

**EVALUACIÓN TÉCNICA DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA
DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL
– CASO DE ESTUDIO –**

JAVIER PRIETO PREGONERO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERA DEL GAS
BUCARAMANGA**

2017

**EVALUACIÓN TÉCNICA DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA
DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL
– CASO DE ESTUDIO –**

JAVIER PRIETO PREGONERO

**Trabajo de grado para optar el título en
Especialista en Ingeniería del Gas**

DIRECTOR

Darío Alexis Rueda García

Ingeniero Químico

Especialista en Ingeniería del Gas

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERA DEL GAS
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

El resultado de tanto esfuerzo, dedicación y sacrificio lo dedico principalmente a Dios y a mi hermano Javi, a mi madre, a mis hijos, a mis compañeros y docentes, así como a las demás personas que formaron parte de mi vida durante el tiempo que dediqué a mis estudios para lograr esta especialización.

JAVIER PRIETO PREGONERO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente al ingeniero Darío A. Rueda, por aceptar brindarme el apoyo necesario para participar en esta Especialización, así como guiarme en la realización de este trabajo.

A mis compañeros de estudio y trabajo, por su permanente colaboración incondicional.

A mi familia, especialmente a mi madre, por su constante entendimiento, colaboración y empuje en los momentos más necesarios en el desarrollo de esta especialización.

JAVIER PRIETO PREGONERO

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. ASPECTOS GENERALES.....	18
1.1. DEL CASO DE ESTUDIO.....	18
1.2. DEL CONSUMO DE GAS NATURAL Y SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ..	21
1.3. EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA	25
2. ANÁLISIS.....	28
2.1. PERFIL DE CONSUMO.....	28
2.2. DESEMPEÑO HIDRÁULICO.....	33
2.2.1. Diagrama de una red.....	33
2.2.2. Ecuaciones de flujo.	34
2.2.3. Parámetros para el desarrollo de un modelo de simulación.....	35
2.3. PROPUESTA TÉCNICA Y PLAN DE EXPANSIÓN	43
2.3.1. Propuesta técnica.....	43
2.3.2. Plan de expansión.....	45
2.3.3. Simulación.....	48
3. RECOMENDACIONES	51
4. CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFIA.....	52
ANEXOS.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del tipo de vivienda en el periodo 1993 – 2005 en Colombia .	19
Figura 2. Viviendas Ocupadas con conexión a servicios públicos domiciliarios: Censos 1993 y 2005 en Colombia	20
Figura 3. Esquema de Distribución de líneas primarias de gas natural.	22
Figura 4. Distribución de Cantidad de Usuarios por Sectores.	24
Figura 5. Consumo acumulado por Sectores, de los últimos 10 años.	26
Figura 6. Distribución de Demanda por Sectores.	27
Figura 7. Consumo acumulado por Sectores, del año 2016.	28
Figura 8. Esquema Sistema de distribución, ERP - GNV.	29
Figura 9. Consumo acumulado por Sectores, Semana 3, Agosto 2016	30
Figura 10. Demanda acumulada, Día Jueves 24, Agosto de 2016.	31
Figura 11. Demanda acumulada, Día Viernes 25, Agosto de 2016.	31
Figura 12. Demanda acumulada, Día Sábado 26, Agosto de 2016.	32
Figura 13. Diagrama de Sistema Primario de distribución.	39
Figura 14. Trabajo de campo, registro de información.....	41
Figura 15. Presiones de simulación Vs Presiones de campo.	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características del sistema de medición.....	23
Tabla 2. Cantidad de usuarios registrados, corte Diciembre de 2016.....	23
Tabla 3. Consumo por Sectores Mm3, de los últimos 10 años.	25
Tabla 4. Consumo registrado Año 2016.	28
Tabla 5. Demanda registrada Semana 3, Agosto 2016.	29
Tabla 6. Características del Gas, Simulación en GASWorkS.	37
Tabla 7. Consumo en hora pico, jueves 24 de agosto 2016.	38
Tabla 8. Resultados de Simulación, Condición de operación.	40
Tabla 9. Comparación Presión de simulación Vs de Campo.	42
Tabla 10. Proyección poblacional, 2012 - 2027	46
Tabla 11. Consumo en hora pico, Caso proyección.	48
Tabla 12. Resultados de Simulación, Condición Máxima.	49
Tabla 13. Consolidado condiciones de operación.....	50

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Registros de consumo Semana 3, m3/hora, por nodo	54
Anexo B. Reporte cromatografía específica, punto Cusiana – Apiay.....	58
Anexo C. Reporte de simulación, Condiciones de operación 2016.	59
Anexo D. Formato para reporte de campo, lectura de presiones.	68
Anexo E. Reporte de simulación, Condiciones Críticas o de Máxima demanda....	69

GLOSARIO

Condiciones Base: Son, para efectos de medición de volumen y cálculo del Poder Calorífico Bruto Real del Gas, una presión absoluta de uno coma cero uno cero uno (1,0101) Bar absolutos equivalentes a 14,65 Psia y una temperatura de quince coma cincuenta y cinco (15,55) grados centígrados equivalentes a 60 °F.

Consumo de Gas Natural: Actividad de tipo regular que significa satisfacer las necesidades presentes del energético.

CREG: Es la Comisión de Regulación de Energía y Gas, organizada como Unidad Administrativa Especial del Ministerio de Minas y Energía de acuerdo con las Leyes 142 y 143 de 1994.

Demanda de volumen: Cantidad de gas combustible que el Distribuidor proyecta entregar anualmente a los consumidores finales para el Horizonte de Proyección, expresado en metros cúbicos.

Distribución de gas combustible: Es el transporte de gas combustible a través de redes de tubería, desde las Estaciones Reguladoras de Puerta de Ciudad, o desde un Sistema de Distribución, hasta la conexión de un usuario, de conformidad con la definición del numeral 14.28 de la Ley 142 de 1994.

Distribuidor de gas combustible por redes (Distribuidor): Persona encargada de la administración, la gestión comercial, la planeación, la expansión, la operación y el mantenimiento de todo o parte de la capacidad de un Sistema de Distribución. Los activos utilizados pueden ser de su propiedad o de terceros.

Estación reguladora de Puerta de Ciudad o Puerta de Ciudad (CityGate): Estación reguladora de presión, en la cual se efectúan labores de tratamiento y medición del gas. A partir de este punto inician las redes que conforman total o

parcialmente un Sistema de Distribución y el Distribuidor asume la custodia del gas combustible.

Gas natural: Es una mezcla de hidrocarburos livianos, principalmente constituida por metano, que se encuentra en los yacimientos en forma libre o en forma asociada al petróleo. El Gas Natural, cuando lo requiera, debe ser acondicionado o tratado para que satisfaga las condiciones de calidad de gas establecidas por la CREG.

Gas Natural Comprimido (GNC): Gas Natural cuya presión se aumenta a través de un proceso de compresión y se almacena en recipientes de alta resistencia.

Gas Natural Vehicular (GNV): Gas Natural cuya presión se aumenta a través de un proceso de compresión y se almacena en recipientes de alta resistencia destinados al sector automotor.

Horizonte de proyección: Período de tiempo, fijado en 20 años, utilizado para simular el comportamiento de las variables de demanda y gastos de administración, operación y mantenimiento asociados a la utilización de la Inversión Base, en la metodología tarifaria.

Metro cúbico de gas (m3): Es el volumen de Gas contenido en un metro cúbico (1m³) de espacio, cuando el gas se encuentra a condiciones base.

Psia: Es la presión absoluta en libras por pulgada cuadrada. Equivale a 0,068 947 Bar absoluto.

Psig: Es la presión manométrica en libras por pulgada cuadrada. Equivale a 0,068947 Bar manométrico.

Punto de salida: Punto en el cual el remitente toma el gas natural.

Red primaria de distribución: Sistemas de tuberías destinados a la conducción de gas hacia sectores puntuales de consumo en los centros urbanos o la interconexión de varias comunidades. Para el caso de gas natural están comprendidas entre la estación receptora (city gate) de cada localidad y las estaciones reguladoras secundarias dispuestas en la red de distribución. Por lo general, se componen de tuberías de acero operadas a alta presión.

Sistema de distribución: Es el conjunto de gasoductos que transporta gas combustible desde una Estación Reguladora de Puerta de Ciudad o desde otro Sistema de Distribución hasta el punto de derivación de las acometidas de los inmuebles, sin incluir su conexión y medición.

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN TÉCNICA DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL – CASO DE ESTUDIO –*

AUTOR: JAVIER PRIETO PREGONERO**

PALABRAS CLAVES: Demanda de gas, Red de distribución, consumo, perfil de presión

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo se realizó para evaluar el desempeño hidráulico de las líneas primarias del sistema de distribución de gas natural en un –caso de estudio– y así determinar su demanda máxima, capacidad de flujo, perfiles de consumo y presión en los puntos de salida del sistema en cada uno de los puntos críticos de acuerdo con las condiciones actuales de operación y condiciones proyectadas de consumo. Para ello se utilizó información del Sistema único de información SUI de la superintendencia de servicios públicos, correspondiente al –caso de estudio–, datos históricos del medidor de entrega de custodia, toma de registros de campo, análisis de comportamiento frente a la variación del consumo semana, día y hora.

Con el desarrollo de este estudio se permitirá validar la calidad y continuidad del servicio, así como la simulación del comportamiento del sistema de distribución, ya que se podrán identificar las condiciones técnicas requeridas para asegurar y garantizar la suficiencia desde el punto de vista hidráulico y disminuir el riesgo de desabastecimiento, incumplimientos de calidad del suministro del servicio público e incertidumbre en la proyección de inversiones del sistema de distribución, así como prevenir la generación de mal planeamiento del programa de reposición de activos en el expediente tarifario presentado a la Comisión Reguladora de Energía y Gas – CREG, por medio del cual se reconocen las inversiones realizadas.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías FísicoQuímicas. Especialización en Ingeniería de Gas. Director: Darío Alexis Rueda García. Ingeniero Químico, Especialista en Ingeniería de Gas.

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL ASSESSMENT OF SYSTEM OPERATION OF NATURAL GAS DISTRIBUTION – STUDY CASE – *

AUTHOR: JAVIER PRIETO PREGONERO**

KEY WORDS: Gas demand, Distribution network, consumption, pressure profile.

DESCRIPTION:

This work was carried out to evaluate the hydraulic performance of the primary lines of the natural gas distribution system in a study case and to determine its maximum demand, flow capacity, consumption profiles and pressure at the points of exit of the system. At each of the critical points in accordance with the current operating conditions and projected consumption conditions. For this purpose, information was used from the SUI single information system of the superintendency of public services, corresponding to the study case, historical data of the custody delivery meter, field record taking, behavior analysis versus consumption variation Week, day and hour.

With the development of this study, it will be possible to validate the quality and continuity of the service, as well as the simulation of the behavior of the distribution system, since it will be possible to identify the technical conditions required to assure and guarantee the sufficiency from the hydraulic point of view and to diminish The risk of shortages, breaches of quality of public service provision and uncertainty in the projection of investments of the distribution system, as well as to prevent the generation of bad planning of the program of reposition of assets in the tariff file presented to the Energy Regulatory Commission And Gas - CREG, through which the investments made are recognized.

* Degree Thesis

** Physic-chemist Engineering Faculty. Petroleum Engineering School. Dario Alexis Rueda Garcia, Specialist in gas engineering.

INTRODUCCIÓN

El comportamiento de uso del Gas Natural en Colombia, se ha venido desarrollando a través de programas como el de Masificación del Consumo de Gas Combustible, donde su objetivo principal fue promover una matriz de consumo de energía más eficiente y conveniente para el país mediante la sustitución de recursos energéticos de alto costo, inicialmente GLP (Gas propano) y más adelante por la masificación del gas natural.

En el desarrollo de estos programas, se concibió la construcción de sistemas de gasoductos a través de la conversión de activos existentes utilizados para el transporte de derivados del Petróleo, construcciones de nuevos gasoductos de transporte de gas natural, principalmente a cargo del sector privado, y el desarrollo de sistemas de distribución por parte de empresas privadas o mixtas con participación de las regiones.

Sin embargo, muchos de estos sistemas de distribución, ya se encontraban en construcción u operación, los cuales contaban con un horizonte de proyección diferente al planteado por estas políticas y cambios demográficos.

El riesgo de tener redes primarias de distribución con insuficiencias técnicas, no contar con esquemas de análisis y validación del cumplimiento del horizonte de demanda aumentan el riesgo de desabastecimiento, propiciando una mala planeación del sistema de distribución.

El trabajo desarrollado recopila información histórica del -Caso de Estudio-, principalmente registros y datos de medición, así como características de la región, mercado atendido, parámetros de operación, registros de desabastecimiento o problemas de suministro atribuidos a dificultades técnicas en el sistema.

Con el análisis de la información consolidada, se establecerá el pico hora de consumo, con el cual se realizarán las simulaciones de operación del sistema de redes primarias de distribución, comprendidas desde el City Gate (Nodo suministro) hasta las estaciones de distrito o Puntos de alto consumo (Nodos de salida) donde se entrega el volumen demandado de gas natural.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. DEL CASO DE ESTUDIO

El estudio toma como referencia una ciudad – Caso de Estudio – colombiana, ubicada a 90 km de Bogotá, con una altitud promedio de 467 msnm y 27°C, con una población urbana de 531.862 habitantes (Según POT municipal). El crecimiento económico y demográfico regional ha estado dominado por las grandes urbes a tal punto que actualmente, en términos demográficos, es una región netamente urbana.

Desde el punto de vista de los planteamientos de la economía urbana, ese crecimiento relativamente destacado de las principales urbes es el resultado de la confluencia de varios factores. Uno de ellos es la mayor intensidad en el intercambio de ideas, que promueve la innovación y la diversidad urbana. Estas a su vez atraen cada vez más personas hacia áreas las urbanas.¹ La región es considerada de Concentración Media – Alta población en cabecera.

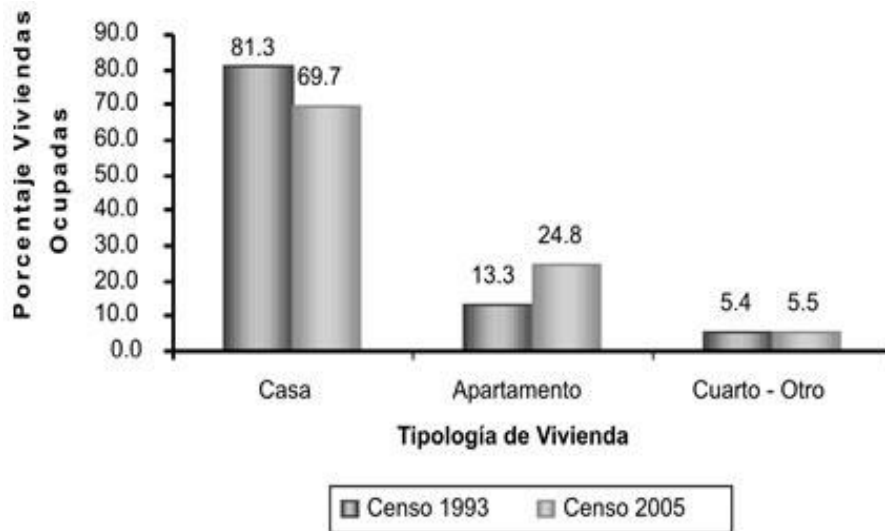
Este proceso de urbanización tiene una gran incidencia en los cambios culturales, composición de los hogares, tipología y características de las viviendas, mayor educación, acceso a salud, entre otras demandas sociales, para cuya focalización se requiere el adecuado conocimiento de la dinámica poblacional y sus variables determinantes.

