

“EVALUACIÓN DE COSTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN  
DE COMPRESIÓN DE GAS NATURAL EN EL GASODUCTO DE LA SABANA  
IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS”

LUZ MARY ROJAS ROCHA

OMAR EFRÉN CARO VARGAS

LUWING OTERO DE LEÓN

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

BUACARAMANGA

2012

“EVALUACIÓN DE COSTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN  
DE COMPRESIÓN DE GAS NATURAL EN EL GASODUCTO DE LA SABANA  
IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS”

LUZ MARY ROJAS ROCHA

OMAR EFRÉN CARO VARGAS

LUWING OTERO DE LEÓN

Monografía de grado para optar el título de:

ESPECIALISTA EN GERENCIA DE RECURSOS ENERGETICOS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

BUCARAMANGA

2012

Nota de Aceptación:

Aprobado por el Comité de Trabajos de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Bucaramanga para adquirir el título de Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos.

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

## Contenido

1. INTRODUCCION.....	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION.....	9
3. MARCOS DE REFERENCIA.....	10
3.1. Marco teórico.....	10
3.1.1. Generalidades del transporte de gas natural.....	10
3.1.2. Estación de Compresión Genérica.....	11
3.2. Marco legal o regulatorio.....	12
3.3. Marco contextual o situacional.....	18
3.3.1. Características de Materia Prima a transportar.....	20
3.3.2. Condiciones Operativas.....	21
4. ESTUDIO TECNICO.....	23
4.1. Análisis preliminares.....	23
4.2. Selección y Evaluación técnica del sistema propuesto.....	24
4.2.1. Metodología de cálculo.....	24
4.2.2. Datos de entrada de simulación.....	25
4.2.3. Caracterización del Gas.....	25
4.2.4. Escenarios de simulación.....	25
4.2.5. Planteamiento de la simulación.....	26
4.2.6. Resultados y Análisis.....	29
4.2.7. Conclusiones simulaciones.....	31
4.2.8. Curva de selección de compresores.....	32
4.2.9. Comparación cualitativa de alternativas tecnológicas.....	34
4.2.10. Selección de Compresores según criterio técnico.....	34
4.3. Ingeniería básica del proyecto.....	35
5. ESTUDIO FINANCIERO.....	40
5.1. Alternativas en evaluación.....	6
5.2. Ingresos, costos y consideraciones financieras.....	11
5.3. Flujos de Caja.....	18

5.4. Análisis de sensibilidad.....	23
6. CONCLUSION.....	26
7. BIBLIOGRAFIA.....	27

# 1. INTRODUCCION

En el presente trabajo monográfico requerido como requisito de grado en la Especialización de Gerencia de Recursos Energéticos se pretende realizar una pequeña introducción a la importancia del gas natural como recurso energético radicando principalmente en el bajo impacto ambiental que tiene el uso como combustible en comparación con otros carburantes, siendo hoy en día una fuente de energía que circula bajo el suelo de la mayor parte de las ciudades del mundo civilizado; aportando comodidad doméstica y proveyendo a la industria de la energía que necesita.

Debido al incremento de la demanda de Gas Natural en Colombia tanto por la entrada de las Termoeléctricas durante el fenómeno del Pacífico (más conocido como el fenómeno del Niño) y por el incremento en el consumo domiciliario e industrial, además teniendo como adicional la creciente demanda del consumo de las llamadas GNCV o Estaciones de Gas Natural Vehicular, las cuales han basado su apogeo en los bajos costos de venta a cliente final del Gas Natural, el sistema de transporte de gas natural del interior ha tenido en los últimos años que ampliar su sistema de transporte, mediante la construcción de loops (o sistemas de tuberías paralelos a los existentes) y construcción y ampliación de estaciones de compresión de gas natural de modo que pueda cumplir con los requerimientos que demanda el mercado.

De manera más específica la monografía es centrada en la construcción de una estación de compresión de gas natural dando como interrogante principal la tecnología a utilizar que no solo cumpla y trabaje bajo los requerimientos y estándares propuestos por TGI sino que además tenga un argumento financiero diferencial entre las alternativas disponibles.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION**

El gasoducto de La Sabana de Bogotá está diseñado y construido en tubería de 20" y fue probado hidrostáticamente a 700 psi, validando este gasoducto para una presión máxima de operación de 500 psi con un caudal de 120 MPCD. El aumento de la demanda de gas para los próximos años contratados con TGI S.A. ESP se estima de 260 MPCD por lo cual se requiere el diseño y montaje de una nueva estación de compresión en el gasoducto para poder manejar el caudal futuro requerido.

Actualmente, el gasoducto La Sabana (Cogua – Chía – Bogotá) tiene una capacidad máxima de transporte de gas de 140 MPCD y se requiere aumentar su capacidad a 270 MPCD. Como consecuencia se hace necesario analizar la ampliación de capacidad de transporte de gasoductos, la cual se puede lograr mediante construcción de Loops y/o estaciones de compresión. En el caso del gasoducto de La Sabana, no es conveniente la construcción de Loops puesto que su trazado atraviesa zonas altamente pobladas y valorizadas, lo cual dificulta la consecución de permisos para tender la tubería e incrementa costos y tiempos de ejecución.

Se han realizado diferentes simulaciones del gasoducto y estudiado diferentes opciones de ubicación de la estación de compresión, dando como resultado ubicaciones geográficas en Chía y en Cajicá. Durante las visitas de a los diferentes sitios por donde se extiende el gasoducto, se identificaron dos posibles lotes donde será ubicada la estación de compresión. Un primer lote ubicado al costado derecho del gasoducto al frente del restaurante Andrés carne de res y una segunda ubicación en un lote en el PK. 15 desde Cogua antes de la escuela Militar Nueva Granada.

La estación deberá tener una capacidad de diseño máxima de 270 MPCD para atender los picos de consumo de Bogotá y así garantizar la capacidad normal de transporte del gasoducto de 215 MPCD. Bajo este parámetro se debe seleccionar la mejor alternativa tecnológica para el compresor de la nueva estación de compresión de La Sabana, teniendo en cuenta las limitaciones ambientales e impacto paisajístico en la zona basados en un análisis costo beneficio.

En otras palabras, se hace indispensable el aumento la capacidad de transporte de gas para garantizar el abastecimiento futuro de cobertura de usuarios de gas natural, gas natural vehicular e industrial. Con esta estación de compresión se tendrá un aumento en la capacidad por encima del 50% para la sabana de Bogotá y sus municipios vecinos.

### 3. MARCOS DE REFERENCIA

#### 3.1. Marco teórico

##### 3.1.1. Generalidades del transporte de gas natural.

El transporte es el conjunto de actividades necesarias para recibir, trasladar y entregar el gas natural desde el punto de producción o recolección a un punto de distribución, para ello se requiere el uso de gasoductos y plantas de compresión si se transmite en estado gaseoso.

El transporte del gas natural tratado y dentro de las especificaciones de calidad comercial exigidas por el cliente, se realiza entre los campos de producción y los centros de consumo, mediante alguno de los siguientes métodos:

- *Redes de gasoductos internacionales:* Cuando el negocio se ha dado a gran escala, entre un país productor y un país consumidor y siempre que la localización geográfica lo permita, (Países de Europa Occidental, Rusia - Europa Oriental, Canadá – Estados Unidos, Argentina – Chile, Bolivia – Brasil, Nigeria – Italia, Colombia - Venezuela, etc.).
- *Transporte marítimo de Gas Natural Licuado (GNL):* En este caso se requerirá un proceso adicional de licuefacción antes del embarque y un proceso adicional de regasificación después del desembarque (Argelia – Japón, Abu Dhabi – Japón, Indonesia – Japón, Argelia – Estados Unidos, Trinidad - Europa). Este proceso se aplica si el gas comercializado proviene de regiones donde no hay una estructura de gasoductos desarrollada y el cliente se encuentra a grandes distancias.
- *Transporte por Gasoductos Nacionales:* Aplica cuando la negociación del gas se da en el ámbito interno en un país. En cualquiera de los casos, es importante anotar que el desarrollo de una infraestructura de transporte de este tipo, requiera además de las altas inversiones, un cuidadoso diseño, estricto cumplimiento de normas de seguridad y la acertada aplicación de políticas ambientales que garanticen el mínimo riesgo de impacto social y ambiental sobre las diferentes áreas de influencia del proyecto.

Además de los gaseoductos, es necesario infraestructura y maquinarias complementarias que hacen que a lo largo de toda la tubería especializada se mantengan las condiciones de transportes requeridas. Una de las más importantes y motivo de este estudio son las estaciones de compresión de gas, encargadas de elevar la presión del fluido en la línea de trasmisión, con el fin de suministrarle la energía necesaria para su transporte.

### **3.1.2. Estación de Compresión Genérica**

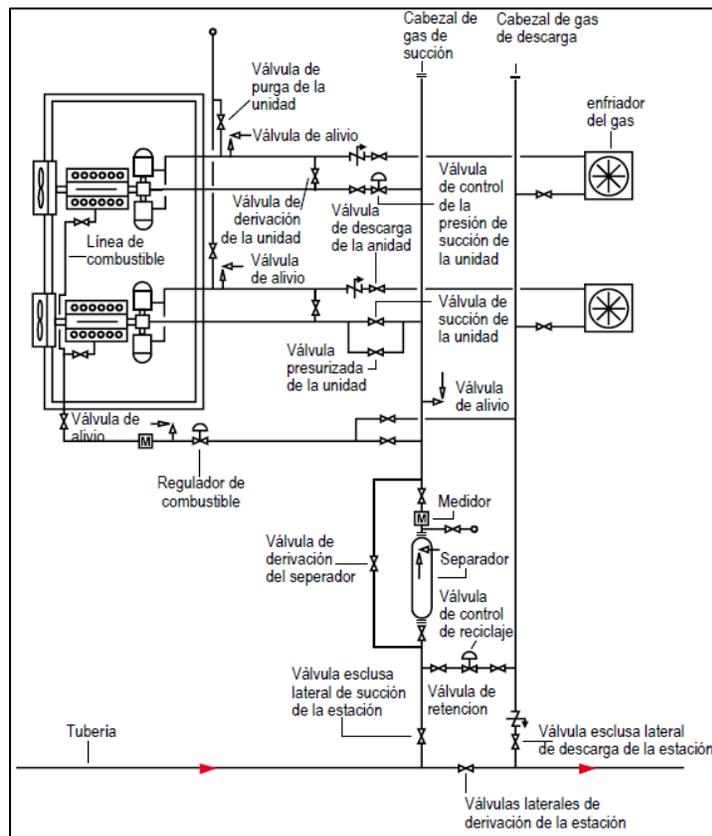
TGI cuenta con estaciones compresoras tipo reciprocante con una potencia instalada total de 149070 HP. La función de una estación compresora de gas es elevar la presión del fluido en la línea, con el fin de suministrarle la energía necesaria para su transporte.

En la estación el flujo inicia su recorrido por la línea de succión, pasando por equipos de subprocesos como el Cromatógrafo, registra algunos parámetros que miden la Calidad del gas, el SlugCatcher, en él se expande el gas, ayudando a separar los condensados, Filtro de Succión o Separador, extrae impurezas sólidas, Medidor Ultrasónico de flujo, registra y almacena datos de presión, temperatura, volumen y caudal, Higrómetro, muestra temperaturas de rocío. El gas continúa su recorrido a los compresores, entrando a los "scrubbers" de Succión y de combustible, estos extraen aún más los líquidos del gas, sigue a los cabezales de succión y entra al compresor. Finalmente, el gas a una mayor presión, sale por la línea de descarga de los compresores, para bajar su temperatura el gas pasa a través de los enfriadores o "Coolers", entra al filtro de descarga o Coalescente, está ayuda a separar los líquidos del gas, seguido hace registro en el Medidor Ultrasónico de flujo de esta línea.

Toda estación cuenta también con un suministro de potencia para la puesta en marcha de los compresores, un motor por cada compresor, un ventilador para el sistema de enfriamiento, un sistema de válvulas intrínseco en el funcionamiento de los compresores, garantizando la presión de trabajo deseada, un pequeño compresor para el accionamiento de válvulas y toda la instrumentación necesaria para el control del proceso de compresión.

Además, dentro de la estación se cuentan con tanques de almacenamiento para los lubricantes y refrigerantes que son utilizados en los motores, y para los condensados drenados en la operación, esto último, con el propósito de proteger y conservar el entorno natural. Es importante señalar que en cada estación de compresión de gas natural, debe contar con un plan de manejo ambiental dando cumplimiento a las disposiciones legales nacionales sobre la materia.

Las unidades de compresión (motor-compresor) y sus sistemas y equipos auxiliares tales como cooler, scrubber, botellas de succión y descarga, válvulas, tuberías, sistemas de control y monitoreo están diseñados para un rango de presión de operación en la succión desde 550 psig a 850 psig y un rango de presión de operación en la descarga desde 1050 psig a 1200 psig.



**Ilustración 1. Estación de Compresión**

### 3.2. Marco legal o regulatorio

Las labores y obras serán diseñadas, construidas y operadas bajo el marco regulatorio y leyes aplicables en Colombia. Como primera medida debe realizarse un Plan de Manejo Ambiental donde se connotara las áreas de intervención sus efectos y consecuencias, teniendo en cuenta que las labores y lugar de ejecución del proyecto son de concurrencia humana y tienen un ecosistema circundante. El PMA establece de manera detallada, las acciones que se implementarán para prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales negativos que se causen por el desarrollo del proyecto. Incluye los planes de seguimiento, monitoreo, contingencia. Toma como base las políticas ambientales de la Empresa, que van de acuerdo con el cumplimiento de la legislación ambiental nacional. Se definen las estrategias fundamentales que serán utilizadas para la aplicación de las actividades del proyecto. Dichas estrategias se encargan de definir la manera como se organizarán los recursos humanos, técnicos y económicos, para llevar a cabo la gestión ambiental dentro de los marcos legales y normativos establecidos por las instituciones involucradas y en coordinación con las comunidades del área de influencia del proyecto.

Las normas, códigos y especificaciones que se soliciten tendrán la última revisión vigente. A continuación se listan las normas que deberán aplicarse para el diseño y construcción de la estación.

ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
API	<i>American Petroleum Institute</i>
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
ASTM	<i>American Society for testing of Materials</i>
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
ISO	<i>International Standard Organization</i>

**Tabla 1. Generales**

ASME B31.8	<i>Gas Transmission and Distribution Piping System</i>
API RP 520	<i>Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving devices in Refineries</i>
API RP 521	<i>Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems</i>
API STD 537	<i>Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service</i> <i>API Spec 12J Specification for Oil and Gas separator</i>
ANSI/ISA-5.1	<i>Instrumentation Symbols and Identification.</i>
GPSA	<i>Engineering Data Book. Gas Processors Suppliers Association.</i>
API STD 617	<i>Axial and Centrifugal Compressors and Expander-compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services.</i>

**Tabla 2. Procesos**

ASME B31.8	<i>Gas Transmission and Distribution Piping System</i>
API 5L	<i>Specification for Line Pipe</i>
API 6D	<i>Pipeline Valves</i>
API 12 GDU	<i>Specification for Oil Glycol Type Dehydration Units</i>
API 600	<i>Steel gate valves, flanged and buttwelding ends</i>
API 601	<i>Metallic gaskets for piping double-jacketed corrugated and spiral wound</i>
API 602	<i>Compact steel gate valve</i>

API 1104	<i>Standard for Welding Pipelines and Related Facilities</i>
ASME B 16.5	<i>Steel Pipe Flanges and Flanged Fitting</i>
ASME B 16.9	<i>Factory Made Wrought Steel but Welding Fitting</i>
ASME B 16.10	<i>Face to face and end to end dimensions valves</i>
ASME B 16.11	<i>Forged Steel Fittings, Socket. Welding and Threaded</i>
ANSI 16.20	<i>Gasket Metallic</i>
ASME B 36.10M	<i>Welded and seamless wrought steel pipe</i>
ASTM A 53	<i>Specification for pipe, steel, black, and hot dipped, zinc coated welded and seamless</i>
ASTM A 105	<i>Specification for forging, carbon steel for piping components</i>
MSS	<i>Manufactures Standardization Society of the Valve and Fittings Industry</i>
API/ASME B73.1M	<i>Specification for horizontal and suction centrifugal pumps for chemical process</i>
NACE	<i>National Association of Corrosion Engineers</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
API 1102	<i>Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways</i>
API RP 686	<i>Recommended Practice for Machinery Installation and Installation Design</i>

**Tabla 3. Tuberías**

NSR 10	<i>Reglamento Colombiano de Construcción Sismo – Resistente. Decreto 926 de 2010</i>
RAS 2000	<i>Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RASICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación</i>
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
ACI 318	<i>Building Code Requirements for Reinforced Concrete</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>

FEDESTRUCTURAS	<i>Normas colombianas de estructuras metálicas, decreto 1400 código de estructuras sismo resistentes</i>
DECRETO 3930 DE 2010	<i>Usos del Agua y Residuos Líquidos. NIO Normas de Ingeniería de Oleoductos de ECOPETROL</i>
CMAA	<i>Construcción certificada para puente grúas por OSHAS y NACB (North American Crane Bureau).</i>
API RP 686	<i>Recommended Practice for Machinery Installation and Installation Design</i>

**Tabla 4. Civil**

ASME B31.8	<i>Gas Transmission and Distribution Piping System</i>
RP 520	<i>Sizing, selection and installation of pressure relieving devices in refineries</i>
AWS D1.1	<i>American Welding Society Structural Welding Code</i>
STD B16.21	<i>Non-Metallic Gaskets for Pipe Flanges</i>
Section II	<i>Boiler and Pressure Vessel Code, Material Specification</i>
Section V	<i>Non Destructive Examination</i>
API STD 617	<i>Axial and Centrifugal Compressors and and Expander-compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services</i>
API RP 686	<i>Recommended Practice for Machinery Installation and Installation Design</i>

**Tabla 5. Mecánica**

AGA Report No. 3	<i>Orifice Metering of Natural Gas</i>
AGA Report No. 4A	<i>Natural Gas Contract Measurement and Quality Clauses</i>
AGA Report No. 7	<i>Measurement of Natural Gas by Turbine Meter</i>
AGA Report No. 8	<i>Compressibility Factor of Natural Gas and Related Hydrocarbon Gases</i>
AGA Report No. 9	<i>Measurement of Gas by Multipath Ultrasonic Meters</i>
AGA Report No. 11	<i>Measurement of Natural Gas by Coriolis Meter</i>
ANSI/API MPMS 14.3.3	<i>Natural Gas Applications</i>
ANSI/API Std 521 / ISO 23251	<i>Pressure-relieving and Depressuring Systems</i>
ANSI/API RP 551	<i>Process Measurement Instrumentation</i>
ANSI/API RP 552	<i>Transmission Systems</i>
ANSI/API RP 554	<i>Process Control Systems</i>

API Std 520	<i>Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices in Refineries, Part I - Sizing and Selection</i>
API RP 520	<i>Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries-Part II, Installation</i>
ISA MC96.1	<i>Temperature Measurement Thermocouples</i>
ISA S5.1	<i>Instrumentation Symbols and Identification</i>
ISA S5.3	<i>Graphic Symbols for Distributed Control/Shared Display Instrumentation</i>
ISA S5.4	<i>Instrument Loop Diagrams</i>
ISA S18.1	<i>Annunciation Sequences and Specifications</i>
ISO 13679	<i>Petroleum and natural gas industries - Procedures for testing casing and tubing connections</i>
NEMA ICS 6	<i>Industrial Controls and Systems Enclosures</i>
ANSI/ISA-12.04.01-2004 (IEC 60079-2 Mod)	<i>Electrical Apparatus for Use in Class I, Zone 0 Hazardous (Classified) Locations</i>
ANSI/ISA-60079-26 (12.00.03)-2008	<i>Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres - Part 2 Pressurized Enclosures 'p'</i>
ANSI/ISA-60079-0 (12.00.01)-2005	<i>Electrical Apparatus for Use in Class I, Zones 0, 1 &amp; 2 Hazardous (Classified) Locations: General Requirements</i>
ANSI/ISA-61241-11 (12.10.04)-2006	<i>Electrical Apparatus for Use in Zone 20, Zone 21 and Zone 22 Hazardous (Classified) Locations - Protection by Intrinsic Safety "iD"</i>
ANSI/ISA-60079-7 (12.16.01)-2008	<i>Explosive Atmospheres - Part 7: Equipment protection by increased safety "e"</i>
ANSI/ISA-75.01.01 (IEC 60534-2-1 Mod)-2007	<i>Flow Equations for Sizing Control Valves</i>
ANSI/ISA-96.02.01-2007	<i>Guidelines for the Specification of Electric Valve Actuators</i>
ANSI/ISA-84.00.01-2004 Part 2 (IEC 61511-2 Mod) <i>Functional Safety</i>	<i>Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector - Part 2: Guidelines for the Application of ANSI/ISA-84.00.01-2004 Part 1 (IEC 61511-1 Mod) – Informative</i>
ANSI/ISA-84.00.01-2004 Part 3 (IEC 61511-3 Mod) <i>Functional Safety</i>	<i>Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector - Part 3: Guidance for the Determination of the Required Safety Integrity Levels – Informative</i>
ANSI/ISA-84.00.01-2004 Part 1 (IEC 61511-1 Mod) <i>Functional Safety</i>	<i>: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector - Part 1: Framework, Definitions, System, Hardware and Software Requirements</i>

**Tabla 6. Instrumentos**

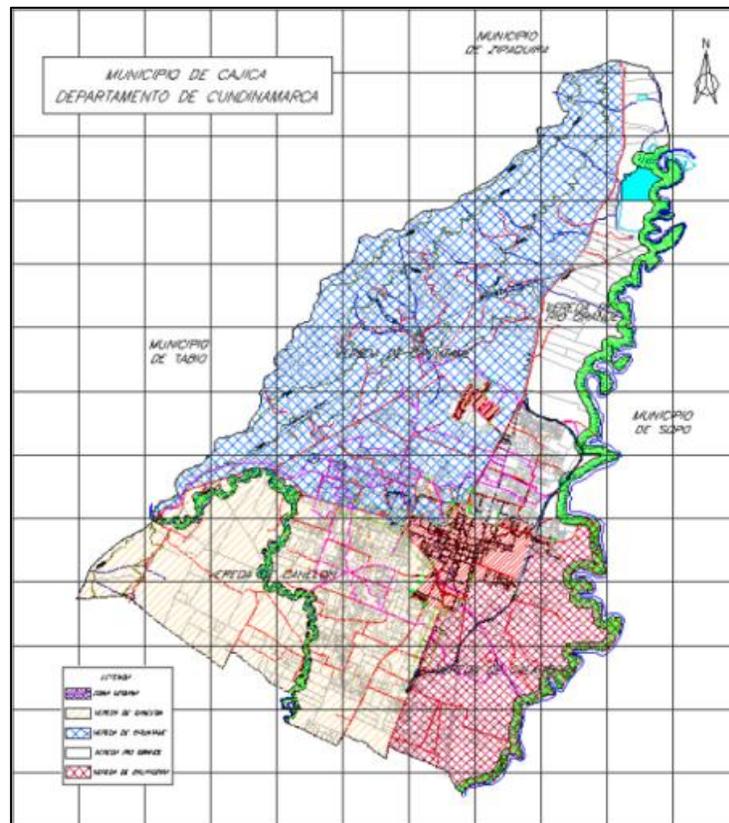
RETIE	<i>Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas 2007</i>
RETILAP	<i>Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público</i>
ICONTEC	<i>Instituto Colombiano de Normas Técnicas</i>
NTC 2050	<i>Código Eléctrico Colombiano -2004</i>
NFPA 70	<i>National Fire Protection Association</i>
NTC 2230	<i>Luminarias</i>
NTC 3229	<i>Cajas de Salida y Accesorios</i>
NEC	<i>National Electrical Code</i>
C37.06-2000	<i>AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical and Current Basis. Preferred Ratings and Related Required Capabilities</i>
C37.46-2000	<i>American National Standard for For High Voltage Expulsion and Current- Limiting Type Power Class Fuses and Fuse Disconnecting Switches</i>
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
ICS 6-88	<i>Enclosures for Industrial Controls and Systems</i>
ICS-3	<i>Industrial Systems Equipment</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical And Electronic Engineers</i>
C-62-92-2	<i>Neutral/Grounding in Electric Utility System</i>
Std C62.92.3.-1993 (R2005)	<i>IEEE Guide for the Application of Neutral</i>
	<i>Grounding in Electrical Utility Systems, Part III-Generator Auxiliary Systems</i>
802.3/802.4/802.5	<i>Information Processing System-Local Area Networks</i>
C-62.41	<i>Recommended Practice on surge voltages in low voltage AC Power Circuits</i>
C-63.2-1987	<i>Electromagnetic Interference and Field Strength Instrumentation</i>
ICEA	<i>Insulated Cable Engineers Association</i>
UL	<i>Underwriters Laboratories Inc</i>
UL 1242	<i>Standard for Electrical Intermediate Metal Conduit. Steel, para tubería tipo IMC</i>
UL-6	<i>Standard for Electrical Rigid Metal Conduit. Steel, para tubería tipo RMC</i>
UL-844	<i>Standard for Electric Lighting Fixtures for Use in Hazardous (Classified) locations</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>

IES	<i>Illuminating Engineering Society</i>
EIA	<i>Electronic Industries Association</i>
ISA	<i>Instrument Society of America</i>
FM	<i>Factory Mutual Research Corporation</i>
Std API RP500 1997	<i>Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I and Division 2, 2 edition</i>

**Tabla 7. Eléctrica**

### 3.3. Marco contextual o situacional

El gasoducto de La Sabana (20") se ampliará para aumentar su capacidad a 270 MMSCFD (flujo de diseño: 270 MMSCFD), requiriendo construir una estación de compresión, la cual de acuerdo a las simulaciones hidráulicas realizadas previamente por TGI, debe ubicarse entre los municipios de Cajicá y Chía, en un tramo de aproximadamente 12 km.



**Ilustración 2. Localización geográfica gasoducto La Sabana**

El proyecto de expansión del gasoducto desde Cusiana, iniciado en el 2008, contempló aumentar en 222 MMSCFD la capacidad de transporte de gas hasta la estación de entrega de TGI en Cogua, Cundinamarca.

En el año 2010 Transcogas se fusionó a TGI y a raíz de lo anterior, el gasoducto de La Sabana entró a hacer parte de los activos de TGI. Actualmente, el gasoducto de La Sabana (Cogua – Chía – Bogotá) tiene una capacidad máxima de transporte de gas de 140 MMSCFD y se requiere aumentar su capacidad a 270 MMSCFD.

La ampliación de capacidad de transporte de gasoductos se puede lograr mediante construcción de loops y/o estaciones de compresión. En el caso del gasoducto de La Sabana, no es conveniente la construcción de loops puesto que su trazado atraviesa zonas altamente pobladas y valorizadas, lo cual dificulta la consecución de permisos para tender la tubería e incrementa costos y tiempos de ejecución.

Teniendo en cuenta que la estación de compresión de gas de La Sabana va ser instalada en un área de alta densidad poblacional, fue necesario realizar un estudio y selección de tecnología que no generara alto impacto a las comunidades vecinas.

Las restricciones del proyecto están dadas por la ubicación de la estación en una zona de alta densidad de población, lo que dificulta y encarece la compra de un lote de gran extensión y obliga a minimizar los impactos a los vecinos durante la construcción y posterior operación (niveles de ruido, contaminación visual, emisiones atmosféricas, probabilidad de contaminación del suelo, etc.).

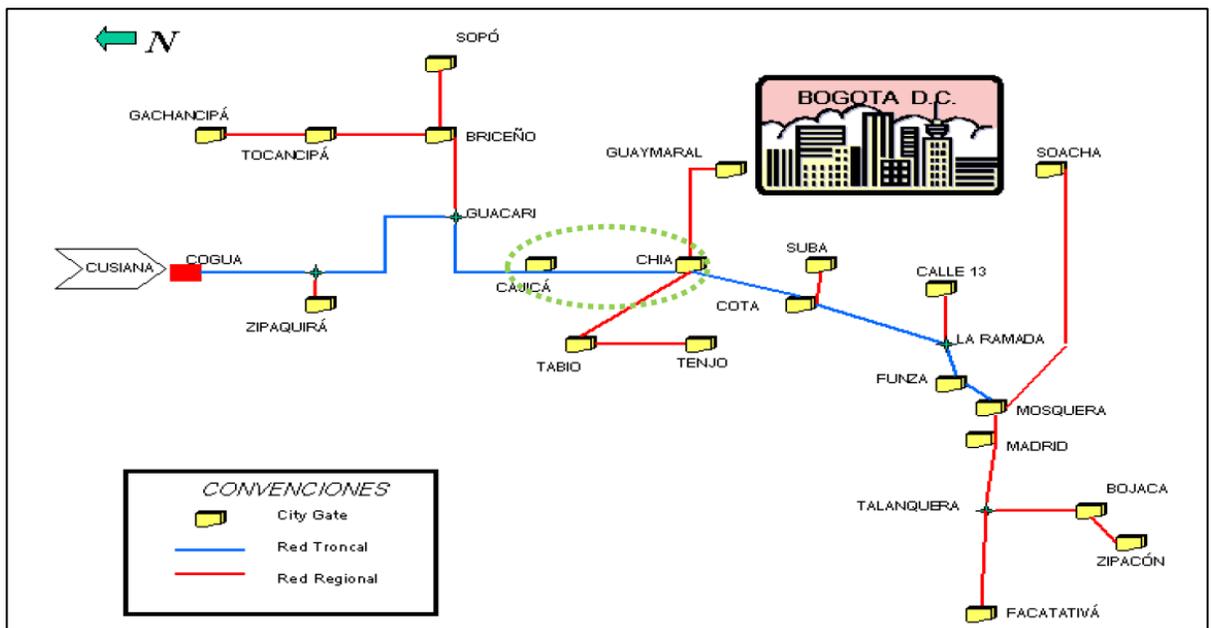


Ilustración 3. Gasoducto La Sabana

### 3.3.1. Características de Materia Prima a transportar

Para el trabajo de dimensionamiento de maquinaria, selección de materiales y cumplimiento de normas ambientales es de alta importancia considerar la composición del gas a transportar y verificar que cumple con las especificaciones de calidad para la transmisión en el sistema nacional de transporte conforme al Reglamento Único de Transporte (RUT). A continuación mostraremos la composición del gas natural y las especificaciones de cumplimiento esperadas.

