

$$Q = 26.4437 \frac{1}{\mu^{0.0989}} \frac{T_b}{P_b} \left[\frac{2P_m(P_1 - P_2) - E_p}{Ld_r^{0.82}T_mZ} \right]^{1/1.82} D^{4.82/1.82}$$

Ecc. 2. 37. Ecuación de Renouard para baja presión

Donde:

Q = Caudal en condiciones estándar, (m³/h)

m = viscosidad dinámica del gas, (Pa.s)

T_b = Temperatura base, °K (273+°C)

P_b = Presión base, (1,01325*10⁵Pa)

P₁ = Presión absoluta de entrada, (Pa)

P₂ = Presión absoluta de salida, (Pa)

E_p = Energía potencial por diferencia de elevación, (Pa²)

L = Longitud de la tubería, (km)

d_r = Densidad relativa del gas, (adimensional)

T_m = Temperatura promedio del flujo del gas, °K (273+°C)

Z = Factor de compresibilidad del gas, (adimensional)

D = Diámetro interno de la tubería, (m).

Siendo E_p la Energía potencial que toma en cuenta la diferencia de elevación definida en la Ecuación 2.36 Ecuación para energía potencial.

La Ecuación de Renouard es válida solo en los casos donde:

$$\frac{Q[m^3/h]}{D[mm]} < 150$$

Lo que significa que Re < 4x10⁶, es por este motivo que se utiliza la ecuación de Renouard para baja presión para realizar los cálculos en la red secundaria.

2.2 GAS NATURAL

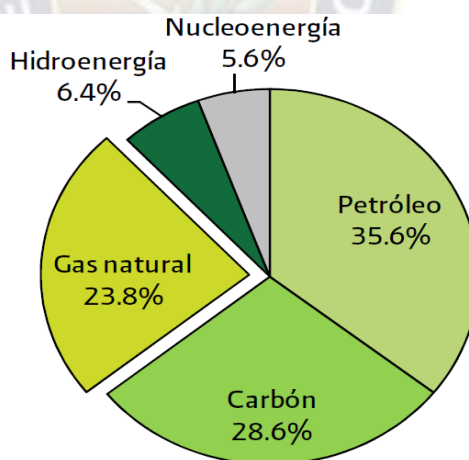
El Gas Natural es un gas combustible que se encuentra en la naturaleza en reservas subterráneas en rocas porosas, consiste en una mezcla de hidrocarburos, principalmente metano, y otros más pesados.

2.2.1 CARACTERÍSTICAS

Sus características principales son:

- El gas natural se consume tal y como se encuentra en la naturaleza. Desde que se extrae de los yacimientos hasta que llega a los hogares y puntos de consumo, el gas natural no pasa por ningún proceso de transformación. En la Figura 2.5 se muestra el consumo de gas en comparación con otras fuentes de energía.

Figura 2.5. Fuentes energéticas



Fuente: www.cuadroscomparativos.com [en línea]

- La estructura molecular más simple del gas natural facilita que queme limpiamente, por ello su combustión no produce partículas sólidas ni azufre.

- El gas natural es una de las fuentes de energía fósiles más limpia ya que es la que emite menos gases contaminantes (SO₂, CO₂, NO_x y CH₄) por unidad de energía producida.
- El gas natural constituye la tercera fuente de energía, después del petróleo y el carbón²⁴.

2.2.2 CLASIFICACIÓN POR ORIGEN

Dependiendo su origen se clasifica en:

- Gas asociado: Es el que se extrae junto con el petróleo y contiene grandes cantidades de hidrocarburos, como etano, propano, butano y naftas.
- Gas no asociado: Es el que se encuentra en depósitos que no contienen petróleo crudo

2.2.3 COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL

Tabla 2.2. Composición del Gas Natural

Componente	Formula	Gas No Asociado	Gas Asociado
Metano	CH ₄	95-98%	60-80%
Etano	C ₂ H ₆	1-3%	10-20%
Propano	C ₃ H ₈	0,5-1%	5-12%
Butano	C ₄ H ₁₀	0,2-0,5%	2-5%
Pentano	C ₅ H ₁₂	0,2-0,5%	1-3%
Dióxido de carbono	CO ₂	0-8%	0-8%
Nitrógeno	N ₂	0-5%	0-5%
Ácido Sulhídrico	H ₂ S	0-5%	0-5%
Otros	A, He, Ne, Xe	trazas	trazas

Fuente: www.cuadroscomparativos.com [en línea]

²⁴Agencia Internacional de Energías – AIE. Manual de estadísticas energéticas. EUROSTAT 2007.

El gas natural es un hidrocarburo formado principalmente por metano, aunque también suele contener una proporción variable de nitrógeno, etano, CO₂, H₂O, butano, propano, mercaptanos y trazas de hidrocarburos más pesados. El metano es un átomo de carbono unido a cuatro de hidrógeno (CH₄) y puede constituir hasta el 97% del gas natural.

2.2.4 CLASIFICACIÓN POR COMPOSICIÓN

Dependiendo su composición se clasifica en:

- Gas amargo: Contiene derivados del azufre (ácido sulfhídrico, mercaptanos, sulfuros y disulfuros)
- Gas dulce: Libre de derivados del azufre, se obtiene generalmente al endulzar el gas amargo utilizando solventes químicos o físicos, o adsorbentes
- Gas húmedo: Contiene cantidades importante de hidrocarburos más pesados que el metano, es el gas asociado
- Gas seco: Contiene cantidades menores de otros hidrocarburos, es el gas no asociado.

Tabla 2.3. Clasificación por Composición

Denominación Estándar	Gas Dulce Seco	Gas Amargo Seco	Gas Dulce Húmedo	Gas Amargo Húmedo
Componente	Gas No Asociado		Gas Asociado	
Etano	<10%	<10%	<10%	<10%
H ₂ S	<1%	<1%	<1%	<1%
CO ₂	<2%	<2%	<2%	<2%

Fuente: www.cuadroscomparativos.com [en línea]

2.2.5 PROPIEDADES DEL GAS NATURAL

2.2.5.1 PESO MOLECULAR

Es la unión de la de los pesos moleculares de cada elemento que conforman el gas natural. Las unidades del peso molecular son: Kgr/Kmol ó Lb/lbmol. El gas natural, es una mezcla de componentes y es por ello que el peso molecular del gas se obtiene sumando la fracción molar de cada i-ésimo componente por su respectivo peso molecular²⁵.

$$M_a = \sum_{i=1} y_i * M_i$$

Ecc. 2. 38. Ecuación peso molecular del gas natural

Donde,

M_a = Peso molecular aparente de una mezcla de gases

M_i = Peso molecular del i-ésimo componente de la mezcla de gases

y_i = Fracción molar del componente i en la mezcla

2.2.5.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA

Es la relación de la densidad de una sustancia a la densidad de una sustancia de referencia. Para efectuar la relación entre ambas sustancias, es necesario que ambas se encuentren a la misma presión y temperatura. Si asumimos²⁶ un comportamiento de gas ideal para ambas sustancias, la gravedad específica se puede expresar en función de los pesos moleculares de cada sustancia

$$GE = GE_{gas} / GE_{aire}$$

$$GE = PM_g / PM_{aire}$$

Ecc. 2. 39. Ecuación gravedad específica

²⁵Kumar, Sanjay. *Contribution in Petroleum Geology and Engineering - Gas Production Engineering*, 1987. Volume 4. United States of América. Traducción

²⁶Kumar, Sanjay. *Contribution in Petroleum Geology and Engineering - Gas Production Engineering*, 1987. Volume 4. United States of América. Traducción

Siendo el peso molecular del aire seco=29 lb/lbmol. Ambas relaciones son válidas y su unidad es: adimensional.

2.2.5.3 DENSIDAD DEL GAS NATURAL

Es la relación entre la masa y el volumen de una sustancia en estudio. En el caso del gas natural se puede demostrar que la densidad del mismo será:

$$\rho_g = \frac{m}{V} = \frac{\rho * M}{R * T}$$

Ecc. 2. 40. Ecuación densidad del gas natural

Donde: ρ_s =Densidad de la mezcla de gases lb/ft³

M =Peso molecular

2.2.5.4 PODER CALORIFICO

Cantidad de calor liberada en la combustión completa en aire de la unidad de masa de un combustible: [kJ/kg] o [kcal/kg] ([BTU/lb]). Para los gases se mide por unidad de volumen en condiciones de referencia de 15°C y 1 Atmósfera, siendo entonces las unidades [kJ/m³s] o [kcal/m³s] ([BTU/ft³ Std]).

Superior (PCS) es aquel que incluye el calor de condensación del vapor de agua de los gases de la combustión.

Inferior (PCI) no incluye el calor absorbido por el agua producida en la combustión, que en forma de vapor se lleva como calor de vaporización. Para la obtención del poder calorífico del gas natural se obtiene mediante la siguiente fórmula²⁷:

$$H = \sum_{i=1}^n X_i H_i = X_1 H_1 + X_2 H_2 + X_3 H_3 + X_{n-1} H_{n-1} \dots X_n H_n$$

Ecc. 2. 41. Ecuación poder calorífico

²⁷Kumar, Sanjay. *Contribution in Petroleum Geology and Engineering - Gas Production Engineering, 1987. Volume 4. United States of América. Traducción*

Donde:

X_i = Fracción Molar de cada componente

H_i = Poder Calorífico ideal cada componente a condiciones 15.56°C y 14.696 psia

2.2.5.5 VISCOSIDAD DEL GAS NATURAL

Es la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad del esfuerzo cortante, que se aplica a una porción de fluido para que adquiera movimiento (viscosidad dinámica). Hay distintos tipos de viscosidad, siendo las de mayor estudio la dinámica y la cinemática, siendo ésta última la resistencia que se genera al fluir un fluido bajo el efecto de la gravedad. La viscosidad de los gases tendrá el siguiente comportamiento²⁸:

- A bajas presiones (menor a 1500 lpc), un aumento de la temperatura aumentará la viscosidad del gas.
- A altas presiones (mayor a 1500 lpc), un aumento de la temperatura disminuye la viscosidad.
- A cualquier temperatura, si se aumenta la presión la viscosidad aumenta.
- La viscosidad será mayor, a medida que el gas posea componentes más pesados.

2.2.6 FACTOR DE COMPRESIBILIDAD

Es un factor de corrección introducido en la ecuación general de los gases y será obtenido experimentalmente dividiendo el volumen real de n moles de un gas a presión y temperatura, por el volumen ideal ocupado por la misma masa de gas a iguales condiciones de presión y temperatura.

La ecuación a usar será de los gases ideales pero con el factor Z como corrección:

²⁸Kumar, Sanjay. *Contribution in Petroleum Geology and Engineering - Gas Production Engineering, 1987. Volume 4. United States of America. Traducción*

$$P * V = Z * n * R * T$$

Ecc. 2. 42. Ecuación de gases ideales con factor Z

El factor Z, es función de propiedades pseudo reducidas, es decir, $Z = f: (P_{pr}, T_{pr})$. Por ello es necesario encontrar una serie de parámetros que nos permitirán encontrar el factor Z, entrando en una gráfica adecuada, con P_{pr} y T_{pr} . Para hallar las propiedades pseudocríticas se pueden determinar a través de las composiciones molares de cada componente del gas natural o a través de la gravedad específica del mismo.

Para determinar Z, por la gráfica es necesario conocer algunos parámetros que se enuncian a continuación:

$$T_{PC} = 168 + 325\gamma_g - 12.5\gamma_g^2$$

Ecc. 2. 43. Ecuación temperatura pseudocrítica

$$P_{PC} = 677 + 15.0\gamma_g - 37.5\gamma_g^2$$

Ecc. 2. 44. Ecuación presión pseudocrítica

Con las propiedades pseudocríticas hallamos las pseudoreducidas y con éstas el valor de Z de la gráfica.

$$P_{Pr} = \frac{P}{P_{pc}}$$

Ecc. 2. 45. Ecuación presión pseudoreducida

$$T_{Pr} = \frac{T}{T_{pc}}$$

Ecc. 2. 46. Ecuación temperatura pseudoreducida

Para cuando el gas posee componentes no hidrocarburos será necesario introducir una corrección de las propiedades pseudocríticas, la cual se determinará por medio

de las siguientes ecuaciones, y obtenidas las propiedades pseudoreducidas, hallar el factor Z.

Ahora vamos a corregir por la presencia de sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono. El error E, se puede determinar gráficamente o analíticamente por la siguiente Ecuación²⁹.

$$T'_{pc} = T_{pc} - \varepsilon$$

Ecc. 2. 47. Ecuación de temperatura pseudocrítica corregida

$$P'_{pc} = \frac{P_{pc} T'_{pc}}{T_{pc} + B(1 - B)\varepsilon}$$

Ecc. 2. 48. Ecuación de presión pseudocrítica corregida

$$\varepsilon = 120[A^{0,9} - A^{1,6}] + 15[B^{0,5} - B^{4,0}]$$

Ecc. 2. 49. Ecuación error relativo

$$A = y_{H_2S} + y_{CO_2}, \quad B = \text{fracción molar de } H_2S$$

Con las correcciones ya hechas, volvemos al cálculo de las propiedades pseudoreducidas y hallamos Z de la gráfica.

$$P_{Pr} = \frac{P}{P'_{pc}}$$

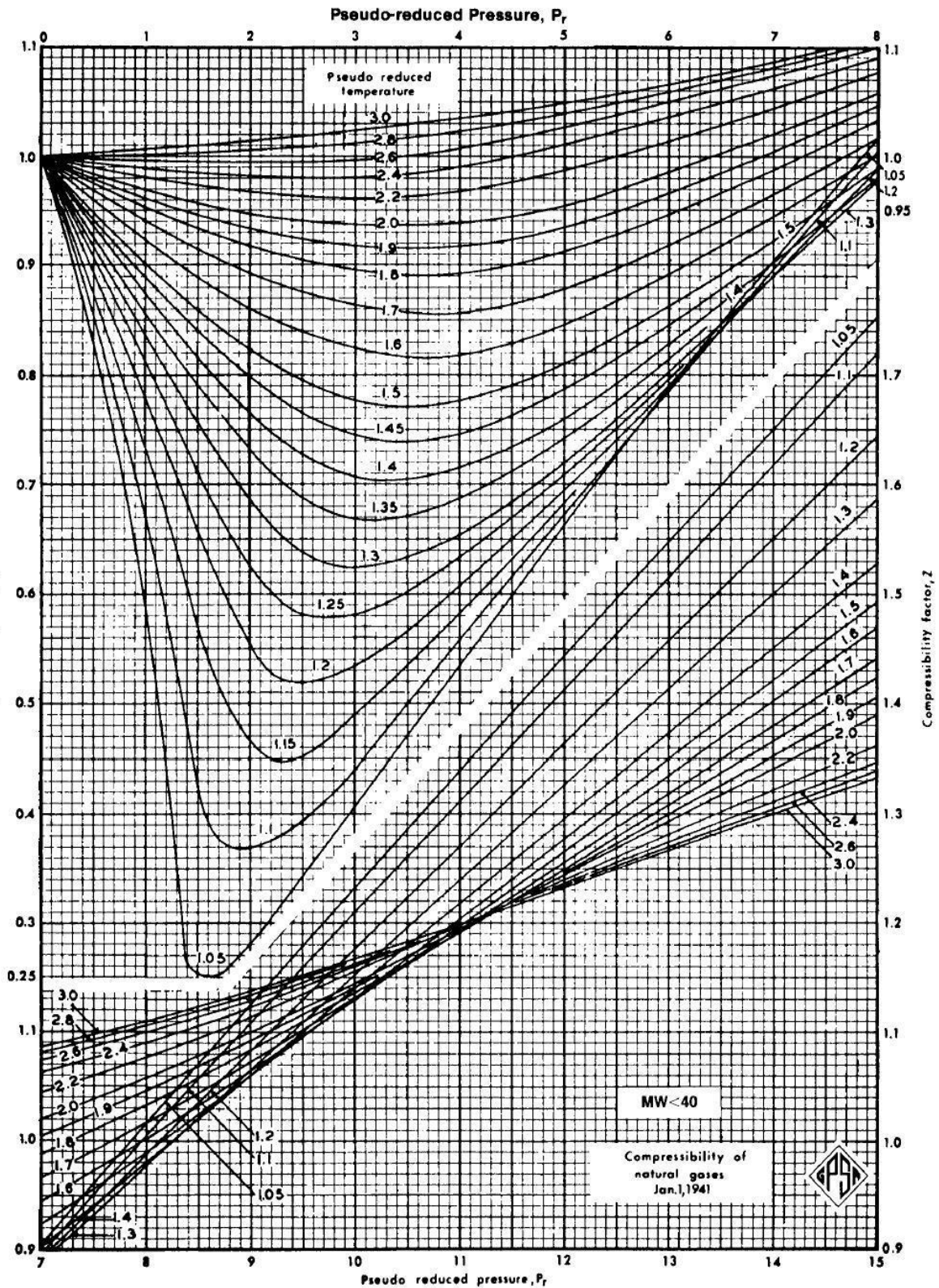
Ecc. 2. 50. Ecuación presión pseudoreducida corregida

$$T_{Pr} = \frac{T}{T'_{pc}}$$

Ecc. 2. 51. Ecuación temperatura pseudoreducida corregida

²⁹Ingeniería de yacimientos I y II, Gustavo Prato y Ángel Da silva respectivamente.

Figura 2.6. Grafica para Encontrar el Factor de Compresibilidad Z del Gas Natural



Fuente <https://catedras.facet.unt.edu.ar> [En Línea]

2.3 OBTENCIÓN DEL GAS NATURAL

La exploración consiste en “buscar” yacimientos de petróleo y/o gas. El petróleo y el gas son fluidos que emigran hasta encontrar una roca que pueda almacenarlos a esto se conoce como “yacimiento o reservorio”.

El primer objetivo es encontrar una roca que se haya formado en un medio propicio para la existencia del petróleo, es decir, suficientemente porosa y con la estructura geológica de estratos adecuada para que puedan existir bolsas de petróleo. Hay que buscar, luego, una cuenca sedimentaria que pueda poseer materia orgánica enterrada hace más de diez millones de años. Para todo ello, se realizan estudios geológicos de la superficie, se recogen muestras de terreno, se realizan estudios por Rayos X, se perfora para estudiar los estratos y, finalmente, con todos esos datos se realiza la carta geológica de la región que se estudia. Tras nuevos estudios “sobre el terreno” que determinan si hay rocas petrolíferas alcanzables mediante prospección, la profundidad a la que habría que perforar, etc., se puede llegar ya a la conclusión de si merece la pena o no realizar un pozo-testigo o pozo de exploración.

La Perforación es la práctica mediante la cual se confirma la existencia de hidrocarburos en el subsuelo. Para ello es necesaria la perforación de pozos de hasta 7000 m de profundidad, con diámetros variables entre 32 y 7 pulgadas.

Luego de haber realizado la perforación, se deben ejecutar pruebas de producción para comprobar cuanto puede producir el pozo y el radio de drenaje. Además es necesario desarrollar el campo, esto se logra perforando más pozos, hasta cubrir todo el campo. Los fluidos de un yacimiento (petróleo, gas, agua) entran a los pozos impulsados por la presión a los que están confinados en el mismo. Si la presión es suficiente, el pozo resultará "surgente": produce sin necesidad de ayuda. Pero en la mayoría de los casos esta surgencia natural decrece y el pozo deja de producir.

Para proseguir con la extracción se procede a la utilización de métodos artificiales de producción³⁰.

2.3.1 TRANSPORTE DEL GAS NATURAL

Los fluidos producidos en campos con facilidades y/o plantas de tratamiento, deben ser transportados hasta las refinerías, plantas petroquímicas o mercados de consumo. La construcción de un ducto supone una gran obra de ingeniería y por ello, en muchos casos, es realizada conjuntamente por varias empresas. También requiere de estudios económicos, técnicos y financieros con el fin garantizar su operatividad y el menor impacto posible en el medio ambiente.

El gas natural es transportado por gasoductos. El Sistema Norte conecta las ciudades de La Paz, Oruro, Cochabamba y Santa Cruz, con una longitud total de 1.270 Km. Este sistema tiene una capacidad de transporte de 6 millones de metros cúbicos al día (MMmcd). El Sistema Sur atiende las ciudades de Sucre, Potosí y Tarija con una longitud total aproximada de 1.700 Km. El tramo más importante de este sistema nace en Yacuiba, ducto de 36 pulgadas de diámetro, 440 Km. de longitud hasta Río Grande (Santa Cruz), cabecera del gasoducto Bolivia – Brasil. La capacidad de transporte del Sistema Sur es de 7,2 MMmcd.

El gas natural es transportado hasta los centros de consumo. Al entrar a la ciudad el gas natural es odorizado para posteriormente ser distribuido mediante las Estaciones Distritales de regulación (EDR) a las estaciones de servicio (GNV), comercios, industrias y usuarios domésticos.

³⁰Revista Gas y Desarrollo – Análisis y Perspectivas, Crecimiento Histórico Y Proyecciones Nacionales, YPFB 2013.

2.4 ESTACION DISTRITAL DE REGULACIÓN

La Estación Distrital de Regulación y Medición (EDR) son 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.

La Red primaria es un conjunto de cañerías o ductos de acero o de otro material que conforma la matriz el sistema de distribución a partir de la estación de recepción y despacho, cuya presión de operación supera a los 6,9 bares o 100 psig por lo cual también se denominan sistemas de alta presión.

La Red secundaria es el conjunto de cañerías o ductos de acero, polietileno u otro material que conforman sistemas reticulares a partir de las estaciones distritales de regulación y operan a una presión entre los 500 mmbar o 7,25 psig hasta los 7 bares o 100 psig, por lo cual también se denominan sistemas de media presión. Los EDR tiene equipos de odorización³¹, el cual se utiliza para dar un olor al gas natural de esta manera se podrá detectar si existe fuga en las instalaciones domiciliarias, comerciales, e industriales.

2.4.1 FUNCIONAMIENTO DEL EDR

La Estación Distrital de Regulación permite regular la presión de ingreso de 23 bares que proviene de la red primaria a una presión de salida de 4 bares para la red secundaria. El gas natural distribuido a altas presiones debe ser regulado a presiones menores de distribución y medido para control.

La Estación Distrital de Regulación es un sistema de regulación y medición de gas natural que garantiza el abastecimiento a la red secundaria de forma continua y

³¹Revista Gas y Desarrollo – Análisis y Perspectivas, Crecimiento Histórico Y Proyecciones Nacionales, YPFB 2013.

segura, es un elemento que logra la transición de un sistema primaria a uno secundario en distribución de gas natural.

La Estación Distrital de Regulación permite el suministro de gas natural a la red secundaria, para este fin se requiere la interconexión a la red primaria, la construcción de la acometida especial, la línea de enfriamiento, el transporte y el montaje del EDR sobre sus zapatas, y la construcción de sus respectiva caseta de protección, soldadura de juntas y su respectiva prueba hidráulica, radiografiado de juntas y protección catódica.

2.4.2 COMPONENTES DEL EDR

Los EDR están compuestos generalmente de la línea activa, línea Stabd-by y línea By-pass, estas líneas están compuestas por las siguientes partes principales³²:

- a) Válvula de bola de giro: el cual se acciona al momento de habilitar el EDR para el paso del gas hacia el filtro, regulador y medidor.
- b) Válvula mariposa: la válvula de mariposa es utilizada en el seccionamiento de conducciones de fluidos de presión.
- c) Válvula de aguja para el manómetro: consiste en una válvula de aguja de bloqueo con un purgador incorporado que ventea a la atmosfera de a través de un canal practicado en el mismo cuerpo.
- d) Filtro: los filtros están diseñados según el código ASME IIIV Div.1, son los encargados de eliminar las impurezas solidas del flujo gaseoso, para la protección de reguladores y medidor a la turbina mediante cartuchos intercambiables.
- e) Regulador: el sistema de regulación permite reducir la presión de entrada a la presión requerida, sin interrumpir el servicio. Cuenta con dos ramales de regulación.

³² *Revista Gas y Desarrollo – Análisis y Perspectivas, Crecimiento Histórico Y Proyecciones Nacionales, YPFB 2013.*

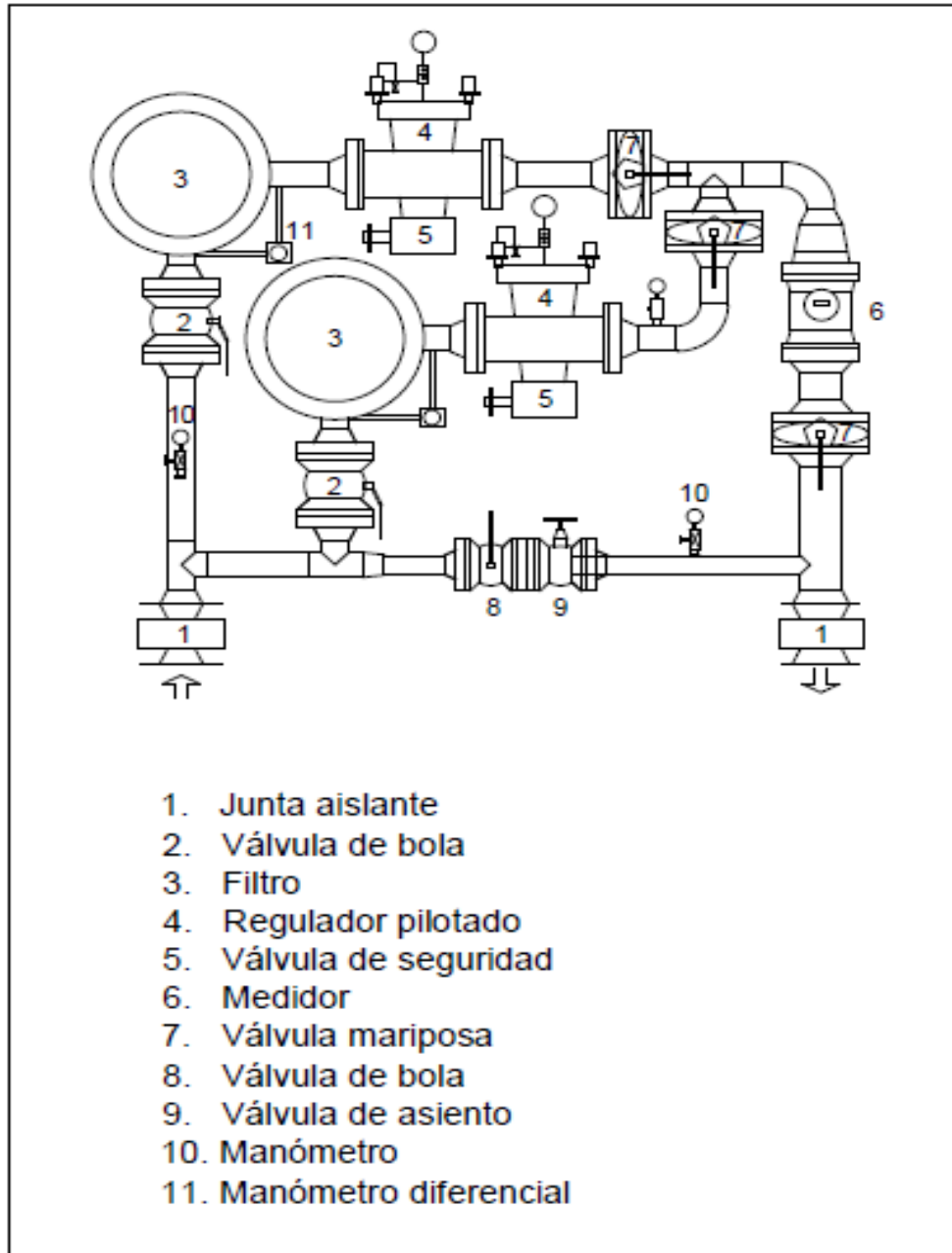
- f) El ramal de regulación principal calculada para el 100% del caudal a mínima presión de entrada, está compuesto por una válvula de regulación con bloqueo incorporado por sobre presión y reposición manual. La válvula reguladora se encuentra calibrada a 4 bares, en tanto que su bloqueo operara a 4,6 bares. El seteo de los reguladores hace que en caso de bloqueo del regulador principal entre en funcionamiento en forma automática el ramal secundario.
- g) Manómetro de entrada: manómetro diseñado para indicar la presión en este caso nos muestra la presión de ingreso al EDR de 25bar.
- h) Manómetro de salida: diseñado para indicar la presión en este caso nos muestra la presión de EDR después del regulador que es de 4 bares en la línea activa.
- i) Medidor: la edición de la EDR es realizada por una turbina en el cual se lleva el computador de flujo. Dentro del tramo recto anterior al medidor se encuentra el enderezador de vena fijada mediante tornillo prisionero para garantizar un flujo laminar a la llegada de la turbina. En el tramo recto anterior de la turbina se encuentra la toma de temperatura.
- j) Válvula globo: esta válvula se habilita manualmente cuando las dos líneas: activa y stand by no están funcionando las características técnicas son similares a la válvula bola.

La estación Distrital de Regulación y Medición está como se menciona anteriormente está compuesta por tres líneas de alimentación:

- 1) Línea activa, que está compuesta por:
 - Manómetro (< 51Bar)
 - Válvula
 - Regulador (presión del regulador aguas debajo de marcar 4 bar)
 - Filtros
- 2) Línea Stand –by está compuesta por:
 - Manómetro (< 51Bar)
 - Válvula

- Regulador (presión del regulador aguas debajo debemarcarse 3.8 bar)
 - Filtros
- 3) Línea By – Pass esta línea funciona manualmente en caso de que la línea activa y la Stand – by no funcionen adecuadamente.

Figura 2.7. Partes de un EDR



Fuente: Revista Gas y Desarrollo, YPFB 2013

2.4.3 FUNCIONAMIENTO DE LA REGULACION

La interrupción del paso de fluido se produce por la interposición del obturador (elemento que en su giro alrededor del eje, permite o impide el paso) cuyo movimiento de giro se realiza alrededor de un eje ortogonal (elemento que, solidario con el obturador, hace girar a este para realizar la maniobra de cierre o apertura) al de circulación y solidario con el mismo.