Si se tiene en cuenta la tipología de vivienda, como se evidencia en la Figura 1., el sector en general muestra un incremento importante de las viviendas tipo

¹ DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA, Censo general a nivel nacional. DANE, 2005.

apartamento, en deterioro de las casas, lo cual tiene coherencia con el aumento de la propiedad horizontal.

Figura 1. Evolución del tipo de vivienda en el periodo 1993 – 2005 en Colombia

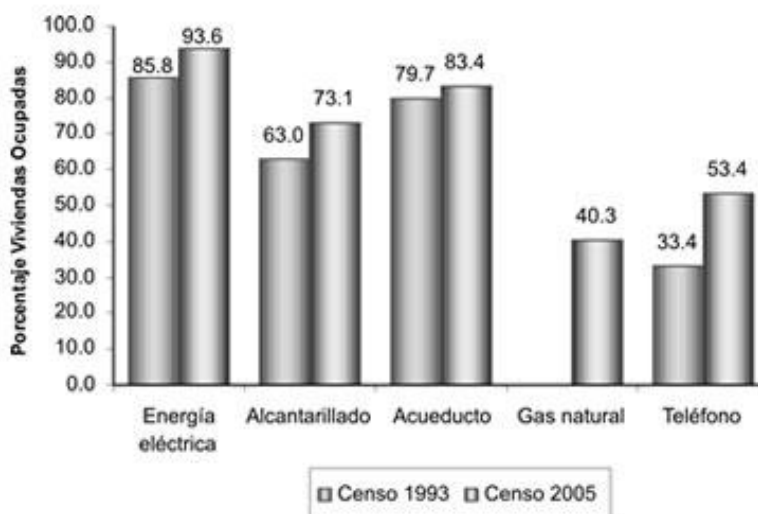


Fuente: DANE, Censo general 2005, Capítulo Vivienda.

Un aspecto importante en la evaluación del inventario de viviendas, es la existencia o no de conexión de los servicios públicos domiciliarios. En la figura 2., podemos comparar la proporción de viviendas ocupadas con conexión a servicios públicos domiciliarios del censo 2005, con las registradas en el censo de 1993, se encuentra una importante evolución a nivel nacional, siendo los mayores incrementos en alcantarillado y teléfono con línea fija, participaciones que se pueden ver en el siguiente gráfico.

En términos generales la cobertura de los servicios públicos está dada en un 85% (Electricidad, acueducto y gas).

Figura 2. Viviendas Ocupadas con conexión a servicios públicos domiciliarios: Censos 1993 y 2005 en Colombia



Fuente: DANE, Censo general 1993 y 2005.

Igualmente, se debe destacar la proporción alta de viviendas ocupadas con conexión a energía, la cual se explica por el incremento de viviendas con este servicio en la parte resto; otro punto que se identifica es el alto crecimiento que se ha presentado en los últimos doce años del gas natural.

Teniendo en cuenta los datos del último censo, se evidencia que el 24 por ciento de la población total cambió su residencia habitual en el periodo 2000 - 2005, proceso que registra comportamientos diferentes por sexo y edad, así como en las causas que motivaron el cambio de residencia.

Si tenemos en cuenta la relación origen - destino de los flujos migratorios se tiene que, el mayor peso de estos movimientos se da al interior de los municipios, los cuales representan el 71,3 por ciento del total de cambios de residencia.

Un aspecto importante de resaltar de las cifras censales se relaciona con el hecho que, del total de cambios intermunicipales, el 56,9 por ciento se dio hacia otros departamentos.

También se evidencia que es significativo el factor laboral como causa de cambio de residencia, representando el 15,7 por ciento del total de personas que realizaron movimientos migratorios internos durante el último quinquenio anterior al censo.

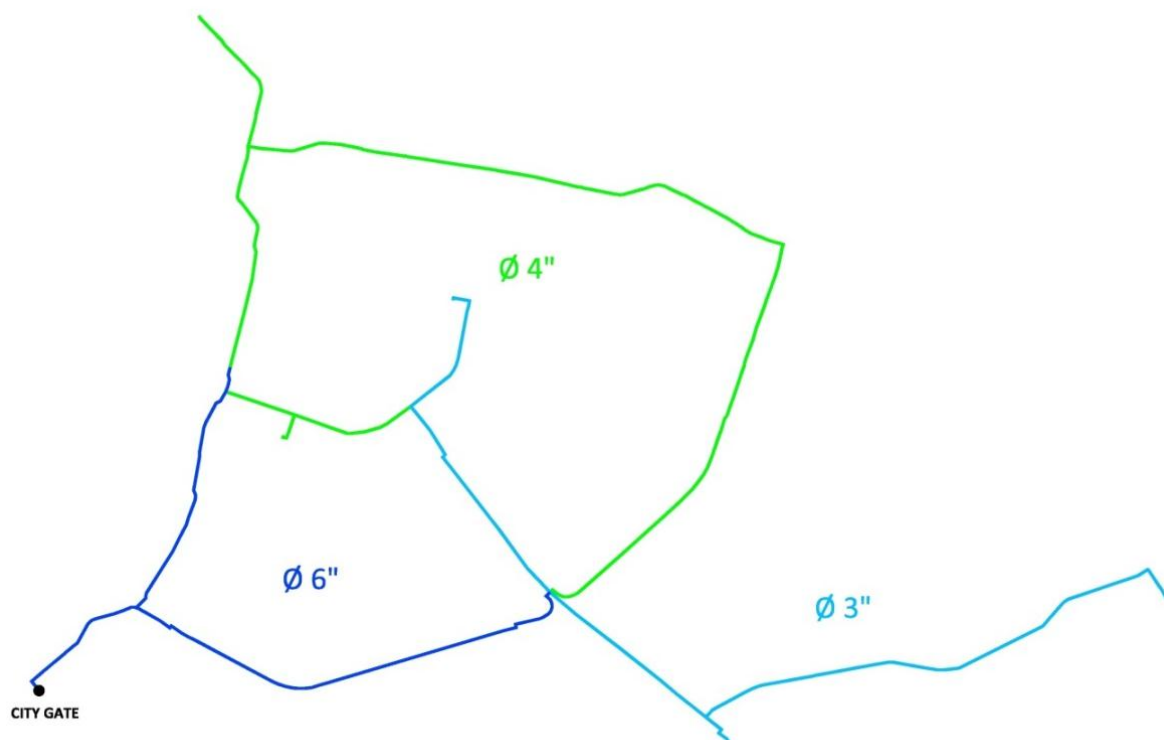
1.2. DEL CONSUMO DE GAS NATURAL Y SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

El gas natural proviene de los campos Cusiana y Apiay, suministrado por Ecopetrol S.A., transportado a través del sistema de gasoductos propiedad de la Transportadora de Gas Internacional - T.G.I. E.S.P.

Por tres décadas ha estado en funcionamiento el sistema de distribución del Caso de Estudio, construido a partir del año 1986 y puesto en operación desde el año 1987 hasta la fecha.

El gas natural para distribución parte desde el City Gate, a cargo del Transportador, de allí se derivan 35 kilómetros de líneas primarias de gas natural para su distribución, como se presenta en la Figura 3. Esquema de Distribución de líneas primarias de gas natural, estas líneas interconectan este sistema de alta presión a Estaciones reguladoras de Presión – ERP y Estaciones de Servicio de Gas Natural Vehicular – GNV. Las líneas primarias están construidas en Acero, de diámetros entre 3” y 6”, las cuales operan a una MOP, máxima presión de operación de 275 psig.

Figura 3. Esquema de Distribución de líneas primarias de gas natural.



Fuente. Caso de Estudio.

La cartografía referenciada, no tiene un buen nivel de detalle, no se identifican cambios de dirección.

El gas recibido se distribuye a través de Puerta de Ciudad (City Gate) de propiedad del mismo transportador. Para el registro de los volúmenes de gas se utiliza un sistema de medición, de las características indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Características del sistema de medición.

Elemento Primario	Medidor Tipo Placa y Orificio
Instrumento	Placa y Orificio
Fabricante	Daniel
Diametro Orificio	1,9992 in
Material	316 SS
Montaje	Portaplacas Daniel Senior 6 in ANSI 300
Elemento Terciario	Computador de Flujo
Fabricante	Fisher Control Inc
Modelo	Floboss 103
Alcance de Medición	0 psi a 500 psi / 0 a 700 psi in H2O / 40 °F a 70°F
Serie	17957449

Fuente: Caso de estudio.

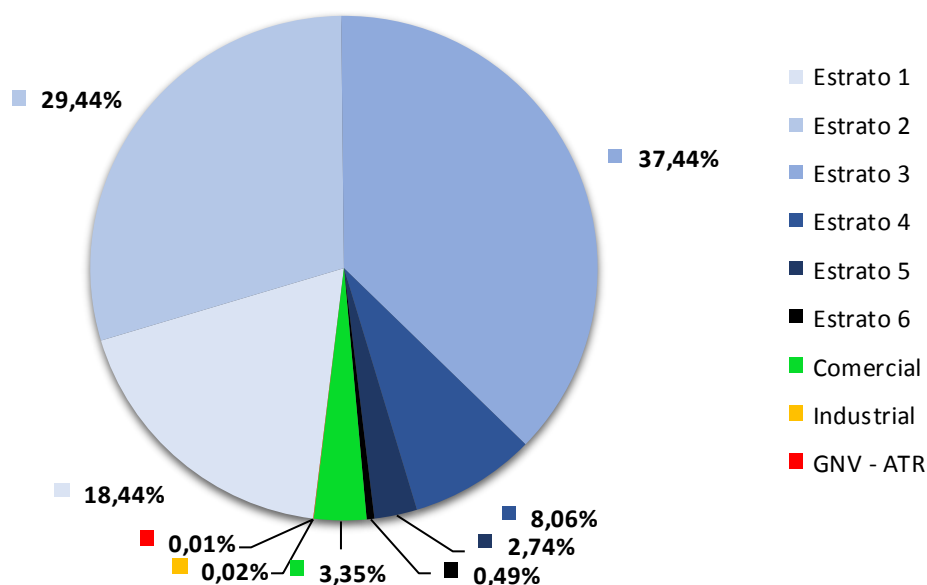
Al cierre del año 2016, el Caso de Estudio cuenta con 136.166 usuarios consumidores, de los cuales 136.149 son usuarios regulados y 17 son usuarios no regulados, que a su vez se distribuyen en los sectores residencial, comercial, industrial y Gas Natural Vehicular - GNV.

Tabla 2. Cantidad de usuarios registrados, corte Diciembre de 2016.

Sector	Cantidad Usuarios
Residencial	131.564
Comercial	4.562
Industrial	23
GNV - ATR	17
TOTAL	136.166

Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos – SUI [Boletín informativo en línea].

Figura 4. Distribución de Cantidad de Usuarios por Sectores.



De acuerdo con los datos consolidados en la figura 4. de Distribución de cantidad de usuarios por sectores, el 96,6% de los usuarios consumidores, corresponden al sector residencial, en donde los estratos 1, 2 y 3, concentran un 85,3% del total de los usuarios consumidores, en donde el uso principalmente está destinado para la cocción de alimentos, por el contrario, el sector Industrial y GNV, suman solo un 0,03%.

Sin embargo, aun con una participación mucho menor por la cantidad de usuarios regulados, del sector Residencial y Comercial, el comportamiento en distribución de la demanda es totalmente diferente, lo cual se expone más adelante.

1.3. EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA

En general el mercado de gas en el Caso de Estudio, no tiene grandes clientes que generen variaciones representativas sobre el consumo global.

Tabla 3. Consumo por Sectores Mm³, de los últimos 10 años.

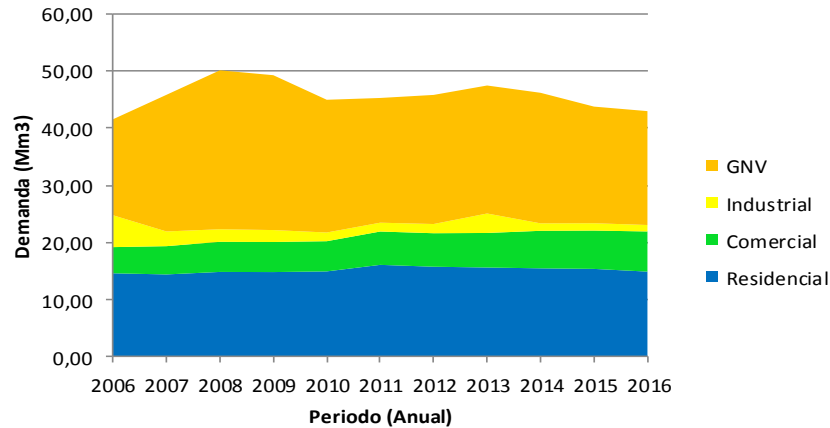
Año	Residencial	Comercial	Industrial	GNV	Demanda Total
2006	14,54	4,60	5,60	16,86	41,59
2007	14,34	4,96	2,58	24,00	45,89
2008	14,78	5,29	2,21	27,92	50,19
2009	14,75	5,28	2,10	27,20	49,34
2010	14,87	5,30	1,53	23,31	45,02
2011	16,02	5,85	1,55	21,91	45,34
2012	15,69	5,88	1,62	22,68	45,87
2013	15,55	6,07	3,42	22,49	47,53
2014	15,41	6,59	1,31	22,93	46,24
2015	15,31	6,73	1,29	20,49	43,82
2016	14,83	7,05	1,14	20,00	43,02

Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos – SUI [Boletín informativo en línea].

El consumo total en los últimos 10 años, se ha mantenido expectante frente al mercado, no presenta grandes variaciones, ni ausencia de algún sector.

En la tabla 3. Se presentan los consumos reportados por Sectores en Millones de metros cúbicos de los últimos 10 años al Sistema único de información de Servicios públicos, en los cuales se evidencia que en los 3 últimos periodos se ha presentado una disminución de la demanda total.

Figura 5. Consumo acumulado por Sectores, de los últimos 10 años.



Los sectores más estables representados corresponden al Residencial y Comercial, el sector industrial presenta una disminución constante a través de los años, figura 5. De consumo acumulado por sectores, de los últimos 10 años.

El sector GNV en los últimos dos periodos ha presentado, dos de los tres periodos más bajos de demanda del caso objeto de estudio, por lo que puede ser el sector se esté afectando por causas externas a la demanda de este servicio y condiciones del mercado.