COMPONENTE	FÓRMULA	GAS CUSIANA (% mol)
Metano	CH <sub>4</sub>	82,927
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	9,87
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	3,575
Iso-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,528
n-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,536
Iso-Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,098
n-Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,078
n-Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,031
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	1,771
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0,617
TOTAL		100,00
Gravedad Especifica		0,667
Peso molecular		19,5

**Tabla 8. Composición de Gas Natural**

ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DEL GAS NATURAL		
Poder Calorífico bruto mínimo, en MJ/m <sup>3</sup> (BTU/ft <sup>3</sup> )	35.4	950 (Nota 1)
Poder Calorífico bruto máximo, en MJ/m <sup>3</sup> (BTU/ft <sup>3</sup> )	42.8	1150
Contenido de Líquido (Nota 2)	Libre de Líquidos	
Contenido total de H <sub>2</sub> S máximo mgr/m <sup>3</sup> (granos/100ft <sup>3</sup> )	6	0.25
Contenido total de azufre máximo, mgr/m <sup>3</sup> (granos/100ft <sup>3</sup> )	23	1.0
Contenido de CO <sub>2</sub> máximo, %Vol.	2	2
Contenido de N <sub>2</sub> máximo, %Vol.	3	3

Contenido de inertes máximo, %Vol. (CO <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> ) (Nota 3)	5	5
Contenido de Oxígeno máximo, %Vol.	0.1	0.1
Contenido de agua máximo, mg / m <sup>3</sup> (lb / MMSCF)	97	6.0
Temperatura de entrada máxima, °C (°F)	49	120
Temperatura de entrada mínima, °C (°F)	7.2	45
Contenido máximo de polvos y material en suspensión, mg / m <sup>3</sup> (granos/1000 scf) (Nota 4)	1.6	0.7
Libre de Gomas	Sí	Sí
<p><b>Nota 1:</b> Todos los datos sobre metro cúbico o pie cúbico de gas están referidos a Condiciones Estándar.</p> <p><b>Nota 2:</b> Los líquidos pueden ser: hidrocarburos, agua y otros contaminantes en estado líquido.</p> <p><b>Nota 3:</b> Se considera como contenido de inertes la suma de los contenidos de CO<sub>2</sub>, nitrógeno y oxígeno.</p> <p><b>Nota 4:</b> El máximo tamaño de las partículas debe ser 15 micrones.</p> <p>Salvo acuerdo entre las partes, el Productor-comercializador y el Remitente están en la obligación de entregar Gas Natural a la presión de operación del gasoducto en el Punto de Entrada hasta las 1.200 Psig, de acuerdo con los requerimientos del Transportador. El Agente que entrega el gas no será responsable por una disminución en la presión de entrega debido a un evento atribuible al Transportador o a otro Agente usuario del Sistema de Transporte correspondiente.</p> <p>Si el Gas Natural entregado por el Agente no se ajusta a alguna de las especificaciones establecidas en este RUT, el Transportador podrá rehusar aceptar el gas en el Punto de Entrada.</p>		

**Tabla 9. Especificaciones de calidad del Gas Natural**

### 3.3.2. Condiciones Operativas

Después de simulaciones a nivel conceptual por parte de TGI se estipula que las condiciones bajo las que debe operar para la ampliación del gasoducto de La Sabana son:

GASODUCTO LA SABANA	
Fuente del Gas	Cusiana
Capacidad actual del gasoducto	110 MMSCFD
Capacidad operación normal futura de la estación	215 MMSCFD
Capacidad de diseño futuro máximo	270 MMSCFD
Presión mínima de succión estación de compresión	338 psig
Presión máxima de succión estación de compresión	447 psig
Temperatura promedio del gas en la succión	47 °F

**Tabla 10. Condiciones de Operación**

Además se cuenta con unas características ambientales típicas de acuerdo a la zona de operación en la que estará ubicada nueva estación:

CARACTERÍSTICAS	VALOR	
Altura sobre el nivel del mar	2569 m.s.n.m	
Presión Barométrica	10.83 PSIA	
Temperatura Ambiente	Máxima	68 °F
	Mínima	35.60 °F
Humedad Relativa	Promedio	84%
Velocidad del viento	Promedio	1 – 3 m/seg
Dirección del viento	ITANSUCA	N - NE

**Tabla 11. Condiciones Ambientales**

## 4. ESTUDIO TECNICO

Los compresores son utilizados para aumentar la presión del gas en una tubería de transporte del mismo, hecho que es necesario para enviar el producto desde el sitio de producción hasta los consumidores. Cuando se comprime el gas para aumentar la presión, la velocidad del flujo puede aumentar o mantenerse igual, si se respetan los límites de presión es posible mantener la producción.

Existen muchas clases de compresores y motores de uso en la industria del transporte de gas natural (aplicada a los gaseoductos). Algunos compresores usan motores alternativos (Recíprocos), motores Eléctricos y otros son Turbinas de gas. A continuación tomaremos en consideración algunas tecnologías utilizadas en este tipo de industria y analizaremos sus requerimientos, ventajas y limitaciones.

Además del respectivo compresor la estación de La Sabana (ECGSB) deberá tener un (1) filtro coalescente, un paquete de compresión, un sistema de relevo y los servicios auxiliares, integrados por los siguientes equipos: vasija recolección de drenajes, bomba de disposición de drenajes y sistema de aire comprimido.

### 4.1. Análisis preliminares

Para la estación nueva se deberá tener presente las siguientes consideraciones:

- Operación libre de residuos contaminantes.
- Mínima generación de ruido cumpliendo con las normas ambientales.
- Motor de bajas emisiones contaminantes.
- Una potencia que cumpla con el pico máximo de consumo con la máxima relación de compresión que debe ser igual a dos (2).
- El menor requerimiento de espacio de construcción.
- El menor impacto paisajístico que disminuya al máximo la desvalorización de los predios cercanos.
- La menor cantidad de equipos auxiliares.
- Operación a control remoto y con operación inasistida.
- Se deberá mantener la filosofía de filtro coalescente en la línea principal de succión de gas y por el sistema de compresión seleccionado, no se considera requerido filtro coalescente en el cabezal de la descarga de gas.
- No se contempla el uso de cromatógrafo e higrómetro en la nueva estación de compresión.
- La ingeniería deberá contemplar la filosofía general del sistema de recolección y disposición de los drenajes de la estación.

- El sistema de accionamiento de la instrumentación asociado a los equipos y a la seguridad de la estación será a partir de aire de instrumentos.
- Se manejará el uso de aire industrial y agua cruda para estaciones de servicio.
- La presión de diseño de la estación es de 740 psig correspondiente al MAWP de la clase ANSI 300 La nueva estación de compresión deberá estar limitada a una máxima presión de descarga de 500 psig, dado que el gasoducto existente tiene una restricción de presión máxima (MAWP) de 500 psig.
- El sistema de venteo de la estación de compresión, deberá ser de tal forma que se minimice la descarga de gas natural a la atmósfera; por restricciones de ubicación en zona urbana de la estación es preferible contemplar venteo atmosférico sin quema.
- El alcance de este estudio dentro de la ampliación del gasoducto de La Sabana se limita a la estación de compresión de gas de La Sabana (ECGSB), lo cual implica que modificaciones del sistema de transferencia por fuera de la estación no hacen parte de este estudio, por lo cual son alcance de otro proyecto.

## **4.2. Selección y Evaluación técnica del sistema propuesto**

El estudio debe analizar las tecnologías existentes en sistemas de compresión de gas para determinar la que mejor se ajuste a las necesidades y restricciones particulares del proyecto.

Las tecnologías evaluadas son:

- Motor y Compresor Reciprocante.
- Turbina y Compresor Centrífugo.
- Mopico (Motor PipeLineCompressor)- Motor Eléctrico y Compresor Centrífugo.

Se realizaron simulaciones, con el fin de realizar un diagnóstico de estos sistemas de proceso que permita definir las condiciones de operación para el desarrollo del diseño conceptual de la nueva estación de compresión de La Sabana.

### **4.2.1. Metodología de cálculo**

El software para la realización de las simulaciones de proceso es Aspen Hysys V7.3, con modelo termodinámico Peng Robinson.

Los cálculos hidráulicos se realizan con la extensión Pipe-Segment, usando el modelo de cálculo hidráulico Beggs and Brill (1.979), calibrado a partir de los resultados de simulación suministrados por TGI.

#### 4.2.2. Datos de entrada de simulación

A continuación se presentan los datos de entrada de la simulación de proceso del sistema de regulación en el centro operacional de gas Cogua (COGC), la línea de transferencia desde el centro operacional de gas Cogua (COGC) hacia la estación de La Sabana (SB), y la estación de compresión de La Sabana (SB).

#### 4.2.3. Caracterización del Gas

La composición del gas Cusiana, a ser empleada para las simulaciones de proceso, se muestra en la tabla, en las Bases y Criterios de Diseño.

COMPUESTO	% MOL
N2	0,62%
CO2	1,77%
C1	82,93%
C2	9,87%
C3	3,58%
iC4	0,53%
nC4	0,54%
iC5	0,10%
nC5	0,08%
nC6	0,03%
PM	19,57
SG	0,67

Tabla 12. Composición Gas Cusiana

El contenido de agua del gas se fija en 6 lb/MMscf, valor máximo permitido por el RUT (Registro Único de Transporte) para gas de transporte y superior al valor real promedio reportado de 1,07 lb/MMscf en el mes de enero del 2.012, según indicación de TGI.

#### 4.2.4. Escenarios de simulación

TGI definió los escenarios de simulación de proceso del sistema de regulación en el centro operacional de gas Cogua (COGC), la línea de transferencia desde el centro operacional de gas Cogua (COGC) hacia la estación de La Sabana (SB), y la estación de compresión de La Sabana (SB), a partir de las simulaciones suministradas por TGI tal como se describe en la Tabla13 y la tabla 14.



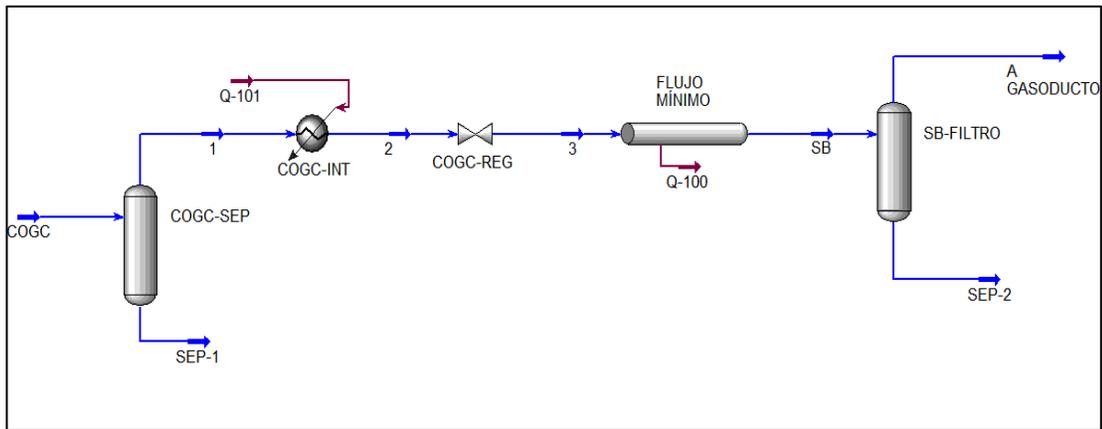
El esquema de simulación de la Ilustración 5 contempla los siguientes planteamientos:

- Centro operacional gas Cogua (COGC).
  - Pérdidas de presión en elementos de separación e intercambiador. En este caso se especifica valor de carga térmica nulo debido a que el efecto de disminución de temperatura por expansión de 517 psig a 500 psig es mínimo y no justifica el calentamiento del gas.
  - Sistema de regulación. En este escenario la caída de presión en el sistema de regulación debe ser mínima para asegurar una presión de 500 psig en la línea de transferencia.
  
- Línea de transferencia del COGC a la estación SB.
  - Se emplea el modelo calibrado para máximo flujo y máxima temperatura ambiente.
  
- Estación de compresión de La Sabana:
  - Pérdidas de presión en filtro de succión.
  - Circuito de compresión y sistema de enfriamiento de motor. Se construye un esquema de simulación que permita estimar satisfactoriamente el desempeño del compresor a las condiciones de máximo flujo y mayor relación de compresión.
  - Omisión de enfriador a la descarga del compresor. Esta decisión es un resultado de simulación que se discute en el numeral 8.2.

En conclusión, bajo el escenario de flujo máximo, las condiciones de recibo en el COGC de 517 psig y 39,5 °F definen que los requerimientos de acondicionamiento del gas por presión y temperatura en el COGC son mínimos, pero demandan el mayor requerimiento de compresión en la nueva estación de La Sabana de 333 psig a 500 psig.

#### **4.2.5.2. Escenario de flujo mínimo**

El esquema de simulación del escenario de flujo mínimo (ver Tabla 14, numeral 4.2.4) se muestra en la Ilustración 6. Este esquema parte del hecho de que el gas se recibe a 831 psig y 47 °F en el COGC, lo cual demanda el acondicionamiento del gas por presión y temperatura, debido a que la máxima presión de operación de la línea de transferencia es 500 psig y al efecto de disminución de temperatura por expansión súbita 331 psi. Sin embargo, bajo este escenario se elimina el requerimiento de compresión en la nueva estación SB por bajas pérdidas en la línea de transferencia y sistema de transporte aguas abajo de la estación SB.