La válvula funcionara en dos posiciones básicas: abierta y cerrada³³.

- DN, diámetro nominal: designación alfanumérica de la dimensión de los componentes utilizada como referencia. Incluye las letras DN seguidas de un numero entero adimensional, que está relacionado con las dimensiones reales en milímetros, del taladro o del diámetro exterior de las conexiones.
- DP, presión de diseño: presión máxima de funcionamiento de la red o de la zona de presión, será fijada considerando futuras ampliaciones pero excluyendo el golpe de arriete
- MDP., presión máxima de diseño: presión máxima de funcionamiento de la red o de la zona de presión, fijada considerando futuras ampliaciones e Incluyendo el golpe de arriete.
- PFA, presión de funcionamiento admisible: presión hidrostática máxima que un componente es capaz de soportar de forma permanente en servicio.
- PMA, presión máxima admisible: presión máxima, incluido el golpe de arriete, que un componente es capaz de resistir en servicio
- PEA, Presión de ensayo admisible: presión hidrostática que puede resistir un componente instalado recientemente, durante un periodo de tiempo relativamente corto, para asegurar la integridad y estanquidad de la conducción.

³³Manual de Usuario,SOFREGAZContrat 960.0.C.05. Bolivia 1000 m³/h, Francel 57 803

- PN Presión nominal: designación alfanumérica utilizada como referencia, que se relaciona con una combinación de características mecánicas y dimensionales de un componente del sistema de tuberías. Incluye las letras PN seguidas de un número adimensional

2.5 SOFTWARE WINFLOW

WinFlow es un software capaz de resolver sistemas de redes de transmisión o distribución, creado con un enfoque casi real, WinFlow actúa y reacciona como lo haría una tubería en la vida cotidiana. Calcula de forma rápida y precisa la relación equilibrada de presión-flujo de estado estable para redes de tuberías simples a complejas utilizando un método sofisticado de solución patentada.

Debido a la velocidad excepcional de WinFlow, resuelve fácilmente los sistemas de redes de transmisión, recolección o distribución. Los usuarios son capaces de simular cada aspecto de su sistema con esta aplicación. Las funciones y la funcionalidad de WinFlow pueden manejar muchas cosas.

2.5.1 REGLAS FUNDAMENTALES PARA LA SIMULACIÓN EN WINFLOW

La simulación de redes de gas en WinFlow se debe simular bajo condiciones de estado estacionario para poder simular adecuadamente lo cual significa que las condiciones no cambian con el tiempo. Los sistemas de tuberías no operan en condiciones perfectamente estables, pero algunos sistemas de tuberías permanecen lo suficientemente estables para que la simulación de estado estable se pueda usar para modelar adecuadamente su comportamiento³⁴.

³⁴Winflow 2015 User Manual, 2015. Gregg Engineering, Inc., 403 Julie Rivers Drive, Sugar Land, Texas 77478, USA

Previamente de la descripción de las reglas fundamentales se debe describir los términos que se necesitaran en el transcurso de la descripción, entre estas están:

K: Indica cuando un parámetro es conocido.

U: Indica cuando un parámetro es desconocido.

Nodo (Node): representa un punto en la gráfica, el cual tiene lleva parámetros del fluido que se está transportando, en este caso el fluido es gas natural.

Línea (Leg): representa la línea que está transportando el fluido con los parámetros de esta, en el caso del gas natural sería tubería de polietileno o tubería de acero.

En las reglas básicas se determina que parámetros deben ser conocidos y desconocidos para poder realizar la simulación. Las reglas para poder realizar la simulación son las siguientes:

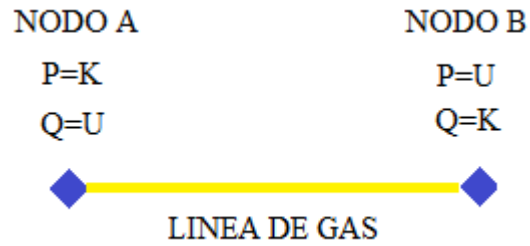
- 1ra regla: El número de conocidos (K) debe ser igual al número de desconocidos (U)
- 2da regla: En un sistema debe haber al menos una presión conocida (K).
- 3ra regla: En un sistema debe haber al menos una caudal desconocido (U).

Estas reglas deben ser cumplidas para poder tener un modelo balanceado y de esta manera la simulación será la adecuada para su análisis.

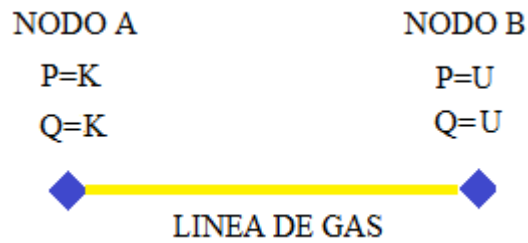
Para seguir estas reglas se muestra los diferentes casos que se pueden encontrar en la introducción de parámetros de cada nodo, también se muestra los casos en que cumplen con las reglas fundamentales:

Figura 2. 8. Casos de Introducción de Parámetros de Nodos

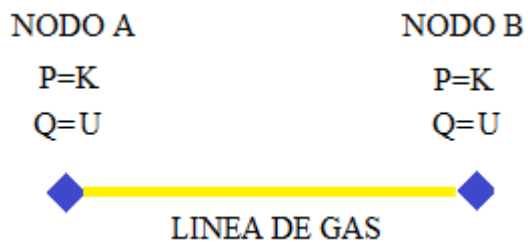
- a) Caso 1: cumple con las reglas



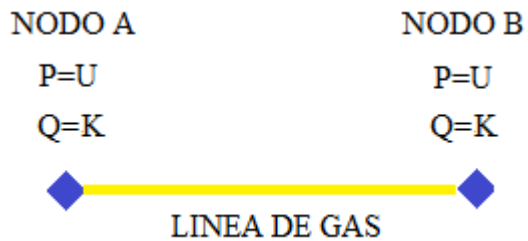
b) Caso 2: Cumple con las reglas



c) Caso 3: Cumple con las reglas



d) Caso 4: No cumple con las reglas



Fuente: WinFlow 2015 User Manual, 2015.

2.5.2 REQUISITOS PARA LA MODELACION

Los archivos principales que se necesitan para la modelación en el WinFlow son los shapefiles. Los shapefiles son simples porque almacenan tipos de datos geométricos primitivos de puntos, líneas y polígonos. Estas primitivas son de uso limitado sin ningún atributo para especificar lo que representan. Por lo tanto, una tabla de registros almacenará propiedades / atributos para cada forma primitiva en el shapefile.

Mientras que el término "shapefile" es bastante común, un "shapefile" es en realidad un conjunto de varios archivos. Normalmente, tres archivos individuales son obligatorios para almacenar los datos centrales que comprenden un shapefile. Hay otros ocho archivos opcionales que almacenan principalmente datos de índice para mejorar el rendimiento.

Archivos obligatorios:

.shp: formato de forma; la propia geometría característica

.shx: formato de índice de forma; un índice posicional de la geometría de la entidad para permitir la búsqueda hacia adelante y hacia atrás rápidamente

.dbf: formato de atributo; Atributos columnares para cada forma, en formato de base III.

.Prj: Formato de proyección; el sistema de coordenadas y la información de proyección, un archivo de texto sin formato que describe la proyección en formato de texto. La información de proyección contenida en el archivo .PRJ es crítica para comprender correctamente los datos contenidos en el archivo shp. El proyecto debe estar en metros o pies (Grado no es aceptado por WinFlow)³⁵.

³⁵WinFlow GIS User Manual, 2015.GreggEngineering, Inc. 403 JulieRivers Drive SugarLand, Texas 77478 USA. Traducción

2.5.3 METODOLOGIA DEL CÁLCULO DENTRO DEL SOFTWARE WINFLOW

El software WinFlow utiliza la resolución del sistema de ecuaciones ramificado, el método de los elementos finitos de forma discreta. Se Proporciona el consumo en los nodos en forma de caudal, tomando en consideración, que cada usuario consume un promedio de 1 m3/h. Ya que el consumo mínimo de cada usuario que paga es de un millar de pie cubico a 9 bs.

Para la resolución de cada uno de los segmentos de la instalación se calcularon las caídas de presión, entre dos nodos, conectados por un tramo por medio de la fórmula de Renouard. Como la presión de suministro es mayor a 0,1 utiliza la fórmula de Renouard cuadrático:

$$P_1^2 - P_2^2 = \frac{C_{R \text{ cuadratica}} * \rho_{Rel} * L * q_S^{1,82}}{d^{4,82}}$$

Ecc. 2. 52. Ecuación de Renouard cuadrático

Donde:

P_1 y P_2 = son las presiones absolutas del gas en el nodo inicial y final del tramo o leg (bar)

$C_{R \text{ cuadrática}}$ = El coeficiente Relacional cuadrático, constante de la fórmula de Renouard cuadrática, su valor para presiones entre 0,1 y 4bar es de 48,66 y para presiones mayores entre 4 y 16bar es de 51,5.

ρ_{Rel} = Densidad relativa del gas, 0,62

L = Longitud de tubería entre los dos nodos (m)

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

q_S = caudal que circula por la tubería (m3/h)

El cálculo de la velocidad se realiza por medio de:

$$V = \frac{C_v * q_s * z}{P * D^2}$$

Ecc. 2. 53. Ecuación para el cálculo de la velocidad en tubería

Donde:

C_v = es la constante de valor 354 para presiones entre 0,1 y 4bar, y para presiones superiores a 4bar se utiliza el valor de 378.

z = es el factor de compresibilidad del gas, dato que se tomara como 1 ya que estamos trabajando con presiones menores a 4 bar.

La fórmula de Renouard no tiene validez para los valores de P1 y P2 menores que cero. En efecto, la fórmula de Renouard cuadrática proporciona el mismo valor de caudal tanto si P1 es igual a 1 bar y P2 igual a 0,5 bares, como en el caso en que P2 sea igual a -0,5bar.

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

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

La conducción de esta discretización incrementa el número de nodos 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 nodos generados por dicha discretización.

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)

2.5.4 SISTEMA RAMIFICADO

Para resolver el sistema ramificado se emplea una variante del método de los elementos finitos discretizado. Se considera el modelo de la conducción como una matriz de rigidez (K) para cada uno de los elementos de la red:

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

Ecc. 2. 54. Matriz de rigidez (K)

Donde:

$G^{(e)}$ = es el 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 de presión fija.

2.6 CRITERIOS PARA LOS TRABAJOS DE OBRAS CIVILES PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA³⁶

La gestión de un proyecto de distribución de gas natural debe darse en todas sus fases, desde el planeamiento hasta la operación y mantenimiento del mismo. Las redes secundarias son diseñadas generalmente sobre las aceras, existiendo una secuencia de pasos para los trabajos civiles, entre los trabajos que contemplan están: rotura de veredas, rotura de pavimento, zanqueo, tapada y compactación de la zanja, reparación de veredas y pavimentos, y la restitución del entorno y lugar de ejecución de las obras, entre los trabajos de obras mecánicas están: tendido de tubería y soldadura.

2.6.1 ROTURA DE PAVIMENTOS Y VEREDAS

Cuando la tubería atraviesa calles, callejones o pasajes, se deberán tener en cuenta las siguientes disposiciones:

- Al romperse ya sea acera o calzada, debe colocarse el material que se extrae a un costado de la zanja, de modo que quede libre el espacio del lado opuesto de ésta para colocar la tierra que se extrae, a efectos de evitar que se mezclen ambos materiales. Debe tenerse bien presentes las disposiciones de las autoridades municipales, en lo que atañe a la ubicación de los materiales extraídos, así como el tiempo máximo que las mismas permitan tener las zanjas abiertas, siempre que no supere el plazo 10 días.
- En caso de rotura de alcantarillas o desagües, se debe tomar las previsiones mientras no sean reparados en forma definitiva, el agua pueda circular sin inconvenientes, para lo cual debe efectuarse una reparación provisional en el momento de la rotura. En caso de que se averíen tuberías de agua potable de relativa importancia, debe procederse a repararlas de inmediato. Si la tubería de agua potable averiada es de importancia o se tratase de un

³⁶ Agencia Nacional de Hidrocarburos - Normativa Para Distribución De Gas Natural Por Redes, Anexo 2. Construcción de Redes de Gas Natural. 2015

conductor eléctrico, etc., se deberá dar cuenta de inmediato a la Empresa de Servicios correspondiente a efectos de subsanar a la brevedad el desperfecto.

- Se debe colocar el material extraído de las veredas y del posterior zanjeo, en lugares donde no puedan molestar la salida de vehículos de garajes, depósitos, talleres u otros espacios con acceso de vehículos. Los materiales que se extraigan durante la ejecución de la rotura de veredas y pavimentos, no debe obstruir las zonas por donde escurren las aguas de desagües pluviales. La rotura de veredas y pavimentos deben hacerse del ancho previstos para cada tipo de zanja, no aceptándose en modo alguno la realización de roturas inferiores a dichos ancho

2.6.2 ZANJEO

El método de apertura de zanjas en la construcción de las redes, en general debe hacerse con herramientas manuales, debido a la complicación que presenta el subsuelo de las ciudades. Sólo se podrá emplear maquinarias cuando se tenga la seguridad que el subsuelo se encuentra liberado de otras líneas de servicio o instalaciones.

Durante la construcción de la zanja, debe eliminarse los elementos cortantes como chapas, latas, etc., o punzantes como piedras, hierros, etc., que podrían afectar a la tubería de PE o al revestimiento de la tubería de acero, cuando ésta sea tendida.

2.6.3 TENDIDO DE TUBERIA

Esta actividad se refiere a la disposición de la tubería a lo largo del trazado, lo más cerca posible al sitio de la zanja, para facilitar las labores de alineación, soldadura, bajado y tapado. El transporte se efectúa en vehículos que dispongan de superficies planas con ausencia de aristas cortantes que puedan dañar el polietileno. El transporte de rollos se efectúa colocándolos en posición vertical y paralelos unos a

otros, con la precaución de no colocar más de una capa de rollos cada vez para evitar ovalizaciones.

2.6.4 SOLDADURA DE TUBERIAS DE POLIETILENO

Antes de realizar la soldadura se requiere alinear los tubos para que este proceso quede bien hecho. Esta actividad se hace en la mayoría de los casos con carros alineadores.

Se procede con la soldadura por electrofusión que consiste en la unión de tuberías de polietileno, por medio de accesorios que en su superficie interna llevan incorporadas una o varias resistencias, y al pasar corriente eléctrica a través de éstas, producen calor suficiente para que el polietileno del accesorio y el de la superficie del tubo se fundan y permitan su soldadura.

Una vez finalizada con la soldadura, se procede con la prueba de hermeticidad, esta prueba permite verificar que la tubería que se chequea ha quedado sin escapes. Esta prueba se efectúa de acuerdo con la presión de servicio a la que se va a trabajar. Se puede realizar en forma completa o por tramos y siempre antes de enterrar la tubería. La prueba consiste en inyectar aire a presión durante un tiempo determinado efectuando las mediciones periódicas requeridas. Por lo general la presión de prueba está por encima 1.5 veces de la presión de operación. Para efectuar la prueba se utilizará compresor o fuente de suministro de aire e indicadores de presión.

2.6.5 TAPADA Y COMPACTACIÓN DE LA ZANJA

Una vez concluida las obras mecánicas y las pruebas de resistencia y hermeticidad se procederá a realizar la tapada y compactación de la siguiente manera:

- La primera capa de relleno es de aproximadamente de 0,10 m a 0,20 m por encima del borde superior de la tubería. Esta capa está constituida por arena o tierra libre de restos de contrapisos o de pavimentos, piedras, terrones y

otros agregados gruesos, elementos cortantes, residuos y otros. Sí no se dispone del tipo de relleno adecuado se procede al tamizado o en su defecto proveerlo. Esta primera capa debe compactarse cuidadosamente y con herramientas manuales apropiadas.

- Cuando se instala tubería de DN > 125 mm, se permite el uso de agua en la proporción mínima indispensable para rellenar los intersticios que pudieran quedar en la parte inferior de la tubería.
- A la capa inicial se agregarán sucesivas capas de tierra obtenida del zanjeo, de aproximadamente 0,30 m cada una, libres de restos de rotura de contrapisos o de pavimentos, piedras, elementos cortantes, residuos y otros. Cada capa debe repartirse uniformemente y compactarse con herramientas manuales o con equipos mecánicos livianos. Los rodillos o compactadores mecánicos pesados deben usarse solamente para consolidar la última capa, siempre y cuando exista una cobertura compactada mínima de 0,60 m.
- En el proceso de la tapada se instala una cinta de señalización a 0,30 m por debajo del nivel del suelo, sobre una superficie compactada y plana, y la misma debe estar centrada con respecto al eje longitudinal de la zanja.
- El grado de compactación del relleno en calzadas o rutas es el establecido por el Supervisor de Obra, siempre que la tubería no sufra deformación por aplastamiento. Si existe aplastamiento, la tubería será protegida mecánicamente, previa aprobación del Supervisor de Obra.

2.6.6 REPARACION DE VEREDAS Y PAVIMENTOS

Una vez asentada la tierra de la zanja, se procede a ejecutar el contrapiso para las veredas, para este fin, debe utilizarse el material extraído durante la rotura de la vereda, el cual debe ser roto en trozos adecuados para efectuar el trabajo correspondiente.

Los mosaicos deben ser de igual calidad, forma, tamaño que los destruidos. Podrán utilizarse mosaicos que fueran sacados enteros al efectuar la rotura de la vereda,

pero éstos deben estar en perfectas condiciones y su colocación debe ser expresamente autorizada por la Supervisión de Obra.

La vereda, una vez terminada deberá tener el mismo o similar aspecto que tenía antes de ser ejecutados los trabajos de colocación de la cañería.

En caso de haberse realizado rotura de pavimento, el Contratista deber repararlo teniendo en cuenta las especificaciones técnicas. La característica de los pavimentos a construir debe ser similar al existente y en su reposición se debe contemplar las exigencias municipales.

2.6.7 PROGRAMA SEGURIDAD INDUSTRIAL

Este programa se define como actividad preventiva fundamental la capacitación de los trabajadores en materias de seguridad y salud laboral en las actividades relacionadas especialmente en el ámbito de la construcción civil. Los procedimientos de las actividades preventivas tienen un valor esencial, con ellos se cumple una exigencia legal, pero además permiten disponer del mecanismo necesario para facilitar el aprendizaje por parte de quienes están implicados en la acción preventiva y, no menos importante, facilitan el proceso de seguimiento y evaluación, que es determinante en toda acción de mejora.

La planificación preventiva para el control de los riesgos se establecerá a partir de la evaluación inicial. En tal planificación se deberá englobar 5 puntos básicos, los cuales se desarrolla a continuación.

2.6.7.1 MEDIDAS/ ACTIVIDADES PARA ELIMINAR Y REDUCIR RIESGOS

Se consideran como tales las medidas de prevención en el origen del riesgo, de protección colectiva, de protección individual, de formación e información, mediante un sistema de registro que permita documentar dichas medidas o actividades.

2.6.7.2 INFORMACIÓN, FORMACIÓN Y PARTICIPACIÓN DE LOS TRABAJADORES

Se deberá informar y formar a los trabajadores sobre los riesgos a los que están expuestos y las medidas preventivas a seguir a través de charlas. Además, los trabajadores o sus representantes deben ser consultados en todas aquellas cuestiones que afecten a su seguridad y salud en el trabajo.

2.6.7.3 ACTIVIDADES PARA EL CONTROL DE RIESGOS

Estas implican actividades para el control periódico de las condiciones de trabajo, de la actividad de los trabajadores y de su estado de salud. Así, podemos citar por ejemplo: inspecciones periódicas, mantenimiento, vigilancia de la salud, etc. Los mismos que se registraran en los diferentes formularios.

2.6.7.4 ACTUACIONES FRENTE A CAMBIOS PREVISIBLES

Los cambios en las instalaciones, equipos o procedimientos de trabajo, en la plantilla de trabajadores, las rotaciones de puestos de trabajo, etc. pueden modificar significativamente las condiciones de seguridad y salud en el trabajo de la empresa. Esto se tomara muy en cuenta al hacer la evaluación de riesgos y la planificación preventiva.

2.6.7.5 ACTUACIONES FRENTE A SUCESOS PREVISIBLES

Deben planificarse las actuaciones a seguir ante riesgos graves e inminentes, situaciones de emergencia y necesidad de prestar primeros auxilios.

2.6.1 CRITERIOS AMBIENTALES PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA

Para evitar daños al medio ambiente se tiene criterios a tomar en cuenta en diferentes puntos, desarrollados a continuación.

2.6.1.1 TAPADA DE ZANJA

En la zona rural, usual mente las especificaciones piden hacer el relleno y la compactación o tapado del suelo mediante máquinas pesadas con orugas, pasándolas como mínimo cuatro veces por encima del material que rellena la zanja y en capas, especialmente al final. Normalmente se utilizan para este fin motoniveladoras y bulldozers. En la zona urbana, se cubre la tubería de polietileno o acero, colocada en el fondo de la zanja, con una capa de 0.20 m de material seleccionado de la excavación o material de préstamo. Cuando el relleno compactado llegue a una altura de 0.20 m por encima de la clave de la tubería, se procede a colocar a lo largo de la zanja la cinta de señalización. Posteriormente se continúa el relleno terminando el cubrimiento y compactación con apisonador mecánico hasta lograr la densidad de compactación requerida

2.6.1.2 DISPOSICIÓN DE MATERIAL SOBRENTE DE EXCAVACIÓN

En el ámbito urbano todos los materiales provenientes de excavaciones que no se utilicen en la obra, deberán ser cargados y retirados a las zonas de botadero indicadas por la autoridad competente. En lo rural, el material se distribuirá uniformemente a lo largo de la línea, procurando dejar una conformación morfológica del terreno semejante a la original. De no ser esto posible, el material se llevará a los botaderos autorizados por la autoridad ambiental competente, cumpliendo con las especificaciones ambientales.

2.6.1.3 RECONFORMACIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO O DERECHO DE VÍA

En la zona urbana, son las reparaciones que se realizarán después de la instalación de la tubería y comprende la reposición de andenes, sardineles, zonas verdes y en general todo lo que haya sido afectado durante el proceso de construcción. Los materiales de reposición deben tener las mismas especificaciones de los existentes, procurando que no presente variaciones significativas en cuanto a colores, formas, tamaños y calidad. Cuando la tubería atraviesa zonas asfálticas, los materiales de

reposición deben tener las mismas especificaciones o mejores que las que se encontraron. La reconformación de esta zona de trabajo se debe realizar en el menor tiempo posible. En la zona rural, la reconformación del derecho de vía consiste en limpieza del área, la reconformación morfológica del terreno y la reposición de la cobertura vegetal, con criterio paisajístico, entre otros. Incluye la reconformación de áreas adyacentes y accesos utilizados por el proyecto.

2.6.1.4 SEÑALIZACIÓN EN CONSTRUCCIÓN

Durante la ejecución del proyecto se deberá mantener día y noche señales adecuadas para proteger las personas de cualquier accidente y alertar a los conductores sobre los trabajos en ejecución. Los diferentes tipos de señales se instalarán antes de la iniciación de la construcción. El diseño, aplicación e instalación de señales deberá cumplir con las normas establecidas en el ámbito nacional, regional y local por las autoridades competentes.

2.6.1.5 ADECUACIÓN PAISAJÍSTICA

Cuando se afecte el paisaje en zonas públicas y en áreas urbanas, éste se adecuará mediante la ejecución de obras tales como arborización, empradización y embellecimiento de la zona de influencia de la obra, con el fin de mejorar las condiciones estéticas del área y el aspecto visual de la misma.



CAPITULO 3

DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA EL MODELO

CAPITULO 3

DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA EL MODELO DE SIMULACION

3.1 DEFINICION DEL SISTEMA

El diseño del modelo de simulación se debe realizar en base a los planos As-Built, el cual presenta las tuberías por diámetro y longitud de la red secundaria en forma gráfica. Entonces se combina los planos As Built de la red secundaria de los distritos 1 y 6, de este plano se suprime las redes de otros EDR ya que solo se necesita la red secundaria del EDR 3.

Para la simulación se decide usar el Software WinFlow porque es una herramienta practica para el estudio de la redes de gas, ya que dentro de los parámetros que afectan el análisis de las condiciones de flujo que realiza este se encuentran: el diámetro, la longitud, la gravedad específica, la compresibilidad, la viscosidad, cambios en la elevación, presión de operación, así como en cualquier punto de la red secundaria y temperatura.

Otra causa importante es que nos permite el uso de la ecuación de Renouard para la simulación de red secundaria y de esta manera obtener resultados los más reales posibles así como efectuar modificaciones para su optimización. Se procede con la instalación del software.

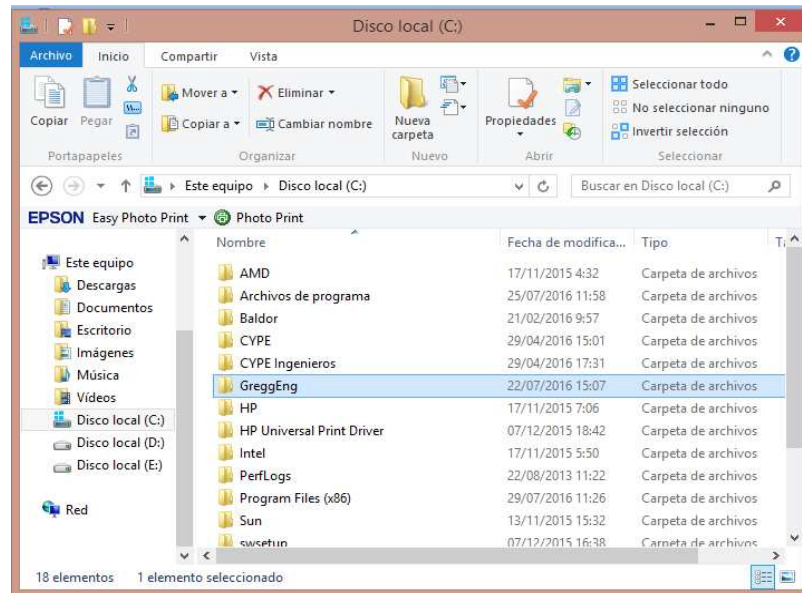
3.1.1 INSTALACIÓN DEL SOFTWARE WINFLOW

Para la instalación del Software WinFlow se requiere el CD de instalación y Key Usb que nos sirve como licencia para el uso del software.

La instalación del Software WinFlow se desarrolla según los pasos mostrados en las Figura 3.1 a la Figura 3.12:

a) Paso 1: Copiar el contenido del Cd al Disco local C.

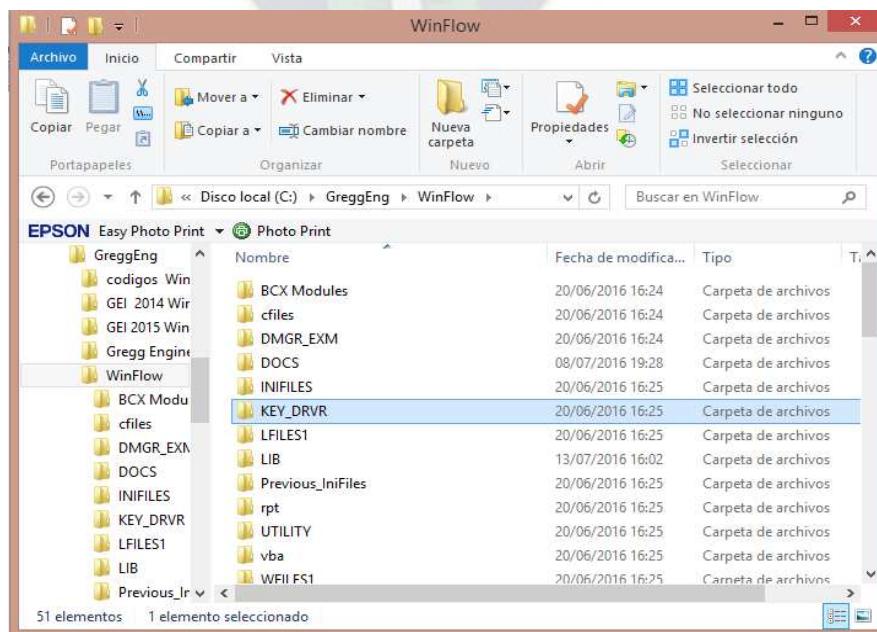
Figura 3.1. Copia de contenido Software WinFlow



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos

b) Paso 2: Abrir la carpeta copiada, entramos a la carpeta WinFlow y abrimos KEY_DRVR.

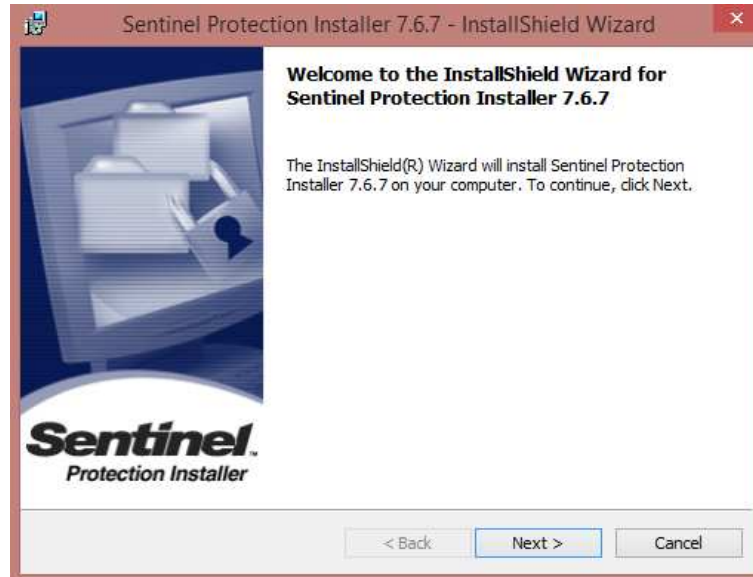
Figura 3.2. AbrirKey_DRVR



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos

- c) Paso 3: Instalamos SentinelProtectionInstaller, que es el programa para comprobar la licencia que lleva el Key Usb.