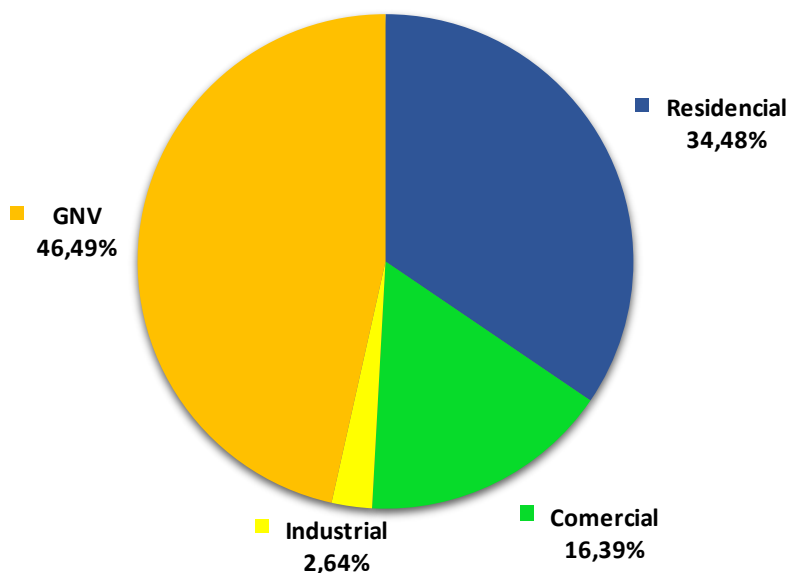
Las ventas de gas natural efectuadas por al cierre del año 2016 alcanzaron los 43 millones de m³, alcanzando una leve disminución del 0.14% con respecto del cierre del año 2015. Este resultado obedece principalmente a tres factores que han incidido en la disminución del consumo de gas natural:

- a) El sector de gas natural vehicular ha venido perdiendo demanda, a razón principalmente de las eficiencias que vienen presentando los combustibles sustitutos como la gasolina, haciendo cada vez más reducido el margen de ahorro.

- b) El cambio de hábitos de consumo en los usuarios residenciales, quienes optan por la preparación rápida de alimentos a través del uso de electrodomésticos como cafeteras, ollas arroceras, hornos microondas, sandwicheras, etc. Este fenómeno ha disminuido el consumo promedio por usuario el cual para el año 2016 se ubicó en 11 m3/mes para el sector residencial.

- c) Las revisiones Técnicas reglamentarias han ocasionado la suspensión de un buen número de usuarios lo cual afecta la continuidad del consumo mientras se realiza la certificación.

Figura 6. Distribución de Demanda por Sectores.



Como se presenta en el análisis de la figura 6, el sector GNV, presenta un potencial consumo de 46,49%, con solo 17 usuarios. De igual manera el Sector Residencial y Comercial superan el 50% de la demanda total del Caso de Estudio.

2. ANÁLISIS

2.1. PERFIL DE CONSUMO

La demanda registrada el último año ascendió a los 43 millones de m³ de gas natural suministrados, de los cuales podremos entender el comportamiento en la siguiente tabla de Consumos registrados año 2016, así:

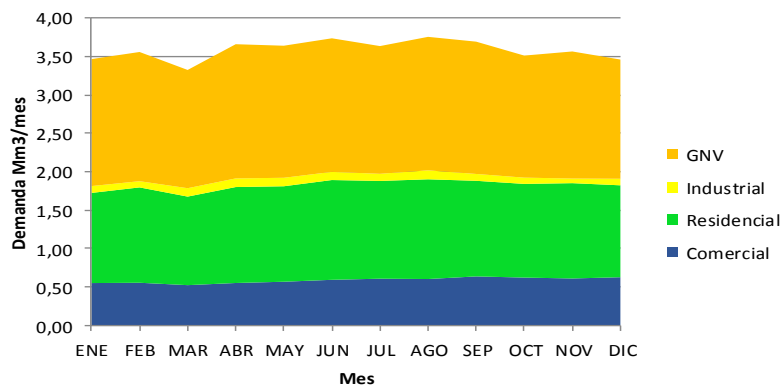
Tabla 4. Consumo registrado Año 2016.

DEMANDA REGISTRADA ANUAL (Mm3/mes)													
Sector	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Residencial	1,17	1,24	1,15	1,25	1,24	1,30	1,27	1,30	1,25	1,22	1,24	1,20	14,83
Comercial	0,55	0,55	0,52	0,55	0,57	0,59	0,61	0,60	0,64	0,62	0,61	0,63	7,05
Industrial	0,09	0,08	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,12	0,09	0,08	0,06	0,09	1,14
GNV	1,65	1,68	1,54	1,75	1,72	1,74	1,66	1,74	1,72	1,59	1,65	1,55	20,00
	3,47	3,56	3,33	3,66	3,64	3,74	3,64	3,76	3,69	3,51	3,57	3,46	43,02

Fuente: Caso de estudio.

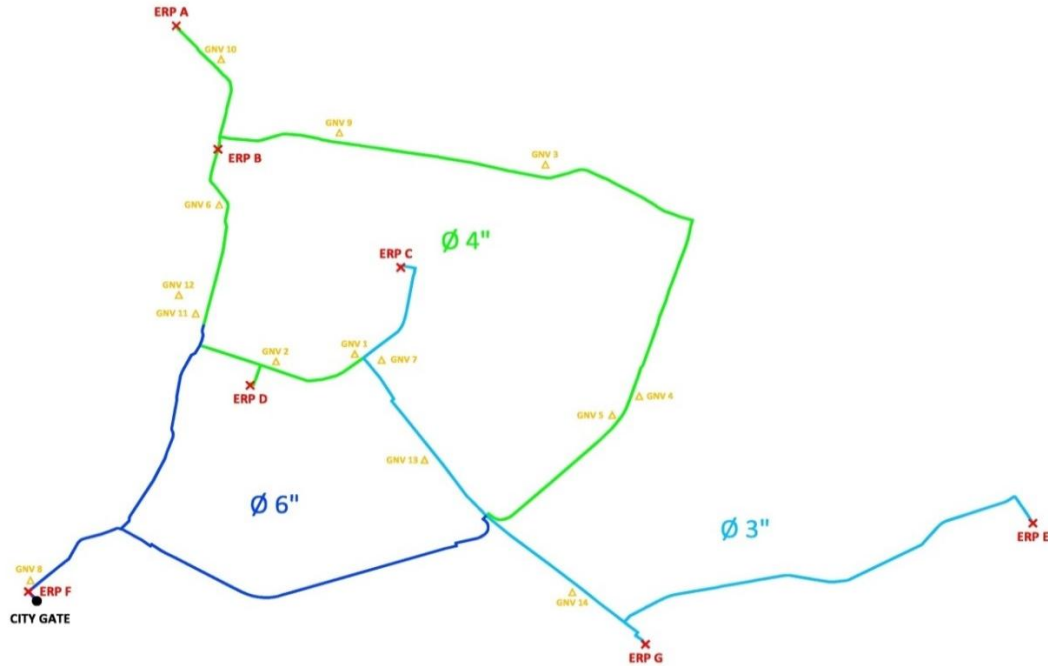
Señalaremos que, de acuerdo al comportamiento registrado, es el mes de Agosto en el cual se concentra la mayor demanda. Esto permitirá tomar como referencia una semana para evaluar las demandas pico de gas natural para las líneas primarias del sistema de distribución.

Figura 7. Consumo acumulado por Sectores, del año 2016.



Para ello debemos acceder a los sistemas de telemetría instalados en cada punto de alto consumo para definir la demanda hora, estos puntos son Estaciones reguladoras de Presión – ERP y Estaciones de Servicio de Gas Natural Vehicular – GNV, como se muestra la ubicación en la figura 8. Esquema Sistema de distribución.

Figura 8. Esquema Sistema de distribución, ERP - GNV.



Fuente. Caso de Estudio.

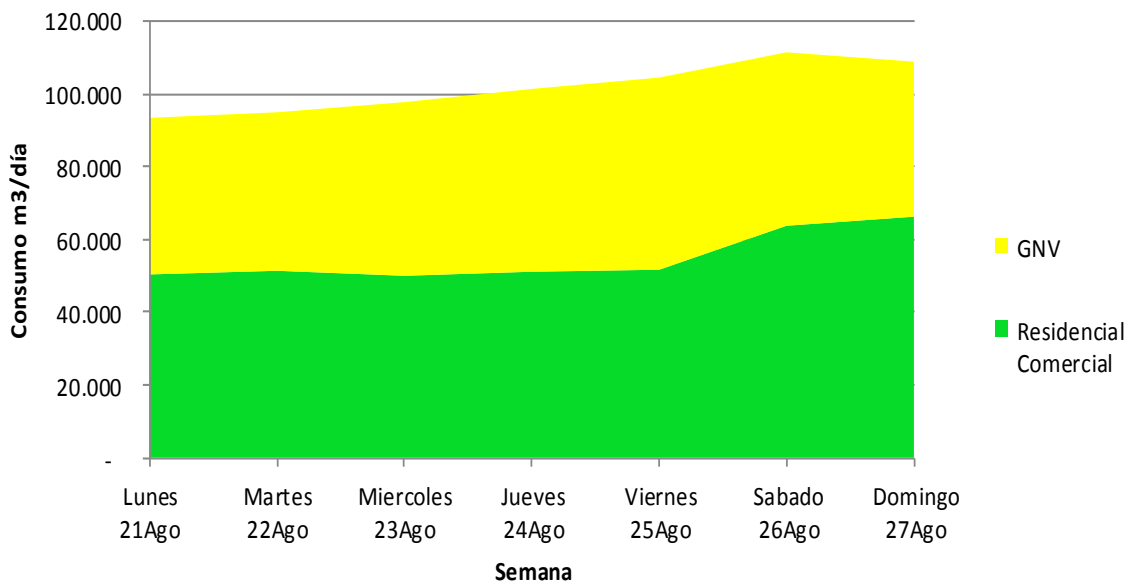
Tabla 5. Demanda registrada Semana 3, Agosto 2016.

DEMANDA REGISTRADA SEMANA (m3/día)								
Sector	Lunes 21Ago	Martes 22Ago	Miercoles 23Ago	Jueves 24Ago	Viernes 25Ago	Sabado 26Ago	Domingo 27Ago	Total
Residencial Comercial	50.423	51.433	50.049	51.172	51.718	63.829	66.323	384.947
GNV	43.108	43.629	47.810	50.321	52.894	47.736	42.670	328.168
	93.531	95.062	97.859	101.493	104.612	111.565	108.993	713.115

Fuente: Caso de estudio.

En la semana No. 3 del mes de agosto de 2016, se registraron los mayores índices de demanda/día (Anexo A. Registros de consumo Semana 3, m3/hora, por nodo), especialmente evidenciado en los días jueves, viernes y sábado de esta semana, como se presenta en la tabla 5, demanda registrada semana 3 Ago.2016.

Figura 9. Consumo acumulado por Sectores, Semana 3, Agosto 2016



Una vez analizadas la tabla 5 y figura 9, es posible identificar para nuestro cálculo que el día jueves 24 de Agosto, que presenta menor registro que los días viernes y sábado, será el elegido para realizar los cálculos y simulaciones necesarias del sistema de distribución; para comprender de mejor manera, veremos las siguientes graficas:

Figura 10. Demanda acumulada, Día Jueves 24, Agosto de 2016.

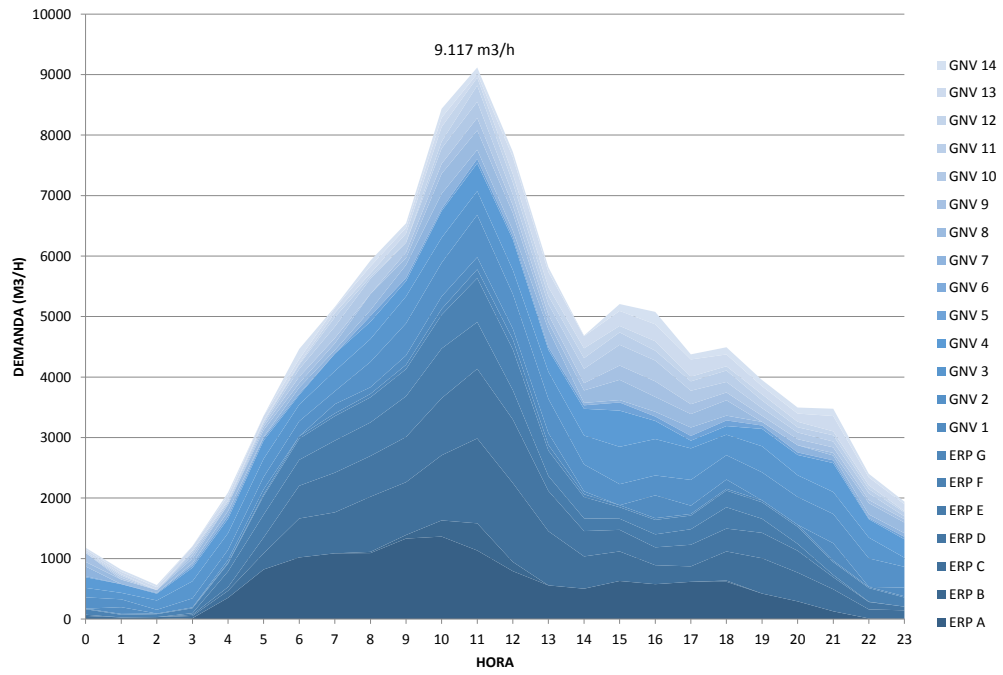


Figura 11. Demanda acumulada, Día Viernes 25, Agosto de 2016.