**Ilustración 5. Esquema de simulación de escenario de flujo mínimo**

El esquema de simulación de la Ilustración 6 contempla los siguientes planteamientos:

- Centro operacional gas Cagua (COGC).
  - Pérdidas de presión en elementos de separación e intercambiador.
  - Calentamiento del gas a 70 °F. La temperatura de salida de 70 °F es un resultado de simulación para evitar formación de hidratos en el sistema de regulación y línea de transferencia y se discute en el numeral 0.
  - Sistema de regulación. En este escenario la caída de presión en el sistema de regulación debe ser 331 psi para asegurar una presión de 500 psig en la línea de transferencia.
- Línea de transferencia del COGC a la estación SB.
  - Se emplea el modelo calibrado para mínimo flujo y mínima temperatura ambiente.
- Estación de compresión de La Sabana:
  - Pérdidas de presión en el filtro de succión.

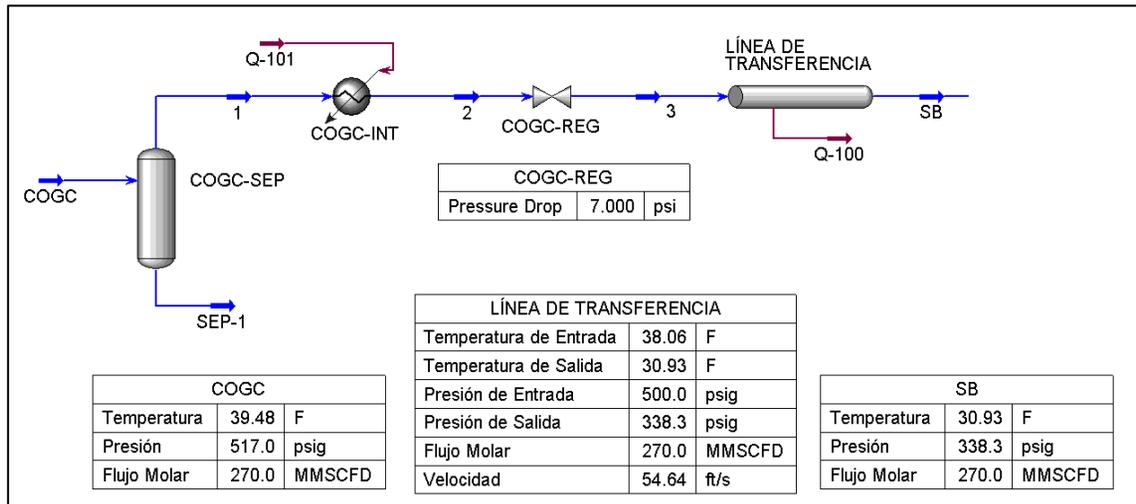
En conclusión, bajo el escenario de flujo mínimo, las condiciones de recibo en el COGC de 831 psig y 47 °F definen que se debe realizar un acondicionamiento del gas por presión y temperatura en el COGC que asegure el desempeño adecuado del sistema de regulación y la línea de transferencia, pero no demandan compresión en la estación de La Sabana.

#### 4.2.6. Resultados y Análisis

A continuación se presentan los resultados y el análisis de la simulación de proceso, en lo concerniente a la caracterización del gas y la simulación del COGC, la línea de transferencia y la estación de compresión de La Sabana.

##### 4.2.6.1. Escenario de flujo máximo

En el escenario de flujo máximo, de condiciones de recibo en el COGC de 517 psig y 39,5 °F, se tienen los resultados de las condiciones de operación del COGC y de la línea de transferencia de la Ilustración 6.



**Ilustración 6. Escenario de flujo máximo: condiciones de operación en COGC, línea de transferencia y recibo en la estación de La Sabana**

En el escenario de flujo máximo, en la Ilustración 7 se observan los resultados de la evaluación del compresor de la estación de La Sabana.

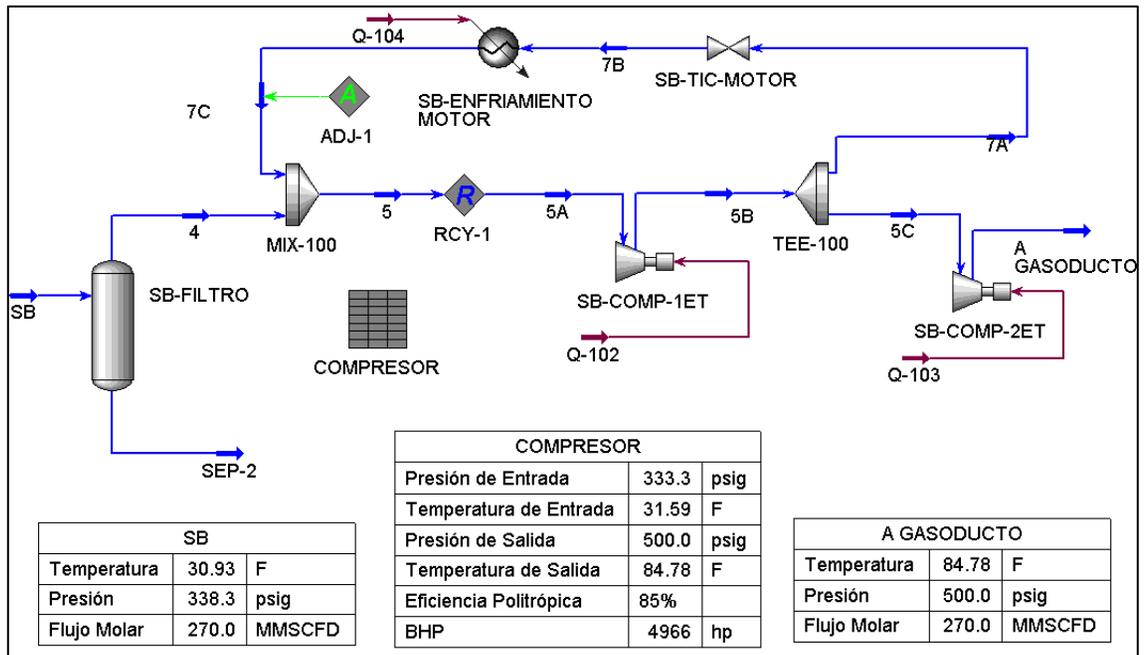


Ilustración 7. Escenario de flujo máximo: desempeño de compresor en la estación de La Sabana

#### 4.2.6.2. Escenario de flujo mínimo

Para el escenario de flujo mínimo, de condiciones de recibo en el COGC de 831 psig y 47 °F, se debe garantizar la no formación de hidratos en el recorrido entre el COGC y la estación de La Sabana. Para esto, la Ilustración 8 muestra el desempeño del sistema de regulación en el caso de no tener calentamiento en el COGC.

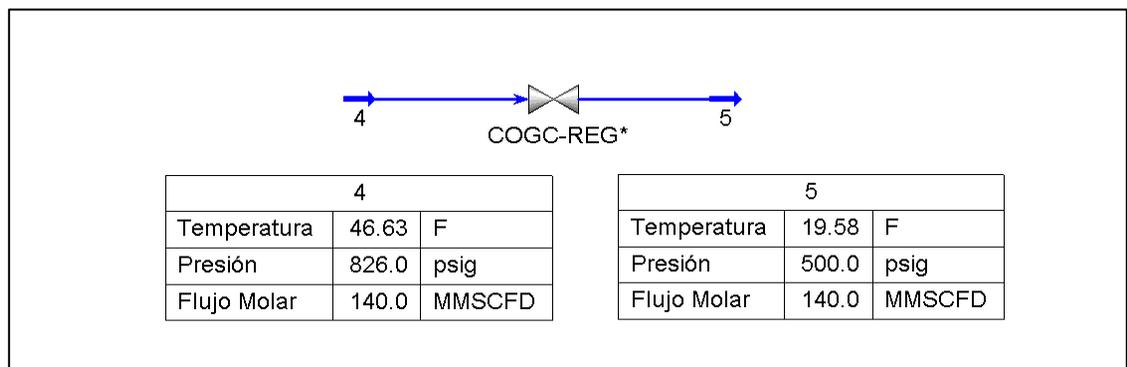
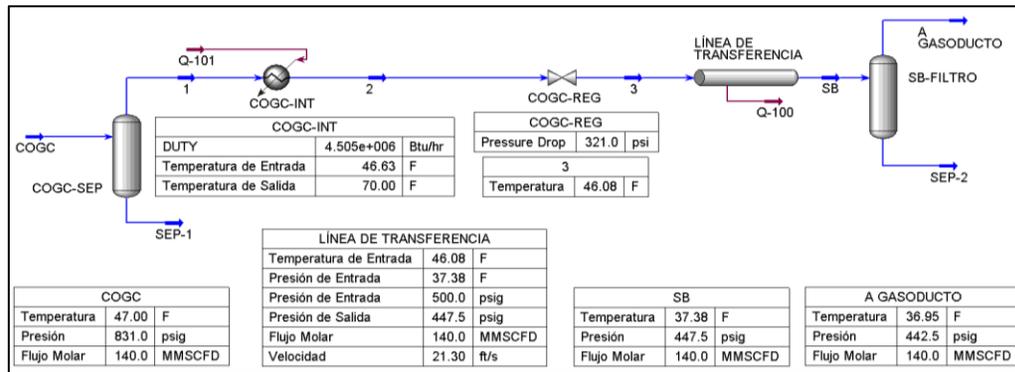


Ilustración 8. Escenario de flujo mínimo: regulación sin calentamiento en COGC

En la Ilustración 6 se observa que la temperatura de salida del sistema de regulación, en caso que no se contemple calentamiento, es 19.58 °F, lo cual es inferior a la temperatura

de formación de hidratos de 25 °F a 500 psig, evidenciando la formación de partículas sólidas.

Por ende, se procede a simular el escenario asumiendo una temperatura de salida de 70 °F, como se observa en la Ilustración 9.



**Ilustración 9. Escenario de flujo mínimo: condiciones de operación en COGC, línea de transferencia y recibo en la estación de La Sabana**

#### 4.2.7. Conclusiones simulaciones

- Bajo las condiciones de flujo máximo de 270 MMscfd, no se requiere calentamiento en el COGC, ni enfriamiento a la descarga del compresor en la estación de La Sabana, debido a que a las condiciones de recibo en el COGC de 517 psig y 39,5 °F, los resultados de la simulación de proceso no evidencian formación de hidratos, ni temperatura de descarga por encima del valor máximo permitido por el RUT de 120 °F.
- Bajo las condiciones de flujo mínimo de 140 MMscfd, es necesario calentar el gas en el COGC, o asegurar con procedimientos operativos aguas arriba de este punto en el gasoducto, que la temperatura de entrada al sistema de regulación sea al menos de 70 °F, de forma que se evite problemas de formación de hidratos en la línea de transferencia y en la estación de La Sabana, y de temperaturas por debajo del punto de congelación del agua en el gasoducto de La Sabana aguas abajo de la nueva estación.
- La potencia necesaria que muestra la simulación es de aproximadamente 5000 HP para el flujo máximo, con una eficiencia politropica del 85%.

#### **4.2.7.1. Recomendaciones de las simulaciones**

- Evaluar la posibilidad de instalar un calentador en el recibo del COGC, que asegure que ante el escenario de bajo flujo, la temperatura de entrada a las válvulas reguladoras sea al menos de 70 °F. Este calentador es de capacidad estimada de 4.5 MMscfd, para un flujo de entrada de 140 MMscfd y una diferencia de temperatura de 27 °F. Cabe anotar que el escenario de bajo flujo coincide con el de menor temperatura ambiente y el de mayor grado de expansión del gas en el COGC, que hace crítico el problema de bajas temperaturas en el sistema de transporte.
  - Asegurar que en el nuevo calentador del COGC, se tenga un control de temperatura que permita mantener diferentes ajustes de temperatura a distintas presiones de recibo, evitando sobrecalentar el sistema en caso de bajas presiones de recibo en el sistema de regulación.
  - Como alternativa al calentador, TGI debe analizar la posibilidad de implementar diseños o procedimientos operativos alternativos en locaciones del gasoducto aguas arriba del COGC, siempre y cuando se logre asegurar que la temperatura de entrada al sistema de regulación sea al menos de 70 °F.
  
- Asegurar que en el nuevo diseño del COGC, el sistema de regulación sea capaz de entregar el gas a 500 psig en la línea de transferencia en todos los escenarios de flujo, teniendo en cuenta que a máximo flujo de 270 MMscfd, la caída de presión en el sistema de regulación está limitada a 7 psi, y que a mínimo flujo de 140 MMscfd, la caída de presión debe ser 331 psig.
  
- Asegurar con el proveedor del compresor “MOPICO” que la temperatura de succión no se vea afectada en más de 2 °F por efecto de la corriente de retorno de gas del sistema de enfriamiento del motor.

#### **4.2.8. Curva de selección de compresores**

Para la validación de la tecnología de compresión seleccionada se utilizan las condiciones de operación relacionadas en la tabla 15 en las cuales la estación deberá operar, estos puntos de operación se contrastan en la ilustración 10, donde se verifica que cualquiera de las tres tecnologías planteadas cumple con los puntos de operación solicitados como entrada.

Condición	Presión Succión psig	MMscfd	acfm	Color
1	350	100	1550	
2	300	200	3100	
3	280	270	4650	

Tabla 15. Rangos de operación de las estaciones de compresión

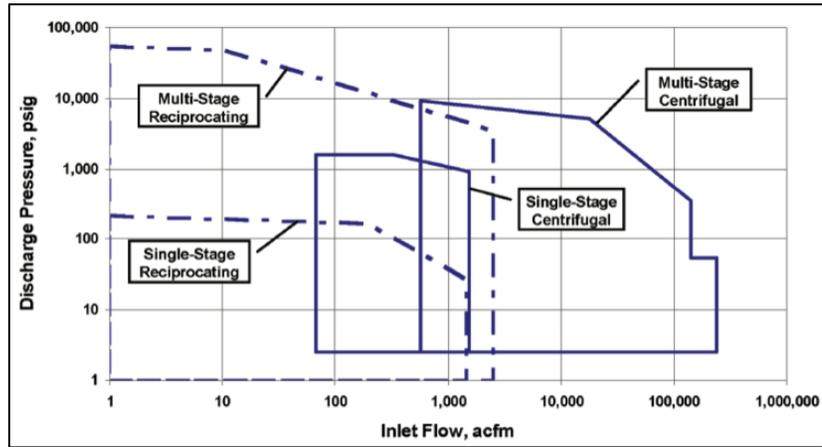


Ilustración 10. Curva de selección de compresores

#### 4.2.9. Comparación cualitativa de alternativas tecnológicas

MATRIZ SELECCIÓN TECNOLOGÍA												
TECNOLOGÍA	COSTO INICIAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	CANTIDAD DE EQUIPOS PARA COMPRESIÓN	TAMAÑO Y PESO DE EQUIPOS	RANGO DE OPERACIÓN	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO	TEMPERATURAS DE OPERACIÓN	RUIDO	EMISIONES ATMOSFÉRICAS POR COMBUSTIÓN	VOLUMEN DE GAS	ACEITES LUBRICANTES	CALIFICACIÓN
PORCENTAJE	15%	10%	8%	5%	7%	10%	5%	15%	10%	7%	10%	100%
MOTOR Y COMPRESOR RECÍPROCANTE	5	3	1	1	1	1	1	1	3	3	1	2.14
MOPICO	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.40
COMPRESOR CENTRÍFUGO-TURBINA	1	3	5	1	3	3	3	3	3	5	1	2.66
PUNTAJE DE SELECCIÓN	1	NO CUMPLE										
	3	MEDIANAMENTE CUMPLE										
	5	CUMPLE										

Tabla 16. Comparación alternativas tecnológicas

#### 4.2.10. Selección de Compresores según criterio técnico

Teniendo en cuenta las restricciones ambientales del proyecto, se evaluaron las reciprocantes, compresores centrífugos acoplados a turbinas de combustión interna y una tecnología avanzada como la MOPICO, Motor Pipeline Compressor, (Compresores centrífugos accionados por motores eléctricos para gasoductos). Podemos determinar que esta última tecnología es la más adecuada para el proyecto de la estación de Compresión de la Sabana.