Figura 3.3. Instalación de SentinelProtectionInstaller



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

Seleccionamos Next

Figura 3.4. Aceptar términos de SentinelProtection

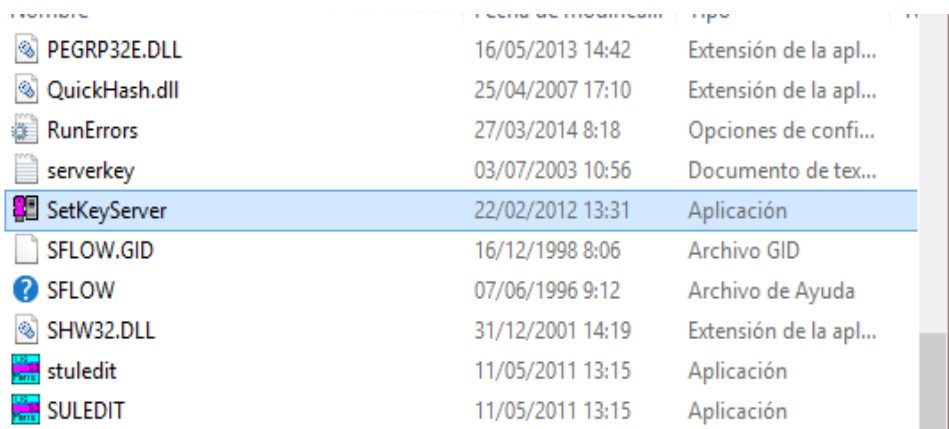


Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

Seleccionamos "Iaccepttheterms", presionamos Next, otra vez Next, Install y Yes.

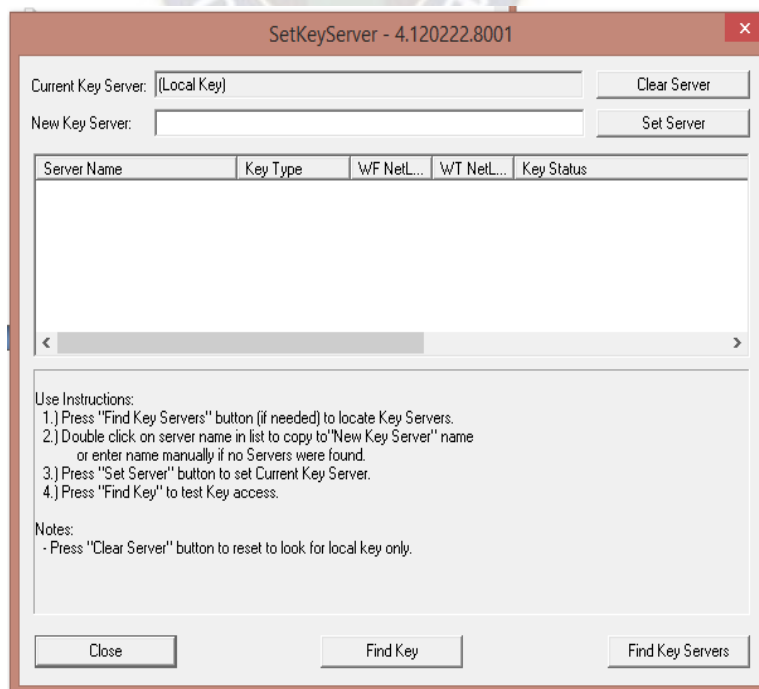
- d) Paso 4: Verificaremos el KeySerial de la llave (es el código que lleva escrito el Key Usb), introducimos la Llave USB, volvemos a la carpeta WinFlow y abrimos SetKeyServer.

Figura 3.5. AbrirSetKeyServer



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

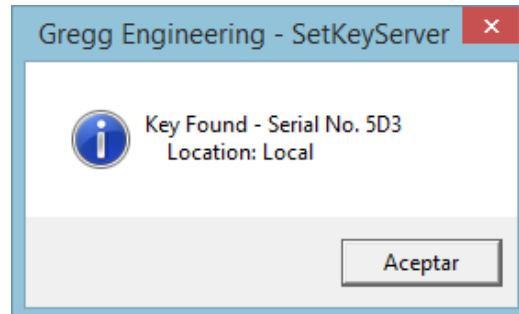
Figura 3.6. Presionamos Find Key



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

Presionamos FindKey y aparecerá una ventana para confirmar el KeySerial.

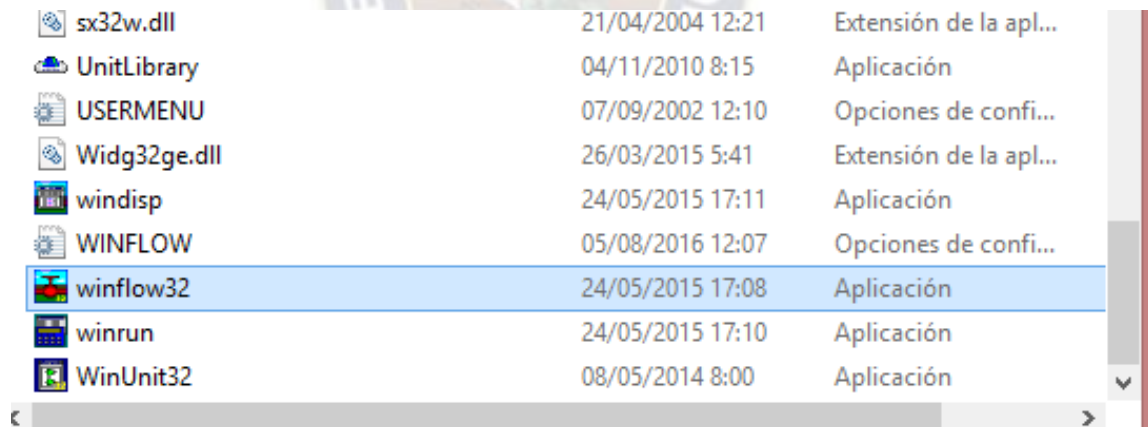
Figura 3.7. Ventana de Verificación



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

- e) Paso 5: Actualización de Códigos de configuración para WinFlow, primero extraemos los códigos del WinFlow en una carpeta y lo copiamos en la carpeta GreggEng, luego entramos en la carpeta WinFlow y abrimos WinFlow32.

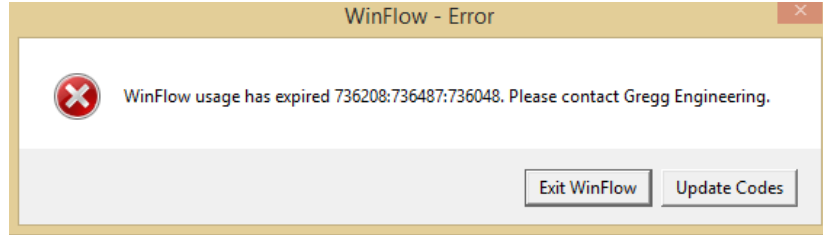
Figura 3.8. Abrir Winflow32



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

Nos aparecerá la siguiente ventana.

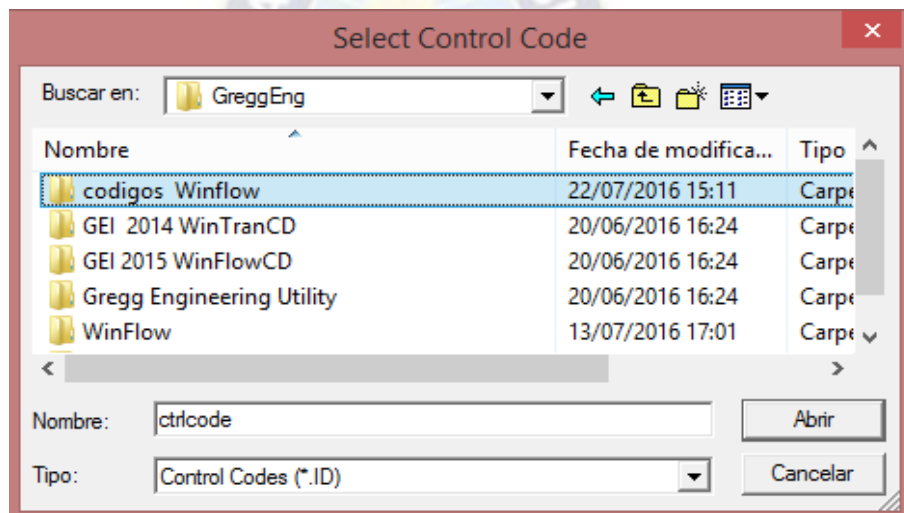
Figura 3.9. Ventana de actualización de códigos



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

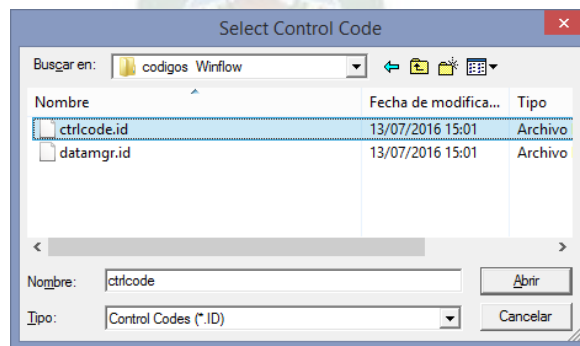
Presionamos UpdateCodes, luego Continue, buscamos la carpeta donde copiamos los códigos extraídos, seleccionamos uno y presionamos Abrir.

Figura 3.10. Buscamos ubicación de los códigos de actualización



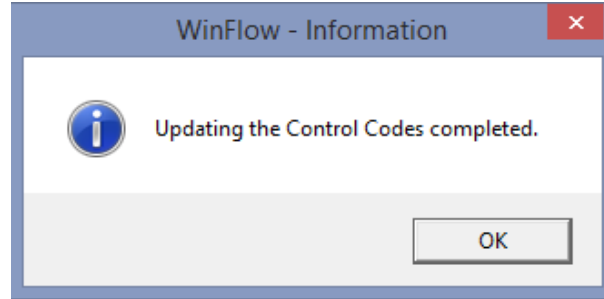
Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

Figura 3.11. Cargamos los códigos de actualización

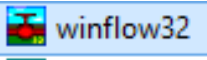


Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

Figura 3.12. Ventana de actualización de códigos



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

Si los códigos son actuales nos aparecerá la siguiente ventana y podemos hacer uso del WinFlow. Para facilitar el uso, podemos crear un acceso directo en el escritorio de  y solo debemos conectar el Kayes para abrir el programa.

3.2 PARÁMETROS DE LOS DATOS A INTRODUCIR EN LA SIMULACION Y LAS CONDICIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN.

Se analizan los parámetros más importantes que intervienen en el diseño de un modelo de simulación de la distribución de gas natural orientado específicamente al uso del software WinFlow.

Para definir los parámetros a utilizar en el modelo a diseñar se recolecta toda la información posible de parámetros geométricos de la tubería de la red secundaria, parámetros de las características del gas, parámetros de operación del EDR 3 y la ecuación de flujo, con el fin de verificar la calibración del modelo y realizar los ajustes requeridos. Cuando se desarrolla un modelo de simulación es importante tener en cuenta los siguientes parámetros fundamentales para el buen funcionamiento del modelo.

- Parámetros Geométricos o de la Tubería.
- Parámetros de las características del Gas.
- Parámetros Operacionales.

3.2.1 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA TUBERÍA.

3.2.1.1 DIAMETRO INTERNO Y ESPESOR.

El cambio en el diámetro interno es una función del cambio del diámetro exterior y del cambio en el espesor de la tubería.

Para la determinación del espesor de la tubería se utiliza el espesor equivalente para cada tramo establecido en la tubería de polietileno.

En la Tabla 3.1 se muestran las dimensiones mínimas de los espesores de las tuberías de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) para SDR 11³⁷:

Tabla 3.1. Distribución de Espesores de Tubería PE

Diámetro exterior OD (mm)	SDR 11 espesor e (mm)	Diámetro interno ID (mm)
40	3,7	32,6
63	5,8	51,4
90	8,2	73,6
110	10,0	90,0
125	11,4	102,2

Fuente: ANH. Diseño de Redes. Anexo 1

Dónde: $ID = OD - 2 \cdot e$

OD = Diámetro exterior

ID = Diámetro interior

e = Espesor

³⁷Normativa Para Distribución De Gas Natural Por Redes - Agencia Nacional de Hidrocarburos, Anexo 1 Diseño de Redes 2015

3.2.1.2 LONGITUD.

Se realiza la verificación de la longitud de cada uno de los diámetros que conforma la red secundaria del EDR-3 con base en planos AS-Built en Autocad hasta el 2015. En general no se encuentra mucha diferencia con relación a la longitud real en campo. A continuación se presenta la Tabla 3.2 con el resumen de las longitudes de cada diámetro, la misma muestra la sumatoria de las longitudes los tramos o legs de los datos del ANEXO A:

Tabla 3.2. Longitud de Tubería PE

OD(mm)	Longitud(metros)
40	57.670,47
63	5.188,02
90	2.183,52

Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos

3.2.1.3 RUGOSIDAD.

La rugosidad requerida en el modelo de simulación corresponde con la rugosidad efectiva y no con la rugosidad absoluta, es decir que para su definición no solo se considera la rugosidad propia de las paredes de la tubería sino también el efecto generado por la cantidad y el grado de las curvas en las líneas. La rugosidad efectiva para una tubería que transporta gas seco, la rugosidad efectiva podría estar entre 0.0005 y 0.00012 pulgadas³⁸.

La gran lisura interior de sus paredes favorece la ausencia de sedimentos e incrustaciones, permitiendo un buen comportamiento hidráulico (mayores velocidades del flujo transportado) y una menor pérdida de carga.

³⁸Tuberías y perfiles plásticos, S.A.U.

3.2.1.4 FACTOR EFICIENCIA.

En aquellas ecuaciones que contemplan el factor de eficiencia E , se pueden tomar los valores de la Tabla 3.3:

Tabla 3.3. Factor de Eficiencia de la Tubería

Valor de (E)	Condiciones de la Tubería
1,00	Completamente Nueva
0,95	En Buenas Condiciones
0,92	En Condiciones Promedio
0,85	En Condiciones No Favorables

Fuente: ANH. Diseño de Redes. Anexo 1

El factor que se utiliza es de 0.95 ya que las tuberías están en buenas condiciones y están dentro de su vida útil.

3.2.2 PARÁMETROS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL GAS.

3.2.2.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PODER CALORIFICO.

Si bien es cierto que la Gravedad Específica de un gas puede variar considerablemente dependiendo de la composición química del gas en el yacimiento y de los procesos de tratamiento y procesamiento del gas en la planta de procesamiento, es posible obtener un valor promedio o característico de la gravedad específica del gas analizando algunos datos históricos. Es importante dejar en absoluta claridad que esta variable debe ser monitoreada periódicamente para verificar los cambios en el tiempo y así poder hacer las correcciones respectivas al momento de realizar cualquier simulación con el modelo establecido.

Tabla 3.4. Informe de Cromatografía del gas

Mes	N ₂	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	iC ₅ H ₁₂	nC ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄₊	Total	Gravedad Especifica	Poder Calorífico [BTU/PC]
Enero	0,67	0,98	92,48	4,10	1,12	0,12	0,31	0,07	0,08	0,07	100,00	0,609	1.042,6
Febrero	0,52	1,12	92,16	4,37	1,16	0,13	0,33	0,07	0,08	0,06	100,00	0,612	1.045,6
Marzo	0,42	0,99	92,83	4,34	0,95	0,09	0,23	0,05	0,06	0,04	100,00	0,604	1.039,1
Abril	0,51	1,18	92,02	4,67	1,07	0,10	0,27	0,06	0,07	0,05	100,00	0,611	1.042,7
Mayo	0,66	1,29	89,35	5,95	1,80	0,26	0,40	0,12	0,09	0,08	100,00	0,632	1.070,5
Junio	0,61	1,29	92,05	4,48	1,02	0,10	0,27	0,06	0,07	0,05	100,00	0,612	1.038,5
Julio	0,85	1,33	91,84	4,49	0,94	0,11	0,25	0,07	0,07	0,05	100,00	0,612	1.034,9
Agosto	0,90	1,35	91,79	4,27	1,04	0,13	0,29	0,08	0,08	0,07	100,00	0,614	1.036,6
Septiembre	1,00	1,37	91,72	4,20	1,05	0,13	0,30	0,08	0,08	0,07	100,00	0,615	1.035,1
Octubre	0,69	1,21	92,09	4,29	1,11	0,12	0,29	0,07	0,08	0,05	100,00	0,612	1.039,7
Noviembre	0,97	1,40	91,30	4,47	1,20	0,14	0,31	0,08	0,08	0,05	100,00	0,616	1.039,5
Diciembre	0,89	1,39	91,33	4,47	1,22	0,14	0,33	0,08	0,09	0,06	100,00	0,618	1.041,5
PROMEDIO	0,76	1,25	92,02	4,02	1,23	0,14	0,35	0,08	0,09	0,06	100,00	0,614	1.041,5

Fuente: Datos Recopilados de Informe cromatografía de gases - Y.P.F.B. Transportes. 2015.

Luego de analizar los registros mensuales de gravedad específica del año 2015 los resultados son detallados en la Tabla 3.4, se obtienen los siguientes resultados:

- La gravedad Específica promedio es 0.614, adicionalmente, los registros mensuales de gravedad específica se encuentra entre 0.609 y 0.632. La gravedad específica no generará un impacto superior al 0.3% en el caudal transportado.
- El valor de Gravedad específica que se toma para el modelo será de 0.614 y poder calorífico como 1.041,5 (BTU/PC).

3.2.2.2 CAUDAL CONSUMIDO

En el modelo de simulación se necesita el caudal consumo de cada usuario doméstico y comercial, la red secundaria del EDR 3 cuenta con un aproximado de 4254 usuarios domésticos y 56 usuarios comerciales, por esta razón se tomara un promedio de consumo diario para los usuarios domésticos en general y se calcula el consumo diario de los usuarios comerciales en función a su consumo mensual.

De esta manera se introducirán los caudales por usuario en cada calle por el coeficiente de simultaneidad de 0.15, ya que no todos los usuarios consumen gas al mismo tiempo.

La introducción de los datos de consumo de los usuarios domésticos y comerciales se realiza de esta manera con el propósito de que la simulación sea lo más real posible para tener resultados óptimos en la optimización de esta.

3.2.2.3 COMPRESIBILIDAD.

La compresibilidad de un gas depende de la composición del gas y de la presión y la temperatura a la cual se encuentra. Dentro de los componentes de un gas natural también se encuentran los gases no combustibles y/o compuestos contaminantes, los cuales son importantes a tener en cuenta a la hora de establecer la compresibilidad del gas.

Dentro del módulo de simulación WinFlow, se encuentra la opción para establecer la composición completa del gas en el caso de la ecuación AGA, puede simular en presiones altas como en el caso de red primaria, sin embargo para la simulación de la red secundaria se utiliza la ecuación de Renouard que permite ingresar la gravedad específica y el poder calorífico, con base en esta información y utilizando la ecuación de Renouard, el software calcula la compresibilidad del gas.

3.2.3 PARÁMETROS OPERACIONALES DEL EDR.

La Estación Distrital de Regulación R-3 tiene una capacidad de 2000 m³/h, puesta en funcionamiento desde el año 2010, con un aproximado de 120 kilómetros construidos de red secundaria que suministra al mercado doméstico y comercial en una sección de los distritos 1 y 6, el incremento de usuarios domésticos y comerciales va incrementando considerablemente.

A continuación se presenta las características del EDR R-3:

Figura 3.13. Vista frontal del EDR - 3



Fuente: Datos Recopilados de mantenimiento de EDR's - Y.P.F.B. Gerencia de redes de Gas. 2015.

Tabla 3.5. Características del EDR - 3

Regulador de trabajo				
Marca :	FRANCEL			
Tipo :	768 Pilotado			
Q (m3/h)	Pe (Bar)	Ps (Bar)		
2.000	20	4		
Regulador stand by				
Marca :	FRANCEL			
Tipo :	768 Pilotado			
Q (m3/h)	Pe (Bar)	Ps (Bar)		
2.000	20	3,8		
Válvula Shut Off				
Marca :	Schlumberger			
Seguridad :	Alta	Si	Baja	Si
Set up	Pmax (bar)	Pmin (bar)		
Medidor				
Marca :	FRANCEL			
Tipo :	Turbina			
Qmax (m3/h)	Qmin (m3/h)	Pmax (Bar)		
400	20	12		

Fuente: Datos Recopilados de mantenimiento de EDR's - Y.P.F.B. Gerencia de redes de Gas. 2015.

3.2.3.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EDR

La situación actual según los datos recopilados el EDR R- 3 trabaja con normalidad, siendo verificado en los mantenimientos preventivos que se realizan cada año realizado por el personal de Y.P.F.B. los componentes trabajan con normalidad para el correcto abastecimiento de gas a los usuarios domésticos y comerciales.

3.2.3.2 DATOS GENERALES DEL EDR R-3

Para el modelo se definen puntos de consumo de los usuarios domésticos y comerciales, los cuales corresponden a las derivaciones construidas a lo largo de la red secundaria. Los puntos de salida del modelo se ingresan en base a la siguiente:

Tabla 3.6. Datos Generales para la Simulación

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Presión de servicio efectiva	4,00	Bar
Densidad relativa del gas	0,62	Adimensional
Poder calorífico superior	9,800	kcal/m3
Poder calorífico inferior	8,370	kcal/m3
Simultaneidad	0,15	Adimensional
Presión mínima en la red	1,5	Bar
Velocidad máxima en la red	20	m/s

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos, Anexo 1 Diseño de Redes 2015

3.2.3.3 PRESION Y TEMPERATURA.

Los datos de presión y la temperatura del gas en el EDR 3 dentro del análisis de la información realizada durante la simulación se obtienen del promedio anual de tomadas el año 2016, ya que las condiciones de transferencia de temperatura entre el medio que rodea la tubería y la tubería son de estado estacionario, de esta manera hacen que la temperatura del gas reportada por los transmisores de Temperatura dependa de manera directa y puntual de la temperatura ambiente y de sus variaciones a lo largo del día en la localidad donde se encuentra dicha estación.

Tabla 3.7. Presiones y Temperaturas del EDR-3

Mes	P Psig	T (°F)
Enero	58,00	45,50
Febrero	57,80	43,00
Marzo	58,00	42,80
Abril	57,45	44,60
Mayo	57,45	44,60
Junio	57,45	44,60
Julio	58,00	43,70
Agosto	58,00	42,80
Septiembre	58,00	46,00
Octubre	58,03	48,00
Noviembre	58,00	48,00
Diciembre	58,00	49,00
PROMEDIO	57,85	45,22

*Fuente: Datos Recopilados de informes de lectura del EDR-R3 mensual año 2015
Y.P.F.B. Distrito Redes de Gas El Alto*

En la Tabla 3.7 se muestra el promedio obtenido de las presiones y temperaturas del 2015, estos parámetros se utilizarán para la simulación.

3.2.3.4 CAMBIOS EN LA ELEVACIÓN.

La red secundaria no tiene cambios en la elevación ya que toda la red está construida a una profundidad de 1,00 metros de la superficie, dicho dato no se toma en cuenta en la simulación ya que la red secundaria se encuentra en la ciudad de El Alto, el cual no cuenta con relieves altos, de esta manera no se introducen valores por cambios en la elevación de la tubería de red secundaria.



CAPITULO 4

APLICACIÓN PRÁCTICA

CAPITULO 4

APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1 INTRODUCCIÓN

Considerando los parámetros definidos en el capítulo 3 se utilizan para diseñar el modelo de simulación, en este capítulo se realiza la simulación y los ajustes necesarios hasta lograr que el comportamiento del modelo sea lo más parecido al comportamiento real del sistema de distribución, de esta manera se optimiza la red secundaria para lograr el correcto abastecimiento a todos los usuarios domésticos y comerciales. Para este objetivo primero se separa toda la tubería de la red secundaria que pertenece al EDR R-3 del plano AsBuilt, excluyendo todos los demás layers para tener un solo trazo de la red secundaria a estudiar.

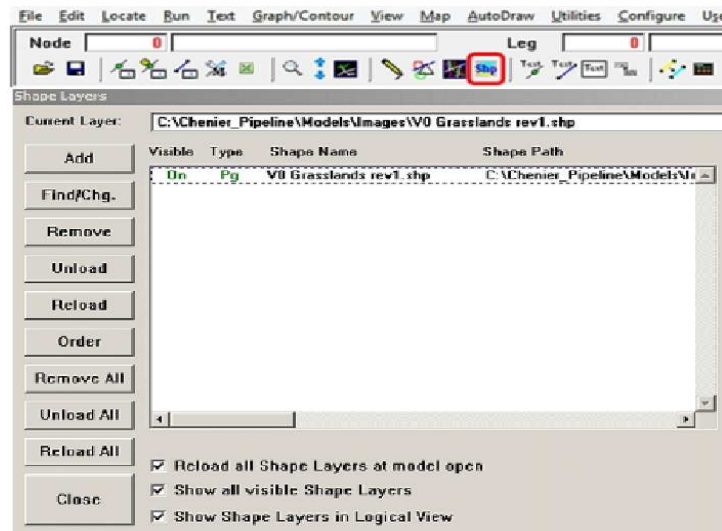
Una vez separado las tuberías de la red secundaria a estudiar en el plano Asbuilt se obtiene un archivo con extensión .dxf. Este archivo no es compatible para importar al software WinFlow, sin embargo este archivo puede convertirse a un formato que puede importar el software WinFlow, el formato compatible para WinFlow es .shp.

Continuando con el cambio de formato que importa al software WinFlow, el cual necesita una extensión .shp, este formato es necesario para cargar las tuberías en forma de layeral Software WinFlow y la base de datos con las longitudes y diámetros de tubería mediante el archivo con extensión .dbf.

De esta manera se convierte el archivo .dxf a las dos extensiones necesarias mediante una aplicación llamada CadToShape, mediante esta aplicación se obtienes los archivos de manera exitosa y procedemos con la importación a el WinFlow.

Abrimos el WinFlow en el menú buscamos y seleccionamos el icono Shp como se muestra en la Figura 4.1, el cual nos desprenderá una ventana para añadir el archivo .shp mediante el botón Add buscando el destino del archivo guardado:

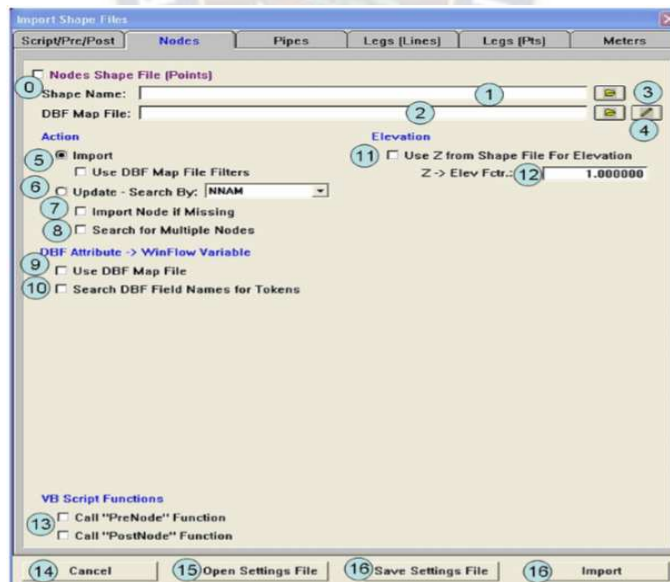
Figura 4.1. Cargar el archivo shape



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

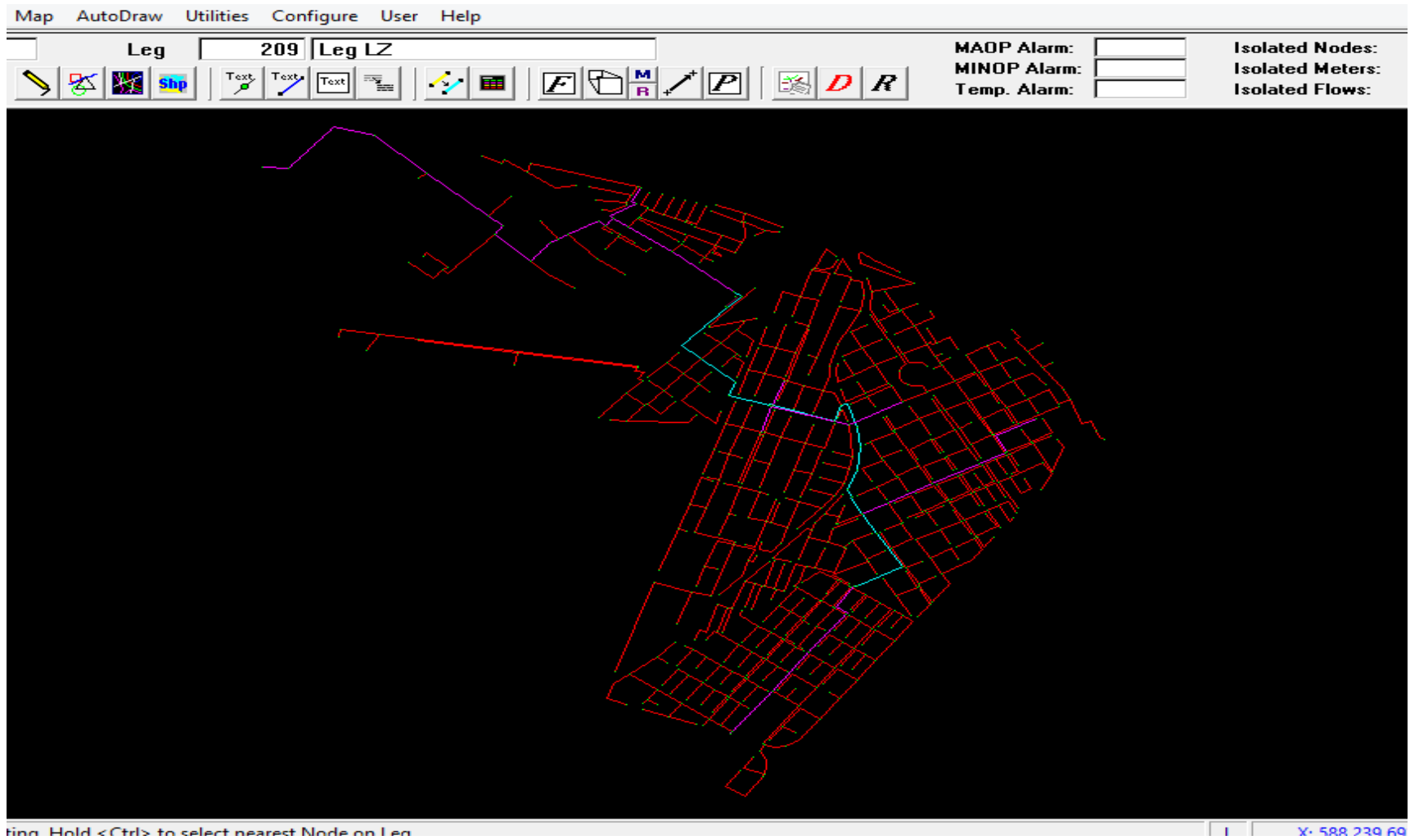
Luego cargaremos los datos de las tuberías que se obtuvo de los planos Asbuilt en la pestaña ImportShape y nos despliega la ventana mostrada en la Figura 4.2.