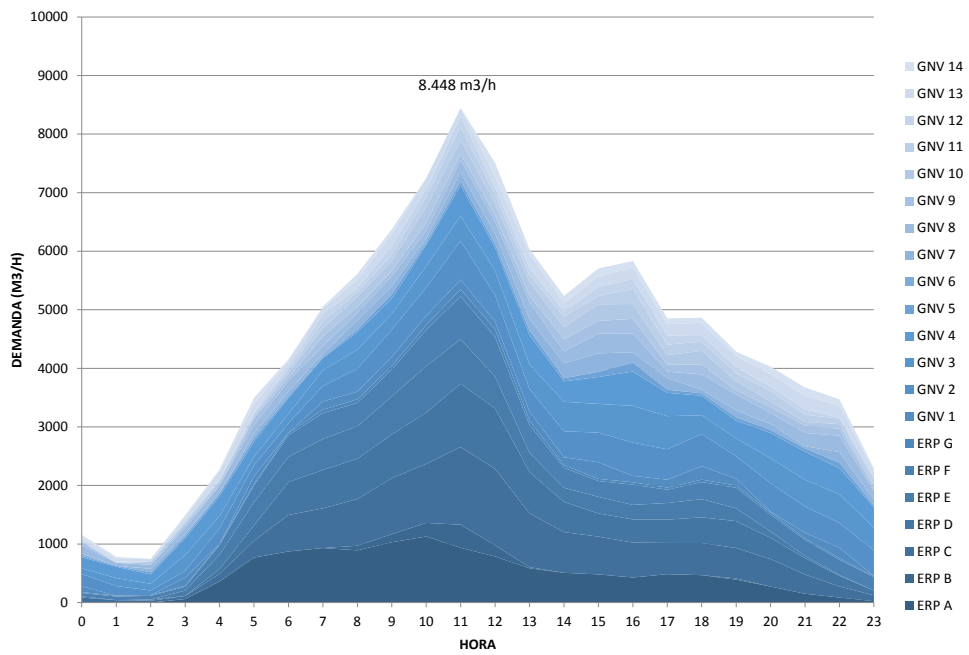
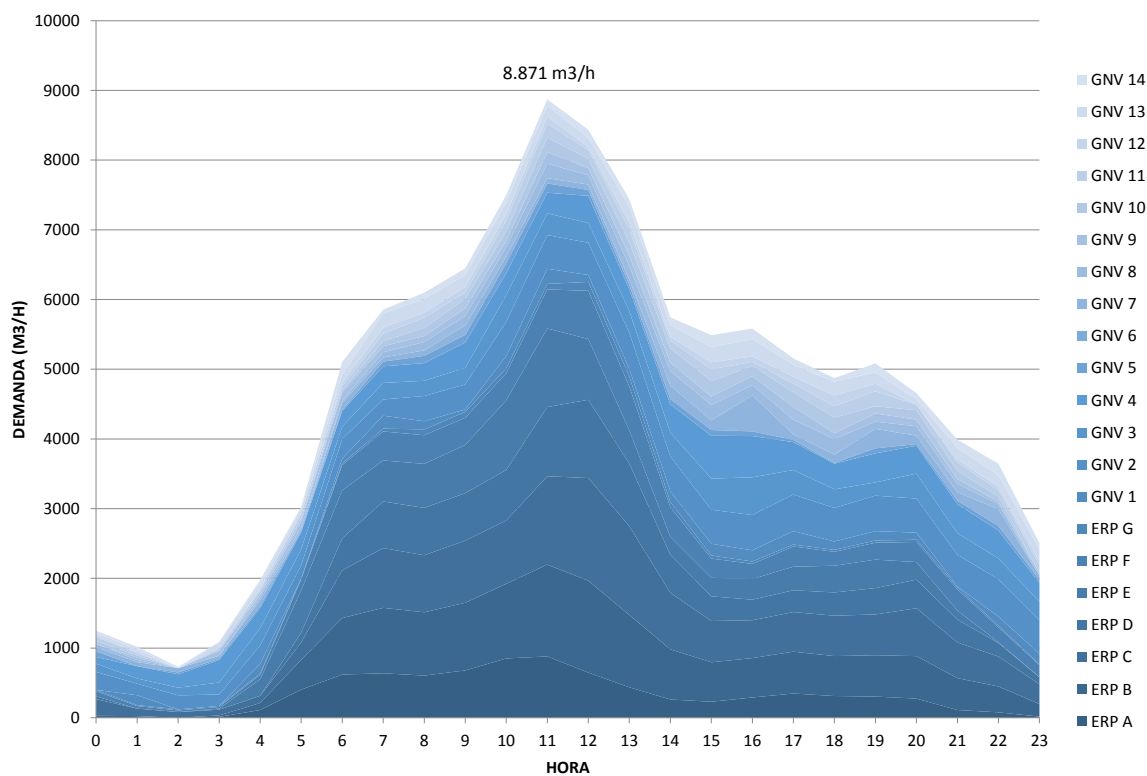


Figura 12. Demanda acumulada, Día Sábado 26, Agosto de 2016.



Analizando las figuras 10, 11 y 12 es posible indicar que en los días viernes y sábado, se presentó la mayor demanda de esta semana, sin embargo, esta demanda no se concentra en un horario específico, es decir está distribuida de forma más uniforme a lo largo del día.

Por el contrario el día jueves, aunque con 9,9% menos de la demanda que los demás días, entre las 11:00 am y las 12:00 a.m. se concentró la mayor cantidad de suministro de Gas natural, es decir que el sistema de distribución presentó el mayor requerimiento de gas en este día y en este horario, Día jueves 24 de Agosto a las 11:00 am, con un consumo total de 9.117 m³/h.

Estos datos corresponden a los puntos más relevantes del sistema de distribución, por ser concentradores de demanda, y serán los mismos que nos permitirán realizar los cálculos de simulación en condiciones de operación.

2.2. DESEMPEÑO HIDRÁULICO

Es importante mencionar que, en el Caso de Estudio, no se encontraron registros del Diseño inicial, contra el cual se puedan validar las condiciones de diseño versus las condiciones operativas.

2.2.1. Diagrama de una red. Principalmente se definen esquemas o modelos de la distribución de las líneas de gas, cada una de ellas y sus tramos tienen características particulares, como longitud, presión, caudal y diámetro.

Estos esquemas son la representación gráfica de elementos que conforman una red, donde deben aparecer todos los datos y sean necesarios para iniciar su solución, aunque algunos de estos datos puedan ser supuestos. El diagrama de una red supone todo un problema de diseño, pues se deben obtener los flujos externos a cada uno de los nodos, definir el tamaño de cada uno de los tramos de tubería y la forma como van a ser interconectados.

Cuando una red se va haciendo grande empieza a hacerse difícil la elaboración del diagrama pues resulta poco práctico representar todos los flujos externos y los tramos; en estos casos se simplifica la red. La simplificación del diagrama de una red, consiste en la concentración de datos relacionados con consumos en ciertos puntos de la red y en la eliminación de tramos. Cuando se tiene, por ejemplo, una red para distribuir gas en una ciudad, a lo largo de cada tramo habrá muchas salidas de gas hacia los consumidores, si se tratara de representar cada consumo en todos

los tramos se necesitaría un diagrama muy extenso; por tanto es práctica usual concentrar estas cargas en los extremos del tramo.

Sin embargo, si en el tramo a representar tiene en algún sitio un consumo alto de gas, como en el caso de un consumo industrial o comercial, éste debe representarse donde ocurra sin simplificar.

2.2.2. Ecuaciones de flujo. Principalmente un gas presenta un comportamiento en una red en varios sentidos, ya que el gas puede fluir en diferentes vías con presiones en cada nodo y a ratas de flujo que varían en cada tramo. Por tal motivo es necesario en el diseño especificar estos dos aspectos para resolver la red.

Luego de identificar el comportamiento de algunas de las variables asociadas a los procesos de distribución de gas natural, muchos autores plantearon diferentes ecuaciones para modelar el comportamiento del fluido al interior de las tuberías, es así como surgen las ecuaciones basadas en la ecuación general de flujo y modificaciones por factores de fricción, entre estas están:

2.2.2.1 Ecuación de Weymouth. Fue desarrollada para tuberías grandes (mayores o iguales a 36 pulgadas) y con flujo totalmente turbulento. No es recomendable para tuberías pequeñas debido a que, en ocasiones para obtener valores reales, es necesario aplicar eficiencias superiores al 100%. Esta introduce un valor de eficiencia, el cual no se recomienda para cálculos de nuevas tuberías.

2.2.2.2 Ecuación de Panhandle A. Esta ecuación fue desarrollada de datos operacionales obtenidos de las líneas de gas de la Texas Panhandle Gas en Chicago (Panhandle and Eastern Gas Co). La tubería estaba operada a presiones arriba de 900 psia y en regímenes de flujo parcialmente turbulentos. Es dependiente del número de Reynolds. Debe tenerse en cuenta que esta ecuación fue

desarrollada utilizando tuberías de NPS 6” a NPS 24” y para números de Reynolds entre 5.000.000 y 14.000.000.

Incluye un valor E de Eficiencia, parámetro que se utiliza para ajustar los resultados de las ecuaciones contra los valores reales obtenidos en el sistema.

2.2.2.3 Ecuación de Distribución de IGT. Los estudios de AGA mostraron grandes valores en los factores de fricción frente a los factores previamente descritos por otros estudiosos. Los estudios presentados confirmaron las teorías de Prant y von Karman y los experimentos del comportamiento de los fluidos de Nikuradse. Ellos dicen que, a bajas ratas de flujo de gas, el factor de fricción sería dependiente del número de Reynolds y para altas ratas de flujo de gas, el factor de fricción sería función de la rugosidad relativa de la tubería (Referencia: IGT Reporte Técnico Numero 10 “Flujo estable en tuberías de gas”, Julio 1965). La ecuación de distribución de IGT es adecuada en regímenes de flujo parcialmente turbulentos con tuberías de diámetros pequeños y presiones bajas.²

2.2.3 Parámetros para el desarrollo de un modelo de simulación. Es importante definir los parámetros o variables fundamentales para el buen funcionamiento de un modelo de simulación, para tal fin, tener en cuenta los siguientes:

- ✓ Características Generales
- ✓ Parámetros geométricos de la tubería
- ✓ Características del Gas
- ✓ Parámetros operacionales
- ✓ Diagrama de Sistema de distribución

² Apuntes de clase, Ingeniería del Gas, Diseño y Operación de Redes de Distribución de Gas, Ernesto Calderón Carrillo.

A continuación, se presenta un desarrollo de cada uno de los parámetros mencionados anteriormente, allí se definirán condiciones que tienen un impacto potencial sobre los cambios de flujo del gas en el modelo de simulación.

2.2.3.1 Características Generales

Presión de Operación	Entre 250 y 275 psig
Demanda	Entre 90.000 y 115.000 m3/día
City Gate	Uno (1)
Estaciones Regulatoras de Presión	Siete (7)
Industriales / GNV	Catorce (14)
Ecuación de Flujo	Ecuación de Distribución de IGT

2.2.3.2 Parámetros geométricos de la tubería

Longitud total	35 Km
Diámetro Nominal	3, 4 y 6 pulgadas
Material	Acero
Tipo de Terreno	Plano

2.2.3.3 Características del Gas. De acuerdo con la cromatografía podemos acceder los datos al modelo de simulación, con el fin de aterrizar las condiciones de operación. (Anexo B. Reporte cromatografía específica, punto Cusiana – Apiay.)

Tabla 6. Características del Gas, Simulación en GASWorks.

Enter Gas Properties (%)...			
Methane (CH4):	82.63765	Air (N2+O2):	0
Ethylene (C2H4):		Water (H2O):	0
Ethane (C2H6):	10.14259	Argon (Ar):	0
Propane (C3H8):	3.61513	Carbon Monoxide (CO):	0
I-Butane (iC4H10):	0.52218	Carbon Dioxide (CO2):	1.85678
N-Butane (nC4H10):	0.52730	Hydro Sulfide (H2S):	0
I-Pentane (iC5H12):	0.08688	Helium (He):	0
N-Pentane (nC5H12):	0.04707	Hydrogen (H2):	0
Hexane (C6H14):	0.0275	Nitrogen (N2):	0.53692
Heptane (C7H16):	0	Oxygen (O2):	0
Octane (C8H18):	0	Other:	0
Nonane (C9H20):	0	Heating Value Method:	GPSA
Decane (C10H22):	0		
Calculated Values...			
Heating:	1142.4	Btu/cf	Specific Gravity: 0.677
Viscosity:	0.0000070	Lbm/Ft-sec	Specific Heat Ratio: 1.29
Calculate		Apply	
Clear	Open	Save	Print
		Close	

2.2.3.4 Parámetros Operacionales

Presión de entrada	275 psig
Presión mínima de operación	220 psig (Contratos ATR y GNV)
Velocidad	< 20 m/s
Demanda	Suplir actual

En el capítulo anterior, hemos realizado el análisis y se define en que momento el Sistema de distribución tiene la mayor demanda de Gas natural, los mismos se presentan en la siguiente tabla:

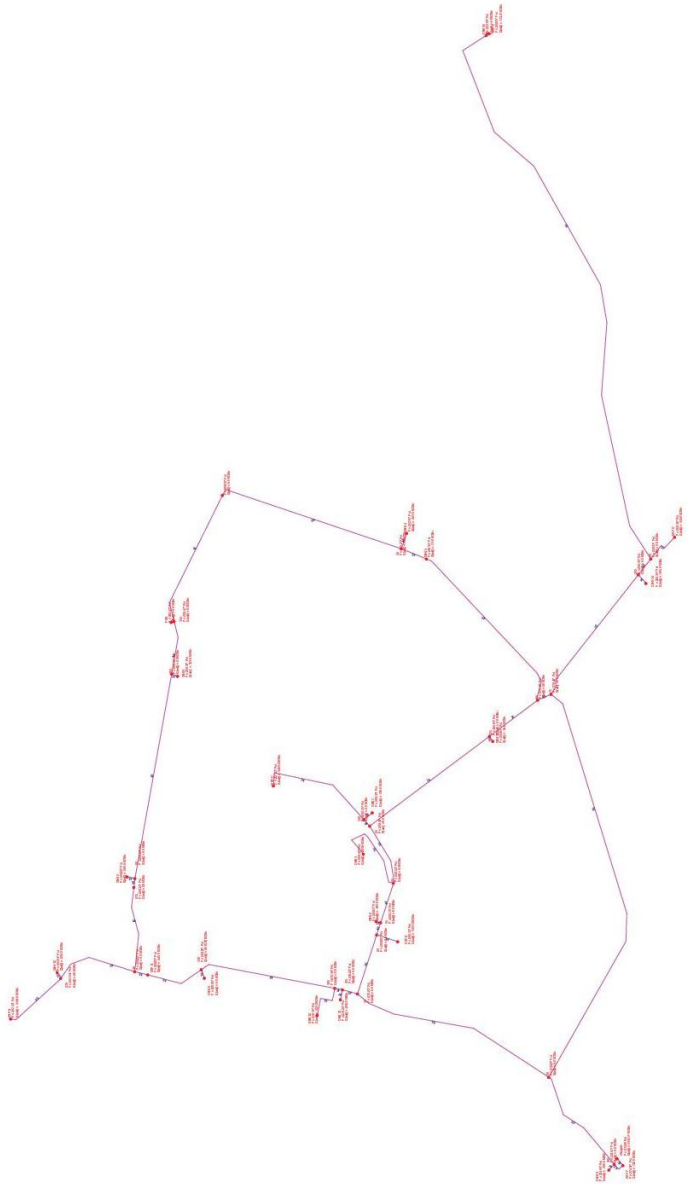
Tabla 7. Consumo en hora pico, jueves 24 de agosto 2016.

ERP - GNV	Q/Hora
Punto	11:00 a.m.
ERP A	1.133
ERP B	449
ERP C	1.403
ERP D	1.151
ERP E	772
ERP F	727
ERP G	145
GNV 1	201
GNV 2	699
GNV 3	393
GNV 4	461
GNV 5	73
GNV 6	-
GNV 7	150
GNV 8	320
GNV 9	206
GNV 10	268
GNV 11	268
GNV 12	129
GNV 13	64
GNV 14	105
TOTAL	9.117

Fuente: Caso de estudio.

2.2.3.5 Simulación. Con los datos analizados, se procede a diagramar el esquema del sistema de distribución, así posteriormente se cargarán las condiciones de operación en cada nodo de consumo, así:

Figura 13. Diagrama de Sistema Primario de distribución.



Fuente: Entorno de simulación.

Tabla 8. Resultados de Simulación, Condición de operación.