Las principales características que determinan la utilización de la tecnología MOPICO son:

- Ocupan poco espacio y son equipos más livianos que las unidades convencionales.
- Generan poco ruido por tratarse de motores eléctricos y pueden ser fácilmente encapsulados para lograr una insonorización total.
- No requiere de algunos sistemas auxiliares (filtración de descarga, gas combustible)
- Su operación no genera emisiones a la atmosfera.
- No contamina el suelo (por ser libre de aceites lubricantes)
- Las unidades funcionan con motores eléctricos y por lo tanto se necesita una alta confiabilidad y disponibilidad del sistema eléctrico.

Después de evaluar las tecnologías existentes en sistemas de compresión de gas, se determinó que la mejor tecnología que se ajustaba a las necesidades y restricciones particulares del proyecto es la combinación Compresor Centrífugo - Motor eléctrico

(tecnología marca MOPICO - Motor Pipeline Compressor), que junto con el resto de facilidades asociadas, hacen parte del alcance de este estudio a ingeniería para la nueva estación de compresión de gas La Sabana.

### 4.3. Ingeniería básica del proyecto

Para ampliar la capacidad de transporte del gasoducto de La Sabana se requiere construir una estación de compresión. Cuyos compresores a instalar según criterio técnico (depende de evaluación financiera) son de tecnología Mopico RM40 “la ilustración 11 describe la configuración de los compresores”, cuya instalación es en paralelo.

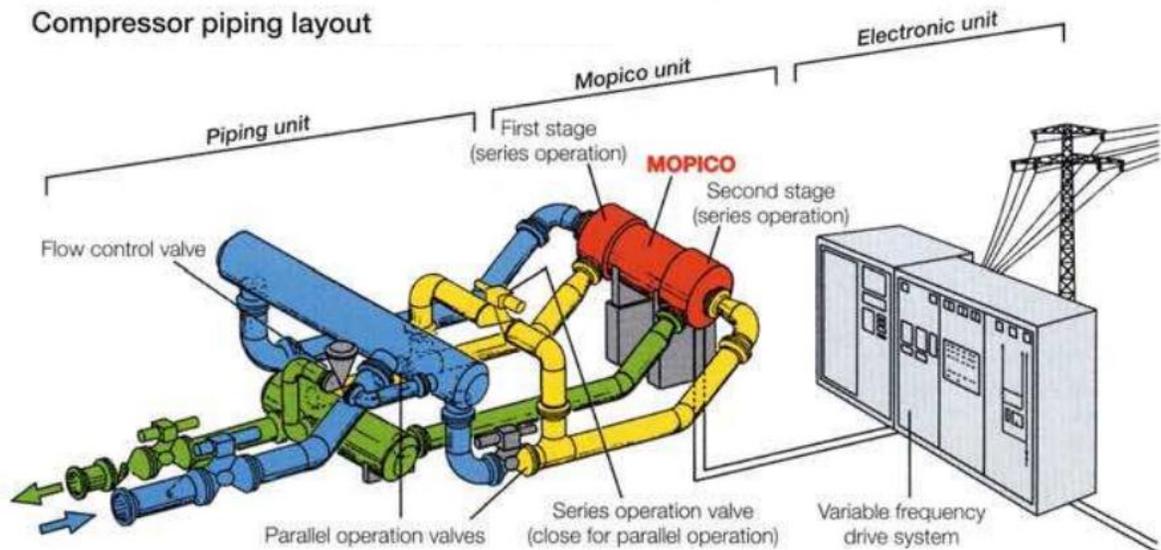


Ilustración 11. Operación en paralelo del compresor



**Ilustración 12. Panorámica del predio, donde se construirá la estación de compresión de La Sabana**



**Ilustración 13. Diseño para la estación de compresión**

El sistema de venteo de la estación de compresión, deberá ser de tal forma que se minimice la descarga de gas natural a la atmósfera; por restricciones de ubicación en zona urbana de la estación es preferible contemplar venteo atmosférico sin quema. Para la adecuación de la estación en el terreno seleccionado por TGI, es necesario realizar las siguientes actividades:

- Levantamientos topográficos, estudios de suelos, movimientos de tierra.
- Definición de materiales para las edificaciones, vías y encerramientos.
- Sistemas estructurales para las diferentes edificaciones.

- Sistemas de Drenaje.
- Sistema de suministro de agua potable.
- Sistema de tratamiento de aguas residuales o disposición de aguas residuales.

La estación deberá contar como máximo con las siguientes facilidades civiles:

- Cuarto de Motores (caseta de compresores)
- Cimentación de equipos estáticos y rotativos
- Cuarto de Control (con baño para el operador) y tableros. Los tableros a instalar son siete y corresponden a los tableros de los sistemas de control ( PCS, SD, F&G), Tablero de control del compresor.
- Portería con baños.
- Bunker de conexión al gasoducto.
- Box coulvert de acceso vial al área del bunker.
- Edificio para servicios auxiliares del proceso de compresión.
- Cerramiento del venteo.
- Edificio de laboratorio y Sala de reuniones.
- Cuarto de Basuras: .Dividido en 2 cuartos uno para las basuras reciclables y otro para las baterías.
- Áreas industriales como subestación eléctrica, sistema de aire comprimido, etc. Debido a que en la subestación eléctrica está contemplada la instalación de la UPS se deberá dejar un área independiente como cuarto de baterías.
- Para el área de la estación se especificarán cerramientos en cerca viva y árboles de especies nativas procurando el menor impacto visual y ambiental. Se proyectarán árboles alrededor del lote junto a la cerca viva y alrededor del estacionamiento junto a la portería.
- El área de edificaciones y vías se encerrará con un muro en mampostería de mínimo dos metros (2 m) de altura; este muro contará internamente con un terraplén contra él trabajando como deflector, de aproximadamente un metro de alto para minimizar la propagación del ruido. Adicionalmente, todas las edificaciones en donde haya equipos que generen ruido, tendrán paneles acústicos.
- Los materiales a utilizar en los cerramientos de edificios y área industrial obedecerán a un estudio de propagación de ruido a ejecutar en el desarrollo de la ingeniería.
- El área cuenta con acueducto veredal y no posee alcantarillado al momento de realizar este informe. El diseño básico y detallado contemplará las facilidades para la conexión al acueducto y un sistema de tratamiento y disposición de las aguas servidas.
- Los equipos de compresión deberán evitar producir drenajes con trazas de hidrocarburo o condensado (filtros o tuberías) deberán tener un desagüe a un

sistema cerrado que conducirá a un tanque para luego ser retirados periódicamente por un camión de vacío.

- Las cubiertas de las edificaciones serán cubiertas en teja a definir en la ingeniería detallada, con pendientes fuertes (entre 45° y 60°), simulando edificios tipo chalet; estas cubiertas no tendrán canales para la recolección de aguas lluvias; no obstante, los accesos se protegerán para que no haya goteos de los aleros en estas áreas. Para el cuarto de motores, la cubierta dependerá de las recomendaciones del estudio de riesgos; sin embargo, sea cual fuere la estructura que resulte, a la vista deberá conservar el diseño arquitectónico de las demás edificaciones.
- Las aguas lluvias se recolectarán por un sistema superficial consistente en las mismas vías (vía de acceso y vías internas) formando canales con el sardinel que las confina para conducir el agua hasta los sumideros ubicados a un costado de las vías; estos conducirán el agua hacia las cunetas perimetrales que a su vez entregarán a la escorrentía natural fuera de la estación sin producir erosión ni desestabilización de ningún área o estructura.
- Se deberá revisar la capacidad del canal existente que se proponga para ser usado como desagüe del sistema de aguas lluvias; de ser necesario se debe considerar una adecuación o ampliación del mismo para su adecuado funcionamiento, previa autorización de los propietarios o colindantes, aguas abajo del lote.
- Sobre el derecho de vía del gasoducto se proyectará una estructura enterrada tipo bunker con una profundidad mayor a 5 metros, (a la cual se estima se encuentra la tubería existente), para alojar las válvulas del hottap y la válvula de cierre del gasoducto que permitirá la conexión de la estación de compresión al gasoducto de La Sabana.
- En el reservorio existente se conformará un terraplén, aproximadamente en el centro, que permita el paso de las tuberías que comunican el bunker con el cuarto de motores; a este terraplén se le incorporará un pase en tubería para la comunicación de los dos cuerpos de agua (box culvert que permita el flujo de agua del reservorio y de acceso vial al bunker del hottap con fines de inspección y mantenimiento).
- La provisión de agua potable se realizará desde el acueducto veredal o desde carro-tanques de agua que presten este servicio; de cualquier forma el agua llegará a un tanque subterráneo de 10 metros cúbicos de capacidad como mínimo donde se almacenará, para luego distribuirla en la red interna de la estación.
- En ausencia de alcantarillado en la zona, las aguas servidas serán tratadas por un tanque séptico para luego ser llevadas a un campo de infiltración en un área fuera del cerramiento de mampostería.
- Debido a que las máquinas del cuarto de motores estarán confinadas, se diseñará un sistema de ventilación, consistente en la instalación de extractores que se encarguen de reemplazar el aire caliente por aire fresco proveniente del ambiente

exterior. Adicionalmente se preverán rejillas lateralmente en la parte más alta para permitir una ventilación natural en caso de falla de los extractores.

- El diseño interno de las edificaciones deberá prever espacios generosos para el libre tránsito del personal y el mantenimiento de equipos; así mismo, se proyectarán las estructuras, plataformas y accesos necesarios para la operación y/o revisión de equipos, válvulas instrumentos, etc.
- El diseño deberá prever puertas traseras de salida del área encerrada en mampostería y del límite del lote hacia el derecho de vía y bunker.
- El cuarto de motores contará con un puente grúa de 10 toneladas de capacidad, diseñadas y construidas bajo las normas americanas de CMAA (CraneManufacturersAssociation of America, Inc); Construcción certificada para puente grúas por OSHAS y NACB (North American Crane Bureau).
- La altura mínima del cuarto de motores permitirá la operación cómoda, segura y bajo normas del puente grúa y no podrá ser inferior a seis metros en su parte más baja (6.0m). Las demás edificaciones tendrán una altura mínima de piso libre de 3.0 metros o mayor si la operación y mantenimiento lo requiere.
- El terraplén en material de préstamo que se realice para elevar el área de la estación, será en afirmado de acuerdo a las normas del INVIAS y para el área encerrada en mampostería tendrá como mínimo una altura de un metro sobre el nivel del terreno existente, de tal manera que el espesor total del relleno será la altura de este terraplén más el espesor de material reemplazado por la excavación.
- La estación contará con vías vehiculares y peatonales en el perímetro del área a construir, para el acceso a todas las zonas y edificios; todas las áreas exteriores deberán ser empedradas, a excepción del área dispuesta para las tuberías de entrada y salida del gas, la cual será en grava triturada de ¾" de caras angulosas y rugosas que permita un acceso seguro. Adicionalmente, se deberá garantizar que no sólo las áreas utilizadas por los contratistas para campamento u otro menester sean entregadas perfectamente empedradas.
- Las facilidades serán diseñadas para una vida útil de 20 años.
- En el cerramiento interno de la estación (muro en mampostería) se instalarán cámaras de seguridad que cubran todo el perímetro de la misma, para resguardar la seguridad física de la estación.
- Las edificaciones deberán ser construidas con muros tipo sandwich en concreto, de manera que se disminuyan las ondas de ruido que los equipos transmiten al entorno y se minimice la contaminación ambiental por esta causa. La excepción será el cuarto de motores, el cual deberá construirse con muros tipo fusible que protejan el entorno en caso de explosiones.

Los puntos de operación y control tales como aquellos donde están instalados válvulas, bridas, instrumentos, toma-muestras y drenajes, deberán ser ubicados de modo que esas

partes del sistema puedan ser operadas con mínima dificultad y a la menor altura ergonómica posible.

Además, dentro de las consideraciones de autonomía el sistema de tubería deberá ser proyectado de manera tal que cada porción del sistema pueda ser montado, reparado o remplazado con mínima dificultad. Deben proveerse espacios libres, como por ejemplo, en los compresores centrífugos o el filtro de succión, para permitir el mantenimiento de estos.

## **5. ESTUDIO FINANCIERO**

El presente capítulo correspondiente al análisis financiero que se aplicó al proyecto para analizar su viabilidad como plan a realizar y bajo qué características tecnológicas podría tener un escenario más favorable, es importante conocer los siguientes antecedentes y preceptos que fueron tenidos en cuenta.

Como se ha señalado en capítulos anteriores, TGI, cuenta con 3.774 kilómetros de Gasoductos, con 12 estaciones compresoras que permiten cumplir con la demanda actual de gas combustible ya sea industrial residencial o vehicular. El mayor consumidor de este recurso es la Sabana de Bogotá, por esta razón se hace necesario construir una nueva estación compresora en este sector del país.

Sobre este punto es importante, establecer que de acuerdo a las especificaciones técnicas de fabricación y puesta en marcha, los motores de compresión contarán con un mantenimiento (re potenciación) cada cinco (5) años, sin embargo, se podrán presentar mantenimientos previos en aquellos casos en que se presenten fallas anticipadas.

De otra parte, es importante señalar que para el Diseño y Montaje de la nueva estación compresora, no se consideró ningún tipo de financiamiento, no obstante, fue considerada la tasa preferencial de préstamo que le dan a TGI, la cual es del DTF más 2 puntos.