Figura 4.2. Import shape Nodes y Pipes



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

Figura 4.3. Diámetros de la Red Secundaria



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

En la Figura 4.3 muestra las tuberías de red secundaria con un color de para cada diámetro que presenta esta, de color rojo para la tubería de 40 mm, purpura para la tubería de 63 mm y color aqua para la tubería de 90mm. De esta manera se carga correctamente las tuberías con sus diámetros y longitudes correspondientes.

4.2 CALCULOS ANALÍTICOS

Para realizar los cálculos a lo largo de la red de secundaria se utiliza la ecuación de Renouard, como sigue a continuación:

Con la ecuación de Renouard simplificada.

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

Donde: $Le = 1,2 * L$

- Q = Caudal en condiciones estándar, (m³s/h)
- P₁ = Presión absoluta en el nodo inicial, (bar)
- P₂ = Presión absoluta en el nodo final, (bar)
- dr = Densidad relativa del gas, (adimensional)
- Le = Longitud equivalente de tubería, (m)
- L = Longitud de la tubería, (m)
- D = Diámetro interno de la tubería, (mm)

Despejando la P₂ obtenemos:

$$P_2 = \sqrt{P_1^2 - 48.6 * S * L * Q^{1.82} * D^{-4.82}}$$

Con el ejemplo del nodo BFN tomamos los datos que son:

- P₁ = 3,89168798 (bar)
- D = 32,6 (mm)

$$dr = 0.614$$

$$Q = 5,264 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$L = 235,45\text{(m)} \Rightarrow Le = 282,54 \text{ (m)}$$

Reemplazando:

$$P_2 = \sqrt{3,89168798^2 - 48.6 * 0.614 * 235,45 * 5,264^{1.82} * 32,6^{-4.82}}$$

$$P_2 = 3,890544865 \text{ (bar)}$$

Obtenemos la presión en el punto final de nodo BFN, que corresponde al nodo BCX con valor 3,890722459, para cada tramo dimensionado se deberá verificar que la velocidad del gas no exceda los 20m/s, la tubería que alimenta al nodo número BFN es el leg BFN, es decir la tubería BFN tiene dos nodos que son el nodo BFN y BCX, Ahora utilizaremos la siguiente ecuación para verificar la velocidad de este tramo:

$$V = 353 * \frac{Q}{P * D^2}$$

Donde,

V=velocidad (m/s)

Q=caudal (m³/h)

P=presión absoluta en el nodo (bar)

D=diámetro interior (mm)

Los datos del nodo BFN son:

$$Q=5,264 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$P= 3,89168798 \text{ (bar)}$$

$$D= 32,6 \text{ (mm)}$$

$$V = 353 * \frac{5,264}{3,89168798 * 32,6^2} \rightarrow V = 0,4493 \text{ m/s}$$

El software WinFlow en el leg BFN, calcula la velocidad 0.3405 m/s.

En conclusión tenemos para el análisis para el nodo BFN en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1. Comparación de resultados Obtenidos Con el Software WinFlow y resultados obtenidos analíticamente

Parámetro	WinFlow	Analítica
Presión en nodo final (bar)	3,89072246	3,890544865
Velocidad (m/s)	0,3405	0,4493

Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

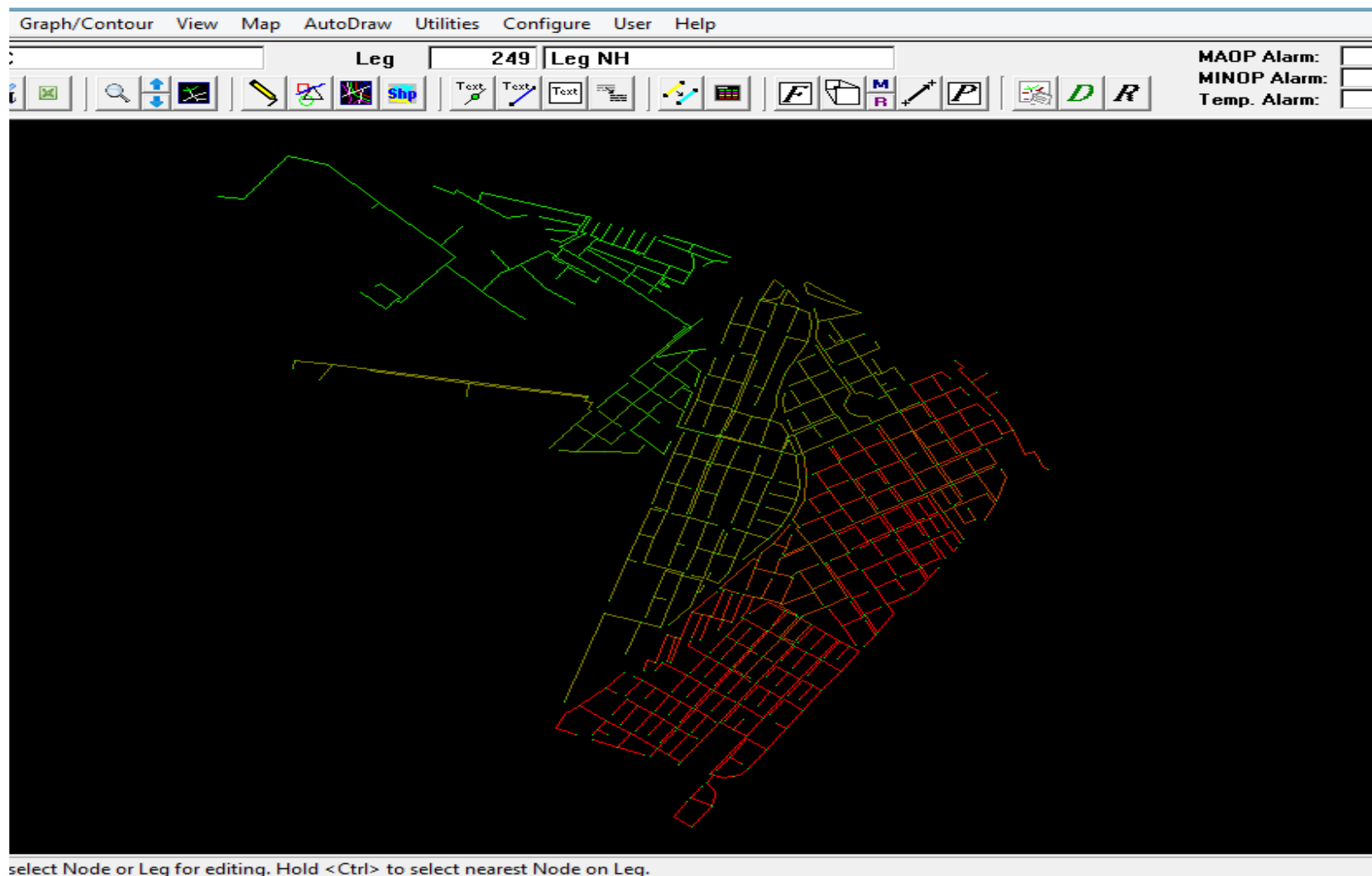
Los resultados obtenidos por el software WinFlow y de forma analítica son los deseados, ya que los resultados de la presión y la velocidad se asemejan tanto en el Software WinFlow como de forma analítica, de esta manera podemos comprobar el uso de la ecuación en el Software WinFlow.

El Software WinFlow realiza los cálculos en base al sistema mallado como se indica en el punto 2.5.4. También el software permite introducir parámetros adicionales como rugosidad y la eficiencia de la tubería al 95%, para obtener resultados más precisos.

4.3 AJUSTE DEL MODELO DE SIMULACIÓN.

Teniendo en cuenta las características geométricas de las tuberías y la ecuación de Renouard se ingresan los datos en el editor de leg o tuberías, las características físico-químicas del gas transportado se introducen en el editor de nodos o puntos, los parámetros operacionales del EDR R-3 se ingresa en el nodo de suministro que corresponde al nodo BMS. Todos estos datos ya fueron definidos en el capítulo 3 “Definición de Parámetros” para el modelo de simulación, con estos datos se diseña el modelo de simulación de la red secundaria. De esta manera se obtiene la situación actual de la red secundaria que se muestra en la Figura 4.4.

Figura 4.4. Situación actual de la Red Secundaria



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

En la Figura 4.4 se presenta el modelo de simulación diseñado en el software WinFlow, donde se puede apreciar un gradiente de color verde a el color rojo, la máxima presión que simula es de 4 bares color verde y la mínima es de 0 bar color rojo, entonces la red secundaria con presiones aceptables son las que se acercan más al verde, representado con color naranja son presiones al límite que es de 1,5 bares y el color rojo en los puntos más alejados representa las presiones menores a 1.5 bares.

La presión mínima que soporta la entrada de un regulador es de 1.5 bar para un buen funcionamiento. Por esta razón las presiones que llegan a los puntos más alejados deben ser mayores a esta presión.

Es por este motivo que debe optimizarse la presión en los puntos más alejados, llegando con presiones mayores a 1,5 bares. La presión en los puntos más alejados tiene ramificaciones largas y consumos altos por los usuarios comerciales, las empresas comerciales son las que tienen un consumo alto a comparación de los usuarios domésticos, los cuales desequilibra la presión mínima de alimentación en los puntos más alejados.

Entonces se puede apreciar que el abastecimiento de gas no llega correctamente a todos sus usuarios, por esta razón se simula diferentes situaciones para que el abastecimiento sea el mejor y llegue con la presión adecuada a la entrada del regulador.

4.4 ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN

Entre las alternativas que se tomaron en cuenta son el cambio del ramal principal por diámetros mayores por tuberías de 125 [mm] de diámetro y 110 [mm] ya que el diámetro de suministro del EDR R-3 es de 90 [mm], también se toma otras opciones como la construcción de un loop y como también se tomó la opción de conectar ramificaciones en algunos puntos para mejorar la presión de entrega a los reguladores domésticos y comerciales en los puntos más alejados.

Las alternativas tomadas para optimizar la red secundaria son:

- **Caso 1:** Cambio del ramal principal por una tubería de 125 [mm]
En este caso se cambia los datos de la tubería del ramal principal por un diámetro externo de 125 [mm] y diámetro interno como 102,2 [mm] en la simulación, los resultados obtenidos son bajas presiones en 130 puntos, es decir en 130 puntos la presión es menor 1,5 [bar].
- **Caso 2:** Cambio del ramal principal por tuberías de 125 [mm] y 110 [mm]
En este caso se divide en dos partes el ramal principal y se asigna los diámetros internos correspondientes a ambos tramos, obteniendo resultados de presiones entre 1,4 y 1,6 [bar] en los puntos más alejados.
- **Caso 3:** Construcción de un loop de 90 [mm]
En este caso dentro de la simulación se realiza la construcción de un loop de 90 [mm] paralelo al ramal principal, los resultados obtenidos son presiones mayores a 1,6 [bar] en todos los puntos de la red secundaria.
- **Caso 4:** Construcción de un loop por tuberías de 125 y 110 [mm]
En este caso dentro de la simulación se divide el loop en dos partes, asignando diámetros internos de las tuberías de 125 y 110 [mm], se obtienen presiones entre 2 y 2,2 [bar] en todos los puntos más alejados.

Estos son las principales alternativas analizadas en la simulación de la red secundaria para obtener la mejor opción para mejorar la red secundaria.

4.5 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN

Como se ha mostrado los casos estudiados se tiene.

- **En el caso 1** se pudo ver que las presiones en 130 puntos son menores a 1,5 [bar] lo que nos indica que no es una opción favorable, esto es debido a una notable pérdida de presión y velocidad por el cambio de diámetro de 125

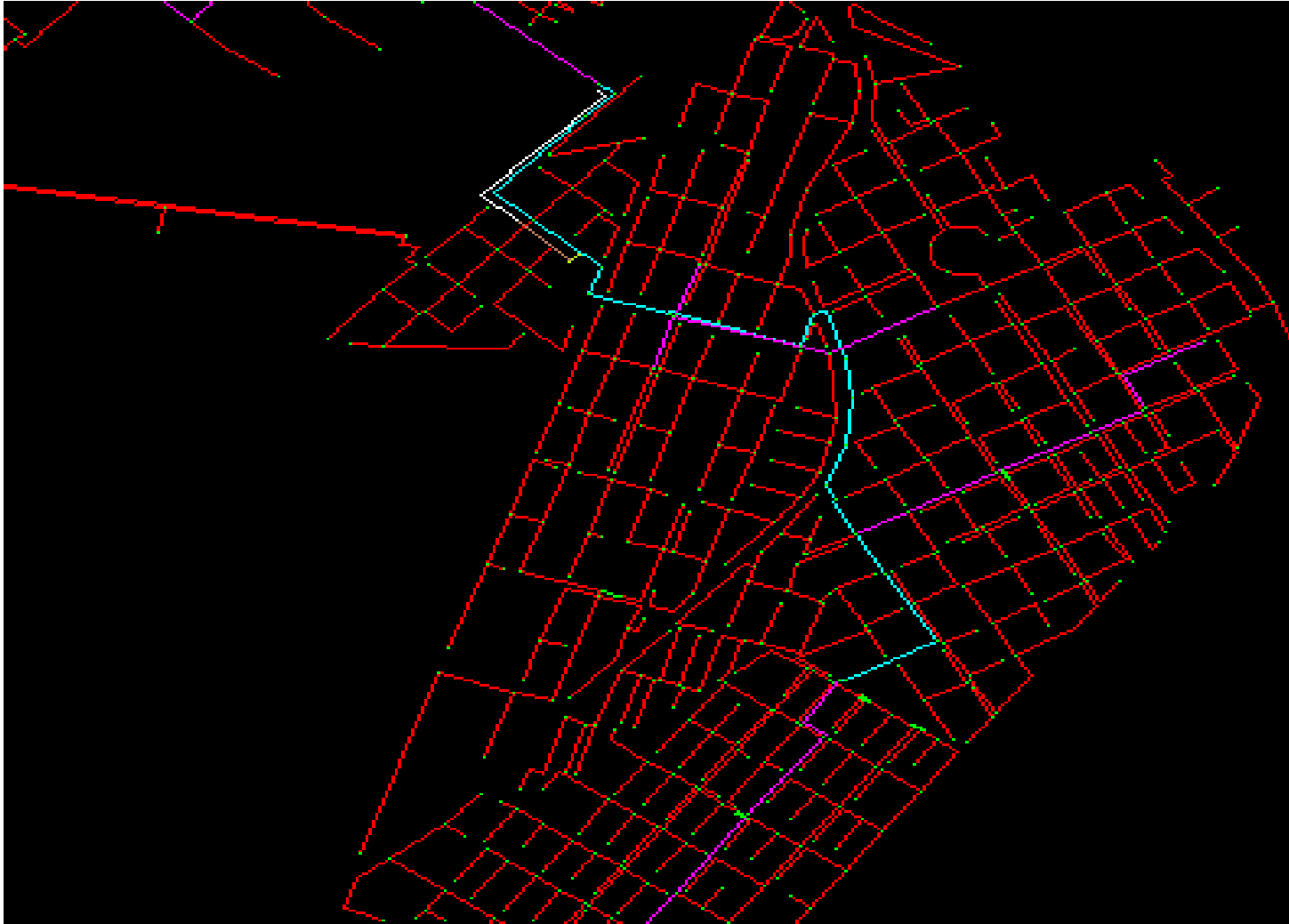
[mm] a 90 [mm] en el punto de reducción de diámetro, por otra parte el cambio del ramal principal es complejo a la hora de la realización de la mejora.

- **En el caso 2** las presiones siguen bajas en varios puntos pero mejora a comparación de la anterior opción, por lo tanto se descarta la opción del cambio del ramal principal.
- **En el caso 3** las presiones son iguales o mayores a 1,6 [bar] en todos los puntos de la red secundaria lo que nos da un mejora en esa opción, como construcción de un loop a la red secundaria.
- **En el caso 4** las presiones están entre 2 y 2,2 [bar] en los puntos más alejados, lo que nos muestra la mejor opción que se puede tomar como optimización de la red secundaria.

Tomando el caso 4 como la mejor opción, se mejora esta opción realizando el cierre de circuitos para que la distribución de presión en los puntos más alejados sea homogénea, ya que en estos puntos siempre se presentaban las presiones más bajas de toda la red secundaria. En la figura 4.5 se muestra el caso 4 como mejor opción de optimización de la red secundaria.

Como se muestra en la Figura 4.5 el caso 4 de la construcción de loop, un tramo de 350 metros de 125mm PE y 150 metros de 110 mm PE, anexando a esta el cierre de cuatro circuitos de tuberías de 90 mm, el diseño de este loop se toma en cuenta al mayor consumidor de esta red secundaria, que es la empresa SABSA un usuario comercial, como uno de los puntos de pérdida de presión por su mayor consumo. Es por este motivo que la conexión del loop se lo realiza después del ramal que alimenta a la empresa SABSA, de esta manera se asegura incrementar la presión de distribución al resto de la red secundaria con mayores usuarios domésticos.

Figura 4.5. Caso 4: Construcción de un loop por tuberías de 125 y 110 [mm]



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

4.6 VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL EDR R-3

La capacidad del EDR R-3 no excede su capacidad máxima que es de 2000 [m³/h] en su situación actual. Por otra parte se realiza una simulación en base a la modelación del caso 4 para verificar la capacidad del EDR tomando en cuenta todas las viviendas que están dentro del rango de la red secundaria que no cuentan con el servicio de gas domiciliario.

Teniendo en cuenta los parámetros de la red secundaria, se evalúa la condición de capacidad máxima de la red secundaria y se analizan el aumento de usuarios que no cuentan con gas natural actualmente. Esto se realiza para comprobar si es necesario un aumento en la capacidad del EDR -3 en el caso que todas las viviendas estén conectadas a la red.

Las condiciones que se tienen en cuenta para la simulación son los consumos de todos los usuarios que tengan gas domiciliario de aquí a 15 años, donde se tendrá la conexión a todas las viviendas en el rango de la red secundaria.

Para la simulación con los usuarios proyectados se conservan los parámetros generales que son:

- Poder Calorífico del gas: 1041.5 [Btu/pc]
- Gravedad Específica del gas: 0.614
- Presión de salida del EDR: 57.95 [psig] o 4 [bar]
- Temperatura de salida: 7,34 [°C], esta temperatura corresponde a la temperatura promedio del año 2015.
- Coeficiente de simultaneidad : 0.15
- Coeficiente de eficiencia : 0.95

El coeficiente de simultaneidad es un dato provisto por Y.P.F.B. ya que representa la simultaneidad de consumo por los usuarios en la ciudad de El Alto, este dato se utiliza para el diseño de redes de gas en red secundaria. El coeficiente de

simultaneidad fue muy necesario a la hora de la simulación ya que asemeja el consumo real en los diferentes nodos del modelo, permitiendo verificar el correcto abastecimiento en los puntos más alejados.

Como resultado de final de la simulación se obtiene caudal de entrega del EDR 3: 1931,44 [m³/h] y podemos afirmar que la capacidad del EDR R-3 es el adecuado, los resultados obtenidos en la simulación se muestran en el Anexo A.

Con los resultados obtenidos se determina que la capacidad del EDR no se excederá aun cuando todas las viviendas que están en el rango de la red secundaria que no cuentan con el servicio de gas domiciliario puedan hacerlo.

4.6.1 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

A continuación se presentan el inicio de las tablas resultados de los Nodos que contienen las características más relevantes de los segmentos de tubería establecidos en el modelo de simulación:

Tabla 4.2. Inicio tabla de resultados de los Nodos o Nodes

nnam:*	Presión [bar]	Caudal [m³/h]	Poder Calorífico [BTU]	Gravedad Especifica	Temperatura[°C]
Node C	2,67549122	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node D	2,62203753	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node F	2,60228899	-1,68	1041,5	0,614	7,344

Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

En la Tabla 4.2 se muestran el inicio de los resultados de los nodos (Ver Anexo A para ver en su totalidad), donde cada nodo muestra la presión y el caudal con el que simula en ese punto, de esta manera se puede identificar el nodo BMS como el punto de suministro del EDR R-3 y los diferentes puntos donde la presión va disminuyendo conforme se va alejando de la matriz principal. La presión mínima es

de 1,91 [bar] demostrando que la presión que llega a todos los puntos más alejados es el adecuado garantizando el correcto abastecimiento a todos los usuarios domésticos.

Tabla 4.3. Inicio tabla de resultados de los Tramos o Legs

Inam:*	Longitud [m]	Eficiencia Tubería	Diámetro Externo [pulg]	Velocidad media del gas [m/s]	Factor de fricción
Leg C	99,93	0,95	40	6,8872	0,0236
Leg D	58,97	0,95	40	0,3534	0,0597
Leg F	50,07	0,95	40	6,2896	0,0242

Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base Software WinFlow

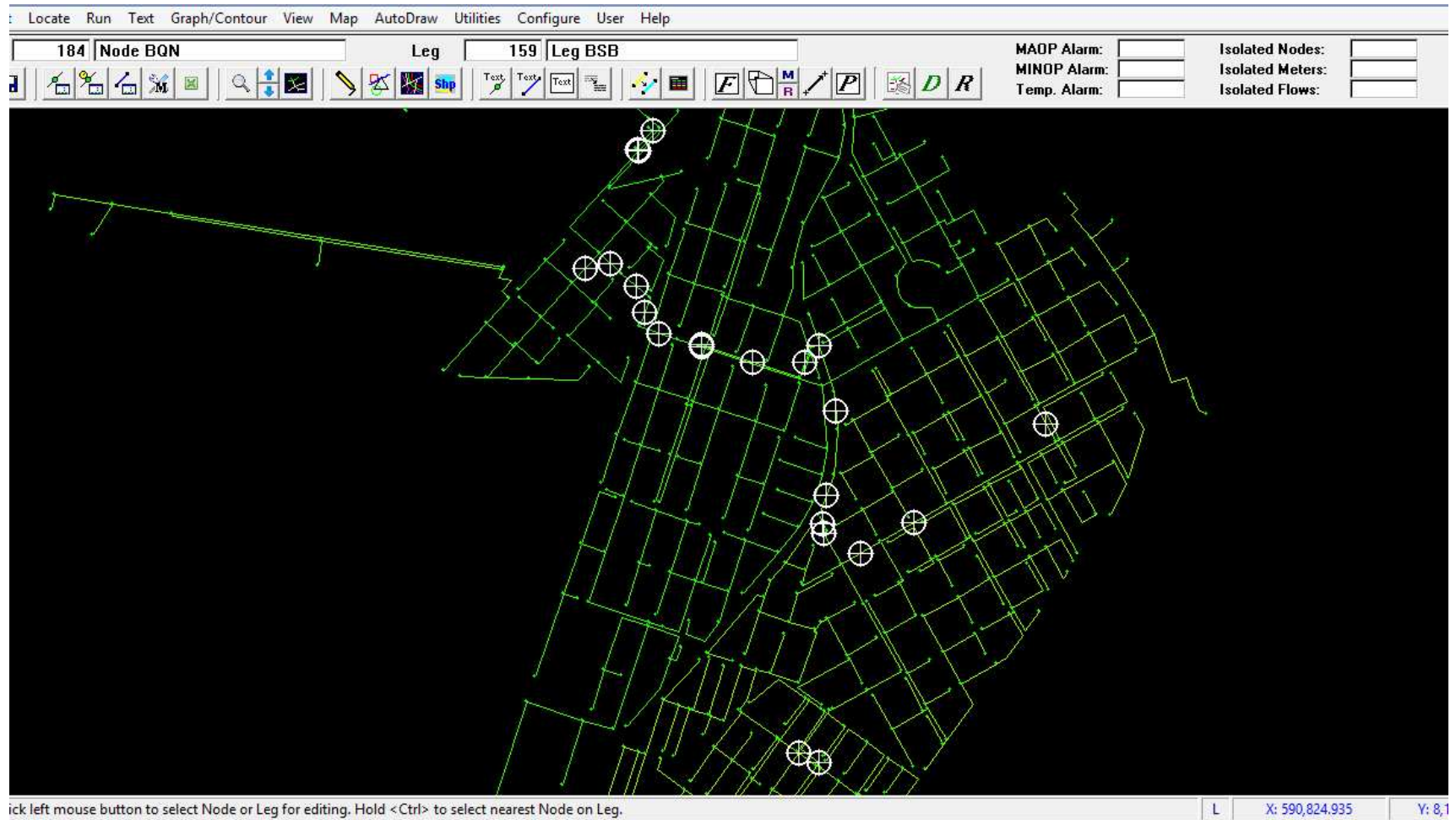
En las Tabla 4.3. se muestran el inicio de los resultados de los tramos o legs (Ver Anexo B para ver en su totalidad), donde cada leg muestra la velocidad que no supera los 20 [m/s], el diámetro de tubería y la longitud que tiene esta en cada tramo. La velocidad máxima es de 18 [m/s], por lo tanto la ecuación de Renouard es efectiva en toda la red secundaria.

Estos son los resultados obtenidos de la simulación, estos son exportados a un archivo Excel desde el software WinFlow.

Como se puede ver en la Figura 4.6. se puede ver que las presiones en todos los tramos están representados con el color verde lo que indica que las presiones en todos los puntos son los óptimos para el correcto abastecimiento a los usuarios domésticos con una presión mayor a 1,5 bar. Así también, en la Figura 4.6 se muestra las máximas velocidades que presenta la red secundaria donde las presiones no bajan de 1,91 [bar] en todos los puntos más alejados.

De esta manera se puede comprobar el correcto abastecimiento a los usuarios domésticos, ya que las presiones en los puntos más alejados de la red son menores a 1,5 [bar] y con la optimización superaran los 1,91 [bar].

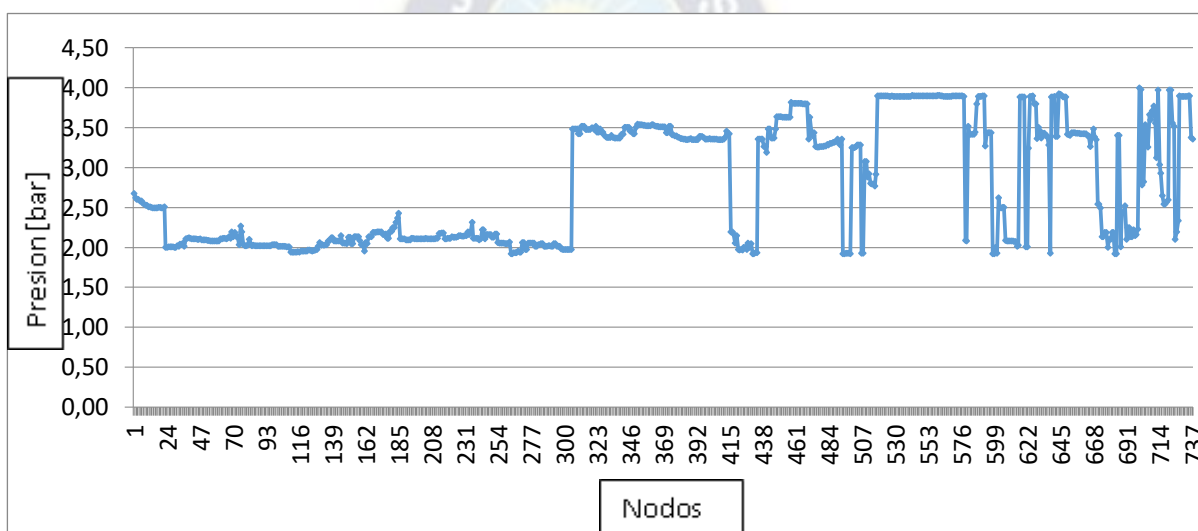
Figura 4.6. Gradientes de colores en función a la Presión



Fuente: Elaboración Propia en Base al Programa WinFlow

A continuación en la Figura 4.7. se presenta la gráfica de presión de cada uno de los nodos (Presión vs Node), puntos donde se tomó en cuenta los cualidades de gas consumidos por los usuarios. En Figura 4.7. se puede apreciar que el valor de presión obtenido no baja más de los 1,91 bar, lo que nos indica que todos los puntos son abastecidos con una presión óptima a la entrada de sus reguladores, también da paso a las pequeñas ampliaciones de calles y callejones que no cuenta con la instalación de gas domiciliario.