Rec #	Node Name	Pressure	Pressure Units	Pressure Known	Base Load
1	ERP F	274.96	Psi	No	-727.0
2	150	274.67	Psi	No	0.0
3	15	270.29	Psi	No	0.0
4	20	268.82	Psi	No	0.0
5	25	268.42	Psi	No	0.0
6	140	268.35	Psi	No	0.0
7	ERP B	268.29	Psi	No	-449.0
8	40	268.22	Psi	No	0.0
9	45	269.21	Psi	No	0.0
10	GNV 4	269.19	Psi	No	-461.0
11	GNV 5	269.35	Psi	No	-73.0
12	55	270.45	Psi	No	0.0
13	195	269.81	Psi	No	0.0
14	60	268.11	Psi	No	0.0
15	ERP G	268.10	Psi	No	-145.0
16	GNV 16	263.00	Psi	No	0.0
17	75	270.48	Psi	No	0.0
18	10	272.20	Psi	No	0.0
19	205	268.35	Psi	No	0.0
20	130	268.86	Psi	No	0.0
21	80	268.23	Psi	No	0.0
22	105	268.35	Psi	No	0.0
23	ERP D	268.72	Psi	No	-1151.0
24	95	268.70	Psi	No	0.0
25	215	268.23	Psi	No	0.0
26	Citygate	275.00	Psi	Yes	9116.9
27	85	268.56	Psi	No	0.0
28	GNV 1	268.49	Psi	No	-201.0
29	GNV 2	268.67	Psi	No	-699.0
30	115	268.47	Psi	No	0.0
31	GNV3	268.33	Psi	No	-393.0
32		268.78	Psi	No	0.0
33	PAV	268.47	Psi	No	0.0
34	185	270.18	Psi	No	0.0
35	GNV 6	268.86	Psi	No	0.0
36	ERP C	267.53	Psi	No	-1403.0
37	GNV 7	268.35	Psi	No	-150.0
38	GNV 8	274.66	Psi	No	-320.0
39	GNV 9	268.22	Psi	No	-206.0
40	GNV 10	267.63	Psi	No	-268.0
41	230	267.64	Psi	No	0.0
42	175	270.26	Psi	No	0.0
43	GNV 11	270.25	Psi	No	-268.0
44	GNV 12	270.16	Psi	No	-129.0
45	GNV 13	269.81	Psi	No	-64.0
46	GNV 14	268.35	Psi	No	-105.0
47	ERP E	262.99	Psi	No	-772.0
48	ERP A	267.33	Psi	No	-1133.0

Fuente: Entorno de simulación.

(Anexo C. Reporte de simulación, Condiciones de operación 2016.)

Una vez realizada la simulación, podemos observar en la Tabla 8, de Resultados de Simulación, que la tercera columna llamada “Pressure”, nos presenta los datos de la presión en los nodos bajo las condiciones de operación dadas, las cuales corresponden a las más críticas o de mayor demanda obtenidas del año 2016.

El nodo con la menor presión registrada en la simulación, es el nodo ERP E, con un valor de 262,99 psi, con base en la presión de suministro (275 psi), la caída máxima de presión es de 4,4%.

2.2.3.6 Levantamiento de Campo. Con estos resultados de simulación, se puede predecir que resulta muy efectivo el suministro por este sistema de distribución, sin embargo, se proyectó realizar un levantamiento de campo de cada uno de los nodos, para constatar los resultados, en el cual se registran las presiones en condiciones operativas, en búsqueda de ajustar el modelo, o de registrar las presiones correspondientes de cada nodo.

Figura 14. Trabajo de campo, registro de información.



(Anexo D. Formato para reporte de campo, lectura de presiones.)

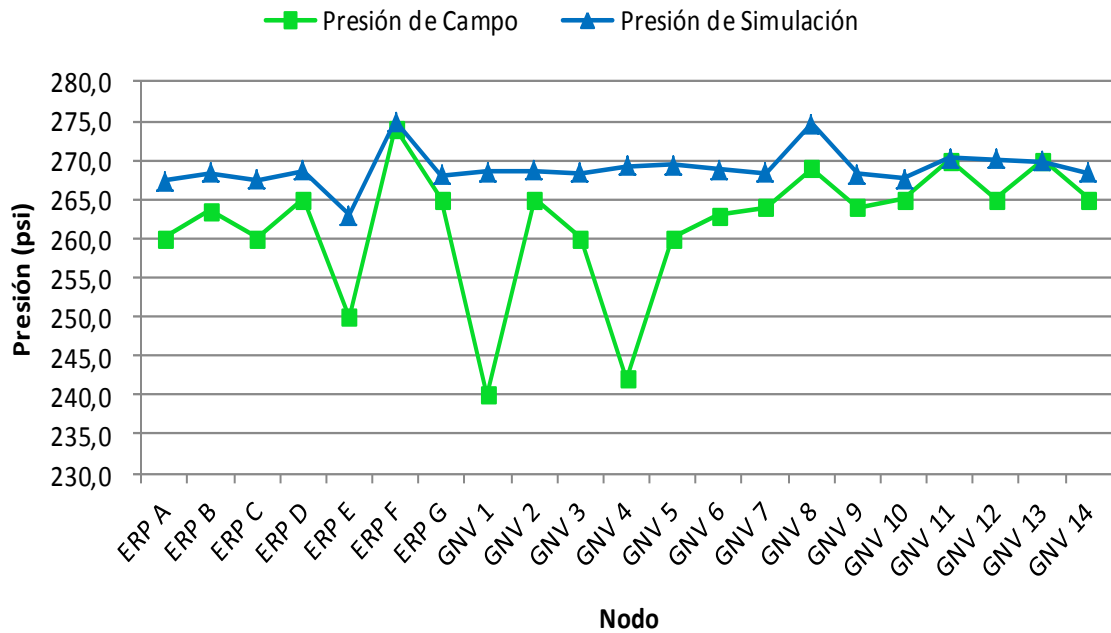
En ejercicio del trabajo de campo se presenta dificultades para el registro por:

- Consecución de personal: El registro se tomó durante 7 días de la semana, iniciando el día Lunes y finalizando el día Domingo, a partir de las 9:00 am hasta las 3:00 pm, de acuerdo con el análisis del horario pico de consumo.
- Estaciones de regulación: Algunas estaciones de regulación no contaban con señales de presión en su entrada, lo cual no permitió un registro exacto de la presión en esos puntos, la presión registrada fue posterior al tren de regulación.

Tabla 9. Comparación Presión de simulación Vs de Campo.

ERP - GNV	Q/Hora	Presión de Simulación	Presión de Campo
Nodo		11:00 a.m.	
ERP A	1.133	267,3	260,0
ERP B	449	268,3	263,6
ERP C	1.403	267,5	260,0
ERP D	1.151	268,7	265,0
ERP E	772	263,0	250,0
ERP F	727	275,0	274,0
ERP G	145	268,1	265,0
GNV 1	201	268,5	240,0
GNV 2	699	268,7	265,0
GNV 3	393	268,3	260,0
GNV 4	461	269,2	242,0
GNV 5	73	269,4	260,0
GNV 6	-	268,9	263,0
GNV 7	150	268,4	264,0
GNV 8	320	274,7	269,0
GNV 9	206	268,2	264,0
GNV 10	268	267,6	265,0
GNV 11	268	270,3	270,0
GNV 12	129	270,2	265,0
GNV 13	64	269,8	270,0
GNV 14	105	268,4	265,0
TOTAL	9.117		

Figura 15. Presiones de simulación Vs Presiones de campo.



Una vez consolidada la información, como se presenta en la Figura 15, encontramos una tendencia muy marcada generalizada, enmarcada en datos reales por debajo de la simulación, la tendencia corresponde entre un 5% y 8% menos de las presiones objeto de la solución simulada.

2.3. PROPUESTA TÉCNICA Y PLAN DE EXPANSIÓN

2.3.1 Propuesta técnica. Operativamente, se ha demostrado por medio de simulaciones y recolección de datos en campo, como el sistema de distribución es capaz de suplir la demanda pico solicitada por los diferentes sectores.

Sin embargo, es importante enumerar algunas observaciones que permitirían hacer más dinámico y exacto el ejercicio de validación, así:

- a) Diseño de condiciones iniciales: El caso de estudio no tiene registros de diseño inicial, por lo cual no se puede determinar cuáles fueron las condiciones de diseño, así como el Horizonte de demanda; para tal efecto, es importante recopilar información de la época, y realizar una validación estimada, para contar con un registro y pueda ser de apoyo para posteriores validaciones.

- b) Dossier: no se encuentra registro de construcción del sistema primario de distribución, lo que complica el ejercicio por no tener esquemas exactos de simulación; para esto es importante se realice una topografía de todo este sistema y almacenar la información record, esto permitiría identificar todos los cambios de diámetro, tipo de tubería o de dirección, elevaría la confiabilidad del modelo de simulación.

- c) Máxima presión de operación admisible (MAOP): se desconoce información relevante al proceso de operación del sistema, por ello es importante realizar una confirmación de la clase de localidad o cambio de localidad si se requiere (Gasoductos, Líneas de transporte y redes de distribución de gas, NTC 3728).

- d) Máxima presión de operación permisible (MPOP): una solución operativa en caso de caídas de presión o ampliación de la demanda, es el aumento de presión permisible, para ello se debe disponer lo mencionado en la norma técnica colombiana (Gasoductos, Presiones de operación permisibles para el transporte, distribución y suministro de gases combustibles, NTC 3838), sin embargo, determinando el diseño inicial, se debe definir los criterios de su numeral 3.1, literal c).

- e) Puntos para toma de presión en línea: a lo largo de todos los tramos, no se encuentran puntos para instalar manómetros o manografos en línea, las

presiones de campo se registraron en manómetros en estaciones de regulación de presión, fueran de distrito o GNV, la información registrada presenta adiciones de caídas de presión ya que usualmente las estaciones se encuentran después de la acometida que usualmente se construye en diámetro 2", pero es por ello que no se puede hacer una homologación total de la simulación.

- f) SCADA: la inversión en recursos para el registro de presiones en campo para validación fue coyuntural en la realización de este informe, es importante validar la necesidad de un sistema SCADA en etapa 1 para reporte de la información del sistema primario de distribución, así como determinar los puntos que se requieren de información.

2.3.2 Plan de expansión. De acuerdo con el Plan de ordenamiento territorial, aprobado mediante Acuerdo 285 de 2015 del concejo municipal, identificar la cantidad de población que habita un territorio es una condición básica para adelantar cualquier proceso de ordenamiento territorial, pues al analizar la dinámica demográfica se describen las características más importantes de la población como un colectivo, se determinan aquellas que son diferentes en cada uno de los sujetos que la componen.

La ciudad ha venido enfrentando diversas situaciones socioeconómicas derivadas de su ubicación geográfica, en los últimos años se ha evidenciado un incremento acelerado en la población, derivado de múltiples condiciones; este incremento poblacional soporta la necesidad de adoptar un plan que permita albergar de manera organizada y sostenible la población presente y futura, que de conformidad con las proyecciones estadísticas realizadas, en el año 2027 se acercará a un millón de habitantes.

Tabla 10. Proyección poblacional, 2012 - 2027

PROYECCIÓN POBLACIONAL				
AÑO	DANE	POT Norte		
		TOTAL	URBANO	RURAL
2.012	452.522	480.097	455.171	24.926
2.015	484.429	531.862	504.204	27.658
2.019	527.668	661.779	627.331	34.448
2.023	538.527	831.075	787.928	43.147
2.027	617.077	1.087.993	1.031.507	56.486

Fuente: DANE, Plan de ordenamiento territorial - POT Norte.

Esta tasa es producto de un alto impacto del saldo migratorio, denota una significativa dinámica demográfica como consecuencia de importantes migraciones acorde con las transformaciones socioeconómicas que el municipio ha experimentado en los últimos años.

Se determinaron, cuatro (4) variables principales, con mayor incidencia en estas transformaciones socioeconómicas y demográficas:

- Crecimiento de la actividad petrolera.
- La agroindustrial en la altillanura.
- Desplazamiento forzoso.
- Vías 4G

Este incremento acelerado de la población, puede verse reflejado en el sistema de distribución, desde los reportes de consumos en fines de semana, en donde se identifica que se presenta un aumento en el volumen de gas consumido.

Con el ánimo de verificar, la capacidad de suministro del sistema de distribución actual para esta proyección, se realizará una validación a condiciones críticas, o de máxima demanda.

En cátedra de Diseño y Operación de Redes de distribución, con el Ing. Ernesto Calderón, se nos exponen algunas consideraciones de diseñador para un óptimo funcionamiento de un sistema de distribución, citaré las más relevantes a este caso:

- Se debe determinar el máximo requerimiento de presión de un cliente industrial y aceptar el delta de presión que garantice el cumplimiento de este requerimiento.
- La mínima presión existente en la red debe ser al menos la mitad de la máxima, es decir la del nodo fuente. (Máximo $\Delta P = 50\% P_{\text{nodo fuente}}$).

Por tal motivo se establece como criterio, una vez realizadas las consultas, el máximo requerimiento de un cliente No regulado al sistema de distribución es 215 psig. Tomaremos como base para cálculo, que el máximo requerimiento será 220 psi.

Para hallar la máxima demanda, es prudente aumentar proporcionalmente los consumos hora en cada nodo, por Acierto y Error, hasta lograr una caída de presión no mayor a la especificada.

Tabla 11. Consumo en hora pico, Caso proyección.

ERP - GNV	Q/Hora
Nodo	
ERP A	2.493
ERP B	988
ERP C	3.087
ERP D	2.532
ERP E	1.698
ERP F	1.599
ERP G	319
GNV 1	442
GNV 2	1.538
GNV 3	865
GNV 4	1.014
GNV 5	161
GNV 6	-
GNV 7	330
GNV 8	704
GNV 9	453
GNV 10	590
GNV 11	590
GNV 12	284
GNV 13	141
GNV 14	231
TOTAL	20.057

Fuente: Caso de estudio.

2.3.3 Simulación. Con los datos analizados, se procede a diagramar el esquema del sistema de distribución, así posteriormente se cargarán las condiciones de proyección en cada nodo de consumo, así:

Tabla 12. Resultados de Simulación, Condición Máxima.

Rec #	Node Name	Pressure	Pressure Units	Pressure Known	Base Load
1	ERP F	274.85	Psi	No	-1599.4
2	150	273.63	Psi	No	0.0
3	15	255.03	Psi	No	0.0
4	20	248.56	Psi	No	0.0
5	25	246.78	Psi	No	0.0
6	140	246.46	Psi	No	0.0
7	ERP B	246.18	Psi	No	-987.8
8	40	245.85	Psi	No	0.0
9	45	250.27	Psi	No	0.0
10	GNV 4	250.20	Psi	No	-1014.2
11	GNV 5	250.89	Psi	No	-160.6
12	55	255.70	Psi	No	0.0
13	195	252.91	Psi	No	0.0
14	60	245.39	Psi	No	0.0
15	ERP G	245.32	Psi	No	-319.0
16	CN	221.56	Psi	No	0.0
17	75	255.83	Psi	No	0.0
18	10	263.27	Psi	No	0.0
19	205	246.45	Psi	No	0.0
20	130	248.72	Psi	No	0.0
21	80	245.90	Psi	No	0.0
22	105	246.45	Psi	No	0.0
23	ERP D	248.08	Psi	No	-2532.2
24	95	248.03	Psi	No	0.0
25	215	245.90	Psi	No	0.0
26	Citygate	275.00	Psi	Yes	20056.9
27	85	247.41	Psi	No	0.0
28	GNV 1	247.09	Psi	No	-442.2
29	GNV 2	247.88	Psi	No	-1537.8
30	115	246.99	Psi	No	0.0
31	GNV3	246.38	Psi	No	-864.6
32		248.37	Psi	No	0.0
33	PAV	246.99	Psi	No	0.0
34	185	254.53	Psi	No	0.0
35	GNV 6	248.72	Psi	No	0.0
36	ERP C	242.78	Psi	No	-3086.6
37	GNV 7	246.44	Psi	No	-330.0
38	GNV 8	273.58	Psi	No	-704.0
39	GNV 9	245.87	Psi	No	-453.2
40	GNV 10	243.20	Psi	No	-589.6
41	230	243.24	Psi	No	0.0
42	175	254.90	Psi	No	0.0
43	GNV 11	254.84	Psi	No	-589.6
44	GNV 12	254.47	Psi	No	-283.8
45	GNV 13	252.91	Psi	No	-140.8
46	GNV 14	246.44	Psi	No	-231.0
47	ERP E	221.52	Psi	No	-1698.4
48	ERP A	241.84	Psi	No	-2492.6

Fuente: Entorno de simulación.