Otro aspecto a tener en cuenta, dentro de la evaluación del proyecto es el relacionado con lo innovador del sistema MOPICO, siendo la primera estación de esta tipo en Colombia, hablamos desde ya de esta tecnología como uno de los puntos importantes a ser considerados debido a la inclinación inicial por los resultados obtenidos en las pruebas y estudios técnicos. Sin embargo, en el transcurso de los cálculos y evaluaciones que se realizaran en el presente capítulo comprobaremos si la tecnología MOPICO definitivamente descarta a sus competidoras (Reciprocantes y Turbinas) mediante no solo un beneficio tecnológico sino también financiero.

En lo que respecta a la proyección de los ingresos que se presentan en la tabla de Ventas Estimadas, se tuvieron en cuenta los ingresos actuales en el sector de influencia del Gasoducto de La Sabana y los proyectados por el incremento de capacidad.

Todo el análisis del impacto financiero se centra en el costo de las unidades de compresión. A continuación se presentan las cifras presupuestadas (tabla 17) y sobre las cuales se basó la administración de TGI para tomar la decisión de instalar dos motores en la nueva estación de compresión de La Sabana.

PRESUPUESTO DEL PROYECTO.							
CBS	Descripción	Presupuesto estimado Inicial [COP*1000]	MOPICO PRELIMINAR		MOPICO AJUSTADO		Comentarios
			Presupuesto a nivel de Ing Const. Alternativa A		Presupuesto a nivel de Ing Const. Alternativa B		
			[COP*1000]	[EUR*1000]	[COP*1000]	[EUR*1000]	
	TRM	1.850,00		2.400,00		2.400,00	
<b>C</b>	<b>TOTAL PRESUPUESTO KUSD</b>	<b>57.086</b>	<b>57.007</b>		<b>54.585</b>		
<b>C</b>	<b>TOTAL PRESUPUESTO KCOP</b>	<b>105.609.200</b>	<b>105.463.020</b>		<b>100.982.676</b>		
<b>C</b>	<b>TOTAL PRESUPUESTO POR MONEDAS</b>	<b>105.609.200</b>	<b>71.113.716</b>	<b>14.312</b>	<b>71.113.716</b>	<b>12.445</b>	
<b>C1</b>	<b>GERENCIA Y SUPERVISIÓN DE PROYECTO</b>	<b>4.200.000</b>	<b>7.364.787</b>	-	<b>7.364.787</b>	-	
C101	Gestión y Administración TGI	1.500.000	1.997.443	-	1.997.443	-	
C102	Asesores	1.200.000	2.274.944	-	2.274.944	-	
C103	Interventoría	1.500.000	3.092.400	-	3.092.400	-	
<b>C2</b>	<b>GESTIÓN DEL ALCANCE, TIERRAS, SOCIAL</b>	<b>9.000.000</b>	<b>6.304.530</b>	-	<b>6.304.530</b>	-	
C201	Ingeniería Conceptual y EIA	1.000.000	641.384	-	641.384	-	
C20101	Ingeniería Conceptual	-	345.767	-	345.767	-	
C20102	Estudios de Impacto Ambiental	-	295.617	-	295.617	-	
C202	Compra del Lote	7.000.000	4.513.146	-	4.513.146	-	
C203	Inversión Social (Pagos al MAVDT)	750.000	750.000	-	750.000	-	
C204	Seguros (Todo Riesgo, Montaje y Lucro Cesante)	250.000	400.000	-	400.000	-	
<b>C3</b>	<b>CONTRATO EPC + SUMINISTRO MOPICO</b>	<b>76.141.000</b>	<b>44.550.769</b>	<b>14.312</b>	<b>44.550.769</b>	<b>12.445</b>	
C301	Gerencia del Proyecto	-	2.140.050	-	2.140.050	-	
C302	Ingeniería Básica	800.000	638.400	-	638.400	-	
C303	Ingeniería Detallada	2.200.000	1.750.400	-	1.750.400	-	
C304	Compras	48.391.000	7.708.100	14.312	7.708.100	12.445	Alternativa A: 15% por Administración del Constructor
<b>Ucompresión</b>	<b>Unidades de Compresión</b>	<b>38.591.000</b>	<b>-</b>	<b>14.312</b>	<b>-</b>	<b>12.445</b>	
C30402	Equipos Principales Mecánicos	9.800.000	3.585.000	-	3.585.000	-	En presupuesto inicial incluía C30403.
C30403	Equipos Principales Eléctricos, I&C	-	4.123.100	-	4.123.100	-	
C305	Construcción ECGSB	24.750.000	19.585.028	-	19.585.028	-	
C30501	Conexión al Gasoducto	750.000	1.450.000	-	1.450.000	-	
C30502	Construcción	24.000.000	18.135.028	-	18.135.028	-	En presupuesto inicial incluía todas las especialidades
C3050201	Disciplina Civil	-	8.145.700	-	8.145.700	-	
C3050202	Disciplina Mecánica y Tubería	-	5.849.328	-	5.849.328	-	
C3050203	Disciplina Eléctrica	-	1.840.000	-	1.840.000	-	
C3050204	Disciplina Instrumentación y Control	-	1.300.000	-	1.300.000	-	
C3050205	Precommissioning and Commissioning	-	1.000.000	-	1.000.000	-	
C306	AIU Construcción y Compras [C3]*40%	-	12.728.791	-	12.728.791	-	
<b>C4</b>	<b>AMPLIACIÓN CAPACIDAD COG COGUA</b>	<b>-</b>	<b>5.320.000</b>	<b>-</b>	<b>5.320.000</b>	<b>-</b>	
<b>C5</b>	<b>CONTINGENCIA PROYECTO (17% del EPC)</b>	<b>16.268.200</b>	<b>7.573.631</b>	<b>-</b>	<b>7.573.631</b>	<b>-</b>	

Tabla 17. Presupuesto del proyecto

Entre las alternativas, la diferencia principal se encuentra en las unidades de compresión cuyo costo en Euros asciende a EU\$14.312 para Reciprocantes y EU\$12.446 para Mopico.

PRESUPUESTO A NIVEL DE INGENIERIA CONCEPTUAL									
CBS	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario [USD]	Valor Unitario [EUR]	Valor TOTAL [EUR]	Valor Unitario [COP]	Valor Total [COP]	
	TRM				2.400,00				
<b>U</b>	<b>TOTAL FLUJO DE CAJA</b>								
<b>U</b>	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>								
<b>U</b>	<b>CONTRATO EPC + SUMINISTRO MOPICO</b>								
UC	Compras								
UC	Unidades de Compresión					12.445.400			
	Ingeniería para la manufactura de las unidades	Un.	1	-	330.000	330.000			-
	<b>Unidades de Compresión - FCA Suiza</b>	<b>Un.</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>3.900.000</b>	<b>7.800.000</b>	<b>9.360.000.000</b>	<b>18.720.000.000</b>	
	Ajustes y modificaciones a los equipos	Un.	2		200.000	400.000			-
	Costo de importación. Transporte marítimo, terrestre.	Un.	2	-	1.620.700	3.241.400			-
	Administración (10%)	Un.	2	-	-	-	-	-	-
	Acompañamiento al montaje y comisionamiento	Un.	180		1.800	324.000			-
	Costos de garantías, cartas de crédito y pólizas	GL	1		250.000	250.000			-
	Inspección de TGI / Inventoría al proceso de fabrica	GL	1		100.000	100.000			-
							<b>63%</b>	<b>Del Total de la Compresión</b>	

Tabla 18. Presupuesto a nivel de Ingeniería

En la tabla 18 se muestra el costo de los motores de compresión que asciende a EU\$7.800 y corresponde al 63% del total de la unidad de compresión. Este dato hace parte del total presupuestado (tabla 17) para la estación compresora.

## 5.1. Alternativas en evaluación

Para determinar la alternativa más favorable, se analizaron los costos de operación y mantenimiento por 20 años cada uno de estos contando con 331 días operativos (331 Días/Año) aumentando de manera progresiva conforme aumenta la demanda (estos incrementos fueron consideración interna de la empresa basados en análisis de estudios y experiencias anteriores), adicional los costos de lubricantes, energía (combustibles) y otros menores, se realizó el cálculo del valor presente en cada proyección y se obtuvo \$34.130 millones para la opción mopico, siendo esta la más rentable.

Tasa		15,56% Costo de oportunidad										
Tipo de equipos	concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Reciprocantes	Costo inversión	\$16.800.000										
	O&M		1.144.865	1.190.659	1.238.286	1.287.817	1.339.330	1.392.903	1.448.619	1.506.564	1.566.827	1.629.500
	Lubricantes		98.027	100.968	103.997	107.117	110.330	113.640	117.049	120.561	124.178	127.903
	Mantenimientos menores		432.432	449.730	467.719	486.428	505.885	526.120	547.165	569.052	591.814	615.486
	Overhaul (repotenciación)		0	0	0	0	2.162.162	0	0	0	0	2.270.270
	Elementos consumibles		378.378	385.946	393.665	401.538	409.569	417.760	426.116	434.638	443.331	452.197
	Energía		2.901.622	2.988.670	3.078.330	3.170.680	3.265.801	3.363.775	3.464.688	3.568.629	3.675.687	3.785.958
	Total Proyecto	16.800.000	4.955.324	5.115.973	5.281.997	5.453.580	7.793.077	5.814.199	6.003.637	6.199.443	6.401.836	8.881.314
<b>VPN</b>	<b>\$54.842.691</b>											
Mopico	Costo inversión	\$18.720.000										
	O&M		1.144.865	1.144.865	572.432	595.330	619.143	643.909	669.665	696.452	724.310	753.282
	Lubricantes		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mantenimientos menores		120.000	132.000	145.200	159.720	175.692	193.261	212.587	233.846	257.231	282.954
	Overhaul (repotenciación)		0	0	0	0	450.000	0	0	0	0	517.500
	Elementos Consumibles		60.000	62.400	64.896	67.492	70.192	72.999	75.919	78.956	82.114	85.399
	Energía		1.878.649	1.935.008	1.993.058	2.052.850	2.114.436	2.177.869	2.243.205	2.310.501	2.379.816	2.451.210
	Total Proyecto	18.720.000	3.203.514	3.274.273	2.775.587	2.875.392	3.429.462	3.088.038	3.201.376	3.319.754	3.443.470	4.090.345
<b>VPN</b>	<b>\$39.439.910</b>											
Turbinas	Costo inversión	\$28.350.000										
	O&M		1.144.865	1.190.659	1.238.286	1.287.817	1.339.330	1.392.903	1.448.619	1.506.564	1.566.827	1.629.500
	Lubricantes		167.568		172.595		177.772		183.106		188.599	
	Mantenimientos menores		324.324	343.784	364.411	386.275	409.452	434.019	460.060	487.664	516.924	547.939
	Overhaul		0	0	0	0	1.900.000	0	0	0	0	1.900.000
	Elementos consumibles		240.000	244.800	249.696	254.690	259.784	264.979	270.279	275.685	281.198	286.822
	Energía		2.000.000	2.060.000	2.121.800	2.185.454	2.251.018	2.318.548	2.388.105	2.459.748	2.533.540	2.609.546
	Total Proyecto	28.350.000	3.876.757	3.839.243	4.146.787	4.114.237	6.337.356	4.410.450	4.750.169	4.729.660	5.087.088	6.973.807
<b>VPN</b>	<b>\$58.078.913,71</b>											

Tabla 19 A. Alternativas - Año 0 al 10

15,56% Costo de oportunidad												
concepto	Año 0	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	TOTAL
Costo inversión	\$16.800.000											
O&M		1.694.680	1.762.467	1.832.966	1.906.284	1.982.536	2.061.837	2.144.310	2.230.083	2.319.286	2.412.058	34.091.876
Lubricantes		131.740	135.692	139.763	143.956	148.275	152.723	157.305	162.024	166.884	171.891	2.634.023
Mantenimientos menores		640.106	665.710	692.338	720.032	748.833	778.786	809.938	842.335	876.029	911.070	12.877.007
Overhaul (repotenciación)		0	0	0	0	2.383.784	0	0	0	0	2.502.973	9.319.189
Elementos consumibles		461.241	470.466	479.875	489.473	499.262	509.247	519.432	529.821	540.417	551.226	9.193.599
Energía		3.899.537	4.016.523	4.137.019	4.261.129	4.388.963	4.520.632	4.656.251	4.795.938	4.939.817	5.088.011	77.967.660
Total Proyecto	16.800.000	6.827.303	7.050.858	7.281.961	7.520.874	10.151.652	8.023.226	8.287.236	8.560.201	8.842.433	11.637.228	146.083.354
<b>VPN</b>	<b>\$54.842.691</b>											
Costo inversión	\$18.720.000											
O&M		783.413	814.750	847.340	881.233	916.483	953.142	991.268	1.030.918	1.072.155	1.115.041	16.969.996
Lubricantes		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mantenimientos menores		311.249	342.374	376.611	414.273	455.700	501.270	551.397	606.536	667.190	733.909	6.873.000
Overhaul (repotenciación)		0	0	0	0	595.125	0	0	0	0	684.394	2.247.019
Elementos Consumibles		88.815	92.367	96.062	99.904	103.901	108.057	112.379	116.874	121.549	126.411	1.786.685
Energía		2.524.747	2.600.489	2.678.504	2.758.859	2.841.625	2.926.873	3.014.680	3.105.120	3.198.274	3.294.222	50.479.993
Total Proyecto	18.720.000	3.708.224	3.849.980	3.998.517	4.154.269	4.912.833	4.489.342	4.669.723	4.859.449	5.059.168	5.953.977	78.356.692
<b>VPN</b>	<b>\$39.439.910</b>											
Costo inversión	\$28.350.000											
O&M		1.694.680	1.762.467	1.832.966	1.906.284	1.982.536	2.061.837	2.144.310	2.230.083	2.319.286	2.412.058	34.091.876
Lubricantes		194.257		200.084		206.087		212.270		218.638	0	1.920.974
Mantenimientos menores		580.815	615.664	652.604	691.761	733.266	777.262	823.898	873.332	925.732	981.276	11.930.462
Overhaul		0	0	0	0	1.900.000	0	0	0	0	1.900.000	7.600.000
Elementos consumibles		292.559	298.410	304.378	310.466	316.675	323.008	329.469	336.058	342.779	349.635	5.831.369
Energía		2.687.833	2.768.468	2.851.522	2.937.067	3.025.179	3.115.935	3.209.413	3.305.695	3.404.866	3.507.012	53.740.749
Total Proyecto	28.350.000	5.450.143	5.445.009	5.841.554	5.845.578	8.163.743	6.278.042	6.719.359	6.745.168	7.211.301	9.149.980	115.115.430
<b>VPN</b>	<b>\$58.078.913,71</b>											

Tabla 20 B. Alternativas - Año 11 al 20

A continuación se pretende mostrar (en miles de pesos) el ahorro en costos de operación y mantenimiento, al elegir la opción mopico. La Empresa en términos de valor presente neto se evitará costos por \$13.329 millones equivalentes a \$67.726 millones en los 20 años proyectados.