Figura 4.7. Grafica Presión vs Nodos



Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base resultados ANEXO A

4.6.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROYECTO

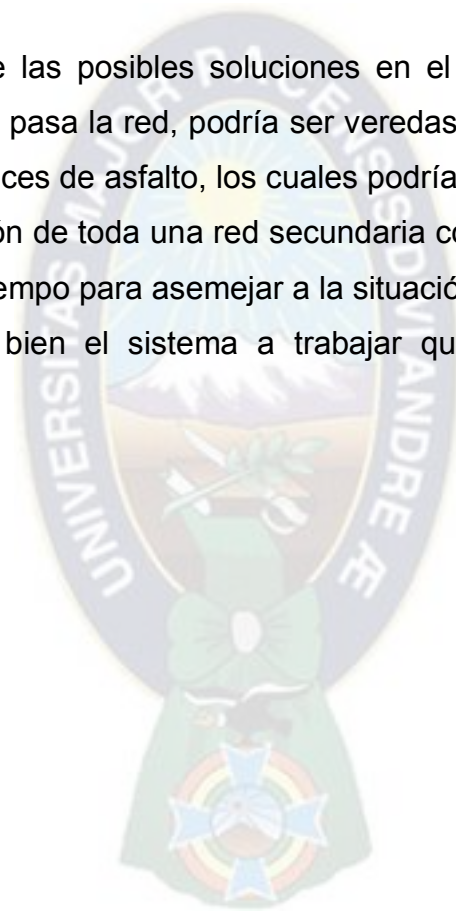
Entre las ventajas del uso de un modelo de simulación en el software WinFlow son:

- Permite identificar áreas con problemas en la red secundaria a estudiar.
- Permite realizar estudios sistemáticos de diferentes alternativas de solución aplicables a la red secundaria.
- Puede aplicarse a las demás redes secundarias por EDR, así se podrá tener un control total la distribución de gas natural en una ciudad.

- No importa que tan complejo sea el sistema ya que todo sistema puede ser modelado y de esta manera poder atacar el problema.
- Puede ser aplicada en cualquier punto de la vida de un sistema, ya sea durante el diseño o la producción planteando alternativas para el mejoramiento del mismo.

Entre las desventajas del uso de un modelo de simulación en el software WinFlow son:

- La simulación de las posibles soluciones en el software no contemplan el terreno en el que pasa la red, podría ser veredas, cruces de tierra, cruces de adoquinado o cruces de asfalto, los cuales podrían ser asfalto nuevo.
- La implementación de toda una red secundaria correspondiente a un EDR es moroso y toma tiempo para asemejar a la situación real.
- Se debe limitar bien el sistema a trabajar que podría haber errores no contemplados.





CAPITULO 5
ANÁLISIS DE COSTOS

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE ECONOMICO

5.1 INVERSIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DE OPTIMIZACION

De acuerdo a los resultados arrojados en la simulación, es necesario realizar la construcción de un loop en la red secundaria para optimizarla, para este propósito se realiza el análisis y la evaluación económica.

En el estudio y la selección de materiales se realizará de acuerdo a las normas aceptadas en los sistemas de distribución de gas natural de manera de garantizar seguridad de la red secundaria, de esta manera mejorar la prevención de riesgos y el cuidado al medio ambiente donde se realizara la construcción del loop y cierre de circuitos. La norma principal que será usada en el diseño de distribución y operación de las instalaciones propuestas es el reglamento de distribución de gas natural por redes emitido por la Agencia Nacional de Hidrocarburos

Tabla 5.1. Inversión para implementación de la mejora a la Red Secundaria

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Numeral)	Precio Total (Numeral)
1	Replanteo y trazado topográfico	M	502	4,02	2018,04
2	Corte, rotura y remoción de acera y/o cuneta	M2	179	13,52	2420,08
3	Corte, rotura y remoción de pavimento flexible	M2	22	14,13	310,86
4	Excavación de zanja terreno semi duro	M3	201	60,52	12164,52
5	Transporte de tubería	GLB	1	1888,82	1888,82
6	Provisión y colocado funda de	M	50	114,71	5735,50

	protección pvcdn -8"				
7	Tendido de tubería	M	502	1,21	607,42
8	Soldadura de tubería y accesorios pe	GLB	1	9046,14	9046,14
9	Obras civiles para fijación para válvula de p.e.	PZA	3	461,357	1384,07
10	Relleno de zanja con tierra cernida	M3	77	54,47	4194,19
11	Relleno y compactado de zanja con tierra común	M3	124	61,93	7679,32
12	Reposición y afinado de acera y/o cuneta	M2	179	144,34	25836,86
13	Reposición de pavimento flexible	M2	22	183,77	4042,94
14	Elaboración de planos as-built	M	502	1,33	667,66
15	Limpieza y retiro de escombros	GLB	1	3914,64	3914,64
16	Elaboración de databook	GLB	1	1499,52	1499,52
PRECIO TOTAL (Numeral)					83410,58
PRECIO TOTAL (Literal) Ochenta y Tres Mil Cuatrocientos Diez 58/100 Bolivianos					

Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos

En la Tabla 5.1 se muestran los ítems necesarios para implementar la propuesta de optimización a la Red Secundaria, cada ítem se desarrolla de forma separada donde se muestra su detalle en el ANEXO C, obteniendo un costo unitario de cada ítem se calcula la inversión total necesaria para este proyecto con un total de Ochenta y Tres Mil Cuatrocientos Diez 58/100 Bolivianos.

Ha este monto se le suma el costo de la licencia de uso del software WinFlow que es de 1100 dólares por año, que son 7593,19 en bolivianos, esta tarifa nos da un acceso a un numero de Usb Key determinado y debe distribuirse adecuadamente para su uso. Entonces tenemos que el monto total para la implementación de la optimización de la red secundaria es de 91003,77 Bs (Noventa y un Mil con tres 77/100 Bolivianos).

5.2 DEPRECIACIÓN

La depreciación es el desgaste de los activos o bienes requeridos para el proyecto. Este cálculo se realiza con la finalidad de ver si la recuperación de la inversión es antes de la vida útil de los equipos. El cálculo de este se realiza en base a la metodología. Por otra parte, una vez culminados la vida útil de los equipos se puede realizar una evaluación técnica que verifique la funcionalidad y estado de los mismos.

Tabla 5.2. Depreciación de Equipamiento de Inversión expresado en Bolivianos

Depreciación de Equipamiento de Inversión Expresado en Bolivianos				
Material o Ítem	Inversión Total Bs.	Plazo años	Cargo Anual Bs	Cargo Mensual Bs
Tuberías y Accesorios de PE100	5353,51	50	107,07	8,92

Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos

5.3 GENERACION DE INGRESOS

Tabla 5.3. Generación de Ingresos

Proyección de Ingresos Expresados en Bs					
Servicio	Medio de Cobro	Número de usuarios	Precio por el Servicio Bs	Pago Anual	Ingreso Anual
Gas natural - Domestico	Pago mensual	2876	9	108	310608
Gas natural - Comercial	Pago mensual	52	85	1020	53040
				TOTAL	363648

Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos

Los ingresos han sido calculados basados en el promedio de usuarios que alimenta la red secundaria del EDR-3 los cuales alcanzan a 2876 usuarios. El precio mínimo que paga cada usuario es de 9 Bs. Mensuales, este monto es establecido por Y.P.F.B. como consumo mínimo por un usuario doméstico, lo que implica que pagan 108 Bs. al año.

Los usuarios comerciales que son 52 usuarios pagan 85 Bs mensualmente, de la misma manera es el consumo mínimo que paga, por lo tanto pagan 1020 Bs al año.

Así mismo, se recomienda para la ejecución del proyecto se realice un estudio financiero con análisis de precios para ver la elasticidad del mismo a través de un análisis de sensibilidad.

5.4 FLUJO DE CAJA E INDICADORES FINANCIEROS

Tabla 5.4. Cuadro resumen de Indicadores Financieros

Indicador Financiero	Valor Estimado
VAN (Bs)	51133,67
TIR (%)	17
Costo Beneficio (Bs)	1,70
Periodo de Recuperación (años)	15

Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos

Como se puede ver los indicadores financieros corresponden a la aceptación para la ejecución del proyecto

(VAN) Valor actual neto.- Se interpreta como el valor actual de la inversión; esto quiere decir que la inversión al día de hoy son Bs 51133,67, como se muestra en la Tabla 5.4, al ser positivo este indicador se recomienda la ejecución del proyecto. Por ser auto sostenible y generar un rendimiento.

Tabla 5.5. Flujo de Caja e Indicadores Financieros

DESCRIPCIÓN	AÑOS															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ingresos por venta de Propano		25498,54	26096,64	29834,03	30287,26	31087,58	31366,48	31645,39	45990,55	47741,58	48429,56	48770,44	63529,41	63901,29	64968,9	65340,77
TOTAL INGRESOS		25498,54	26096,64	29834,03	30287,26	31087,58	31366,48	31645,39	45990,55	47741,58	48429,56	48770,44	63529,41	63901,29	64968,9	65340,77
Costos de operación		7880,37	8274,39	8688,11	9122,51	9578,64	10057,57	10560,45	11088,47	11642,89	12225,04	12836,29	13478,11	14152,01	14859,61	15602,59
UTILIDAD BRUTA		17618,17	17822,26	21145,92	21164,75	21508,94	21308,92	21084,95	34902,17	36098,68	36204,52	35934,15	50051,31	49749,28	50109,28	49738,18
Depreciación		4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89
Impuesto a la Transacción (3%)		528,55	534,67	634,38	634,94	645,27	639,27	632,55	1047,07	1082,96	1086,14	1078,02	1501,54	1492,48	1503,28	1492,15
Impuesto a las transacciones Financieras (0.15%)		11,82	12,41	13,03	13,68	14,37	15,09	15,84	16,63	17,46	18,34	19,25	20,22	21,23	22,29	23,4
Impuesto al Valor Agregado (13%)		2290,36	2316,89	2748,97	2751,42	2796,16	2770,16	2741,04	4537,28	4692,83	4706,59	4671,44	6506,67	6467,41	6514,21	6465,96
UTILIDADES OPERATIVAS (ANTES DE IUE)		9864,55	10035,39	12826,65	12841,81	13130,25	12961,51	12772,62	24378,3	25382,54	25470,56	25242,54	37099,99	36845,28	37146,62	36833,78
Impuesto sobre las Utilidades de las empresas (IUE 25%)		2466,14	2508,85	3206,66	3210,45	3282,56	3240,38	3193,16	6094,58	6345,63	6367,64	6310,64	9275	9211,32	9286,65	9208,44
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS		7398,41	7526,54	9619,99	9631,36	9847,69	9721,13	9579,47	18283,73	19036,9	19102,92	18931,91	27824,99	27633,96	27859,96	27625,33
Depreciación		4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89	4922,89
UTILIDAD NETA		12321,3	12449,44	14542,88	14554,25	14770,58	14644,02	14502,36	23206,62	23959,8	24025,82	23854,8	32747,88	32556,85	32782,85	32548,23
INVERSION	91003,77															
FLUJO NETO	-91003,77	12321,3	12449,44	14542,88	14554,25	14770,58	14644,02	14502,36	23206,62	23959,82	24025,82	23854,8	32747,88	32556,85	32782,85	32548,23
VAN	51133,67															
TIR	17															
Tasa de Descuento %	10															

Fuente: Elaborado por Univ. Iván Chipana Ramos en base a información recopilada por Y.P.F.B.

Para calcular el valor actual neto se utiliza la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+i)^j}$$

Donde:

I_0 = Inversión en el periodo 0

F_j = Flujo neto en el periodo j

i = Tasa de descuento

N = Horizontes de evaluación

(TIR) Tasa de Retorno.- Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión. Esto quiere decir que la propuesta de optimización ofrece una tasa de ganancia de 17% como se muestra en la Tabla 5.4. La tasa interna de retorno es aquella tasa de descuento que hace que el VAN del proyecto sea exactamente igual a cero, y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$0 = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+TIR)^j}$$

Donde:

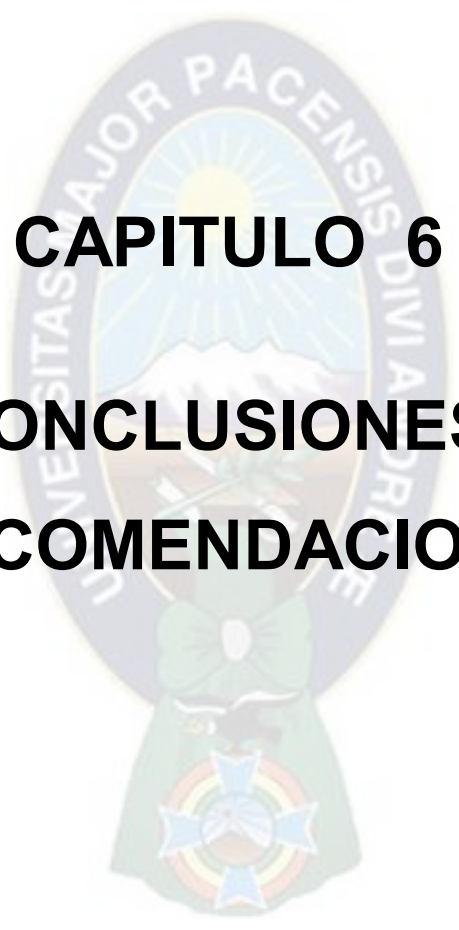
I_0 = Inversión en el periodo 0

F_j = Flujo neto en el periodo j

N = Horizontes de evaluación

(CB) Costo Beneficio.- La relación costo beneficio toma los ingresos y egresos presentes del flujo de caja, para determinar cuáles son los beneficios por cada peso que se invierte en el proyecto. Para tal caso el proyecto muestra en la Tabla 5.4 que por cada 1 Bs. se recupera 0,70 Bs.

(PRI) Periodo de Recuperación.- Este muestra la gestión y el monto de recuperación, esto quiere decir que en el año 15 empieza a ganar netamente.



CAPITULO 6

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La implementación de la propuesta de optimización es viable económicamente para Y.P.F.B. La implementación tiene un costo de 91003,77 Bs, inversión que es necesaria para optimizar la red secundaria, esta propuesta de optimización es establecida mediante la simulación en el Software WinFlow.
- La capacidad del EDR 3 es el adecuado y no necesita una optimización ya que el consumo máximo no sobrepasará la capacidad máxima del EDR que es de 2000 [m³/h], situación proyectada a 15 años en el caso de que todas las viviendas ya tengan el servicio de gas domiciliario.
- Se obtiene el diagnóstico actual del EDR y la red secundaria, donde la capacidad no se excede, mientras que en la red secundaria las presiones que llegan a los puntos más alejados de distribución no son los adecuados, según los resultados en la situación actual las presiones de los puntos alejados son menores a 1,5 [bar] y con la optimización la red secundaria tendrá como mínima presión 1,91 [bar], lo cual mejorará notablemente las presiones de distribución en toda la red secundaria.
- Se realiza el diseño del modelo de simulación siguiendo los pasos según los requisitos para la modelación y las reglas fundamentales para la simulación en el software WinFlow.
- Se definen los parámetros operacionales del EDR R-3, los parámetros geométricos de las tuberías y los parámetros del gas en

la red secundaria para el modelo de simulación sea lo más cercano a lo real.

- Según los resultados arrojados en el modelo de simulación se determina que la implementación de un loop en la red secundaria es la mejor opción para optimizarla, dentro del modelo simulado podemos afirmar que la distribución del flujo es apropiada al consumo de gas en cada tramo de la red secundaria que alimenta el EDR-3, así proporcionar el correcto abastecimiento. Se obtiene la propuesta de optimización para implementar un loop de 125 mm y 110 mm como la solución óptima simulada por el Software WinFlow, de esta manera se mejorará el abastecimiento a todos los usuarios domésticos y comerciales que alimenta esta red.
- Se determina un correcto abastecimiento en la simulación de la red secundaria del EDR R-3 usando el Software WinFlow, donde se obtiene una propuesta de optimización para que se cumpla lo simulado en el software WinFlow.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar la propuesta de optimización a la red secundaria del EDR R-3 para que el abastecimiento a todos los usuarios, en especial a los que se encuentran en los límites de la red, sea el correcto y pueda llegar a más usuarios que no cuentan con el servicio.
- Se recomienda usar el software más a fondo para realizar simulaciones a tiempo real y actualizar los datos constantemente para una mejor obtención de resultados, así se podrá decidir la adición de más usuarios comerciales en función a su consumo.
- Se recomienda la implementación de este proyecto para los demás EDR, de esta manera se podrá verificar que no exceda la capacidad

de estos y ver si se pueden agregar más usuarios, en especial usuarios comerciales.

- Se recomienda el mantenimiento semestral para las Estaciones Distritales de Regulación EDR, ya que es vital que trabajen correctamente y tengan el mantenimiento correctivo si lo necesitan, ya que es punto principal de distribución de gas.



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Agencia Nacional de Hidrocarburos - Normativa Para Distribución De Gas Natural Por Redes, Anexo 1. Diseño de Redes. 2015

Agencia Nacional de Hidrocarburos - Normativa Para Distribución De Gas Natural Por Redes, Anexo 2. Construcción de Redes de Gas Natural. 2015

Ángel Da silva. Ingeniería de yacimientos II. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Ingeniera de Petróleo. 2010

Donald W. Schroeder, Jr. Stoner Associates, Inc, Carlisle, a Tutorial on Pipe Flow Equations. Pennsylvania 17013-0086. 2001

Finch J. C. y Ko D. W. Fluid Flow Formulas. Pipeline Simulation Interest Group Annual Meeting. Toronto, Ontario, Canada 1988.

Gregg Engineering –GEI. 2012 Training –Modeling Equations, Capacitation on line Houston-Texas 2012.

Gustavo Plato. Ingeniería de yacimientos I. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Ingeniera de Petróleo. 2009

Informe de cromatografía de gases - Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos - Transportes. 2015.

Informes de lecturación del EDR-R3 mensual correspondiente al año 2015 Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos - Distrito Redes de Gas, El Alto.

Informes de mantenimiento de EDR`s. Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos - Gerencia de redes de Gas. 2015.

Kumar, Sanjay. Contribution in Petroleum Geology and Engineering - Gas Production Engineering, 1987. Volume 4. United States of America. Traducción

Lewis F. Moody, Peper Friction Factors for Pipe Flow, Princeton, N. J.

Manual de estadísticas energéticas. Agencia Internacional de Energías – AIE. EUROSTAT 2007.

Revista Gas y Desarrollo – Análisis y Perspectivas, Crecimiento Histórico Y Proyecciones Nacionales. Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. 2013.

SOFREGAZ Contrat 960.0.C.05. Bolivia 1000 m³/h, Francel 57 803

Tuberías y perfiles plásticos, S.A.U.2016

WinFlow 2015 User Manual. Gregg Engineering, Inc., 403 Julie Rivers Drive, SugarLand, Texas 77478, USA 2015.

WinFlow GIS User Manual. Gregg Engineering, Inc. 403 Julie Rivers Drive SugarLand, Texas 84562 USA. 2015.

GLOSARIO

City Gate = Estación de Recepción y Despacho, son las instalaciones destinadas a la recepción, filtrado, medición, odorización y despacho del Gas Natural, en bloque a ser distribuido a través de los sistemas correspondientes. Es el punto que separa el sistema de transporte con el sistema de distribución.

EDR = Estación Distrital de Regulación, instalación que está destinada a la regulación del caudal y la presión del Gas Natural, proveniente del sistema primario para suministrar gas natural a media presión al sistema secundario.

Gas Domiciliario = Gas natural para el uso doméstico.

Key Serial = Número serial asignado a un Key Usb

KeyUsb = Llave o licencia en forma flash memory que necesita el software WinFlow para su uso.

Línea activa = Es la línea de regulación principal del EDR, trabaja en forma regular y continua, regulando la presión y el caudal de gas.

Línea By Pass = Línea de habilitación o de derivación manual, se hace uso de esta línea cuando actúan los sistemas de seguridad tanto de la línea activa como de la línea Stand By o cuando se tiene la necesidad de prever el mantenimiento simultáneo de ambas líneas de regulación y permitir la continuidad del servicio.

Línea Stand By = Es la línea de regulación de reserva del EDR, la cual entra en servicio automáticamente cuando actúa el sistema de seguridad de la línea activa, evitando de esta forma el corte de la distribución de gas a los usuarios o en su caso, necesaria para realizar mantenimiento de la línea activa.

Leg = Tramo de tubería o porción continua de tubería entre nodos, dentro del software WinFlow.

Loop=Bucle o circuito cerrado en el caso de sistema de distribución.

Node = Toda intersección de tubería que modifique la continuidad de la misma, dentro del software WinFlow.

Red Primaria = Sistema de Distribución de Gas Natural que opera a presiones mayores a 4 bar hasta 42 bar inclusive, compuesta por tuberías de acero, válvulas, accesorios y cámaras de válvulas, que conforman la matriz del Sistema de Distribución a partir de la Puerta de Ciudad o City Gate.

Red Secundaria = Sistema de Distribución de Gas Natural que opera a presiones mayores a 0,4 bar hasta 4 bar inclusive, compuesta por tuberías de polietileno, acometidas, válvulas, accesorios y cámaras de válvulas, a partir de la Estación Distrital de Regulación.

Shapefile =Formato de archivo informático propietario de datos espaciales para Sistemas de Información Geográfica como Arc/Info o ArcGIS.

Software = Programa que nos ayuda a realizar algo productivo en la computadora, sirve para realizar una función particular, esta función no tiene que estar relacionada directamente con la computadora.

ANEXOS

ANEXO A

Tabla de Nodos en cada punto

nnam:*	Presión	Caudal	Poder Calorífico	Gravedad Especifica	Temp
Node C	2,67549122	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node D	2,62203753	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node F	2,60228899	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node G	2,60208157	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node H	2,57971137	-2,128	1041,5	0,614	7,344
Node J	2,57954218	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node K	2,55748128	0	1041,5	0,614	7,344
Node L	2,54173245	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node M	2,52987268	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node N	2,52930544	-5,04	1041,5	0,614	7,344
Node P	2,51023678	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node Q	2,50914765	-3,808	1041,5	0,614	7,344
Node R	2,49991289	0	1041,5	0,614	7,344
Node BQR	2,49615676	-4,704	1041,5	0,614	7,344
Node S	2,49506804	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node T	2,4950269	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node V	2,49444074	-5,6	1041,5	0,614	7,344
Node W	2,49812096	-1,792	1041,5	0,614	7,344
Node X	2,49785884	-3,808	1041,5	0,614	7,344
Node Y	2,4948054	0	1041,5	0,614	7,344
Node Z	2,49353124	-5,376	1041,5	0,614	7,344
Node BB	2,50847803	-5,936	1041,5	0,614	7,344
Node BC	2,00211261	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BD	2,00108809	-4,2	1041,5	0,614	7,344
Node BF	2,00674873	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node BG	2,00610948	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node BH	2,00603328	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node BJ	2,00605951	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node BK	2,00044449	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node BL	2,00036213	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node BM	2,01700991	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node BN	2,01565772	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node BP	2,04188334	-2,352	1041,5	0,614	7,344
Node BQ	2,04186795	-1,232	1041,5	0,614	7,344
Node BR	2,0550851	-2,576	1041,5	0,614	7,344

Node BS	2,01546656	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node BT	2,10665752	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BV	2,11312797	-1,344	1041,5	0,614	7,344
Node BW	2,1217821	-4,368	1041,5	0,614	7,344
Node BX	2,1130813	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BY	2,10654021	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BQX	2,1051727	-4,256	1041,5	0,614	7,344
Node BZ	2,10684018	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node CB	2,10715847	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node CC	2,10322704	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node CD	2,10292093	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node CF	2,10781011	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node CG	2,09215817	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node CH	2,09136443	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node CJ	2,09110677	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node CK	2,0908317	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node CL	2,08529167	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node CM	2,08417844	-5,208	1041,5	0,614	7,344
Node CN	2,08287197	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node CP	2,08283689	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node CQ	2,08130524	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BRB	2,08206171	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node CR	2,07727394	-4,368	1041,5	0,614	7,344
Node CS	2,07708502	-3,584	1041,5	0,614	7,344
Node CT	2,07711049	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node CV	2,10483246	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node CW	2,10822648	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node CX	2,11477062	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node CY	2,11508637	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node CZ	2,10668372	-3,584	1041,5	0,614	7,344
Node DB	2,11636766	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node DC	2,13495495	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node DD	2,11439453	-4,928	1041,5	0,614	7,344
Node DF	2,19055248	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node DG	2,13100167	-3,808	1041,5	0,614	7,344
Node DH	2,19019553	-4,032	1041,5	0,614	7,344

Node DJ	2,13064886	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node DK	2,13045211	-5,04	1041,5	0,614	7,344
Node DL	2,03181417	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node DM	2,26435277	0	1041,5	0,614	7,344
Node DN	2,19258814	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node DP	2,03174064	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node DQ	2,02082103	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node DR	2,0211082	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node DS	2,02426882	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node DT	2,09737794	-4,704	1041,5	0,614	7,344
Node DV	2,04161756	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node DW	2,02341352	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node DX	2,02352288	0	1041,5	0,614	7,344
Node DY	2,0205169	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node DZ	2,02187786	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node FB	2,02049006	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node FC	2,02067816	0	1041,5	0,614	7,344
Node FD	2,0201378	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node FF	2,01917685	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node FG	2,01888889	-3,192	1041,5	0,614	7,344
Node FH	2,01855335	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node FJ	2,01846329	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node FK	2,01832214	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node FL	2,01839838	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node FM	2,02104052	-2,352	1041,5	0,614	7,344
Node FN	2,03422932	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node FP	2,03454056	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node FQ	2,03422239	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node FR	2,03453188	0	1041,5	0,614	7,344
Node FS	2,01531312	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node FT	2,01551117	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node FV	2,01242607	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node FW	2,01038177	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node FX	2,01211136	-3,584	1041,5	0,614	7,344
Node FY	2,01024252	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node FZ	2,00946117	-2,52	1041,5	0,614	7,344
Node GB	2,00900107	-4,368	1041,5	0,614	7,344
Node GC	2,00943437	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node GD	1,94053591	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node BQW	1,94072585	-4,872	1041,5	0,614	7,344
Node GF	1,94248027	-1,008	1041,5	0,614	7,344

Node GG	1,94307838	0	1041,5	0,614	7,344
Node GH	1,94281814	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node GJ	1,94351013	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node GK	1,94321133	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node GL	1,95045289	-1,008	1041,5	0,614	7,344
Node GM	1,95331866	-1,008	1041,5	0,614	7,344
Node GN	1,95293886	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node GP	1,95602834	0	1041,5	0,614	7,344
Node GQ	1,95543318	-4,368	1041,5	0,614	7,344
Node GR	1,96523525	-1,008	1041,5	0,614	7,344
Node GS	1,96512907	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node GT	1,9571717	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node GV	1,95635294	-5,04	1041,5	0,614	7,344
Node GW	1,96321246	-4,256	1041,5	0,614	7,344
Node GX	1,96379686	0	1041,5	0,614	7,344
Node GY	1,97337066	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node BQV	2,01309344	-3,248	1041,5	0,614	7,344
Node GZ	2,05843649	0	1041,5	0,614	7,344
Node HB	2,02978965	-4,368	1041,5	0,614	7,344
Node HC	2,03025212	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node BRC	2,02926818	-3,808	1041,5	0,614	7,344
Node HD	2,03163034	-3,192	1041,5	0,614	7,344
Node HF	2,03187427	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node HG	2,08344557	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node HH	2,08363749	0	1041,5	0,614	7,344
Node HJ	2,12018132	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node HK	2,12041812	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node HL	2,08043519	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node HM	2,08068626	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node HN	2,08035837	-3,472	1041,5	0,614	7,344
Node HP	2,0814937	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node HQ	2,08108019	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node HR	2,14414953	-1,344	1041,5	0,614	7,344
Node HS	2,05213863	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node HT	2,05255632	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node HV	2,05030271	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BQT	2,04999428	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node HW	2,1299422	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node HX	2,13013863	0	1041,5	0,614	7,344
Node HY	2,04987647	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node HZ	2,04990459	-4,48	1041,5	0,614	7,344

Node JB	2,13321853	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node JC	2,13338079	0	1041,5	0,614	7,344
Node JD	2,13594353	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node JF	2,13348521	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node JG	2,08416157	-2,352	1041,5	0,614	7,344
Node JH	2,03532027	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node JJ	2,03445111	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node JK	1,95003003	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node JL	2,06118824	-4,368	1041,5	0,614	7,344
Node JM	2,04975181	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node JN	2,13455832	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node JP	2,1345283	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node JQ	2,13419266	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node JR	2,18986761	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node JS	2,18979611	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node JT	2,1890847	-5,04	1041,5	0,614	7,344
Node JV	2,19446681	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node JW	2,19453841	-2,8	1041,5	0,614	7,344
Node JX	2,19557759	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node JY	2,1956961	0	1041,5	0,614	7,344
Node JZ	2,16362681	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node KB	2,16377643	0	1041,5	0,614	7,344
Node KC	2,16386794	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node KD	2,11675651	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node BQQ	2,11297101	-3,136	1041,5	0,614	7,344
Node KF	2,20144589	-1,792	1041,5	0,614	7,344
Node KG	2,20128624	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node KH	2,24764782	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node KJ	2,24741159	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node KK	2,31407503	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node BQN	2,37089642	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node KL	2,43070463	0	1041,5	0,614	7,344
Node KM	2,10901173	-3,136	1041,5	0,614	7,344
Node KN	2,1053065	-3,584	1041,5	0,614	7,344
Node BQP	2,10441579	-3,136	1041,5	0,614	7,344
Node KP	2,10420507	-3,808	1041,5	0,614	7,344
Node KQ	2,09395997	-3,808	1041,5	0,614	7,344
Node KR	2,09378874	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node KS	2,09187688	-2,968	1041,5	0,614	7,344
Node KT	2,09205164	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node KV	2,11121667	-4,032	1041,5	0,614	7,344