Los datos aquí resueltos, nos permiten cuantificar la proyección, así;

Tabla 13. Consolidado condiciones de operación.

Año	Condición	Población	Usuarios	Q (m3/h)	% Factor Utilización
2016	Actual	531.862	136.166	9.117	45%
2027	Proyectada	1.087.993	278.545	18.650	93%
X	Máxima	1.170.073	299.559	20.057	100%

Consolidados los datos, así como calculados de manera lineal, pueden dar certeza de que el sistema de distribución estará supliendo las condiciones demográficas de aumento de la población, según las proyecciones dadas.

3. RECOMENDACIONES

La captura de la información en este sistema de distribución consume gran cantidad de recursos y tiempo por no estar centralizada. Se recomienda implementar aplicaciones para el control y gestión de esta información.

Es recomendable establecer una metodología que permita realizar validaciones periódicas, esto debido a la oscilación constante de factores socioeconómicos y demográficos de la región, además de ser importante para toma de decisiones en inversión.

4. CONCLUSIONES

Analizada la información, se encontró una relación entre el incremento acelerado de la población, población migratoria y los mayores consumos en el sistema de distribución entre el promedio semana y los fines de semana.

Se consolidaron los perfiles de consumo por cada nodo del sistema, se pudo concluir que la hora de mayor demanda es a las 11:00 am.

Tener la mayor demanda en hora pico, no es indicativo del mayor consumo día, infiere es la capacidad de funcionar simultáneamente varios consumidores.

De acuerdo con los parámetros evaluados, el sistema de distribución funciona correctamente, no presenta caídas de presión que afecten la operación y no se han presentado desabastecimientos a causa del dimensionamiento del sistema.

El sistema de distribución en general, pudo haber sido sobredimensionado, pasados más de 20 años del horizonte de proyección, conserva pérdidas de presión bajas.

BIBLIOGRAFIA

ALCALDÍA MUNICIPAL DE VILLAVICENCIO. Plan de ordenamiento territorial, Componente urbano. 2015.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, Censo general a nivel nacional. DANE, 2005.

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS, Apuntes de Clase, Bogotá, 2016.

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS. Diseño y operación de redes de distribución de Gas. Gustavo Delvasto, 2014.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gasoductos. Líneas de transporte y redes de distribución de gas, NTC 3728. 2011.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC 3838), Gasoductos. Presiones de operación permisibles para el transporte, distribución y suministro de gases combustibles. ICONTEC.

PROMIGAS (2016), Informe del sector gas natural, cifras 2015, Colombia XVII Edición.

SARDI, E. Cambios Sociodemográficos En Colombia: Periodo Intercensal 1993 – 2005. Colombia. DANE. 2007, 2 cap.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Gas Transmission and Distribution Piping Systems. ASME B31.8, 2014.

ANEXOS

Anexo A. Registros de consumo Semana 3, m3/hora, por nodo

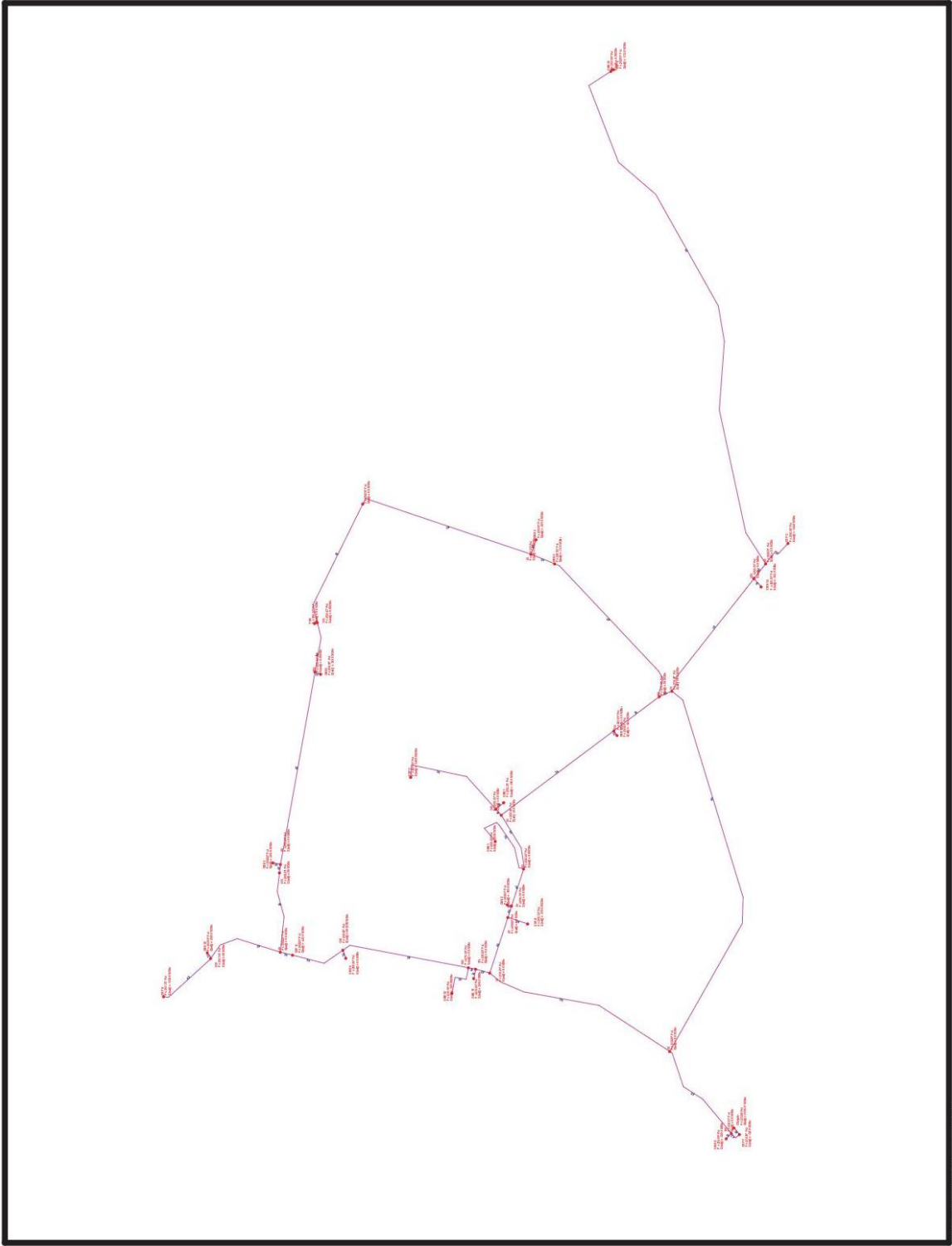
DIA	HORA	ERP-A	ERP-B	ERP-C	ERP-D	ERP-E	ERP-F	ERP-G	ERP-H	GNV 1	GNV 2	GNV 3	GNV 4	GNV 5	GNV 6	GNV 7	GNV 8	GNV 9	GNV 10	GNV 11	GNV 12	GNV 13	GNV 14	CONSUMO TOTAL	
21 Agosto	0	-	-	56	20	-	81	15	-	162	94	128	27	-	-	-	81	-	33	-	19	38	58	612	
	1	-	-	32	-	-	72	14	92	72	89	193	-	-	-	61	75	40	-	-	-	-	30	770	
	2	-	-	32	-	-	53	19	-	71	52	48	18	-	-	55	35	-	32	-	-	-	35	487	
	3	49	-	31	-	83	58	15	-	117	168	225	44	-	41	73	34	16	-	-	-	-	83	5	
	4	332	-	116	82	276	180	19	122	198	152	257	41	-	130	41	32	39	17	78	79	-	-	1.042	
	5	780	-	270	243	398	416	23	-	187	160	208	14	-	181	123	30	32	28	17	104	95	-	-	3.309
	6	949	-	633	522	417	395	36	147	151	190	209	58	-	60	81	120	112	41	56	57	146	-	-	4.380
	7	1.133	40	725	638	472	428	45	-	220	172	159	25	-	59	219	81	161	85	40	73	55	-	-	4.828
	8	1.053	79	797	647	528	388	48	132	424	336	267	14	-	194	202	44	141	104	78	163	37	-	-	5.676
	9	1.198	156	880	704	631	372	67	245	458	237	268	64	-	-	201	113	112	180	121	154	6	-	-	6.167
	10	1.327	290	984	871	780	566	70	196	468	264	368	53	-	193	220	51	112	201	96	94	7	-	-	7.191
	11	1.125	437	1.286	1.094	729	625	127	133	504	291	265	64	-	132	179	81	252	181	120	118	75	-	-	7.818
	12	896	271	1.232	1.002	462	609	148	134	416	264	405	52	-	134	229	141	219	112	68	162	141	-	-	7.027
	13	620	20	947	630	252	464	88	178	365	336	297	36	-	76	97	111	235	155	133	189	45	-	-	5.274
	14	695	-	514	419	236	284	41	168	468	334	282	29	-	159	282	110	173	160	121	148	93	-	-	4.626
	15	541	20	427	300	195	265	23	-	497	407	501	52	-	117	293	116	204	173	143	184	120	-	-	4.559
	16	469	-	597	238	190	213	23	191	605	441	377	62	-	197	268	116	328	195	173	137	174	-	-	5.015
	17	518	-	470	300	257	246	23	158	473	357	363	58	-	78	176	105	174	136	99	164	65	-	-	4.220
	18	616	20	475	340	315	275	23	123	468	198	300	44	-	80	253	90	203	152	11	101	85	-	-	4.172
	19	434	-	536	401	248	366	36	-	402	161	365	16	-	79	148	111	174	103	13	202	10	-	-	3.805
	20	202	-	466	361	144	349	31	120	459	239	318	46	-	139	199	78	96	127	80	134	160	-	-	3.748
	21	94	-	324	202	42	288	23	-	389	273	365	23	-	100	168	74	112	106	50	166	34	-	-	2.833
	22	-	-	174	101	-	202	19	151	366	262	271	46	-	60	159	33	64	70	32	39	53	-	-	2.122
23	-	-	101	61	-	109	14	50	298	189	223	25	-	61	70	36	-	35	7	80	100	-	-	1.459	
22 Agosto	0	-	-	75	-	-	57	15	86	164	63	160	12	-	-	-	61	32	-	-	-	38	47	810	
	1	-	-	32	-	-	54	9	-	97	69	112	13	-	-	-	60	33	33	-	-	21	-	563	
	2	-	-	32	-	-	48	10	94	97	105	182	13	-	41	-	-	-	-	28	-	-	38	49	747
	3	39	-	81	-	88	109	9	-	114	174	160	47	-	60	70	75	48	32	46	-	-	43	5	1.006
	4	441	-	101	82	289	160	19	-	182	139	240	41	-	61	115	70	32	46	21	175	105	-	-	2.123
	5	874	-	276	263	385	336	23	-	170	226	176	24	-	100	70	82	65	73	38	38	113	-	-	3.376
	6	1.016	19	613	601	465	407	44	135	139	125	192	41	-	59	121	82	221	104	91	135	53	-	-	5.067
	7	1.137	-	663	657	533	343	49	163	249	227	144	36	-	158	242	130	175	151	76	134	49	-	-	5.963
	8	1.072	99	847	691	554	390	49	142	355	362	252	35	-	59	188	88	191	152	123	147	87	-	-	6.452
	9	1.218	158	972	728	708	472	52	183	339	271	266	50	-	134	156	144	221	174	127	138	57	-	-	7.584
	10	1.339	363	1.110	913	834	573	89	129	469	249	311	54	-	74	284	109	172	201	109	143	90	-	-	8.216
	11	1.101	474	1.416	1.108	740	743	143	134	459	330	372	14	-	115	227	95	267	133	85	197	80	-	-	7.143
	12	826	249	1.323	999	456	702	165	134	529	255	284	12	-	58	185	72	142	116	106	164	145	-	-	5.102
	13	645	20	862	631	237	436	84	139	351	360	388	42	-	195	204	145	125	110	111	141	67	-	-	4.414
	14	584	-	494	378	164	345	41	169	351	360	388	42	-	177	268	107	189	213	174	144	127	-	-	4.685
	15	466	19	540	297	185	284	23	208	631	384	549	13	-	137	333	110	282	199	111	236	158	-	-	5.177
	16	547	-	378	280	232	200	23	196	482	354	235	37	-	118	99	212	237	139	103	155	103	-	-	4.130
	17	468	-	456	321	320	289	23	140	371	171	332	83	-	178	138	149	142	60	118	151	58	-	-	3.968
	18	425	-	575	420	201	294	40	-	454	196	316	40	-	99	189	93	111	123	68	153	116	-	-	3.913
	19	247	20	462	341	124	328	27	173	338	209	333	39	-	80	118	76	126	131	42	140	22	-	-	3.964
	20	76	-	304	202	31	252	23	160	393	239	365	54	-	40	204	65	65	103	61	79	34	-	-	2.852
	21	15	-	230	101	-	199	19	-	441	284	317	28	-	161	83	69	31	96	21	43	93	-	-	2.201
	22	10	-	105	41	-	130	14	153	345	155	334	36	-	60	96	37	48	-	22	92	150	-	-	1.628