Tasa	15,56%	Costo de oportunidad										
Tipo de equipos	Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>Reciporantes</b>	Costo inversión	\$16.800.000										
	O&M		1.144.865	1.190.659	1.238.286	1.287.817	1.339.330	1.392.903	1.448.619	1.506.564	1.566.827	1.629.500
	Lubricantes		98.027	100.968	103.997	107.117	110.330	113.640	117.049	120.561	124.178	127.903
	Mantenimientos menores		432.432	449.730	467.719	486.428	505.885	526.120	547.165	569.052	591.814	615.486
	Overhaul (repotenciación)		0	0	0	0	2.162.162	0	0	0	0	2.270.270
	Elementos consumibles		378.378	385.946	393.665	401.538	409.569	417.760	426.116	434.638	443.331	452.197
	Energía (gas)		2.901.622	2.988.670	3.078.330	3.170.680	3.265.801	3.363.775	3.464.688	3.568.629	3.675.687	3.785.958
	<b>Total Proyecto</b>	<b>16.800.000</b>	<b>4.955.324</b>	<b>5.115.973</b>	<b>5.281.997</b>	<b>5.453.580</b>	<b>7.793.077</b>	<b>5.814.199</b>	<b>6.003.637</b>	<b>6.199.443</b>	<b>6.401.836</b>	<b>8.881.314</b>
<b>VPN</b>	<b>\$61.856.569</b>											
<b>Mopico</b>	Costo inversión (2 MOTORES)	\$18.720.000										
	O&M		1.144.865	1.144.865	572.432	595.330	619.143	643.909	669.665	696.452	724.310	753.282
	Lubricantes		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mantenimientos menores		120.000	132.000	145.200	159.720	175.692	193.261	212.587	233.846	257.231	282.954
	Overhaul (repotenciación)		0	0	0	0	450.000	0	0	0	0	517.500
	Elementos Consumibles		60.000	62.400	64.896	67.492	70.192	72.999	75.919	78.956	82.114	85.399
	Energía (electricidad)		3.475.500	3.579.765	3.687.158	3.797.773	3.911.706	4.029.057	4.149.929	4.274.427	4.402.659	4.534.739
	<b>Total Proyecto</b>	<b>18.720.000</b>	<b>4.800.365</b>	<b>4.919.030</b>	<b>4.469.686</b>	<b>4.620.314</b>	<b>5.226.732</b>	<b>4.939.226</b>	<b>5.108.100</b>	<b>5.283.680</b>	<b>5.466.314</b>	<b>6.173.874</b>
<b>VPN</b>	<b>\$56.705.602</b>											
<b>Ahorros</b>	Costo inversión	-\$1.920.000										
	O&M		0	45.795	665.853	692.488	720.187	748.995	778.954	810.112	842.517	876.218
	Lubricantes		98.027	100.968	103.997	107.117	110.330	113.640	117.049	120.561	124.178	127.903
	Mantenimientos menores		312.432	317.730	322.519	326.708	330.193	332.859	334.578	335.206	334.583	332.532
	Overhaul (repotenciación)		0	0	0	0	1.712.162	0	0	0	0	1.752.770
	Elementos consumibles		318.378	323.546	328.769	334.046	339.377	344.761	350.196	355.682	361.216	366.798
	Energía		-573.878	-591.095	-608.828	-627.092	-645.905	-665.282	-685.241	-705.798	-726.972	-748.781
	<b>Total Ahorro</b>	<b>-1.920.000</b>	<b>154.959</b>	<b>196.943</b>	<b>812.310</b>	<b>833.266</b>	<b>2.566.345</b>	<b>874.972</b>	<b>895.537</b>	<b>915.763</b>	<b>935.522</b>	<b>2.707.441</b>
<b>VPN</b>	<b>\$5.150.967</b>											

Tabla 21 A. Elección - Año 0 al 10

Tasa		15,56% Costo de oportunidad											
Tipo de equipos	Concepto	Año 0	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Total
<b>Reciporantes</b>	Costo inversión	\$16.800.000											
	O&M		1.694.680	1.762.467	1.832.966	1.906.284	1.982.536	2.061.837	2.144.310	2.230.083	2.319.286	2.412.058	34.091.876
	Lubricantes		131.740	135.692	139.763	143.956	148.275	152.723	157.305	162.024	166.884	171.891	2.634.023
	Mantenimientos menores		640.106	665.710	692.338	720.032	748.833	778.786	809.938	842.335	876.029	911.070	12.877.007
	Overhaul (repotenciación)		0	0	0	0	2.383.784	0	0	0	0	2.502.973	9.319.189
	Elementos consumibles		461.241	470.466	479.875	489.473	499.262	509.247	519.432	529.821	540.417	551.226	9.193.599
	Energía (gas)		3.899.537	4.016.523	4.137.019	4.261.129	4.388.963	4.520.632	4.656.251	4.795.938	4.939.817	5.088.011	77.967.660
	Total Proyecto	16.800.000	6.827.303	7.050.858	7.281.961	7.520.874	10.151.652	8.023.226	8.287.236	8.560.201	8.842.433	11.637.228	146.083.354
<b>VPN</b>	<b>\$61.856.569</b>												
<b>Mopico</b>	Costo inversión (2 MOTORES)	\$18.720.000											
	O&M		783.413	814.750	847.340	881.233	916.483	953.142	991.268	1.030.918	1.072.155	1.115.041	16.969.996
	Lubricantes		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mantenimientos menores		311.249	342.374	376.611	414.273	455.700	501.270	551.397	606.536	667.190	733.909	6.873.000
	Overhaul (repotenciación)		0	0	0	0	595.125	0	0	0	0	684.394	2.247.019
	Elementos Consumibles		88.815	92.367	96.062	99.904	103.901	108.057	112.379	116.874	121.549	126.411	1.786.685
	Energía (electricidad)		4.670.781	4.810.905	4.955.232	5.103.889	5.257.006	5.414.716	5.577.157	5.744.472	5.916.806	6.094.310	93.387.987
	Total Proyecto	18.720.000	5.854.258	6.060.396	6.275.245	6.499.299	7.328.214	6.977.184	7.232.201	7.498.801	7.777.700	8.754.065	121.264.686
<b>VPN</b>	<b>\$56.705.602</b>												
<b>Ahorros</b>	Costo inversión	-\$1.920.000											
	O&M		911.266	947.717	985.626	1.025.051	1.066.053	1.108.695	1.153.043	1.199.164	1.247.131	1.297.016	17.121.880
	Lubricantes		131.740	135.692	139.763	143.956	148.275	152.723	157.305	162.024	166.884	171.891	2.634.023
	Mantenimientos menores		328.857	323.336	315.727	305.759	293.133	277.517	258.541	235.799	208.839	177.161	6.004.007
	Overhaul (repotenciación)		0	0	0	0	1.788.659	0	0	0	0	1.818.579	7.072.170
	Elementos consumibles		372.426	378.099	383.813	389.568	395.362	401.191	407.054	412.947	418.869	424.815	7.406.915
	Energía		-771.245	-794.382	-818.213	-842.760	-868.043	-894.084	-920.906	-948.534	-976.990	-1.006.299	-15.420.327
	Total Ahorro	-1.920.000	973.045	990.462	1.006.716	1.021.575	2.823.439	1.046.041	1.055.036	1.061.401	1.064.733	2.883.163	24.818.668
<b>VPN</b>	<b>\$5.150.967</b>												

Tabla 22 B. Elección - Año 11 al 20

## 5.2. Ingresos, costos y consideraciones financieras

Para calcular los ingresos o beneficios del proyecto, tomamos el incremento de la capacidad y la multiplicamos por la tarifa, tanto la porción fija (en USD) como la variable (en COP) (tabla 21), de esta forma se estimó el ingreso por los siguientes 20 años (tabla 22), se utilizó una devaluación del 2% y una inflación del 4%.

	Con EC	Actual	Adicional
Capacidad Adicional	270	140	130
Tarifa USD/KPC /mes			9
Tarifa COP/KPC / mes			4.415
Ingreso mensual USD			USD 1.170
Ingreso mensual COP			\$ 573.950

**Tabla 23. Proyección ingresos**

AÑO	TRM	Devaluación	IPC	Ingreso anual	Ingreso anual	Total
año 1	\$ 1.850	2%	4%	\$ 25.974.000	\$ 6.887.400	\$ 32.861.400
año 2	1.887			26.493.480	7.162.896	33.656.376
año 3	1.925			27.023.350	7.449.412	34.472.761
año 4	1.963			27.563.817	7.747.388	35.311.205
año 5	2.002			28.115.093	8.057.284	36.172.377
año 6	2.043			28.677.395	8.379.575	37.056.970
año 7	2.083			29.250.943	8.714.758	37.965.701
año 8	2.125			29.835.962	9.063.349	38.899.310
año 9	2.168			30.432.681	9.425.882	39.858.563

año 10	2.211			31.041.334	9.802.918	40.844.252
año 11	2.255			31.662.161	10.195.034	41.857.196
año 12	2.300			32.295.404	10.602.836	42.898.240
año 13	2.346			32.941.312	11.026.949	43.968.262
año 14	2.393			33.600.139	11.468.027	45.068.166
año 15	2.441			34.272.141	11.926.748	46.198.890
año 16	2.490			34.957.584	12.403.818	47.361.403
año 17	2.540			35.656.736	12.899.971	48.556.707
año 18	2.590			36.369.871	13.415.970	49.785.840
año 19	2.642			37.097.268	13.952.609	51.049.877
año 20	2.695			37.839.213	14.510.713	52.349.926

**Tabla 24. Ventas adicionales Estimadas**

En cuanto al total de costos y gastos por operación y mantenimiento, adicional los costos de depreciación (activos fijos) y amortización (re potenciación) requeridos en los 20 años proyectados.

IPC	3%
Incremento O&M	4%
Incremento lubricantes	10%

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Costos y Gastos</b>											
Costo inversión (2 MOTORES)	18.720.000										
O&M		1.144.865	1.144.865	572.432	595.330	619.143	643.909	669.665	696.452	724.310	753.282
Lubricantes		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mantenimientos menores		120.000	132.000	145.200	159.720	175.692	193.261	212.587	233.846	257.231	282.954
Overhaul (repotenciación)		0	0	0	0	450.000	0	0	0	0	517.500
Elementos Consumibles		60.000	62.400	64.896	67.492	70.192	72.999	75.919	78.956	82.114	85.399
Energía (electricidad)		3.475.500	3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765
<b>Total Costos y Gastos</b>	<b>18.720.000</b>	<b>4.800.365</b>	<b>4.919.030</b>	<b>4.362.293</b>	<b>4.402.307</b>	<b>4.894.791</b>	<b>4.489.934</b>	<b>4.537.936</b>	<b>4.589.019</b>	<b>4.643.419</b>	<b>5.218.899</b>
<b>Total Gastos Variables</b>	<b>18.720.000</b>	<b>4.680.365</b>	<b>4.787.030</b>	<b>4.217.093</b>	<b>4.242.587</b>	<b>4.719.099</b>	<b>4.296.673</b>	<b>4.325.349</b>	<b>4.355.172</b>	<b>4.386.189</b>	<b>4.935.946</b>
<b>Total Gastos Fijos</b>	<b>0</b>	<b>120.000</b>	<b>132.000</b>	<b>145.200</b>	<b>159.720</b>	<b>175.692</b>	<b>193.261</b>	<b>212.587</b>	<b>233.846</b>	<b>257.231</b>	<b>282.954</b>
<b>Depreciación</b>		936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000
<b>Amortización</b>		0	0	0	0	90.000	90.000	90.000	90.000	90.000	103.500
<b>Total Depreciación + Amortización</b>	<b>0</b>	<b>936.000</b>	<b>936.000</b>	<b>936.000</b>	<b>936.000</b>	<b>1.026.000</b>	<b>1.026.000</b>	<b>1.026.000</b>	<b>1.026.000</b>	<b>1.026.000</b>	<b>1.039.500</b>

Tabla 25 A. Costos y gastos operativos presupuestados años 0 al 10

IPC	3%
Incremento O&M	4%
Incremento lubricantes	10%

Concepto	0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Costos y Gastos</b>											
Costo inversión (2 MOTORES)	18.720.000										
O&M		783.413	814.750	847.340	881.233	916.483	953.142	991.268	1.030.918	1.072.155	1.115.041
Lubricantes		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mantenimientos menores		311.249	342.374	376.611	414.273	455.700	501.270	551.397	606.536	667.190	733.909
Overhaul (repotenciación)		0	0	0	0	595.125	0	0	0	0	684.394
Elementos Consumibles		88.815	92.367	96.062	99.904	103.901	108.057	112.379	116.874	121.549	126.411
Energía (electricidad)		3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765	3.579.765
<b>Total Costos y Gastos</b>	<b>18.720.000</b>	<b>4.763.242</b>	<b>4.829.256</b>	<b>4.899.778</b>	<b>4.975.175</b>	<b>5.650.973</b>	<b>5.142.233</b>	<b>5.234.808</b>	<b>5.334.094</b>	<b>5.440.659</b>	<b>6.239.520</b>
<b>Total Gastos Variables</b>	<b>18.720.000</b>	<b>4.451.993</b>	<b>4.486.882</b>	<b>4.523.167</b>	<b>4.560.903</b>	<b>5.195.273</b>	<b>4.640.964</b>	<b>4.683.412</b>	<b>4.727.558</b>	<b>4.773.469</b>	<b>5.505.611</b>
<b>Total Gastos Fijos</b>	<b>0</b>	<b>311.249</b>	<b>342.374</b>	<b>376.611</b>	<b>414.273</b>	<b>455.700</b>	<b>501.270</b>	<b>551.397</b>	<b>606.536</b>	<b>667.190</b>	<b>733.909</b>
<b>Depreciación</b>		936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000
<b>Amortización</b>		103.500	103.500	103.500	103.500	119.025	119.025	119.025	119.025	119.025	136.879
<b>Total Depreciación + Amortización</b>	<b>0</b>	<b>1.039.500</b>	<b>1.039.500</b>	<b>1.039.500</b>	<b>1.039.500</b>	<b>1.055.025</b>	<b>1.055.025</b>	<b>1.055.025</b>	<b>1.055.025</b>	<b>1.055.025</b>	<b>1.072.879</b>

Tabla 26 B. Costos y gastos operativos presupuestados años 11 al 20

Debido a que las unidades de compresión son de origen extranjero se tiene en como inversión inicial del proyecto el costo por la importación de estas.