Node KW	2,11141347	0	1041,5	0,614	7,344
Node KX	2,1088376	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node KY	2,1088931	0	1041,5	0,614	7,344
Node KZ	2,10829058	-3,808	1041,5	0,614	7,344
Node LB	2,10893902	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node LC	2,10562104	-3,584	1041,5	0,614	7,344
Node LD	2,10495484	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node LF	2,10460095	-3,584	1041,5	0,614	7,344
Node LG	2,10551204	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node LH	2,11343123	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node LJ	2,11014768	-1,904	1041,5	0,614	7,344
Node LK	2,10911353	-2,8	1041,5	0,614	7,344
Node LL	2,10883933	-3,808	1041,5	0,614	7,344
Node LM	2,10974493	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node LN	2,10986977	0	1041,5	0,614	7,344
Node LP	2,1100965	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node LQ	2,11453791	-3,472	1041,5	0,614	7,344
Node LR	2,11505522	0	1041,5	0,614	7,344
Node LS	2,17389036	-2,128	1041,5	0,614	7,344
Node LT	2,17230695	-6,944	1041,5	0,614	7,344
Node LV	2,17921367	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node LW	2,17934425	0	1041,5	0,614	7,344
Node LX	2,10849431	-3,808	1041,5	0,614	7,344
Node LY	2,10891338	0	1041,5	0,614	7,344
Node LZ	2,11151568	0	1041,5	0,614	7,344
Node MB	2,11138959	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node MC	2,11158072	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node MD	2,13216267	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node MF	2,13017907	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node BQM	2,12861561	-4,144	1041,5	0,614	7,344
Node MG	2,12840343	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node MH	2,13171621	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node MJ	2,14669891	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node MK	2,14693605	0	1041,5	0,614	7,344
Node ML	2,14254432	-0,672	1041,5	0,614	7,344
Node MM	2,14231139	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node MN	2,1483598	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node MP	2,14825904	-2,352	1041,5	0,614	7,344
Node MQ	2,19412873	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node MR	2,16362525	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node MS	2,19592712	0	1041,5	0,614	7,344

Node MT	2,3139614	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node MV	2,11132355	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node MW	2,11114036	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node MX	2,11140302	-2,352	1041,5	0,614	7,344
Node MY	2,11564865	0	1041,5	0,614	7,344
Node MZ	2,09178792	-4,144	1041,5	0,614	7,344
Node NB	2,10467326	-3,136	1041,5	0,614	7,344
Node NC	2,21944158	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node ND	2,21916631	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node NF	2,10887744	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node NG	2,1622344	0	1041,5	0,614	7,344
Node NH	2,16218463	-1,568	1041,5	0,614	7,344
Node NJ	2,16027953	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node NK	2,15949211	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node NL	2,12874088	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node NM	2,12829801	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node NN	2,16465812	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node NP	2,16478388	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node NQ	2,05787203	0	1041,5	0,614	7,344
Node NR	2,05280536	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BQJ	2,05228326	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node NS	2,05222424	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node NT	2,05041774	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BQL	2,0498396	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node BQK	2,04988443	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node NV	2,04973094	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node NW	2,06693669	-2,128	1041,5	0,614	7,344
Node NX	1,92262855	-3,136	1041,5	0,614	7,344
Node NY	1,92223705	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node NZ	1,93321787	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node PB	1,93098937	-3,472	1041,5	0,614	7,344
Node PC	1,93066234	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node PD	1,95269433	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node PF	1,94299075	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node PG	1,94269645	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node PH	2,059904	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node PJ	2,06003822	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node PK	1,97350697	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node PL	1,97363103	-2,128	1041,5	0,614	7,344
Node PM	2,05592486	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node PN	2,0557321	-3,696	1041,5	0,614	7,344

Node PP	2,05348977	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BQH	2,05263492	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node PQ	2,05200852	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node PR	2,01113819	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node PS	2,01136527	0	1041,5	0,614	7,344
Node PT	2,03183415	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node PV	2,03185714	-3,808	1041,5	0,614	7,344
Node PW	2,04850384	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node PX	2,04872106	0	1041,5	0,614	7,344
Node PY	2,01674079	0	1041,5	0,614	7,344
Node BQD	2,0156905	-4,704	1041,5	0,614	7,344
Node PZ	2,01551944	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node QB	2,01785172	-3,584	1041,5	0,614	7,344
Node QC	2,01738736	-4,928	1041,5	0,614	7,344
Node QD	2,01165783	-3,472	1041,5	0,614	7,344
Node QF	2,01148694	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node QG	2,04505822	0	1041,5	0,614	7,344
Node QH	2,04497601	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node QJ	2,01562319	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node QK	2,01536931	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node QL	2,01541643	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node QM	1,97913799	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node QN	1,97639739	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node QP	1,97620862	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node QQ	1,97626684	0	1041,5	0,614	7,344
Node BQF	1,97564647	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node QR	1,97619139	-1,904	1041,5	0,614	7,344
Node QS	1,97060222	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node QT	1,9703875	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node QV	3,48294351	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node QW	3,48321466	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node QX	3,48240406	-3,136	1041,5	0,614	7,344
Node QY	3,48263899	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node QZ	3,42623936	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node RB	3,42644116	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node RC	3,51452242	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node RD	3,51468612	0	1041,5	0,614	7,344
Node BPV	3,51361504	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node RF	3,47752677	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node RG	3,47754744	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node RH	3,47756571	-4,816	1041,5	0,614	7,344

Node RJ	3,47800374	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node RK	3,49576182	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node RL	3,49522344	-5,376	1041,5	0,614	7,344
Node RM	3,47753129	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node RN	3,51930286	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node RP	3,44204467	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node BPP	3,44174627	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node RQ	3,48239988	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node RR	3,44152206	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node RS	3,44164969	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node RT	3,40220963	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BPQ	3,38391372	-5,04	1041,5	0,614	7,344
Node RV	3,37591686	-2,8	1041,5	0,614	7,344
Node BPR	3,37517883	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node RW	3,37566355	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node RX	3,40216061	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node RY	3,37495761	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node RZ	3,36953522	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node SB	3,36968634	0	1041,5	0,614	7,344
Node SC	3,36972486	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node BPT	3,36859101	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node SD	3,36710161	-10,08	1041,5	0,614	7,344
Node SF	3,41598355	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node SG	3,41566455	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node SH	3,50426744	-3,136	1041,5	0,614	7,344
Node SJ	3,50446736	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node SK	3,50520934	-2,352	1041,5	0,614	7,344
Node SL	3,50489198	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node SM	3,45908026	-4,704	1041,5	0,614	7,344
Node SN	3,45905889	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node SP	3,42561597	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node SQ	3,42560863	-0,896	1041,5	0,614	7,344
Node SR	3,50389177	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node SS	3,54037922	-1,344	1041,5	0,614	7,344
Node ST	3,53748165	0	1041,5	0,614	7,344
Node BPX	3,53680995	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node SV	3,536612	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node SW	3,53304786	0	1041,5	0,614	7,344
Node SX	3,5329004	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node SY	3,52368226	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node SZ	3,52340526	-3,808	1041,5	0,614	7,344

Node TB	3,52243876	-3,808	1041,5	0,614	7,344
Node TC	3,52240675	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node TD	3,53444876	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node TF	3,53510252	0	1041,5	0,614	7,344
Node TG	3,5222714	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node TH	3,51706933	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node TJ	3,51676184	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node TK	3,51305703	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node TL	3,5120543	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node TM	3,51179491	-3,472	1041,5	0,614	7,344
Node TN	3,51293708	-2,352	1041,5	0,614	7,344
Node TP	3,51148278	-5,6	1041,5	0,614	7,344
Node TQ	3,43684858	-4,704	1041,5	0,614	7,344
Node TR	3,43672699	-2,8	1041,5	0,614	7,344
Node TS	3,51618021	-4,704	1041,5	0,614	7,344
Node BPY	3,51662349	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node TT	3,40797983	-3,584	1041,5	0,614	7,344
Node TV	3,40819538	-1,344	1041,5	0,614	7,344
Node TW	3,39657234	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node TX	3,39673765	-1,904	1041,5	0,614	7,344
Node TY	3,38629556	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node TZ	3,37648545	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node VB	3,36466048	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node VC	3,36040638	-1,008	1041,5	0,614	7,344
Node VD	3,35951663	0	1041,5	0,614	7,344
Node VF	3,35647251	-1,008	1041,5	0,614	7,344
Node VG	3,35236973	-3,472	1041,5	0,614	7,344
Node VH	3,3523603	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node VJ	3,35932321	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node VK	3,36032309	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node VL	3,3509499	-1,904	1041,5	0,614	7,344
Node VM	3,34975326	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node VN	3,34973695	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node VP	3,34951754	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node VQ	3,35087447	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node VR	3,3925976	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node VS	3,39144563	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node VT	3,39116711	-2,8	1041,5	0,614	7,344
Node VV	3,37658277	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node VW	3,35966034	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node VX	3,35880065	0	1041,5	0,614	7,344

Node VY	3,35792932	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node VZ	3,36458007	0	1041,5	0,614	7,344
Node WB	3,35956852	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node WC	3,35738131	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node WD	3,35703764	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node WF	3,35791779	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node WG	3,35786262	-1,792	1041,5	0,614	7,344
Node WH	3,35014513	-1,344	1041,5	0,614	7,344
Node WJ	3,3493099	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node WK	3,348044	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node WL	3,34986146	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node WM	3,35729861	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node WN	3,37645425	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node WP	3,45903071	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node WQ	3,42221448	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node WR	3,42199032	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node WS	2,19488081	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node WT	2,19445114	0	1041,5	0,614	7,344
Node WV	2,16400265	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node WW	2,05231216	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node BQC	2,14793992	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node WX	1,97047315	0	1041,5	0,614	7,344
Node BQG	1,96993213	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node WY	1,9703791	-2,128	1041,5	0,614	7,344
Node WZ	1,96987519	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node XB	1,99706215	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node XC	1,99698652	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node XD	1,97554121	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node XF	2,05336765	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node XG	1,99893227	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node XH	2,04956145	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node XJ	1,92255738	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node XK	1,92255235	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node XL	1,93025292	-4,256	1041,5	0,614	7,344
Node XM	1,93144414	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node XN	3,35374465	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BPL	3,35402179	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node XP	3,35439884	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node XQ	3,35573956	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node XR	3,26580768	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node XS	3,26601873	-2,576	1041,5	0,614	7,344

Node XT	3,18660635	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node XV	3,48268462	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node XW	3,48280014	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node XX	3,36904005	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BPK	3,36868023	-2,8	1041,5	0,614	7,344
Node XY	3,36854733	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node XZ	3,48273113	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node YB	3,63634869	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node YC	3,63639839	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node YD	3,63676198	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node YF	3,63636324	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node YG	3,6332986	0	1041,5	0,614	7,344
Node BPH	3,63192497	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node BPJ	3,63128555	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node YH	3,63317021	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node YJ	3,63355706	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node YK	3,63333659	-4,256	1041,5	0,614	7,344
Node YL	3,81840961	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node YM	3,80326457	-3,136	1041,5	0,614	7,344
Node YN	3,80348098	0	1041,5	0,614	7,344
Node YP	3,80335159	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node YQ	3,80354878	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node YR	3,80354473	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node YS	3,80466685	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node YT	3,80455024	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node YV	3,7996172	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node YW	3,79902039	-5,04	1041,5	0,614	7,344
Node YX	3,7980404	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node YY	3,7976342	-7,84	1041,5	0,614	7,344
Node YZ	3,3543527	-1,904	1041,5	0,614	7,344
Node ZB	3,63101956	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node ZC	3,45128756	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node ZD	3,39973748	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node ZF	3,4372005	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node ZG	3,2601326	0	1041,5	0,614	7,344
Node ZH	3,25528069	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node ZJ	3,25518619	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node ZK	3,25989179	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node ZL	3,26006691	0	1041,5	0,614	7,344
Node ZM	3,26101066	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node ZN	3,27028006	-4,48	1041,5	0,614	7,344

Node ZP	3,2701365	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node ZQ	3,28644376	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node ZR	3,28572238	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node ZS	3,30578301	0	1041,5	0,614	7,344
Node ZT	3,30577993	-0,896	1041,5	0,614	7,344
Node ZV	3,31574429	0	1041,5	0,614	7,344
Node ZW	3,31568154	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node ZX	3,3210267	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node ZY	3,35355987	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node ZZ	3,32100688	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BBB	3,28570119	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BBC	3,35351693	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BBD	1,92232551	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node BBF	1,92194042	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BBG	1,92372533	-2,8	1041,5	0,614	7,344
Node BBH	1,92371224	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BBJ	1,92742935	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BBK	1,92214453	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BBL	3,2503329	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node BBM	3,25010837	-4,368	1041,5	0,614	7,344
Node BBN	3,2483357	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BBP	3,2599644	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node BBQ	3,2861072	-1,904	1041,5	0,614	7,344
Node BBR	3,28616413	-1,008	1041,5	0,614	7,344
Node BBS	3,28594727	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BBT	1,92420092	-2,8	1041,5	0,614	7,344
Node BBV	1,92916606	0	1041,5	0,614	7,344
Node BBW	3,07677133	0	1041,5	0,614	7,344
Node BBX	3,07542736	0	1041,5	0,614	7,344
Node BBY	2,88341558	0	1041,5	0,614	7,344
Node BBZ	2,92191216	0	1041,5	0,614	7,344
Node BCB	2,80086531	0	1041,5	0,614	7,344
Node BCC	2,79580564	0	1041,5	0,614	7,344
Node BCD	2,79448741	-16,8	1041,5	0,614	7,344
Node BCF	2,76657272	-67,2	1041,5	0,614	7,344
Node BCG	2,91478741	-33,6	1041,5	0,614	7,344
Node BCH	3,89779725	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node BCJ	3,89778973	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node BCK	3,89776663	0	1041,5	0,614	7,344
Node BCL	3,89772876	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BCM	3,89768756	-1,344	1041,5	0,614	7,344

Node BCN	3,8976852	-0,56	1041,5	0,614	7,344
Node BCP	3,89806678	0	1041,5	0,614	7,344
Node BCQ	3,89806024	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node BCR	3,89352247	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node BCS	3,89340749	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BCT	3,8944458	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node BCV	3,89384399	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BCW	3,89374403	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BCX	3,89072246	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node BCY	3,89047609	0	1041,5	0,614	7,344
Node BCZ	3,89047109	0	1041,5	0,614	7,344
Node BDB	3,89044403	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BDC	3,89043664	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BDD	3,89009902	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BDF	3,88998796	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BDG	3,89018455	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BDH	3,89022335	0	1041,5	0,614	7,344
Node BDJ	3,88922449	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BDK	3,88921585	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BDL	3,9030058	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node BDM	3,8994641	-0,56	1041,5	0,614	7,344
Node BDN	3,89917542	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BDP	3,89906265	0	1041,5	0,614	7,344
Node BDQ	3,89877	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BDR	3,89907849	0	1041,5	0,614	7,344
Node BDS	3,89692609	-0,56	1041,5	0,614	7,344
Node BDT	3,89631452	-0,56	1041,5	0,614	7,344
Node BDV	3,89528867	-0,896	1041,5	0,614	7,344
Node BDW	3,89468274	-0,896	1041,5	0,614	7,344
Node BDX	3,89441728	-0,896	1041,5	0,614	7,344
Node BDY	3,89441455	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node BDZ	3,89618265	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BFB	3,89513278	-3,136	1041,5	0,614	7,344
Node BFC	3,89451589	-3,136	1041,5	0,614	7,344
Node BFD	3,89422482	-3,136	1041,5	0,614	7,344
Node BFF	3,89439096	0	1041,5	0,614	7,344
Node BFG	3,89429172	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node BFH	3,90252092	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node BFJ	3,90251064	-1,344	1041,5	0,614	7,344
Node BFK	3,89618118	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node BFL	3,89590639	-3,36	1041,5	0,614	7,344

Node BFM	3,89211855	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BFN	3,89168798	-5,264	1041,5	0,614	7,344
Node BFP	3,89023433	0	1041,5	0,614	7,344
Node BFQ	3,89028209	0	1041,5	0,614	7,344
Node BFR	3,8904621	-5,04	1041,5	0,614	7,344
Node BPF	3,89277638	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node BFS	3,89676195	0	1041,5	0,614	7,344
Node BFT	3,89756374	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BFV	3,89605136	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BFW	3,89570961	-3,584	1041,5	0,614	7,344
Node BFX	3,89583226	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node BFY	3,89558347	-3,584	1041,5	0,614	7,344
Node BFZ	3,89571169	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node BGB	3,89581944	0	1041,5	0,614	7,344
Node BGC	3,88989053	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node BGD	2,08427789	0	1041,5	0,614	7,344
Node BGF	2,08279797	0	1041,5	0,614	7,344
Node BGG	3,5134146	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BGH	3,4154976	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node BGJ	3,41568036	-2,352	1041,5	0,614	7,344
Node BGK	3,41778715	-0,56	1041,5	0,614	7,344
Node BGL	3,41915289	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node BGM	3,44257259	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BGN	3,796901	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node BGP	3,887884	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BPG	3,8878189	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BGQ	3,88779589	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BGR	3,89691658	0	1041,5	0,614	7,344
Node BGS	3,89676622	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BGT	3,27010209	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BGV	3,4363534	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BGW	3,436455	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BGX	3,4345853	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node BGY	3,43474086	-1,344	1041,5	0,614	7,344
Node BGZ	1,91961052	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BHB	1,91947255	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BHC	1,99852426	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node BHD	1,92836145	0	1041,5	0,614	7,344
Node BHF	2,61904917	0	1041,5	0,614	7,344
Node BHG	2,4949665	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BHH	2,49478095	-3,024	1041,5	0,614	7,344

Node BHJ	2,50023978	-3,136	1041,5	0,614	7,344
Node BHK	2,49901649	0	1041,5	0,614	7,344
Node BHL	2,08535592	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BHM	2,08314066	0	1041,5	0,614	7,344
Node BHN	2,07812067	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BQY	2,0774941	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node BHP	2,07741475	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node BHQ	2,07799877	0	1041,5	0,614	7,344
Node BQZ	2,07667695	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node BHR	2,0757261	-4,704	1041,5	0,614	7,344
Node BHS	2,01540283	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node BHT	2,02917973	-2,52	1041,5	0,614	7,344
Node BHV	3,88442066	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node BHW	3,88413487	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node BHX	3,88507316	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node BHY	3,88481449	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node BHZ	2,00974344	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BJB	2,00958613	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node BJC	3,24523239	-6,72	1041,5	0,614	7,344
Node BJD	3,892217	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BJF	3,89203096	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BJG	3,8980884	0	1041,5	0,614	7,344
Node BJH	3,79687381	0	1041,5	0,614	7,344
Node BJJ	3,79593681	-5,04	1041,5	0,614	7,344
Node BJK	3,36444065	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BJL	3,50368976	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BJM	3,45877953	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BJN	3,36953795	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node BJP	3,42772843	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BJQ	3,42746285	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BJR	3,39878739	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BJS	3,39823935	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BJT	3,28559957	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BJV	1,92815541	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node BJW	3,88479967	-1,232	1041,5	0,614	7,344
Node BJX	3,88480941	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node BJY	3,88808497	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BJZ	3,39026795	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BKB	3,3898813	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BKC	3,92193126	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node BKD	3,91569058	-0,784	1041,5	0,614	7,344

Node BKF	3,90251335	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BKG	3,88483957	-0,672	1041,5	0,614	7,344
Node BKH	3,88396608	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node BKJ	3,88472867	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BKK	3,41460982	-3,696	1041,5	0,614	7,344
Node BPW	3,4093693	-5,264	1041,5	0,614	7,344
Node BKL	3,40625706	-5,04	1041,5	0,614	7,344
Node BKM	3,43640102	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BKN	3,43546569	0	1041,5	0,614	7,344
Node BKP	3,43462952	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node BKQ	3,42851172	-2,352	1041,5	0,614	7,344
Node BKR	3,42860908	-1,904	1041,5	0,614	7,344
Node BKS	3,42759839	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BKT	3,42629447	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BKV	3,42591379	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node BKW	3,42584389	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BKX	3,42620749	-2,352	1041,5	0,614	7,344
Node BKY	3,42607425	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node BKZ	3,39763817	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node BLB	3,39747477	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node BLC	3,26093981	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BLD	3,39021084	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BLF	3,48027383	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BLG	3,38613157	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node BLH	3,35122674	-5,6	1041,5	0,614	7,344
Node BLJ	2,5404742	-3,92	1041,5	0,614	7,344
Node BLK	2,54042691	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BLL	2,49460039	-3,584	1041,5	0,614	7,344
Node BLM	2,13346657	-1,232	1041,5	0,614	7,344
Node BLN	2,13256954	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node BLP	2,18636116	0	1041,5	0,614	7,344
Node BLQ	2,18504666	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node BLR	2,00021287	-2,856	1041,5	0,614	7,344
Node BLS	2,10274295	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BLT	2,10298782	-1,904	1041,5	0,614	7,344
Node BLV	2,18479226	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BLW	2,18463969	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node BLX	1,92132719	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BLY	1,91917309	-4,704	1041,5	0,614	7,344
Node BLZ	3,40621685	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node BMB	3,40565867	-6,72	1041,5	0,614	7,344

Node BMC	2,00941678	-4,256	1041,5	0,614	7,344
Node BMD	2,43062148	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BMF	2,43905233	-1,904	1041,5	0,614	7,344
Node BMG	2,51999955	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node BMH	2,09870132	-3,808	1041,5	0,614	7,344
Node BMJ	2,25012825	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BMK	2,24995706	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BML	2,13122021	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node BMM	2,13105947	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node BMN	2,22005822	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BMP	2,14375448	-2,016	1041,5	0,614	7,344
Node BMQ	2,16233927	-4,704	1041,5	0,614	7,344
Node BMR	2,22655625	-3,584	1041,5	0,614	7,344
Node BMS	3,998952	1931,44	1041,5	0,614	7,344
Node BMT	3,97451608	0	1041,5	0,614	7,344
Node BMV	2,77889706	-0,672	1041,5	0,614	7,344
Node BMW	2,82251729	-2,464	1041,5	0,614	7,344
Node BMX	3,53970979	0	1041,5	0,614	7,344
Node BMY	3,32732626	0	1041,5	0,614	7,344
Node BMZ	3,25602084	0	1041,5	0,614	7,344
Node BNB	3,66367252	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BPN	3,59894303	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BNC	3,71173221	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BPM	3,77057505	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BND	3,55869782	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BNF	3,12438992	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BNG	3,97086017	0	1041,5	0,614	7,344
Node BNH	3,03503073	-1,68	1041,5	0,614	7,344
Node BNJ	2,92581589	-2,688	1041,5	0,614	7,344
Node BNK	2,64586478	-1,904	1041,5	0,614	7,344
Node BNL	2,54260145	0	1041,5	0,614	7,344
Node BNM	2,54451022	-2,576	1041,5	0,614	7,344
Node BQS	2,57069782	-4,368	1041,5	0,614	7,344
Node BNN	2,59572086	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BNP	3,97041423	0	1041,5	0,614	7,344
Node BNQ	3,96939637	0	1041,5	0,614	7,344
Node BNR	3,5574995	0	1041,5	0,614	7,344
Node BQB	3,51486807	-4,032	1041,5	0,614	7,344
Node BNS	2,09737356	-3,024	1041,5	0,614	7,344
Node BNT	2,19430617	-4,48	1041,5	0,614	7,344
Node BNV	2,33503312	-2,688	1041,5	0,614	7,344

Node BNW	3,897307	0	1041,5	0,614	7,344
Node BNX	3,89342995	-2,24	1041,5	0,614	7,344
Node BNY	3,8904616	-1,12	1041,5	0,614	7,344
Node BNZ	3,88876008	-5,6	1041,5	0,614	7,344
Node BPB	3,888522	-2,912	1041,5	0,614	7,344

Node BPC	3,88850694	-2,912	1041,5	0,614	7,344
Node BPD	3,89823776	-1,904	1041,5	0,614	7,344
Node BPF	3,89926643	-0,784	1041,5	0,614	7,344
Node BPS	3,37490579	-3,36	1041,5	0,614	7,344
Node BPZ	3,35623344	-3,36	1041,5	0,614	7,344

ANEXO B

Tabla de Legs entre cada tramo

Inam:*	Longitud m	Eficiencia Tub	Diámetro Ext	Velocidad media del gas	Factor fricción
Leg C	99,93	0,95	40	6,8872	0,0236
Leg D	58,97	0,95	40	0,3534	0,0597
Leg F	50,07	0,95	40	6,2896	0,0242
Leg G	108,75	0,95	40	0,2235	0,0664
Leg H	55,19	0,95	40	5,9114	0,0247
Leg J	35,88	0,95	40	5,2978	0,0254
Leg K	104,67	0,95	40	0,4637	0,0545
Leg L	67,18	0,95	40	0,9017	0,0434
Leg M	122,70	0,95	40	1,3206	0,0383
Leg BSJ	69,52	0,95	40	0,8845	0,0437
Leg N	31,21	0,95	40	0,2082	0,0664
Leg P	96,36	0,95	40	0,5204	0,0525
Leg Q	75,87	0,95	40	0,3536	0,0603
Leg R	209,29	0,95	40	0,4997	0,0533
Leg S	93,82	0,95	40	0,5494	0,0514
Leg T	216,76	0,95	40	0,4547	0,0582
Leg V	121,84	0,95	40	1,5991	0,0378
Leg W	52,00	0,95	40	0,8111	0,0474
Leg X	41,69	0,95	40	0,2664	0,0664
Leg Y	27,35	0,95	40	0,2664	0,0664
Leg Z	43,77	0,95	40	0,2669	0,0664
Leg BB	102,68	0,95	40	2,8276	0,0317
Leg BC	76,73	0,95	40	1,0075	0,0440
Leg BD	38,58	0,95	40	0,1316	0,0664
Leg BF	50,04	0,95	40	4,9545	0,0269
Leg BG	121,17	0,95	40	4,2949	0,0281

Leg BH	94,33	0,95	40	0,2776	0,0664
Leg BJ	53,74	0,95	40	3,1130	0,0305
Leg BK	61,07	0,95	40	3,4206	0,0297
Leg BL	55,48	0,95	40	0,1753	0,0664
Leg BM	105,32	0,95	40	0,2029	0,0664
Leg BN	74,56	0,95	40	0,4217	0,0591
Leg BP	71,44	0,95	40	0,4222	0,0591
Leg BQ	154,67	0,95	40	1,3594	0,0394
Leg BR	113,23	0,95	40	3,3787	0,0298
Leg BS	80,66	0,95	40	0,3532	0,0631
Leg BT	42,30	0,95	40	1,0358	0,0432
Leg BV	129,78	0,95	40	0,4121	0,0597
Leg BW	113,39	0,95	40	2,0832	0,0345
Leg BX	170,01	0,95	40	0,5486	0,0539
Leg BY	103,43	0,95	40	1,1836	0,0414
Leg BZ	41,11	0,95	40	0,1771	0,0664
Leg CB	120,86	0,95	40	0,8301	0,0466
Leg CC	188,33	0,95	40	1,1228	0,0421
Leg CD	52,94	0,95	40	0,3785	0,0617
Leg CF	75,73	0,95	40	0,2838	0,0664
Leg CG	104,57	0,95	40	0,8319	0,0465
Leg BSV	91,69	0,95	40	0,3868	0,0610
Leg CH	111,00	0,95	40	0,9097	0,0451
Leg CJ	50,36	0,95	40	1,1125	0,0421
Leg CK	74,16	0,95	40	0,4206	0,0591
Leg CL	134,65	0,95	40	0,3748	0,0617
Leg CM	114,04	0,95	40	2,2881	0,0335
Leg CN	50,84	0,95	40	1,2322	0,0407
Leg CP	112,30	0,95	40	3,7394	0,0289

Leg CQ	116,79	0,95	40	0,5141	0,0550
Leg CR	52,54	0,95	40	10,7979	0,0219
Leg CS	160,28	0,95	40	1,2138	0,0408
Leg CT	85,89	0,95	40	0,4106	0,0591
Leg CV	147,39	0,95	40	0,2964	0,0664
Leg CW	89,86	0,95	40	0,5231	0,0545
Leg CX	120,70	0,95	40	4,1332	0,0283
Leg CY	50,22	0,95	40	12,6796	0,0210
Leg CZ	33,92	0,95	40	0,2881	0,0664
Leg DB	88,35	0,95	40	0,3614	0,0631
Leg DC	49,19	0,95	40	3,6255	0,0294
Leg DD	53,42	0,95	40	9,2708	0,0229
Leg DF	107,88	0,95	40	0,3051	0,0664
Leg DG	89,22	0,95	40	0,2167	0,0664
Leg DH	52,95	0,95	40	2,0233	0,0351
Leg DJ	104,74	0,95	40	1,1755	0,0417
Leg DK	76,19	0,95	40	0,3073	0,0664
Leg DL	86,33	0,95	40	0,4338	0,0591
Leg DM	50,70	0,95	40	1,2835	0,0406
Leg DN	11,06	0,95	40	2,2387	0,0340
Leg DP	96,27	0,95	40	0,3436	0,0644
Leg DQ	61,22	0,95	40	0,7234	0,0493
Leg DR	106,16	0,95	40	0,1809	0,0664
Leg DS	89,26	0,95	40	0,1809	0,0664
Leg DT	47,68	0,95	40	0,3617	0,0631
Leg DV	40,89	0,95	40	0,2530	0,0664
Leg DW	50,00	0,95	40	0,9275	0,0452
Leg DX	82,11	0,95	40	0,3958	0,0610
Leg DY	95,50	0,95	40	0,3598	0,0631
Leg DZ	10,33	0,95	40	3,0838	0,0309
Leg FB	72,22	0,95	40	0,3259	0,0657
Leg FC	49,14	0,95	40	2,1495	0,0344
Leg FD	53,16	0,95	40	2,7796	0,0318
Leg FF	62,78	0,95	40	1,4563	0,0390
Leg FG	86,77	0,95	40	0,3866	0,0617
Leg FH	62,91	0,95	40	0,2902	0,0664
Leg FJ	60,25	0,95	40	0,9250	0,0453
Leg FK	91,56	0,95	40	0,4717	0,0574
Leg FL	30,74	0,95	40	0,1814	0,0664
Leg FM	74,97	0,95	40	0,3156	0,0664
Leg BSS	133,17	0,95	40	0,8538	0,0469