DIA	HORA	ERP.A	ERP.B	ERP.C	ERP.D	ERP.E	ERP.F	ERP.G	GNV.1	GNV.2	GNV.3	GNV.4	GNV.5	GNV.6	GNV.7	GNV.8	GNV.9	GNV.10	GNV.11	GNV.12	GNV.13	GNV.14	CONSUMO TOTAL
	0	-	-	121	40	-	72	15	-	137	146	95	34	-	-	98	67	-	32	-	37	21	915
	1	-	-	31	-	-	64	14	-	71	49	192	25	-	-	48	-	-	-	-	20	38	552
	2	5	-	37	-	-	44	10	-	108	170	160	15	-	-	101	-	-	-	33	42	34	784
	3	58	-	27	20	72	91	9	155	103	137	193	57	-	-	102	96	-	29	-	46	58	1,263
	4	436	-	140	61	233	133	19	-	164	226	320	32	-	81	134	47	64	-	-	113	55	2,258
	5	875	-	252	284	449	214	28	-	211	154	193	25	-	40	66	67	33	41	21	72	102	3,127
	6	1,061	-	594	580	455	367	40	146	192	209	239	27	-	60	142	43	79	51	39	98	44	4,466
	7	1,082	20	729	657	477	455	48	125	219	255	239	77	-	99	79	106	128	92	49	77	74	5,087
	8	1,088	20	870	652	636	428	48	48	485	367	297	57	-	98	192	67	174	189	11	62	86	5,789
	9	1,216	58	960	708	658	401	48	299	418	296	277	50	-	98	133	121	221	73	79	143	85	6,344
	10	1,358	250	1,147	890	761	582	85	165	548	397	340	53	-	132	221	72	220	144	158	146	70	7,799
	11	1,060	378	1,289	1,085	711	796	122	164	544	485	356	56	-	170	121	187	221	223	89	174	106	8,337
	12	779	135	1,226	985	416	639	143	77	506	316	356	34	-	134	380	109	251	133	63	153	90	8,825
	13	561	19	799	610	211	532	89	175	392	542	374	25	-	96	159	82	204	127	50	200	78	5,325
	14	467	-	534	398	170	328	45	70	472	409	406	60	-	158	266	162	190	144	105	107	120	4,611
	15	457	-	480	319	189	229	28	142	529	489	484	93	-	216	204	166	251	258	120	172	166	4,992
	16	448	-	518	296	165	295	28	161	525	460	630	133	-	158	391	133	265	172	131	182	73	5,164
	17	587	-	447	320	288	313	23	191	546	427	348	26	-	99	236	198	222	154	45	133	57	4,660
	18	492	-	419	340	284	309	27	-	428	267	317	62	-	80	149	169	205	143	118	141	131	4,081
	19	415	-	463	419	212	373	41	163	394	390	413	44	-	158	273	150	98	166	116	178	140	4,606
	20	282	-	413	341	108	282	31	143	432	383	350	66	-	100	241	103	157	133	50	137	107	3,859
	21	118	-	254	221	26	273	19	-	429	454	414	59	-	100	172	46	143	97	36	155	79	3,095
	22	5	-	190	100	-	156	19	185	399	377	319	50	-	61	120	16	33	64	38	95	49	2,276
	23	-	-	181	41	-	105	19	118	274	247	255	21	-	60	118	-	47	32	-	70	56	1,644
	0	-	-	27	20	-	44	14	111	130	107	144	-	-	-	76	-	-	-	32	34	22	1,179
	1	-	-	32	-	-	49	10	-	62	154	112	12	-	-	48	-	-	-	-	-	-	816
	2	-	-	37	20	26	81	14	-	150	282	223	35	-	41	75	53	48	28	-	-	36	562
	3	14	-	116	61	259	129	14	47	167	275	240	45	-	80	110	53	47	30	22	81	4	1,205
	4	351	-	266	263	377	310	28	82	203	300	304	40	-	20	111	53	47	30	22	81	4	2,093
	5	819	-	644	541	428	349	41	-	249	275	160	22	-	100	71	106	128	73	19	72	168	4,464
	6	1,086	-	677	656	530	405	45	153	213	334	286	-	-	60	112	87	190	154	72	82	17	5,159
	7	1,090	20	912	673	554	415	57	110	419	378	286	95	-	97	267	-	253	33	56	115	95	5,925
	8	1,330	59	873	747	673	448	72	154	531	445	254	52	-	215	113	94	160	-	152	95	74	6,541
	9	1,363	267	1,077	943	821	557	97	207	556	414	444	35	-	250	331	164	254	113	241	154	147	8,435
	10	1,133	449	1,403	1,151	772	727	145	201	699	393	461	73	-	150	320	206	268	268	129	64	105	9,117
	11	791	153	1,304	1,050	485	674	167	175	571	399	506	52	-	96	290	126	177	200	138	281	88	7,723
	12	556	-	895	665	247	420	94	196	565	448	364	45	-	292	120	124	175	134	145	251	78	5,814
	13	502	-	533	419	210	352	46	49	444	478	442	58	-	40	206	120	237	177	162	200	11	4,686
	14	629	-	488	357	184	190	33	-	348	618	598	135	-	39	335	236	343	205	107	248	113	5,206
	15	576	-	314	295	215	239	28	377	329	602	300	73	-	78	246	257	344	163	156	280	205	5,077
	16	615	-	255	358	256	226	27	137	426	521	127	79	-	139	222	163	223	155	77	285	84	4,375
	17	616	20	481	378	352	277	28	154	402	339	143	93	-	79	254	129	174	189	70	195	119	4,492
	18	421	-	584	420	232	273	32	-	463	431	287	56	-	60	-	101	127	127	101	134	102	3,951
	19	282	-	476	361	114	283	32	-	469	360	335	42	-	119	-	100	111	86	91	135	100	3,496
	20	128	-	364	200	36	213	23	289	483	363	479	45	-	80	43	91	97	103	65	254	120	3,476
	21	10	-	149	122	5	226	19	-	471	344	304	18	-	61	187	52	111	68	63	190	59	2,400
	22	9	-	135	61	-	152	19	143	344	151	304	41	-	60	176	54	48	66	19	116	43	1,941

DIA	HORA	ERP.A	ERP.B	ERP.C	ERP.D	ERP.E	ERP.F	ERP.G	GNV.1	GNV.2	GNV.3	GNV.4	GNV.5	GNV.6	GNV.7	GNV.8	GNV.9	GNV.10	GNV.11	GNV.12	GNV.13	GNV.14	CONSUMO TOTAL
	0	-	-	86	20	-	58	14	99	210	94	193	26	-	41	136	53	-	15	19	34	59	1.157
	1	-	-	41	-	-	62	15	-	165	136	193	16	-	-	51	-	-	2	17	49	32	779
	2	-	-	32	21	-	67	14	139	115	270	289	36	-	61	69	-	47	12	49	37	4	746
	3	60	-	51	-	93	62	14	139	115	270	289	36	-	42	92	53	32	23	29	49	35	1.489
	4	361	-	130	81	244	186	24	134	185	146	256	56	-	142	-	112	33	47	22	135	27	2.274
	5	768	-	286	263	397	285	40	2	163	162	272	26	-	80	185	55	81	55	65	78	33	3.096
	6	873	-	622	561	431	369	40	2	163	162	272	26	-	60	127	169	142	112	128	98	29	4.153
	7	931	-	678	655	529	442	58	141	264	268	208	15	-	156	131	96	177	73	70	156	89	5.054
	8	892	78	797	689	553	399	63	129	393	325	302	43	-	137	170	89	174	104	151	204	80	5.611
	9	1.030	138	956	746	649	458	63	154	467	272	254	79	-	77	127	134	288	176	127	190	7	7.251
	10	1.128	232	1.008	877	790	623	80	160	483	361	364	39	-	151	211	105	238	221	182	136	9	8.448
25	11	935	395	1.325	1.083	757	733	123	161	662	427	521	73	-	175	205	110	204	148	125	184	232	7.507
	12	787	191	1.305	1.034	541	677	132	130	452	417	394	64	-	195	283	109	239	112	119	245	82	6.035
	13	585	20	918	705	330	475	76	151	384	420	506	81	-	256	203	207	205	182	94	141	118	5.237
	14	508	-	695	515	242	341	46	134	444	504	349	53	-	315	340	214	284	144	151	181	136	5.705
	15	481	-	645	396	283	270	37	284	506	490	460	88	-	176	322	248	263	257	172	195	112	5.834
	16	428	-	596	398	248	345	41	109	568	628	586	154	-	189	109	124	159	178	156	194	98	4.852
	17	485	-	633	398	284	228	36	135	518	566	398	54	-	60	263	166	236	158	111	212	86	4.855
	18	468	-	549	439	310	292	41	229	552	319	334	40	-	119	273	68	156	130	108	188	76	4.284
	19	382	20	520	459	217	352	40	115	383	305	303	56	-	101	191	99	97	178	75	215	125	4.028
	20	273	-	470	361	109	290	36	11	487	428	431	51	-	40	226	124	63	124	93	230	141	3.672
	21	151	-	328	281	36	274	28	93	449	457	479	55	-	101	142	51	48	105	41	96	47	2.290
	22	86	-	189	181	15	260	24	181	424	488	447	93	-	59	30	36	30	29	20	41	33	1.018
	23	24	-	100	81	-	227	19	-	439	387	351	31	-	61	45	-	45	57	19	37	33	730
	0	8	20	239	40	-	74	19	-	257	119	96	79	-	59	30	36	30	29	20	41	33	1.092
	1	4	20	107	-	-	37	14	141	166	74	177	-	-	80	45	34	45	31	19	67	53	1.978
	2	-	82	-	-	15	24	15	-	164	172	322	20	-	45	86	45	62	-	74	33	3.028	
	3	13	21	82	-	238	64	19	138	263	249	288	31	-	100	30	120	30	59	51	116	182	5.105
	4	111	101	102	-	249	140	606	157	14	-	189	229	241	25	-	85	75	106	87	205	53	5.855
	5	403	430	249	140	606	157	14	-	189	229	241	25	-	69	119	87	119	145	145	72	198	6.097
	6	620	810	695	459	688	363	24	69	280	178	225	16	-	137	134	111	134	92	80	175	92	6.448
	7	638	939	857	668	599	416	40	186	333	237	239	67	-	76	208	165	208	200	99	159	91	7.088
	8	605	908	818	680	631	411	84	116	363	218	253	104	-	77	133	103	133	128	43	132	114	8.071
	9	679	971	891	681	691	391	84	35	359	237	364	110	-	78	192	148	192	187	100	227	108	8.435
	10	851	1.071	907	726	1.000	587	71	174	484	383	314	143	-	138	222	120	222	168	101	217	172	9.155
	11	860	1.317	1.257	994	1.126	561	79	217	483	312	286	133	-	156	149	127	149	57	79	249	150	5.872
	12	648	1.318	1.473	1.122	872	691	128	99	463	283	380	85	-	138	222	120	222	168	101	217	172	5.488
	13	437	1.038	1.273	898	477	630	142	109	519	309	312	65	-	195	207	119	207	112	57	167	110	5.745
	14	262	719	812	545	257	426	74	153	500	342	406	75	-	516	149	127	149	57	79	249	150	5.584
	15	230	566	592	354	266	276	44	168	488	447	614	83	-	79	209	186	209	124	99	173	90	5.155
	16	291	565	543	295	296	217	35	192	525	352	400	32	-	119	224	82	224	163	155	199	50	4.872
	17	348	600	568	313	338	290	28	120	481	267	368	11	-	121	135	95	135	80	-	77	87	4.656
	18	312	573	579	334	383	200	28	134	509	190	417	72	-	122	119	69	119	121	41	166	119	3.989
	19	304	593	565	378	408	243	32	102	489	357	400	24	-	241	75	32	75	92	48	168	162	2.504
	20	275	609	687	410	253	288	32	111	455	309	416	50	-	61	-	-	-	-	-	-	-	1.157
	21	111	457	511	328	131	302	32	111	455	309	416	50	-	61	-	-	-	-	-	-	-	1.157
	22	78	371	429	194	10	215	24	130	535	300	400	65	-	61	-	-	-	-	-	-	-	1.157
	23	17	180	284	100	5	169	14	150	482	262	273	43	-	61	-	-	-	-	-	-	-	1.157

DIA	HORA	ERPA	ERP B	ERP C	ERP D	ERP E	ERP F	ERP G	GNV 1	GNV 2	GNV 3	GNV 4	GNV 5	GNV 6	GNV 7	GNV 8	GNV 9	GNV 10	GNV 11	GNV 12	GNV 13	GNV 14	CONSUMO TOTAL
	0	8	101	239	40	-	78	19	-	231	155	209	22	-	61	130	70	60	29	59	79	64	1.654
	1	8	41	179	20	-	59	14	126	248	134	288	18	-	60	23	63	60	27	35	72	51	1.526
	2	8	20	128	-	-	29	15	-	225	175	193	14	-	62	75	-	-	60	-	33	34	1.071
	3	21	20	102	-	21	32	14	-	256	214	273	26	-	61	149	70	30	-	19	36	50	1.394
	4	103	161	138	-	278	56	15	43	295	265	65	103	-	60	184	78	-	63	19	104	63	2.093
	5	394	467	334	139	564	145	19	115	159	214	112	132	-	61	208	31	30	27	27	78	29	3.285
	6	567	745	666	385	617	274	19	34	157	122	240	12	-	43	32	75	32	-	51	58	-	4.129
	7	682	886	839	606	643	353	23	94	115	323	337	43	-	100	198	-	30	66	38	66	50	5.492
	8	644	935	838	642	667	330	32	122	129	281	267	45	-	88	102	120	28	21	219	105	-	5.555
	9	652	980	877	642	766	384	45	128	215	403	395	42	-	98	98	38	104	56	91	125	86	6.225
	10	851	1.103	1.009	712	990	470	65	145	285	354	298	54	-	58	177	215	119	129	101	173	83	7.391
	11	900	1.323	1.267	918	1.210	501	57	34	231	381	283	95	-	157	234	53	164	154	54	169	149	8.334
	12	637	1.453	1.513	1.082	876	675	58	99	311	441	518	43	-	137	244	115	163	158	65	276	163	9.137
	13	470	1.167	1.285	927	596	638	74	134	366	417	487	63	-	39	214	96	118	128	51	105	89	7.474
	14	303	814	949	582	370	440	69	139	287	438	487	34	-	158	287	71	119	67	70	150	97	5.931
	15	316	637	646	371	361	310	49	-	448	493	442	62	-	138	211	204	148	133	76	119	162	5.299
	16	348	628	557	296	351	251	32	157	571	484	521	76	-	99	193	118	104	124	40	210	139	5.299
	17	295	566	610	258	341	256	23	131	391	370	317	42	-	201	93	74	93	96	171	119	-	4.467
	18	377	558	567	298	425	251	28	124	364	273	318	20	-	180	127	116	119	110	71	86	106	4.498
	19	341	630	548	337	467	154	23	132	423	319	287	14	-	159	199	68	105	101	58	124	86	4.575
	20	313	628	737	386	383	250	32	-	453	313	383	24	-	59	94	77	59	110	36	169	83	4.589
	21	156	546	580	359	247	237	28	120	380	138	336	55	-	41	165	67	60	63	21	100	130	3.829
	22	119	438	482	231	141	195	23	-	404	200	447	45	-	80	188	46	60	56	-	140	28	3.323
	23	74	332	354	118	25	122	19	130	269	139	288	25	-	41	199	39	30	29	18	78	67	2.396

Anexo C. Reporte de simulación, Condiciones de operación 2016.



Gas Composition Data (%)...

Methane (CH4):	82.6377	Air (N2 + O2):	0.0000
Ethylene (C2H4):	0.0000	Water (H2O):	0.0000
Ethane (C2H6):	10.1426	Argon (Ar):	0.0000
Propane (C3H8):	3.6151	Carbon Monoxide (CO):	0.0000
I-Butane (iC4H10):	0.5222	Carbon Dioxide (CO2):	1.8568
N-Butane (nC4H10):	0.5273	Hydrogen Sulfide (H2S):	0.0000
I-Pentane (iC5H12):	0.0869	Helium (He):	0.0000
N-Pentane (nC5H12):	0.0471	Hydrogen (H2):	0.0000
Hexane (C6H14):	0.0275	Nitrogen (N2):	0.5369
Heptane (C7H16):	0.0000	Oxygen (O2):	0.0000
Octane (C8H18):	0.0000	Other:	0.0000
Nonane (C9H20):	0.0000	Total:	100.0000
Decane (C10H22):	0.0000		

Gas Properties...

Heating Value: 1142.4 Btu/cf
Viscosity: 0.000007 Lbm/Ft-sec
Specific Gravity: 0.677
Specific Heat Ratio: 1.29

Calculation Notes...

All Properties Are Calculated At 14.73 Psi (101 KPa) and
60 Degrees Fahrenheit (15.5 Degrees Celsius)

References:

Heating Value - Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book, 1987
Viscosity - None
Specific Gravity - Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book, 1987
Specific Heats - Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book, 1987

Design Factor: 1
Convergence Tolerance: 0.1 M³/hr
Maximum Iterations: 1000
Upper Dampening Factor: 0
Lower Dampening Factor: 0

Last Solved: *** Data Was Changed Since Solution
Largest Node Error: 0.0 M³/hr At Node 150

Base Pressure: 14.65 Psi
Base Temperature: 60 F

Compressibility Method: None
Temperature Calculated: No
Temperature Calculation Method: None
Joule-Thomson Effect Considered: No
Gas Property Mixing Calculated: No
Gas Property Mixing Calculated: No
Apply Design Factor To External Load: Yes
Ignore Related Node Data: No
Smart One-Way Processing: Yes

Minimum System Pressure: 0 Psi
Optimized By: Size

Solved With Program Revision: Revision: 081 - November 27, 2012

Customer File Version: 9.5
Node File Version: 9.4
Pipe File Version: 9.3
Pipe Fitting File Version: 9.0
Pipe Vertex File Version: 9.1
Attribute Valve File Version: 9.1
Graphic Settings File Version: 9.4
User Graphics File Version: 9.1

Anexo D. Formato para reporte de campo, lectura de presiones.

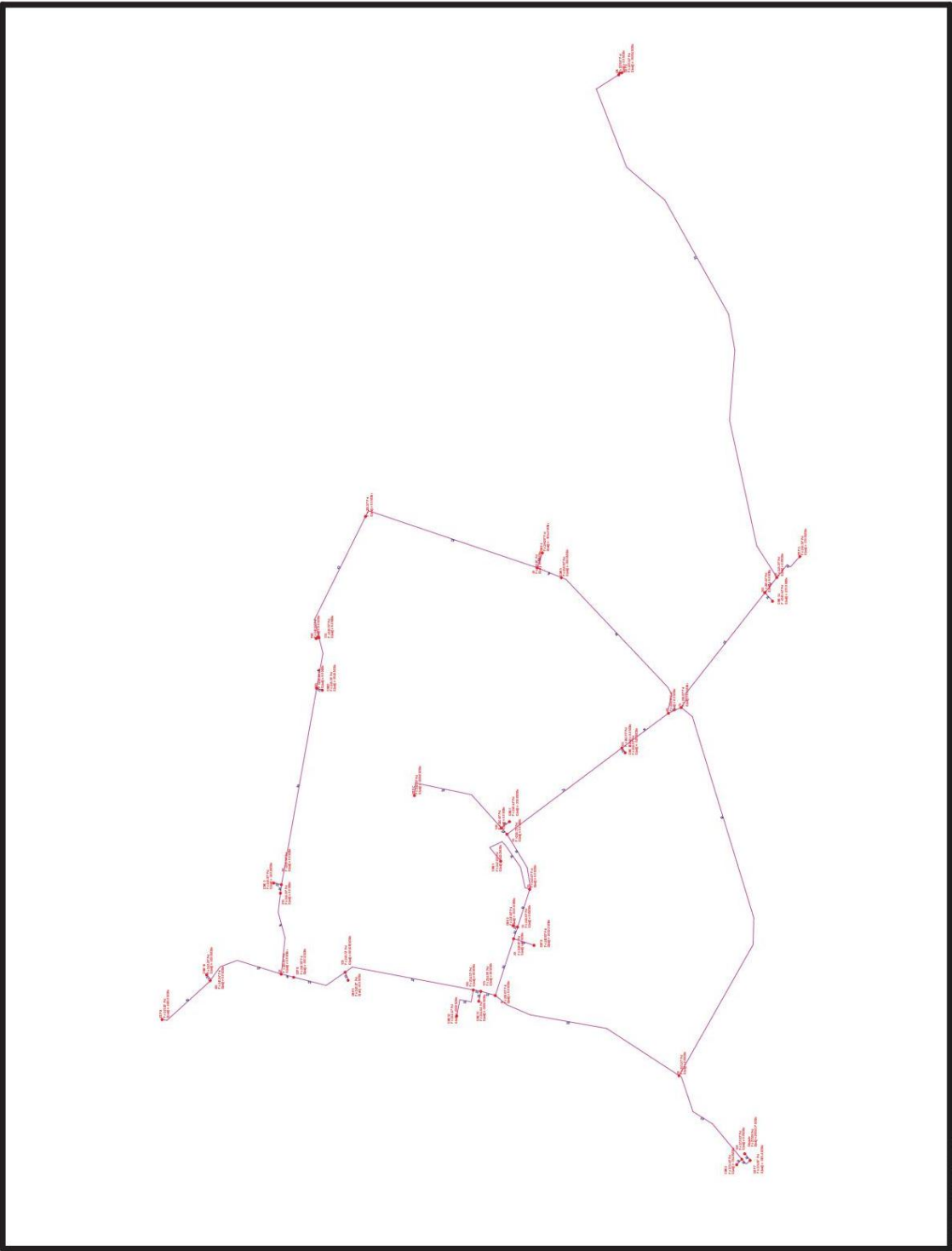
Fecha: _____ Lugar: _____

Realizó: _____

Hora	Presión Manómetro	Lectura Odometro	Presión Corrector P1 / P psig	Temperatura T1 / T Temp	Rata de Flujo
07:00	Psi		Psi		
07:10	Psi		Psi		
07:20	Psi		Psi		
07:30	Psi		Psi		
07:40	Psi		Psi		
07:50	Psi		Psi		
08:00	Psi		Psi		
08:10	Psi		Psi		
08:20	Psi		Psi		
08:30	Psi		Psi		
08:40	Psi		Psi		
08:50	Psi		Psi		
09:00	Psi		Psi		
09:10	Psi		Psi		
09:20	Psi		Psi		
09:30	Psi		Psi		
09:40	Psi		Psi		
09:50	Psi		Psi		
10:00	Psi		Psi		
10:10	Psi		Psi		
10:20	Psi		Psi		
10:30	Psi		Psi		
10:40	Psi		Psi		
10:50	Psi		Psi		
11:00	Psi		Psi		
11:10	Psi		Psi		
11:20	Psi		Psi		
11:30	Psi		Psi		
11:40	Psi		Psi		
11:50	Psi		Psi		
12:00	Psi		Psi		
12:10	Psi		Psi		
12:20	Psi		Psi		
12:30	Psi		Psi		
12:40	Psi		Psi		
12:50	Psi		Psi		
13:00	Psi		Psi		
13:10	Psi		Psi		
13:20	Psi		Psi		
13:30	Psi		Psi		
13:40	Psi		Psi		
13:50	Psi		Psi		
14:00	Psi		Psi		
14:10	Psi		Psi		
14:20	Psi		Psi		
14:30	Psi		Psi		
14:40	Psi		Psi		
14:50	Psi		Psi		
15:00	Psi		Psi		
15:10	Psi		Psi		
15:20	Psi		Psi		
15:30	Psi		Psi		
15:40	Psi		Psi		
15:50	Psi		Psi		
16:00	Psi		Psi		

1 Bar = 14.5 Psi

Anexo E. Reporte de simulación, Condiciones Críticas o de Máxima demanda.



Gas Composition Data (%)...

Methane (CH4):	82.6377	Air (N2 + O2):	0.0000
Ethylene (C2H4):	0.0000	Water (H2O):	0.0000
Ethane (C2H6):	10.1426	Argon (Ar):	0.0000
Propane (C3H8):	3.6151	Carbon Monoxide (CO):	0.0000
I-Butane (iC4H10):	0.5222	Carbon Dioxide (CO2):	1.8568
N-Butane (nC4H10):	0.5273	Hydrogen Sulfide (H2S):	0.0000
I-Pentane (iC5H12):	0.0669	Helium (He):	0.0000
N-Pentane (nC5H12):	0.0471	Hydrogen (H2):	0.0000
Hexane (C6H14):	0.0275	Nitrogen (N2):	0.5369
Heptane (C7H16):	0.0000	Oxygen (O2):	0.0000
Octane (C8H18):	0.0000	Other:	0.0000
Nonane (C9H20):	0.0000		
Decane (C10H22):	0.0000	Total:	100.0000

Gas Properties...

Heating Value: 1142.4 Btu/cf
Viscosity: 0.000007 Lbm/FT-sec
Specific Gravity: 0.677
Specific Heat Ratio: 1.29

Calculation Notes...

All Properties Are Calculated At 14.73 Psi (101 KPa) and
60 Degrees Fahrenheit (15.5 Degrees Celsius)

References:

Heating Value - Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book, 1987
Viscosity - None
Specific Gravity - Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book, 1987
Specific Heats - Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book, 1987

Rec #	From Node	To Node	ID Number	Element Type	Status	Equation	Size/Type	Inside D	Roughness	D/R Units
1	ERP F	150	1	Pipe	On	IGT-Improved	6S	6.065	0.00070	Inches
2	15	20	2	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
3	25	140	3	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
4	ERP B	40	4	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
5	45	GNV 4	5	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
6	45	GNV 5	6	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
7	55	195	7	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
8	60	ERP G	8	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
9	60	CN	9	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
10	75	10	10	Pipe	On	IGT-Improved	6S	6.065	0.00070	Inches
11	10	15	11	Pipe	On	IGT-Improved	6S	6.065	0.00070	Inches
12	75	205	12	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
13	ERP B	130	13	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
14	80	105	14	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
15	20	ERP D	15	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
16	20	95	16	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
17	40	215	18	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
18	ERP F	Citygate	19	Pipe	On	IGT-Improved	6S	6.065	0.00070	Inches
19	55	75	20	Pipe	On	IGT-Improved	6S	6.065	0.00070	Inches
20	85	25	21	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
21	85	GNV 1	22	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
22	95	85	23	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
23	95	GNV 2	24	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
24	105	115	25	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
25	105	GNV3	26	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
26	115		27	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
27	115	PAV	28	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
28	130	185	30	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
29	130	GNV 6	31	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
30	140	ERP C	32	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
31	140	GNV 7	33	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
32	150	10	34	Pipe	On	IGT-Improved	6S	6.065	0.00070	Inches
33	150	GNV 8	35	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
34	80	GNV 9	36	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
35	GNV 10	230	38	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
36	175	15	39	Pipe	On	IGT-Improved	6S	6.065	0.00070	Inches
37	175	GNV 11	40	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
38	185	175	41	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
39	185	GNV 12	42	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
40	195	25	43	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
41	195	GNV 13	44	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
42	205	60	45	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
43	205	GNV 14	46	Pipe	On	IGT-Improved	3S	3.068	0.00070	Inches
44	CN	ERP E	47	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
45	215	80	49	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
46	40	230	53	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
47	230	ERP A	54	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
48	GNV 5	55	55	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches
49		45	56	Pipe	On	IGT-Improved	4S	4.026	0.00070	Inches

Rec #	Velocity, Feet/sec	Reynolds Number	Volume, Cf	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Drop	Drop Per 100	Average Pressure	Hoop Stress SMYS	
1	46	2977259	35.586	274.85	273.63	1.22	1.26	274.24	3252	35000
2	38	1496676	71.394	255.03	248.56	6.48	1.36	251.81	2421	35000
3	21	830220	9.901	246.78	246.46	0.32	0.48	246.62	2343	35000
4	17	667241	15.072	246.18	245.85	0.33	0.32	246.02	2337	35000
5	6	246447	18.775	250.27	250.20	0.07	0.05	250.23	2376	35000
6	16	648357	30.754	250.89	250.27	0.63	0.30	250.58	2382	35000
7	20	609096	40.628	255.70	252.91	2.79	0.60	254.31	2072	35000
8	3	101720	23.322	245.39	245.32	0.07	0.02	245.35	1988	35000
9	20	541574	364.766	245.39	221.56	23.82	0.53	233.66	1988	35000
10	18	1127068	1121.328	263.27	255.83	7.44	0.23	259.57	3115	35000
11	29	1736637	568.922	263.27	255.03	8.24	0.50	259.17	3115	35000
12	24	716954	99.455	255.83	246.45	9.38	0.82	251.17	2073	35000
13	23	907267	66.513	248.72	246.18	2.53	0.56	247.45	2361	35000
14	5	191827	233.357	246.45	245.90	0.55	0.03	246.18	2340	35000
15	16	615314	25.135	248.56	248.08	0.47	0.28	248.32	2360	35000
16	22	881375	14.531	248.56	248.03	0.52	0.53	248.30	2360	35000
17	2	81704	95.963	245.90	245.85	0.05	0.01	245.87	2334	35000
18	50	3235241	3.685	275.00	274.85	0.15	1.46	274.93	3253	35000
19	13	764403	38.201	255.83	255.70	0.13	0.12	255.77	3027	35000
20	10	400254	71.474	247.41	246.78	0.63	0.13	247.10	2349	35000
21	5	141006	60.644	247.41	247.09	0.32	0.04	247.25	2004	35000
22	13	507705	46.632	248.03	247.41	0.62	0.20	247.72	2355	35000
23	16	490363	3.164	248.03	247.88	0.15	0.42	247.96	2010	35000
24	10	401916	60.306	246.99	246.45	0.53	0.13	246.72	2345	35000
25	9	275697	4.081	246.45	246.38	0.07	0.15	246.42	1997	35000
26	10	401916	157.257	248.37	246.99	1.38	0.13	247.68	2358	35000
27	0	0	1.960	246.99	246.99	0.00	0.00	246.99	2001	35000
28	23	907267	157.516	254.53	248.72	5.81	0.55	251.63	2416	35000
29	0	0	5.918	248.72	248.72	0.00	0.00	248.72	2015	35000
30	19	750031	133.125	246.46	242.78	3.68	0.40	244.62	2340	35000
31	4	105228	7.058	246.46	246.44	0.02	0.03	246.45	1997	35000
32	46	2863705	311.447	273.63	263.27	10.37	1.20	268.48	3237	35000
33	7	224486	5.820	273.63	273.58	0.06	0.09	273.61	2217	35000
34	5	144513	5.261	245.90	245.87	0.03	0.05	245.89	1992	35000
35	6	188007	4.871	243.24	243.20	0.04	0.08	243.22	1971	35000
36	12	743130	41.239	255.03	254.90	0.13	0.11	254.97	3017	35000
37	6	188007	6.934	254.90	254.84	0.06	0.07	254.87	2065	35000
38	24	976228	8.935	254.90	254.53	0.37	0.62	254.71	2420	35000
39	3	90496	28.137	254.53	254.47	0.06	0.02	254.50	2062	35000
40	19	564200	98.914	252.91	246.78	6.12	0.53	249.86	2049	35000
41	1	44897	4.008	252.91	252.91	0.00	0.01	252.91	2049	35000
42	22	643294	13.148	246.45	245.39	1.06	0.69	245.92	1997	35000
43	2	73660	7.653	246.45	246.44	0.01	0.01	246.44	1997	35000
44	12	412704	3.644	221.56	221.52	0.04	0.15	221.54	2103	35000
45	2	81704	9.987	245.90	245.90	0.01	0.01	245.90	2335	35000
46	19	748962	94.517	245.85	243.24	2.61	0.40	244.55	2334	35000
47	16	605692	73.382	243.24	241.84	1.40	0.28	242.54	2309	35000
48	17	687381	217.389	255.70	250.89	4.81	0.33	253.30	2428	35000
49	10	401916	218.418	250.27	248.37	1.90	0.13	249.32	2376	35000