Leg FN	114,94	0,95	40	0,2968	0,0664
Leg FP	117,34	0,95	40	0,3153	0,0664
Leg FQ	37,82	0,95	40	2,4229	0,0334
Leg FR	113,56	0,95	40	0,3698	0,0631
Leg FS	116,07	0,95	40	0,4803	0,0574
Leg FT	47,13	0,95	40	0,2946	0,0664
Leg FV	126,35	0,95	40	0,5539	0,0545
Leg FW	119,58	0,95	40	0,4667	0,0579
Leg FX	133,35	0,95	40	5,3562	0,0265
Leg BSQ	138,23	0,95	40	5,6287	0,0261
Leg FY	92,66	0,95	40	0,4684	0,0574
Leg FZ	81,82	0,95	40	0,3421	0,0644
Leg GB	89,52	0,95	40	0,2833	0,0664
Leg GC	89,24	0,95	40	0,3149	0,0657
Leg GD	103,69	0,95	40	0,3013	0,0664
Leg GF	97,41	0,95	40	0,3662	0,0624
Leg GG	50,75	0,95	40	0,9390	0,0447
Leg GH	80,88	0,95	40	0,4724	0,0569
Leg GJ	50,83	0,95	40	1,6824	0,0369
Leg GK	30,61	0,95	40	9,0895	0,0229
Leg GL	96,19	0,95	40	0,4292	0,0591
Leg GM	50,50	0,95	40	1,7473	0,0366
Leg GN	92,97	0,95	40	0,2790	0,0664
Leg GP	97,94	0,95	40	0,4296	0,0591
Leg GQ	76,86	0,95	40	0,4773	0,0569
Leg GR	77,02	0,95	40	0,2787	0,0664
Leg GS	112,93	0,95	40	1,1261	0,0418
Leg GT	51,03	0,95	40	8,6850	0,0232
Leg GV	49,84	0,95	40	0,9354	0,0450
Leg GW	9,56	0,95	40	1,9649	0,0352
Leg GX	10,93	0,95	40	2,3264	0,0335
Leg GY	44,41	0,95	40	0,2759	0,0664
Leg GZ	48,93	0,95	40	1,9678	0,0353
Leg HB	55,42	0,95	40	1,3628	0,0397
Leg HC	17,16	0,95	40	1,2614	0,0411
Leg HD	132,95	0,95	40	1,9453	0,0358
Leg HF	126,34	0,95	40	0,3701	0,0631
Leg HG	26,31	0,95	40	2,9010	0,0316
Leg HH	8,55	0,95	40	3,3792	0,0303
Leg HJ	36,29	0,95	40	4,0510	0,0287
Leg HK	6,54	0,95	40	4,5120	0,0278

Leg HL	31,94	0,95	40	4,9092	0,0272
Leg HM	103,28	0,95	40	2,5299	0,0326
Leg HN	8,46	0,95	40	5,5843	0,0261
Leg HP	101,45	0,95	40	8,4760	0,0233
Leg HQ	8,16	0,95	40	8,6534	0,0232
Leg HR	51,92	0,95	40	0,5190	0,0552
Leg BSN	98,68	0,95	40	0,3043	0,0664
Leg HS	24,64	0,95	40	0,2090	0,0664
Leg HT	112,17	0,95	40	0,8009	0,0469
Leg HV	137,95	0,95	40	0,3135	0,0657
Leg HW	34,22	0,95	40	0,2738	0,0664
Leg HX	104,71	0,95	40	1,2429	0,0403
Leg HY	130,45	0,95	40	0,5134	0,0545
Leg HZ	88,49	0,95	40	0,1709	0,0664
Leg JB	82,46	0,95	40	0,2277	0,0664
Leg JC	83,17	0,95	40	0,8542	0,0456
Leg JD	71,62	0,95	40	0,2761	0,0664
Leg JF	157,44	0,95	40	5,2626	0,0263
Leg JG	68,17	0,95	40	0,2898	0,0664
Leg JH	60,47	0,95	40	0,3922	0,0597
Leg JJ	83,84	0,95	40	8,1868	0,0231
Leg BSB	83,27	0,95	40	8,3989	0,0229
Leg JK	95,69	0,95	40	1,6139	0,0373
Leg BSG	146,20	0,95	40	1,2883	0,0401
Leg JL	85,19	0,95	40	0,7267	0,0487
Leg BSD	54,06	0,95	40	0,3986	0,0603
Leg JM	70,61	0,95	40	0,3000	0,0664
Leg JN	67,21	0,95	40	0,3119	0,0661
Leg JP	46,30	0,95	40	0,4211	0,0591
Leg JQ	72,41	0,95	40	0,2985	0,0664
Leg JR	154,79	0,95	40	0,3980	0,0603
Leg JS	95,01	0,95	40	1,4991	0,0382
Leg JT	100,21	0,95	40	0,3751	0,0617
Leg JV	90,14	0,95	40	0,2109	0,0664
Leg JW	83,98	0,95	40	1,6022	0,0374
Leg JX	70,39	0,95	40	0,3980	0,0603
Leg JY	70,11	0,95	40	0,2575	0,0664
Leg JZ	61,77	0,95	40	0,1755	0,0664
Leg KB	155,15	0,95	40	0,3622	0,0624
Leg KC	154,82	0,95	40	0,7110	0,0487
Leg KD	111,66	0,95	40	0,2060	0,0664

Leg KF	107,91	0,95	40	0,3980	0,0603
Leg KG	70,15	0,95	40	0,2573	0,0664
Leg KH	11,39	0,95	40	0,5029	0,0554
Leg KJ	43,34	0,95	40	1,7550	0,0363
Leg KK	123,34	0,95	40	0,8140	0,0467
Leg BRY	57,53	0,95	40	0,3839	0,0610
Leg KL	142,05	0,95	40	0,3486	0,0631
Leg KM	112,77	0,95	40	0,2775	0,0664
Leg KN	74,15	0,95	40	0,3474	0,0631
Leg KP	62,23	0,95	40	0,2427	0,0664
Leg KQ	103,21	0,95	40	0,3987	0,0597
Leg KR	13,56	0,95	40	0,5521	0,0533
Leg KS	72,36	0,95	40	0,2761	0,0664
Leg KT	11,20	0,95	40	1,0817	0,0421
Leg KV	83,43	0,95	40	7,4098	0,0239
Leg KW	11,08	0,95	40	6,9978	0,0243
Leg KX	107,34	0,95	40	7,8366	0,0235
Leg KY	85,73	0,95	40	5,9522	0,0254
Leg KZ	84,02	0,95	40	3,3455	0,0299
Leg LB	81,68	0,95	40	0,2196	0,0664
Leg LC	61,26	0,95	40	0,2339	0,0664
Leg LD	152,80	0,95	40	0,2573	0,0664
Leg LF	84,72	0,95	40	1,6482	0,0370
Leg LG	68,76	0,95	40	0,2456	0,0664
Leg LH	10,35	0,95	40	2,0092	0,0348
Leg LJ	13,77	0,95	40	3,6849	0,0291
Leg LK	11,82	0,95	40	6,7171	0,0246
Leg LL	84,29	0,95	40	1,1590	0,0416
Leg LM	10,93	0,95	40	0,6629	0,0503
Leg LN	83,97	0,95	40	0,1330	0,0664
Leg LP	11,09	0,95	40	0,2649	0,0664
Leg LQ	58,69	0,95	40	0,4355	0,0585
Leg LR	93,86	0,95	40	1,8056	0,0360
Leg LS	43,56	0,95	40	0,9141	0,0450
Leg LT	99,12	0,95	40	0,3282	0,0648
Leg LV	11,08	0,95	40	1,2287	0,0408
Leg LW	106,74	0,95	40	0,3052	0,0657
Leg LX	44,72	0,95	40	0,9714	0,0441
Leg LY	110,59	0,95	40	0,2809	0,0664
Leg LZ	135,51	0,95	40	2,3778	0,0330
Leg MB	43,65	0,95	40	2,7888	0,0314

Leg MC	12,04	0,95	40	3,0637	0,0306
Leg MD	94,61	0,95	40	3,4715	0,0295
Leg MF	69,19	0,95	40	0,1611	0,0664
Leg MG	157,66	0,95	40	0,4607	0,0569
Leg MH	135,08	0,95	40	0,7326	0,0484
Leg MJ	140,47	0,95	40	0,3490	0,0631
Leg MK	65,48	0,95	40	0,2645	0,0664
Leg ML	85,45	0,95	40	2,0667	0,0347
Leg MM	83,22	0,95	40	0,5365	0,0545
Leg BRR	69,19	0,95	40	0,1789	0,0664
Leg MN	84,25	0,95	40	0,5668	0,0535
Leg BRW	59,31	0,95	40	0,2625	0,0664
Leg MP	9,94	0,95	40	10,0658	0,0225
Leg MQ	72,26	0,95	40	0,4982	0,0569
Leg MR	85,24	0,95	40	1,2910	0,0409
Leg MS	75,39	0,95	40	0,4347	0,0597
Leg MT	85,49	0,95	40	3,0744	0,0311
Leg MV	74,99	0,95	40	0,4082	0,0610
Leg MW	74,06	0,95	40	0,2617	0,0664
Leg MX	66,63	0,95	40	0,2693	0,0664
Leg MY	84,40	0,95	40	2,4948	0,0327
Leg MZ	51,00	0,95	40	0,3930	0,0610
Leg NB	84,86	0,95	40	0,7152	0,0493
Leg BRP	165,98	0,95	40	0,3935	0,0610
Leg NC	69,50	0,95	40	0,3626	0,0631
Leg ND	19,21	0,95	40	0,2161	0,0664
Leg NF	67,39	0,95	40	0,3581	0,0631
Leg NG	84,83	0,95	40	0,8145	0,0473
Leg BRH	68,65	0,95	40	0,3078	0,0664
Leg NH	75,86	0,95	40	0,5307	0,0550
Leg NJ	84,18	0,95	40	0,2780	0,0664
Leg NK	10,99	0,95	40	5,6737	0,0260
Leg NL	66,62	0,95	40	0,2151	0,0664
Leg NM	66,31	0,95	40	0,3983	0,0610
Leg NN	80,00	0,95	40	0,3138	0,0664
Leg NP	84,98	0,95	40	1,4545	0,0391
Leg NQ	71,77	0,95	40	0,3179	0,0664
Leg NR	66,82	0,95	40	0,2079	0,0664
Leg NS	84,03	0,95	40	1,5553	0,0383
Leg NT	64,96	0,95	40	0,3676	0,0631
Leg NV	105,80	0,95	40	0,2673	0,0610

Leg NW	119,83	0,95	40	0,2268	0,0648
Leg NX	114,99	0,95	40	0,2133	0,0664
Leg NY	95,17	0,95	40	0,2091	0,0664
Leg NZ	37,54	0,95	40	0,1217	0,0664
Leg PB	110,65	0,95	40	0,3487	0,0554
Leg PC	113,97	0,95	40	0,3877	0,0533
Leg PD	60,22	0,95	40	0,0811	0,0664
Leg PF	129,79	0,95	40	0,3244	0,0569
Leg PG	72,64	0,95	40	4,0226	0,0257
Leg PH	63,16	0,95	40	4,5139	0,0249
Leg PJ	11,85	0,95	40	5,2416	0,0239
Leg PK	129,57	0,95	40	4,6875	0,0247
Leg PL	60,80	0,95	40	0,5914	0,0460
Leg PM	108,99	0,95	40	0,2430	0,0631
Leg PN	58,35	0,95	40	0,4088	0,0525
Leg BQG	78,72	0,95	40	0,2862	0,0597
Leg PP	111,44	0,95	40	0,3271	0,0569
Leg PQ	133,25	0,95	40	3,4146	0,0269
Leg PR	96,47	0,95	40	0,2739	0,0610
Leg PS	46,93	0,95	40	0,1650	0,0664
Leg PT	121,49	0,95	40	3,0674	0,0278
Leg BQJ	66,13	0,95	40	2,7035	0,0288
Leg PV	65,34	0,95	40	0,6641	0,0446
Leg BQL	98,42	0,95	40	0,2491	0,0631
Leg BQN	121,47	0,95	40	0,2491	0,0631
Leg PW	143,62	0,95	40	0,1663	0,0664
Leg PX	9,50	0,95	40	0,3574	0,0554
Leg PY	63,71	0,95	40	0,8729	0,0408
Leg BQP	108,20	0,95	40	0,7484	0,0429
Leg PZ	106,34	0,95	40	0,2961	0,0591
Leg QB	102,48	0,95	40	0,2257	0,0648
Leg QC	56,65	0,95	40	0,7174	0,0431
Leg QD	107,93	0,95	40	0,2902	0,0591
Leg QF	136,35	0,95	40	4,8459	0,0245
Leg QG	36,29	0,95	40	0,1222	0,0664
Leg QH	124,59	0,95	40	4,2602	0,0253
Leg QJ	41,80	0,95	40	0,0657	0,0664
Leg QK	130,93	0,95	40	0,3709	0,0541
Leg QL	71,60	0,95	40	5,9742	0,0232
Leg QM	121,91	0,95	40	0,4242	0,0514
Leg BQW	115,66	0,95	40	0,2081	0,0664

Leg QN	110,01	0,95	40	0,1842	0,0664
Leg QP	63,53	0,95	40	2,9911	0,0277
Leg QQ	103,88	0,95	40	0,2729	0,0603
Leg QR	132,52	0,95	40	0,5861	0,0460
Leg QS	55,16	0,95	40	0,1204	0,0664
Leg QT	234,38	0,95	40	0,2803	0,0597
Leg QV	114,40	0,95	40	0,1927	0,0664
Leg QW	88,32	0,95	40	2,0163	0,0311
Leg QX	88,24	0,95	40	0,3216	0,0569
Leg QY	132,53	0,95	40	1,1823	0,0366
Leg QZ	64,22	0,95	40	0,7967	0,0416
Leg RB	112,83	0,95	40	0,2495	0,0624
Leg RC	106,87	0,95	40	0,1690	0,0664
Leg RD	113,53	0,95	40	0,4024	0,0525
Leg RF	75,15	0,95	40	0,2046	0,0664
Leg RG	117,40	0,95	40	0,3377	0,0559
Leg BQY	71,45	0,95	40	0,4583	0,0501
Leg RH	86,94	0,95	40	0,2637	0,0617
Leg RJ	87,72	0,95	40	0,2231	0,0657
Leg RK	81,89	0,95	40	2,6936	0,0288
Leg RL	124,15	0,95	40	2,3595	0,0300
Leg RM	63,50	0,95	40	1,9226	0,0318
Leg RN	16,41	0,95	40	1,6988	0,0330
Leg RP	62,90	0,95	40	1,5837	0,0338
Leg RQ	124,88	0,95	40	1,2596	0,0363
Leg BRB	105,92	0,95	40	0,2501	0,0631
Leg RR	31,35	0,95	40	0,0835	0,0664
Leg RS	108,51	0,95	40	0,2166	0,0664
Leg RT	97,47	0,95	40	0,1499	0,0664
Leg RV	73,51	0,95	40	0,9182	0,0401
Leg RW	128,40	0,95	40	0,5928	0,0465
Leg RX	25,95	0,95	40	0,1253	0,0664
Leg RY	104,26	0,95	40	0,2505	0,0631
Leg RZ	59,06	0,95	40	0,1837	0,0664
Leg SB	136,19	0,95	40	4,0290	0,0258
Leg SC	57,55	0,95	40	0,9345	0,0398
Leg SD	170,30	0,95	40	0,2068	0,0664
Leg SF	122,92	0,95	40	2,8173	0,0285
Leg SG	148,29	0,95	40	2,6118	0,0291
Leg SH	9,96	0,95	40	2,2248	0,0305
Leg SJ	191,73	0,95	40	0,3834	0,0541

Leg SK	76,38	0,95	40	0,1664	0,0664
Leg SL	163,01	0,95	40	0,1007	0,0664
Leg SM	130,52	0,95	40	0,6501	0,0450
Leg SN	192,79	0,95	40	0,2168	0,0664
Leg SP	42,51	0,95	40	0,0834	0,0664
Leg SQ	98,84	0,95	40	0,1334	0,0664
Leg SR	136,67	0,95	40	0,4593	0,0508
Leg SS	435,08	0,95	40	0,2924	0,0597
Leg ST	158,87	0,95	40	0,2171	0,0664
Leg SV	46,40	0,95	40	0,2167	0,0664
Leg SW	50,35	0,95	40	0,1245	0,0664
Leg SX	48,09	0,95	40	0,1629	0,0664
Leg SY	100,81	0,95	40	0,2464	0,0631
Leg SZ	12,60	0,95	40	3,4501	0,0267
Leg TB	12,56	0,95	40	3,8720	0,0258
Leg TC	12,59	0,95	40	3,1715	0,0273
Leg TD	93,97	0,95	40	12,5066	0,0212
Leg TF	94,91	0,95	40	5,3675	0,0261
Leg TG	156,68	0,95	40	0,4600	0,0569
Leg TH	9,29	0,95	40	1,4261	0,0392
Leg TJ	85,81	0,95	40	2,0768	0,0348
Leg TK	10,70	0,95	40	2,8889	0,0315
Leg TL	95,42	0,95	40	4,3966	0,0278
Leg TM	9,69	0,95	40	6,0249	0,0256
Leg TN	93,86	0,95	40	5,4886	0,0262
Leg TP	84,45	0,95	40	3,7961	0,0291
Leg TQ	66,68	0,95	40	0,2328	0,0664
Leg TR	83,96	0,95	40	0,5514	0,0545
Leg BRM	64,40	0,95	40	0,1838	0,0664
Leg TS	11,28	0,95	40	0,7842	0,0482
Leg TT	95,52	0,95	40	2,0544	0,0351
Leg TV	83,99	0,95	40	1,8447	0,0360
Leg TW	85,37	0,95	40	4,4551	0,0278
Leg TX	60,20	0,95	40	0,2186	0,0664
Leg TY	105,90	0,95	40	3,8612	0,0290
Leg TZ	10,76	0,95	40	0,8071	0,0477
Leg VB	83,80	0,95	40	0,5993	0,0529
Leg BRK	56,02	0,95	40	0,2691	0,0664
Leg VC	97,03	0,95	40	1,2391	0,0409
Leg VD	80,79	0,95	40	0,2384	0,0664
Leg VF	95,59	0,95	40	8,0940	0,0237

Leg VG	94,28	0,95	40	1,2463	0,0408
Leg VH	95,19	0,95	40	0,5011	0,0559
Leg BRT	148,28	0,95	40	0,2864	0,0664
Leg VJ	83,98	0,95	40	7,6443	0,0242
Leg VK	96,07	0,95	40	4,3163	0,0283
Leg VL	62,11	0,95	40	0,2117	0,0664
Leg VM	47,57	0,95	40	0,0872	0,0664
Leg VN	148,71	0,95	40	0,4720	0,0579
Leg VP	161,94	0,95	40	2,3421	0,0338
Leg VQ	155,30	0,95	40	0,2169	0,0664
Leg BPY	100,13	0,95	40	0,3420	0,0564
Leg VR	95,35	0,95	40	0,7590	0,0427
Leg VS	148,03	0,95	40	0,1959	0,0664
Leg VT	78,85	0,95	40	9,2501	0,0212
Leg VV	66,67	0,95	40	0,2106	0,0664
Leg VW	84,37	0,95	40	9,4549	0,0210
Leg VX	10,86	0,95	40	10,1834	0,0206
Leg VY	66,98	0,95	40	0,4240	0,0521
Leg BPW	74,76	0,95	40	0,2162	0,0664
Leg VZ	39,84	0,95	40	0,2106	0,0664
Leg WB	84,54	0,95	40	10,6679	0,0204
Leg WC	94,92	0,95	40	0,1175	0,0664
Leg WD	79,40	0,95	40	0,3758	0,0533
Leg WF	106,27	0,95	40	10,9733	0,0201
Leg WG	61,86	0,95	40	0,1175	0,0664
Leg WH	47,05	0,95	40	0,2743	0,0597
Leg WJ	70,60	0,95	40	0,2977	0,0579
Leg WK	94,09	0,95	40	12,6765	0,0194
Leg WL	67,44	0,95	40	1,5273	0,0335
Leg WM	118,37	0,95	40	0,2116	0,0648
Leg WN	63,24	0,95	40	0,2267	0,0631
Leg WP	11,23	0,95	40	0,4382	0,0498
Leg WQ	16,54	0,95	40	0,0756	0,0664
Leg WR	77,58	0,95	40	0,7404	0,0417
Leg WS	72,19	0,95	40	0,1964	0,0664
Leg WT	85,07	0,95	40	1,7156	0,0320
Leg WV	150,06	0,95	40	0,3403	0,0545
Leg WW	52,35	0,95	40	1,1496	0,0362
Leg WX	49,25	0,95	40	0,5295	0,0467
Leg WY	60,44	0,95	40	0,1418	0,0664
Leg WZ	10,64	0,95	40	1,0265	0,0379

Leg XB	97,30	0,95	40	2,8437	0,0277
Leg XC	95,09	0,95	40	0,7523	0,0420
Leg BPR	96,56	0,95	40	0,4703	0,0493
Leg BPT	125,31	0,95	40	0,2352	0,0631
Leg XD	95,05	0,95	40	6,3849	0,0229
Leg XF	84,39	0,95	40	3,2402	0,0273
Leg XG	86,81	0,95	40	1,7407	0,0330
Leg XH	60,71	0,95	40	0,2049	0,0664
Leg XJ	96,02	0,95	40	0,2217	0,0664
Leg XK	84,62	0,95	40	2,5806	0,0294
Leg XL	78,94	0,95	40	0,2212	0,0664
Leg XM	94,62	0,95	40	3,3371	0,0273
Leg XN	95,44	0,95	40	0,5255	0,0487
Leg XP	63,89	0,95	40	4,6339	0,0250
Leg XQ	23,10	0,95	40	0,0675	0,0664
Leg XR	32,20	0,95	40	4,6855	0,0249
Leg XS	40,88	0,95	40	0,2020	0,0664
Leg XT	83,92	0,95	40	5,3182	0,0241
Leg XV	35,60	0,95	40	0,1261	0,0664
Leg XW	15,89	0,95	40	4,8790	0,0247
Leg XX	37,94	0,95	40	0,1272	0,0664
Leg XY	78,26	0,95	40	0,1252	0,0664
Leg XZ	135,28	0,95	40	0,3363	0,0657
Leg YB	41,37	0,95	40	0,1245	0,0664
Leg YC	126,77	0,95	40	1,3810	0,0400
Leg YD	89,97	0,95	40	0,9464	0,0454
Leg YF	63,57	0,95	40	0,3363	0,0657
Leg YG	63,18	0,95	40	0,3334	0,0574
Leg YH	158,30	0,95	40	0,7182	0,0439
Leg YJ	71,87	0,95	40	0,1962	0,0664
Leg YK	12,72	0,95	40	0,4179	0,0529
Leg YL	73,43	0,95	40	0,1441	0,0664
Leg YM	47,93	0,95	40	0,4492	0,0514
Leg YN	112,21	0,95	40	0,2289	0,0657
Leg YP	84,00	0,95	40	1,0583	0,0437
Leg YQ	45,07	0,95	40	1,9129	0,0360
Leg YR	111,32	0,95	40	9,2349	0,0214
Leg YS	779,95	0,95	40	4,2510	0,0261
Leg YT	425,30	0,95	40	5,3129	0,0246
Leg YV	140,79	0,95	40	7,0969	0,0231
Leg YW	135,72	0,95	40	1,4358	0,0363

Leg YX	35,33	0,95	40	1,4371	0,0363
Leg YY	85,12	0,95	40	5,7657	0,0244
Leg YZ	60,74	0,95	40	2,7832	0,0295
Leg ZB	64,13	0,95	40	0,0519	0,0664
Leg ZC	13,74	0,95	40	0,2371	0,0617
Leg ZD	71,51	0,95	40	0,1111	0,0664
Leg ZF	121,44	0,95	40	0,1260	0,0664
Leg ZG	26,30	0,95	40	0,0370	0,0664
Leg ZH	55,48	0,95	40	0,0519	0,0664
Leg ZJ	122,54	0,95	40	0,1483	0,0664
Leg ZK	147,40	0,95	40	0,4449	0,0493
Leg ZM	106,54	0,95	40	0,1483	0,0664
Leg ZN	262,41	0,95	40	0,1484	0,0664
Leg ZP	20,76	0,95	40	0,0742	0,0664
Leg ZQ	117,00	0,95	40	0,0742	0,0664
Leg ZR	171,32	0,95	40	0,0742	0,0664
Leg ZS	118,29	0,95	40	0,1484	0,0664
Leg ZT	81,53	0,95	40	0,1113	0,0664
Leg ZV	35,94	0,95	40	0,0742	0,0664
Leg ZW	50,63	0,95	40	1,8731	0,0310
Leg ZX	182,27	0,95	40	0,1926	0,0664
Leg ZY	173,26	0,95	40	0,2000	0,0657
Leg ZZ	47,88	0,95	40	1,4446	0,0335
Leg BBB	18,23	0,95	40	1,2153	0,0353
Leg BBC	43,51	0,95	40	0,9858	0,0377
Leg BBD	43,59	0,95	40	0,7191	0,0418
Leg BBF	41,24	0,95	40	0,4522	0,0490
Leg BBG	22,58	0,95	40	0,0519	0,0664
Leg BBH	83,21	0,95	40	0,1927	0,0664
Leg BBJ	86,91	0,95	40	0,2076	0,0648
Leg BBK	93,01	0,95	40	0,2076	0,0648
Leg BBL	92,61	0,95	40	0,2076	0,0648
Leg BBM	6,51	0,95	40	0,3410	0,0541
Leg BBN	130,60	0,95	40	0,1335	0,0664
Leg BBP	30,05	0,95	40	0,0888	0,0664
Leg BBQ	136,93	0,95	40	0,2223	0,0631
Leg BBR	102,75	0,95	40	0,3486	0,0537
Leg BBS	94,61	0,95	40	0,1113	0,0664
Leg BBT	46,13	0,95	40	0,3339	0,0545
Leg BBV	188,48	0,95	40	0,6676	0,0429
Leg BPM	200,85	0,95	40	0,8896	0,0390

Leg BBW	14,20	0,95	40	1,6524	0,0322
Leg BBX	46,25	0,95	40	0,7633	0,0410
Leg BBY	153,26	0,95	40	0,2372	0,0617
Leg BBZ	111,57	0,95	40	0,2372	0,0617
Leg BCB	94,96	0,95	40	0,1631	0,0664
Leg BCC	22,45	0,95	40	0,1113	0,0664
Leg BCD	194,87	0,95	40	0,2226	0,0631
Leg BCF	36,16	0,95	40	1,6523	0,0371
Leg BCG	130,71	0,95	40	1,5616	0,0339
Leg BCH	73,23	0,95	40	3,7349	0,0263
Leg BCJ	134,62	0,95	40	0,5309	0,0477
Leg BQR	116,51	0,95	40	0,2092	0,0664
Leg BCK	81,07	0,95	40	5,6635	0,0235
Leg BCL	132,75	0,95	40	0,1892	0,0664
Leg BCM	72,73	0,95	40	0,3619	0,0550
Leg BCN	105,81	0,95	40	0,8470	0,0410
Leg BCP	174,27	0,95	40	2,8607	0,0283
Leg BCQ	123,21	0,95	40	0,5674	0,0456
Leg BCR	5,59	0,95	40	4,1495	0,0261
Leg BCS	357,76	0,95	40	2,6510	0,0299
Leg BCT	69,30	0,95	40	0,1485	0,0664
Leg BPP	97,24	0,95	40	0,0742	0,0664
Leg BCV	6,88	0,95	40	1,6442	0,0322
Leg BCW	94,89	0,95	40	0,1927	0,0664
Leg BCX	143,83	0,95	40	1,3071	0,0361
Leg BCY	114,82	0,95	40	0,2042	0,0664
Leg BCZ	68,10	0,95	40	0,1965	0,0664
Leg BDB	60,02	0,95	40	0,2703	0,0610
Leg BDC	108,86	0,95	40	5,5771	0,0238
Leg BDD	86,89	0,95	40	0,2493	0,0664
Leg BDF	95,22	0,95	40	2,7715	0,0322
Leg BDG	163,17	0,95	40	0,3095	0,0664
Leg BDH	204,55	0,95	40	0,4101	0,0610
Leg BDJ	145,30	0,95	40	0,8403	0,0460
Leg BDK	10,91	0,95	40	0,9123	0,0450
Leg BDL	32,64	0,95	40	6,7588	0,0238
Leg BDM	95,32	0,95	40	1,3836	0,0377
Leg BDN	78,18	0,95	40	0,2810	0,0657
Leg BDP	21,60	0,95	40	1,9021	0,0342
Leg BDQ	37,02	0,95	40	0,9647	0,0450
Leg BDR	219,59	0,95	40	2,7470	0,0317

Leg BDS	107,03	0,95	40	0,5751	0,0530
Leg BTC	69,00	0,95	40	0,9291	0,0449
Leg BDT	114,19	0,95	40	1,6540	0,0371
Leg BDV	81,97	0,95	40	0,6030	0,0521
Leg BSX	65,25	0,95	40	0,2129	0,0664
Leg BDW	115,91	0,95	40	0,7687	0,0479
Leg BSZ	171,16	0,95	40	0,4969	0,0559
Leg BDX	102,56	0,95	40	0,3078	0,0664
Leg BDY	112,39	0,95	40	3,1348	0,0307
Leg BDZ	107,08	0,95	40	0,6787	0,0503
Leg BTF	45,81	0,95	40	0,2703	0,0664
Leg BFB	112,97	0,95	40	6,5760	0,0250
Leg BFC	11,27	0,95	40	4,4632	0,0274
Leg BFD	110,44	0,95	40	0,2600	0,0597
Leg BFF	77,14	0,95	40	0,3046	0,0564
Leg BFG	77,42	0,95	40	0,2781	0,0664
Leg BFH	429,38	0,95	40	0,5133	0,0493
Leg BFJ	9,38	0,95	40	0,2000	0,0657
Leg BFK	6,00	0,95	40	0,1927	0,0664
Leg BFL	198,22	0,95	40	0,1483	0,0664
Leg BFM	4,24	0,95	40	0,3926	0,0514
Leg BFN	235,45	0,95	40	0,3405	0,0545
Leg BFP	6,83	0,95	40	0,3405	0,0545
Leg BFQ	132,41	0,95	40	0,1665	0,0664
Leg BFR	117,16	0,95	40	0,2096	0,0664
Leg BFS	114,54	0,95	40	3,2429	0,0272
Leg BFT	108,04	0,95	40	3,0437	0,0277
Leg BFV	106,63	0,95	40	0,1912	0,0664
Leg BFW	151,41	0,95	40	0,2133	0,0664
Leg BFX	84,57	0,95	40	0,6605	0,0446
Leg BFY	78,55	0,95	40	0,4955	0,0493
Leg BFZ	114,44	0,95	40	0,1695	0,0664
Leg BGB	10,69	0,95	40	1,3199	0,0383
Leg BGC	38,89	0,95	40	5,9432	0,0247
Leg BGD	15,81	0,95	40	1,9027	0,0342
Leg BGF	5,84	0,95	40	6,7402	0,0238
Leg BGG	52,28	0,95	40	0,4102	0,0610
Leg BGH	51,47	0,95	40	1,5040	0,0389
Leg BGJ	10,67	0,95	40	0,7685	0,0479
Leg BGK	51,15	0,95	40	0,0817	0,0664
Leg BGL	41,87	0,95	40	0,0520	0,0664

Leg BGM	97,48	0,95	40	1,1584	0,0359
Leg BGN	204,94	0,95	40	0,2234	0,0657
Leg BGP	66,72	0,95	40	0,3408	0,0541
Leg BGQ	12,40	0,95	40	2,5801	0,0324
Leg BGR	72,77	0,95	40	0,9288	0,0449
Leg BGS	34,05	0,95	40	0,4521	0,0490
Leg BGT	11,29	0,95	40	0,1631	0,0664
Leg BGV	48,22	0,95	40	2,6778	0,0279
Leg BGW	105,03	0,95	40	2,6314	0,0281
Leg BGX	31,71	0,95	40	0,0740	0,0664
Leg BGY	66,18	0,95	40	2,2515	0,0294
Leg BGZ	52,90	0,95	40	1,9796	0,0305
Leg BHB	53,41	0,95	40	0,3266	0,0550
Leg BHC	79,00	0,95	40	1,5583	0,0327
Leg BHD	39,78	0,95	40	0,6092	0,0443
Leg BHF	141,15	0,95	40	0,2972	0,0569
Leg BHG	117,98	0,95	40	0,1486	0,0664
Leg BHH	14,01	0,95	40	0,8023	0,0404
Leg BHJ	74,04	0,95	40	0,8878	0,0404
Leg BHK	81,61	0,95	40	1,7104	0,0328
Leg BHL	126,01	0,95	40	1,4406	0,0346
Leg BQT	126,63	0,95	40	1,0547	0,0382
Leg BHM	96,89	0,95	40	0,5239	0,0482
Leg BHN	52,13	0,95	40	0,1637	0,0664
Leg BHP	96,66	0,95	40	0,5159	0,0484
Leg BHQ	132,59	0,95	40	0,1474	0,0664
Leg BHR	85,08	0,95	40	0,1722	0,0664
Leg BHS	85,93	0,95	40	0,6233	0,0454
Leg BHT	74,15	0,95	40	0,2133	0,0664
Leg BHV	16,25	0,95	40	2,5010	0,0293
Leg BHW	95,20	0,95	40	1,9872	0,0314
Leg BHX	93,98	0,95	40	1,0541	0,0382
Leg BHY	86,63	0,95	40	0,3734	0,0543
Leg BHZ	67,33	0,95	40	0,1641	0,0664
Leg BJB	75,99	0,95	40	0,1723	0,0664
Leg BJC	77,05	0,95	40	0,2872	0,0597
Leg BJD	167,94	0,95	40	0,3303	0,0569
Leg BJF	129,18	0,95	40	0,1817	0,0664
Leg BJG	10,90	0,95	40	2,1574	0,0310
Leg BJH	65,73	0,95	40	0,1705	0,0664
Leg BJJ	32,29	0,95	40	0,2151	0,0664

Leg BJK	121,80	0,95	40	0,6039	0,0460
Leg BJL	145,05	0,95	40	4,5363	0,0249
Leg BJM	60,70	0,95	40	4,0169	0,0258
Leg BJN	68,52	0,95	40	3,6599	0,0264
Leg BJP	66,87	0,95	40	3,3076	0,0272
Leg BJQ	74,31	0,95	40	2,9520	0,0281
Leg BJR	129,38	0,95	40	0,1822	0,0664
Leg BJS	74,10	0,95	40	0,7765	0,0424
Leg BJT	252,70	0,95	40	1,1927	0,0369
Leg BJV	64,65	0,95	40	0,1541	0,0664
Leg BJW	195,86	0,95	40	0,5136	0,0525
Leg BJX	73,32	0,95	40	4,7016	0,0263
Leg BJY	62,09	0,95	40	3,5075	0,0285
Leg BJZ	11,38	0,95	40	0,8326	0,0446
Leg BKB	65,46	0,95	40	0,3331	0,0617
Leg BKC	35,91	0,95	40	0,1278	0,0664
Leg BKD	9,52	0,95	40	0,7433	0,0482
Leg BKF	161,22	0,95	40	0,4646	0,0569
Leg BKG	5,32	0,95	40	11,3862	0,0216
Leg BKH	48,30	0,95	40	10,7173	0,0220
Leg BKJ	113,52	0,95	40	0,7653	0,0474
Leg BKK	92,55	0,95	40	0,3093	0,0664
Leg BKL	124,78	0,95	40	0,8549	0,0466
Leg BKM	91,76	0,95	40	0,3167	0,0657
Leg BKN	40,16	0,95	40	0,5160	0,0550
Leg BKP	58,32	0,95	40	0,4227	0,0585
Leg BKQ	87,11	0,95	40	0,2514	0,0664
Leg BKR	95,39	0,95	40	1,4072	0,0398
Leg BKS	84,79	0,95	40	1,1092	0,0431
Leg BKT	74,56	0,95	40	0,5236	0,0559
Leg BKV	29,13	0,95	40	0,1896	0,0664
Leg BKW	85,92	0,95	40	0,4946	0,0493
Leg BKX	84,17	0,95	40	1,0639	0,0432
Leg BKY	67,64	0,95	40	0,4595	0,0579
Leg BKZ	62,05	0,95	40	0,2121	0,0664
Leg BLB	11,23	0,95	40	8,5270	0,0227
Leg BLC	106,35	0,95	40	8,5948	0,0226
Leg BLD	95,26	0,95	40	2,2525	0,0337
Leg BLF	94,90	0,95	40	1,8570	0,0357
Leg BLG	51,47	0,95	40	11,2708	0,0216
Leg BLH	83,78	0,95	40	0,2687	0,0664

Leg BLJ	84,11	0,95	40	5,0606	0,0266
Leg BLK	82,42	0,95	40	0,2673	0,0664
Leg BLL	84,30	0,95	40	6,8731	0,0244
Leg BLM	84,42	0,95	40	0,5764	0,0521
Leg BLN	82,78	0,95	40	5,6669	0,0258
Leg BLP	84,12	0,95	40	5,8219	0,0256
Leg BLQ	23,00	0,95	40	9,1674	0,0228
Leg BLR	11,52	0,95	40	11,6342	0,0214
Leg BLS	10,81	0,95	40	5,7239	0,0257
Leg BLT	35,34	0,95	40	0,2674	0,0616
Leg BLV	11,31	0,95	40	7,5677	0,0238
Leg BLW	65,58	0,95	125	11,0195	0,0158
Leg BLX	41,04	0,95	90	17,1363	0,0164
Leg BLY	95,51	0,95	90	17,4648	0,0164
Leg BLZ	229,30	0,95	90	14,8142	0,0164
Leg BMB	74,50	0,95	90	15,3078	0,0164
Leg BMC	69,93	0,95	110	13,9361	0,0159
Leg BMD	93,36	0,95	110	14,0806	0,0159
Leg BQD	57,46	0,95	110	14,2331	0,0159
Leg BMF	86,48	0,95	110	13,7876	0,0159
Leg BQB	70,91	0,95	110	13,6527	0,0159
Leg BMG	134,26	0,95	90	15,6813	0,0164
Leg BMH	330,57	0,95	125	11,9154	0,0158
Leg BMJ	89,18	0,95	90	16,0637	0,0164
Leg BMK	106,65	0,95	90	16,4403	0,0164
Leg BML	105,86	0,95	90	8,3682	0,0188
Leg BMM	6,91	0,95	90	8,4327	0,0189
Leg BMN	98,63	0,95	90	16,8499	0,0164
Leg BMP	178,48	0,95	90	8,4273	0,0188
Leg BMQ	94,18	0,95	90	8,4454	0,0189
Leg BSL	89,15	0,95	90	8,4624	0,0189
Leg BMR	6,85	0,95	125	12,8022	0,0156
Leg BMS	70,68	0,95	125	1,0761	0,0262
Leg BMT	34,02	0,95	90	2,0753	0,0240
Leg BMV	9,76	0,95	90	4,7942	0,0202
Leg BMW	16,28	0,95	90	16,5954	0,0160
Leg BMX	15,85	0,95	63	0,1276	0,0664
Leg BMY	233,68	0,95	63	4,0140	0,0251
Leg BMZ	220,83	0,95	63	5,5192	0,0231
Leg BNB	172,02	0,95	63	18,0052	0,0177
Leg BNC	244,72	0,95	63	0,1833	0,0664

Leg BND	122,70	0,95	63	4,4503	0,0223
Leg BNF	104,87	0,95	63	16,7376	0,0177
Leg BNG	124,71	0,95	63	3,9819	0,0229
Leg BNH	156,22	0,95	63	5,8844	0,0209
Leg BRC	130,21	0,95	63	5,8185	0,0210
Leg BNJ	188,66	0,95	63	10,3115	0,0198
Leg BNK	94,00	0,95	40	10,6531	0,0221
Leg BRF	180,55	0,95	40	10,5574	0,0219
Leg BNL	10,31	0,95	63	2,3322	0,0289
Leg BNM	217,34	0,95	63	3,9501	0,0230
Leg BNN	122,77	0,95	63	1,3893	0,0296
Leg BNP	33,54	0,95	63	1,3888	0,0296
Leg BNQ	38,99	0,95	63	1,0916	0,0318
Leg BNR	179,77	0,95	63	0,7580	0,0355
Leg BNS	110,14	0,95	63	0,8950	0,0337
Leg BNT	74,97	0,95	63	0,5492	0,0394
Leg BNV	49,36	0,95	63	0,5790	0,0387
Leg BNW	292,31	0,95	63	0,4120	0,0433
Leg BNX	256,32	0,95	63	0,3045	0,0480
Leg BNY	397,74	0,95	63	0,1553	0,0610
Leg BNZ	91,00	0,95	63	0,0776	0,0664
Leg BPB	123,10	0,95	63	0,7598	0,0355
Leg BPC	65,92	0,95	63	2,3260	0,0257
Leg BPD	195,05	0,95	63	3,1614	0,0237
Leg BPF	286,14	0,95	63	4,2762	0,0220
Leg BPG	42,04	0,95	63	1,5465	0,0287
Leg BPH	90,60	0,95	63	0,7093	0,0363
Leg BPJ	179,64	0,95	63	13,9862	0,0185
Leg BPK	33,70	0,95	63	0,9545	0,0331
Leg BPL	102,72	0,95	63	7,3354	0,0215
Leg BPM	220,83	0,95	63	9,2062	0,0204

ANEXO C

Actividad: REPLANTEO Y TRAZADO TOPOGRAFICO

DATOS GENERALES				
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: REPLANTEO Y TRAZADO TOPOGRAFICO				
Unitario: M				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1 PINTURA AL OLEO	lt	0,005	30,000	0,150
2 ESTUCO	kg	0,080	0,660	0,053
3 CLAVOS	kg	0,010	13,500	0,135
4 ESTACAS DE 30 CM	pza	1,000	2,500	2,500
2 MANO DE OBRA				
1 TOPOGRAFO	hr	0,005	19,000	0,095
2 ALARIFE	hr	0,006	11,250	0,068
			BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA	63,90%
			IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES	14,94%
TOTAL MANO DE OBRA				0,307
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
1 EQUIPO TOPOGRAFICO	hr	0,005	25,000	0,125
			HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA	5,00%
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				0,140
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
			GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3	12,00%
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				0,394
5 UTILIDAD				
			UTILIDAD - % DE 1+2+3+4	6,00%
TOTAL UTILIDAD				0,221
6 IMPUESTOS				
			IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5	3,09%
TOTAL IMPUESTOS				0,121
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				4,021
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				4,02

Actividad: CORTE, ROTURA Y REMOCION DE ACERA Y/O CUNETA

DATOS GENERALES				
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: CORTE, ROTURA Y REMOCION DE ACERA Y/O CUNETA				
Unitario: M2				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1 DISCO DE CORTE	pza	0,007	230,000	1,610
TOTAL MATERIALES				1,610
2 MANO DE OBRA				
1 OPERADOR DE CORTADORA	hr	0,080	21,000	1,680
2 OPERADOR DE EQUIPO DE ROTURA	hr	0,007	21,000	0,147
AYUDANTE	hr	0,080	12,500	1,000
			BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA	63,90%
			IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES	14,94%
TOTAL MANO DE OBRA				5,325
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
1 CORTADORA DE CONCRETO	hr	0,200	18,000	3,600
EQUIPO DE ROTURA (MARTILLO Y COMPRESORA)	hr	0,007	35,000	0,245
			HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA	5,00%
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				4,111
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
			GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3	12,00%
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				1,326
5 UTILIDAD				
			UTILIDAD - % DE 1+2+3+4	6,00%
TOTAL UTILIDAD				0,742
6 IMPUESTOS				
			IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5	3,09%
TOTAL IMPUESTOS				0,405
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				13,519
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				13,52

Actividad: CORTE, ROTURA Y REMOCION DE PAVIMENTO FLEXIBLE

DATOS GENERALES				
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: CORTE, ROTURA Y REMOCION DE PAVIMENTO FLEXIBLE				
Unitario: M2				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1 MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1 DISCO DE CORTE	pza	0,007	230,000	1,610
2 MANO DE OBRA				
1 OPERADOR DE CORTADORA	hr	0,080	21,000	1,680
2 OPERADOR DE EQUIPO DE ROTURA	hr	0,007	21,000	0,147
AYUDANTE	hr	0,100	12,500	1,250
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	1,966
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	0,753
TOTAL MANO DE OBRA				5,796
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
1 CORTADORA DE CONCRETO	hr	0,200	18,000	3,600
EQUIPO DE ROTURA (MARTILLO Y COMPRESORA)	hr	0,007	35,000	0,245
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	0,290
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				4,135
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			12,00%	1,385
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				1,385
5 UTILIDAD				
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4			6,00%	0,776
TOTAL UTILIDAD				0,776
6 IMPUESTOS				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	0,423
TOTAL IMPUESTOS				0,423
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				14,125
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				14,13

Actividad: EXCAVACIÓN DE ZANJA TERRENO SEMI DURO

DATOS GENERALES				
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: EXCAVACIÓN DE ZANJA TERRENO SEMI DURO				
Unitario: M3				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1 MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
			TOTAL MATERIALES	0,000
2 MANO DE OBRA				
1 AYUDANTE	hr	2,000	12,500	25,000
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	15,975
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	6,122
TOTAL MANO DE OBRA				47,097
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	2,355
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				2,355
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			12,00%	5,934
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				5,934
5 UTILIDAD				
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4			6,00%	3,323
TOTAL UTILIDAD				3,323
6 IMPUESTOS				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	1,814
TOTAL IMPUESTOS				1,814
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				60,523
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				60,52

Actividad: TRANSPORTE DE TUBERIA

DATOS GENERALES				
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: TRANSPORTE DE TUBERIA				
Unitario: GLB				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1 MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
			TOTAL MATERIALES	0,000
2 MANO DE OBRA				
1 PEON	hr	28,200	11,250	317,250
2 CHOFER	hr	5,700	15,500	88,350
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	259,178
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	99,318
			TOTAL MANO DE OBRA	764,096
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
1 CAMION DE TRANSPORTE	hr	5,700	130,000	741,000
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	38,205
			TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA	779,205
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			12,00%	185,196
			TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS	185,196
5 UTILIDAD				
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4			6,00%	103,710
			TOTAL UTILIDAD	103,710
6 IMPUESTOS				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	56,615
			TOTAL IMPUESTOS	56,615
			TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)	1.888,822
			TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)	1.888,82

Actividad: PROVISION Y COLOCADO DE FUNDA DE PROTECCION PVC DN -8"

DATOS GENERALES				
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: PROVISION Y COLOCADO DE FUNDA DE PROTECCION PVC DN -8"				
Unitario: M				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1 MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1 TUBO PVC SCH- E- 40 8"	m	1,010	43,300	43,733
2 PEGAMENTO PARA PVC	lt	0,019	30,000	0,570
TOTAL MATERIALES				44,303
2 MANO DE OBRA				
1 PEON	hr	2,221	11,250	24,986
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	15,966
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - %				
MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	6,118
TOTAL MANO DE OBRA				47,070
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	2,354
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				2,354
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			12,00%	11,247
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				11,247
5 UTILIDAD				
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4			6,00%	6,298
TOTAL UTILIDAD				6,298
6 IMPUESTOS				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	3,438
TOTAL IMPUESTOS				3,438
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				114,710
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				114,71

Actividad: TENDIDO DE TUBERÍA

DATOS GENERALES				
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: TENDIDO DE TUBERÍA				
Unitario: M				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1 MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
TOTAL MATERIALES				0,000
2 MANO DE OBRA				
1 AYUDANTE	hr	0,040	12,500	0,500
			BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA	63,90%
			IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES	14,94%
TOTAL MANO DE OBRA				0,943
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
			HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA	5,00%
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				0,047
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
			GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3	12,00%
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				0,119
5 UTILIDAD				
			UTILIDAD - % DE 1+2+3+4	6,00%
TOTAL UTILIDAD				0,067
6 IMPUESTOS				
			IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5	3,09%
TOTAL IMPUESTOS				0,036
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				1,212
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				1,21

Actividad: OBRAS CIVILES PARA FIJACIÓN PARA VÁLVULA DE P.E. Ø 110 MM

DATOS GENERALES				
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: OBRAS CIVILES PARA FIJACIÓN PARA VÁLVULA DE P.E. Ø 110 MM				
Unitario: PZA				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1 MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1 ABRAZADERA DE SUJECION DE ACERO SAE 1010	pza	2,000	24,500	49,000
2 ESPARRAGOS D=3/8" ACERO SAE DE 1010	pza	8,000	2,000	16,000
3 CEMENTO PORTLAND	kg	23,000	1,110	25,530
4 FIERRO CORRUGADO	kg	3,500	6,400	22,400
5 ARENA COMUN	m ³	0,030	120,500	3,615
6 GRAVA COMUN	m ³	0,060	120,200	7,212
7 MADERA DE CONSTRUCCION	pie ²	2,900	7,500	21,750
8 CLAVOS	kg	0,080	13,500	1,080
9 ALAMBRE DE AMARRE	kg	0,070	13,000	0,910
TOTAL MATERIALES				147,497
2 MANO DE OBRA				
1 ENCOFRADOR	hr	0,900	19,100	17,190
2 ARMADOR	hr	1,300	18,700	24,310
3 ALBAÑIL	hr	1,500	18,750	28,125
4 AYUDANTE	hr	2,400	12,500	30,000
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	63,660
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	24,395
TOTAL MANO DE OBRA				187,680
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
1 MEZCLADORA DE HORMIGON	hr	1,000	22,000	22,000
2 VIBRADORA DE CONCRETO	hr	0,800	13,000	10,400
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	9,384
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				41,784
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			12,00%	45,235
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				45,235

5 UTILIDAD		
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4	6,00%	25,332
	TOTAL UTILIDAD	25,332
6 IMPUESTOS		
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5	3,09%	13,829
	TOTAL IMPUESTOS	13,829
	TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)	461,357
	TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)	461,36

Actividad: RELLENO DE ZANJA CON TIERRA CERNIDA

DATOS GENERALES				
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: RELLENO DE ZANJA CON TIERRA CERNIDA				
Unitario: M3				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1 MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
TOTAL MATERIALES				0,000
2 MANO DE OBRA				
1 PEON	hr	2,000	11,250	22,500
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	14,378
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	5,510
TOTAL MANO DE OBRA				42,388
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
				0,000
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA				5,00%
				2,119
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				2,119
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			12,00%	5,341
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				5,341
5 UTILIDAD				
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4			6,00%	2,991
TOTAL UTILIDAD				2,991
6 IMPUESTOS				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	1,633
TOTAL IMPUESTOS				1,633
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				54,472
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				54,47

Actividad: RELLENO Y COMPACTADO DE ZANJA CON TIERRA COMUN

Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: RELLENO Y COMPACTADO DE ZANJA CON TIERRA COMUN				
Unitario: M3				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1 MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
TOTAL MATERIALES				0,000
2 MANO DE OBRA				
1 OPERADOR DE COMPACTADORA	hr	0,380	18,500	7,030
2 PEON	hr	1,000	11,250	11,250
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	11,681
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	4,476
TOTAL MANO DE OBRA				34,437
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
1 COMPACTADOR SALTARIN BS-604	hr	0,380	38,000	14,440
2				0,000
3 HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	1,722
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				16,162
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			12,00%	6,072
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				6,072
5 UTILIDAD				
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4			6,00%	3,400
TOTAL UTILIDAD				3,400
6 IMPUESTOS				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	1,856
TOTAL IMPUESTOS				1,856
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				61,927
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				61,93

Actividad: REPOSICIÓN Y AFINADO DE ACERA Y/O CUNETA

DATOS GENERALES				
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: REPOSICIÓN Y AFINADO DE ACERA Y/O CUNETA				
Unitario: M2				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1 MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1 CEMENTO PORTLAND	kg	19,000	1,110	21,090
2 ARENA COMUN	m ³	0,040	120,500	4,820
3 GRAVA COMUN	m ³	0,050	120,200	6,010
4 ARENA FINA	m ³	0,030	132,000	3,960
TOTAL MATERIALES				35,880
2 MANO DE OBRA				
1 ALBAÑIL	hr	1,000	18,750	18,750
2 AYUDANTE	hr	1,000	12,500	12,500
3 OPERADOR DE HORMIGONERA	hr	0,400	18,000	7,200
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	24,570
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	9,415
TOTAL MANO DE OBRA				72,435
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
1 HORMIGONERA 300 L	hr	0,020	300,000	6,000
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	3,622
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				9,622
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			12,00%	14,152
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				14,152
5 UTILIDAD				
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4			6,00%	7,925
TOTAL UTILIDAD				7,925
6 IMPUESTOS				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	4,326
TOTAL IMPUESTOS				4,326
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				144,340
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				144,34

Actividad: REPOSICIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE				
Proyecto:		OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO		
Actividad:		REPOSICIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE Unitario: M2		
		Cantidad:	1.00	
		Moneda:	Bolivianos	
1 MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
ARENA COMUN	m ³	0,030	120,500	3,615
ARENA FINA	m ³	0,026	132,000	3,432
CEMENTO ASFALTICO	ton	0,007	10.455,000	73,185
DIESEL	lt	1,821	3,720	6,774
GRAVA COMUN	m ³	0,020	120,200	2,404
TOTAL MATERIALES				89,410
2 MANO DE OBRA				
AYUDANTE	hr	1,200	12,500	15,000
ALBAÑIL	hr	0,485	18,750	9,094
OPERADOR DE EQUIPO PESADO	hr	0,025	20,000	0,500
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	15,716
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	6,022
TOTAL MANO DE OBRA				46,332
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
CAMION VOLQUETA DE 8 M3	hr	0,050	130,000	6,500
COMPACTADOR VIBR. RODILLO LISO AUTOPROP.	hr	0,006	300,000	1,800
PLANTA ASFALTO (40T)	hr	0,002	363,000	0,726
PLANTA TRITURADORA	hr	0,003	202,000	0,606
TERMINADORA DE ASFALTO	hr	0,006	410,000	2,460
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	2,317
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				14,409
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			12,00%	18,018
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				18,018
5 UTILIDAD				
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4			6,00%	10,090
TOTAL UTILIDAD				10,090
6 IMPUESTOS				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	5,508
TOTAL IMPUESTOS				5,508
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				183,767
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				183,77

Actividad: ELABORACION DE PLANOS AS-BUILT

DATOS GENERALES				
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: ELABORACION DE PLANOS AS-BUILT				
Unitario: M				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1 MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
PLANOS	pza	0,002	17,500	0,035
HOJAS PAPEL BOND TAMAÑO CARTA (500 HOJAS)	pqte	0,001	35,000	0,035
TOTAL MATERIALES				0,070
2 MANO DE OBRA				
1 TOPOGRAFO	hr	0,005	19,000	0,095
AYUDANTE TOPOGRAFO	hr	0,005	15,100	0,076
DIBUJANTE	hr	0,022	11,500	0,253
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	0,271
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	0,104
TOTAL MANO DE OBRA				0,799
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
EQUIPO TOPOGRAFICO	hr	0,007	25,000	0,175
				0,000
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	0,040
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				0,215
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			12,00%	0,130
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				0,130
5 UTILIDAD				
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4			6,00%	0,073
TOTAL UTILIDAD				0,073
6 IMPUESTOS				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	0,040
TOTAL IMPUESTOS				0,040
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				1,327
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				1,33

Actividad: LIMPIEZA Y RETIRO DE ESCOMBROS

DATOS GENERALES					
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO					
Actividad: LIMPIEZA Y RETIRO DE ESCOMBROS					
Unitario: GLB					
Cantidad: 1.00					
Moneda: Bolivianos					
1 MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL	
			TOTAL MATERIALES	0,000	
2 MANO DE OBRA					
1	CHOFER	hr	17,000	15,500	263,500
2	PEON	hr	21,000	11,250	236,250
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	319,340	
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	122,372	
			TOTAL MANO DE OBRA	941,462	
3 EQUIPO Y MAQUINARIA					
1	VOLQUETA 10 M3	hr	17,000	130,000	2.210,000
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	47,073	
			TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA	2.257,073	
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			12,00%	383,824	
			TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS	383,824	
5 UTILIDAD					
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4			6,00%	214,942	
			TOTAL UTILIDAD	214,942	
6 IMPUESTOS					
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	117,337	
			TOTAL IMPUESTOS	117,337	
			TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)	3.914,638	
			TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)	3.914,64	

Actividad: ELABORACION DE DATABOOK

DATOS GENERALES					
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO					
Actividad: ELABORACION DE DATABOOK					
Unitario: GLB					
Cantidad: 1.00					
Moneda: Bolivianos					
1 MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL	
1 MATERIAL DE ESCRITORIO	glb	1,000	1.100,000	1.100,000	
TOTAL MATERIALES				1.100,000	
2 MANO DE OBRA					
1 RESIDENTE DE OBRA	hr	3,000	21,100	63,300	
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	40,449	
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	15,500	
TOTAL MANO DE OBRA				119,249	
3 EQUIPO Y MAQUINARIA					
				0,000	
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA				5,00%	5,962
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				5,962	
4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			12,00%	147,025	
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				147,025	
5 UTILIDAD					
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4			6,00%	82,334	
TOTAL UTILIDAD				82,334	
6 IMPUESTOS					
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	44,946	
TOTAL IMPUESTOS				44,946	
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				1.499,516	
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				1.499,52	

Actividad: SOLDADURA DE TUBERIA Y ACCESORIOS PE

DATOS GENERALES				
Proyecto: OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA OPTIMIZACION EDR-3. CIUDAD DE EL ALTO				
Actividad: SOLDADURA DE TUBERIA Y ACCESORIOS PE				
Unitario: GLB				
Cantidad: 1.00				
Moneda: Bolivianos				
1 MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1 TUBERIA DE PE100 SDR11, 125mm	barra	8,000	72,570	580,560
2 TUBERIA DE PE100 SDR11, 110mm	barra	3,000	54,920	164,760
3 TRANSICION ACERO-POLIETILENO 6"x125mm	pieza	1,000	948,780	948,780
4 MANGUITO ELECTROSOLDABLE PE 100, SDR11 125 MM.	pieza	8,000	47,460	379,680
5 MANGUITO ELECTROSOLDABLE PE 100, SDR11 110 MM.	pieza	3,000	42,170	126,510
6 REDUCTOR ELECTROSOLDABLE PE 100, 125/110 MM.	pieza	1,000	110,660	110,660
7 REDUCTOR ELECTROSOLDABLE PE 100, 110/90 MM.	pieza	1,000	90,690	90,690
8 VÁLVULA ELECTROSOLDABLE C/MANGUITOS, PE 100, SDR11, BASE, CAMPANA Y TAPA 125 MM.	pieza	1,000	1.581,380	1.581,38
9 VÁLVULA ELECTROSOLDABLE C/MANGUITOS, PE 100, SDR11, BASE, CAMPANA Y TAPA 125 MM.	pieza	1,000	1.370,490	1.370,490
TOTAL MATERIALES				5.353,51
2 MANO DE OBRA				
1 TECNICO OPERATIVO	hr	18,000	42,470	764,460
2 SOLDADOR DE PE	hr	5,000	25,638	128,188
3 AYUDANTE DE SOLDADORE DE PE	hr	5,000	24,154	120,771
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			63,90%	647,575
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA +CARGAS SOCIALES			14,94%	248,153
TOTAL MANO DE OBRA				1.909,14
3 EQUIPO Y MAQUINARIA				
1 MAQUINA DE ELECTROFUSION	hr	5,000	2,858	14,291
2 GENERADOR ELECTRICO	hr	5,000	3,786	18,930
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	95,457
TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				128,678

4 GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3	12,00%	886,960
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		886,960
5 UTILIDAD		
UTILIDAD - % DE 1+2+3+4	6,00%	496,698
TOTAL UTILIDAD		496,698
6 IMPUESTOS		
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5	3,09%	271,147
TOTAL IMPUESTOS		271,147
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)		9.046,140
	TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)	9.046,14