**INVERSIÓN FIJA DEL PROYECTO**

Concepto	Cantidad	Vr unitario (EUR)	Valor total (EUR)	Tasa cambio	Valor total (COL)
Unidades de Compresión - FCA Suiza	2	3.900.000	7.800.000	2.400	18.720.000

**Tabla 27. Inversión inicial**

En la tabla 25 se detalla los conceptos de los gastos pre-operativos requeridos para el estudio de la viabilidad del proyecto.

Concepto	Valor
<b>Análisis de factibilidad</b>	<b>95.000</b>
Estudio de suelos	80.000
Licencias	10.000
Cotizaciones	5.000
<b>Diseños</b>	<b>60.000</b>
<b>Capacitación</b>	<b>20.000</b>
<b>Viáticos y gastos de viaje</b>	<b>30.000</b>
<b>Total Inversión Pre Operativa</b>	<b>205.000</b>

**Tabla 28. Inversión pre-operativa**

El costo total inicial del proyecto (unidades de compresión) asciende a \$18.925 millones y su composición se detalla en la tabla 25.

Considerando que no se requiere financiación, que la inversión fija del proyecto es la más adecuada y corresponde a unidades de compresión de última tecnología las cuales se re potenciarán cada cinco (5) para prolongar su vida útil (estimada en máximo 50 años), el plazo que se le dará a la evaluación del proyecto será de 20 años (Consideraciones y criterios internos de la empresa TGI).

La administración de la Empresa determinó que la tasa de oportunidad para evaluar este proyecto del 15,56%. La tasa de financiación cuando lo necesite la Empresa es DTF mas 2% equivalentes al 7,5% según mercado vigente.

<b>Tasa de Descuento del Proyecto</b>	
Inversión Total	18.925.000
Financiación Bancaria	0
Recursos de la empresa	18.925.000
Tasa bancaria	7,5%
Prima de Riesgo	8,1%
Rentabilidad Esperada	15,56%
<b>WACC</b>	<b>15,56%</b>

**Tabla 29. Tasas para la evaluación del proyecto**

A continuación se mostrará la recuperación por posible venta de las unidades de compresión al término de los 20 años proyectados de vida útil. Por los mantenimientos y las re potenciaciones realizadas a las unidades, los motores estarán en perfectas condiciones de operación y su nueva vida útil será similar a la de una máquina nueva. El valor en libros será cero toda vez que la depreciación se proyectó a 20 años.

Unidades de compresión	Valor
Unidades de compresión	18.720.000
<b>Total Equipos (CAPEX)</b>	<b>18.720.000</b>

Preoperativos	Valor
Preoperativos	205.000
<b>Total Equipos (CAPEX)</b>	<b>205.000</b>

Resumen Inversión	Años	Total Inversión	Depreciación anual
Unidades de compresión	20	18.720.000	936.000
Preoperativos	1	205.000	205.000

DEPRECIACIÓN MAQUINARIA Y EQUIPO		
Periodo	Depreciación Acumulada	Vr Libros
1	936.000	17.784.000
2	1.872.000	16.848.000
3	2.808.000	15.912.000
4	3.744.000	14.976.000
5	4.680.000	14.040.000
6	5.616.000	13.104.000
7	6.552.000	12.168.000
8	7.488.000	11.232.000
9	8.424.000	10.296.000
10	9.360.000	9.360.000
11	10.296.000	8.424.000
12	11.232.000	7.488.000
13	12.168.000	6.552.000
14	13.104.000	5.616.000
15	14.040.000	4.680.000
16	14.976.000	3.744.000
17	15.912.000	2.808.000
18	16.848.000	1.872.000
19	17.784.000	936.000
20	18.720.000	0

AMORTIZACION PREOPERATIVOS		
Periodo	Amortización Acumulada	Vr Libros
1	205.000	0

Tabla 30. Depreciación y amortización

Método Contable		MOPICO					RECIPROCANTE
Concepto	Costo de adquisición	Vida útil	Depreciación Anual	Depreciación Acumulada	Valor en libros	Costo de adquisición	
Maquinaria y Equipo	18.720.000	20	936.000	18.720.000	0	16.800.000	
Preoperativos	205.000	1	205.000	205.000	0	205.000	
<b>Total Inversión Fija</b>	<b>18.925.000</b>		<b>1.141.000</b>	<b>18.925.000</b>	<b>0</b>	<b>17.005.000</b>	

Método Comercial		55.096.755		49.445.806	
Concepto	Valor	Concepto	Valor	Concepto	Valor
Inflación a 31 de Diciembre 2011	3,73%	Inflación a 31 de Diciembre 2011	3,73%	Inflación a 31 de Diciembre 2011	3,73%
Inflación más 3 Puntos	6,73%	Inflación más 3 Puntos	6,73%	Inflación más 3 Puntos	6,73%
Maquinaria y Equipo	936.000	Maquinaria y Equipo	840.000	Maquinaria y Equipo	840.000
Preoperativos	205.000	Preoperativos	205.000	Preoperativos	205.000
Total inversión	68.870.944	Total inversión	61.807.257	Total inversión	61.807.257
Valor Estimado en Venta	68.870.944	Valor Estimado en Venta	61.807.257	Valor Estimado en Venta	61.807.257
Valor en Libros contables	0	Valor en Libros contables	0	Valor en Libros contables	0
Utilidad en Venta	68.870.944	Utilidad en Venta	61.807.257	Utilidad en Venta	61.807.257
Impuesto a Pagar (20% Ganancias Ocasionales)	13.774.189	Impuesto a Pagar (20% Ganancias Ocasionales)	12.361.451	Impuesto a Pagar (20% Ganancias Ocasionales)	12.361.451
<b>Valor de Recuperación (Inversión Fija)</b>	<b>55.096.755</b>	<b>Valor de Recuperación (Inversión Fija)</b>	<b>49.445.806</b>	<b>Valor de Recuperación (Inversión Fija)</b>	<b>49.445.806</b>

Tabla 31. Valor de recuperación

### **5.3. Flujos de Caja**

Los flujos de caja detallan los ingresos proyectados por 20 años al igual que los gastos y costos por el mismo término su diferencia representa la utilidad antes de impuestos sobre la cual se calcula el impuesto de renta y se obtiene la utilidad neta.

A la utilidad neta se le restan las partidas que no representan salidas efectivas de caja obteniendo así el flujo neto por cada año.

Los valores obtenidos con flujo neto se traen a valor presente utilizando la tasa de oportunidad mencionada en la tabla 26 y obtenemos de esta forma una TIR del 22,17% para el proyecto con maquinaria de tecnología Mopico.

Impuesto de renta	33%
-------------------	-----

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Ingresos</b>											
1 Ingresos por servicios	0	32.861.400	33.656.376	34.472.761	35.311.205	36.172.377	37.056.970	37.965.701	38.899.310	39.858.563	40.844.252
2 Venta de Activo											
<b>3 Total Ingresos</b>	<b>0</b>	<b>32.861.400</b>	<b>33.656.376</b>	<b>34.472.761</b>	<b>35.311.205</b>	<b>36.172.377</b>	<b>37.056.970</b>	<b>37.965.701</b>	<b>38.899.310</b>	<b>39.858.563</b>	<b>40.844.252</b>
<b>Egresos</b>											
4 Costos y Gastos Variables	18.720.000	3.083.514	3.142.273	2.572.337	2.597.830	3.074.343	2.651.916	2.680.592	2.710.416	2.741.432	3.291.189
5 Costos y Gastos Fijos	0	120.000	132.000	145.200	159.720	175.692	193.261	212.587	233.846	257.231	282.954
6 Depreciacion y Amortizacion	0	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000
7 Valor en Libros Activos Vendidos											
<b>8 Total Egresos (4)+(5)+(6)+(7)</b>	<b>18.720.000</b>	<b>4.139.514</b>	<b>4.210.273</b>	<b>3.653.537</b>	<b>3.693.550</b>	<b>4.186.035</b>	<b>3.781.177</b>	<b>3.829.180</b>	<b>3.880.262</b>	<b>3.934.663</b>	<b>4.510.143</b>
<b>9 Utilidad Operativa (U.A.I.) (3)-(8)</b>	<b>-18.720.000</b>	<b>28.721.886</b>	<b>29.446.103</b>	<b>30.819.225</b>	<b>31.617.655</b>	<b>31.986.342</b>	<b>33.275.793</b>	<b>34.136.521</b>	<b>35.019.048</b>	<b>35.923.901</b>	<b>36.334.110</b>
10 (-) Pago de Intereses Prestamo bancario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>11 Utilidad Antes de Impuestos (U.A.I.) (9)-(10)</b>	<b>-18.720.000</b>	<b>28.721.886</b>	<b>29.446.103</b>	<b>30.819.225</b>	<b>31.617.655</b>	<b>31.986.342</b>	<b>33.275.793</b>	<b>34.136.521</b>	<b>35.019.048</b>	<b>35.923.901</b>	<b>36.334.110</b>
12 (-) Impuesto Renta	0	9.478.223	9.717.214	10.170.344	10.433.826	10.555.493	10.981.012	11.265.052	11.556.286	11.854.887	11.990.256
<b>13 Utilidad Neta (11)-(12)</b>	<b>-18.720.000</b>	<b>19.243.664</b>	<b>19.728.889</b>	<b>20.648.881</b>	<b>21.183.829</b>	<b>21.430.849</b>	<b>22.294.781</b>	<b>22.871.469</b>	<b>23.462.762</b>	<b>24.069.013</b>	<b>24.343.853</b>
<b>Ajustes Contables</b>											
14 (+) Depreciaciones y Amortizacion (6)	0	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000
15 (+) Valor en Libros Activos Vendidos (7)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 (-) Inversiones											
17 Maquinaria y equipo (Estacion compresora)	-82.262.676										
18 Vehiculos	0										
19 Capital de Trabajo	0										
20 Software	0										
21 Gastos Preoperativos	-205.000										
<b>22 Total Inversiones (17)+(18)+...(21)</b>	<b>-82.467.676</b>										
23 (+) Ingresos por Recursos de Creditos	0										
24 (+) Recuperacion de Capital de Trabajo	0										
25 (+) Valor de Recuperacion por Ventas de Activos											
<b>26 (-) abono a capital prestamo</b>											
<b>Flujo Neto de Caja</b>											
<b>(13)+(14)+(15)+(22)+(23)+(24)+(35)-(26)</b>	<b>-101.187.676</b>	<b>20.179.664</b>	<b>20.664.889</b>	<b>21.584.881</b>	<b>22.119.829</b>	<b>22.366.849</b>	<b>23.230.781</b>	<b>23.807.469</b>	<b>24.398.762</b>	<b>25.005.013</b>	<b>25.279.853</b>

<b>VALOR PRESENTE NETO</b>	<b>43.048.857</b>
<b>TIR</b>	<b>22,16%</b>

Tabla 32 A. Flujo de caja (Mopico)

Impuesto de renta	33%
-------------------	-----

Concepto	0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Ingresos</b>											
1 Ingresos por servicios	0	40.844.252	41.857.196	42.898.240	43.968.262	45.068.166	46.198.890	47.361.403	48.556.707	49.785.840	51.049.877
2 Venta de Activo											0
<b>3 Total Ingresos</b>	<b>0</b>	<b>40.844.252</b>	<b>41.857.196</b>	<b>42.898.240</b>	<b>43.968.262</b>	<b>45.068.166</b>	<b>46.198.890</b>	<b>47.361.403</b>	<b>48.556.707</b>	<b>49.785.840</b>	<b>51.049.877</b>
<b>Egresos</b>											
4 Costos y Gastos Variables	18.720.000	2807236,076	2842125,194	2878409,878	2916145,95	3550516,462	2996206,796	3038654,744	3082800,609	3128712,309	3860854,227
5 Costos y Gastos Fijos	0	311.249	342.374	376.611	414.273	455.700	501.270	551.397	606.536	667.190	733.909
6 Depreciacion y Amortizacion	0	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000
7 Valor en Libros Activos Vendidos											0
<b>8 Total Egresos (4)+(5)+(6)+(7)</b>	<b>18.720.000</b>	<b>4.054.485</b>	<b>4.120.499</b>	<b>4.191.021</b>	<b>4.266.418</b>	<b>4.942.216</b>	<b>4.433.477</b>	<b>4.526.052</b>	<b>4.625.337</b>	<b>4.731.902</b>	<b>5.530.763</b>
<b>9 Utilidad Operativa (U.A.I.I.) (3)-(8)</b>	<b>-18.720.000</b>	<b>36.789.767</b>	<b>37.736.696</b>	<b>38.707.219</b>	<b>39.701.843</b>	<b>40.125.950</b>	<b>41.765.413</b>	<b>42.835.351</b>	<b>43.931.370</b>	<b>45.053.938</b>	<b>45.519.113</b>
10 (-) Pago de Intereses Prestamo bancario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>11 Utilidad Antes de Impuestos (U.A.I.) (9)-(10)</b>	<b>-18.720.000</b>	<b>36.789.767</b>	<b>37.736.696</b>	<b>38.707.219</b>	<b>39.701.843</b>	<b>40.125.950</b>	<b>41.765.413</b>	<b>42.835.351</b>	<b>43.931.370</b>	<b>45.053.938</b>	<b>45.519.113</b>
12 (-) Impuesto Renta	0	12.140.623	12.453.110	12.773.382	13.101.608	13.241.563	13.782.586	14.135.666	14.497.352	14.867.800	15.021.307
<b>13 Utilidad Neta (11)-(12)</b>	<b>-18.720.000</b>	<b>24.649.144</b>	<b>25.283.587</b>	<b>25.933.837</b>	<b>26.600.235</b>	<b>26.884.386</b>	<b>27.982.827</b>	<b>28.699.685</b>	<b>29.434.018</b>	<b>30.186.139</b>	<b>30.497.806</b>
<b>Ajustes Contables</b>											
14 (+) Depreciaciones y Amortizacion (6)	0	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000	936.000
15 (+) Valor en Libros Activos Vendidos (7)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 (-) Inversiones											
17 Maquinaria y equipo (Estacion compresora)	-82.262.676										
18 Vehiculos	0										
19 Capital de Trabajo	0										
20 Software	0										
21 Gastos Preoperativos	-205.000										
<b>22 Total Inversiones (17)+(18)+...(21)</b>	<b>-82.467.676</b>										
23 (+) Ingresos por Recursos de Creditos	0										
24 (+) Recuperacion de Capital de Trabajo	0										
25 (+) Valor de Recuperacion por Ventas de Activos											55.096.755
<b>26 (-) abono a capital prestamo</b>											
<b>Flujo Neto de Caja</b>											
<b>(13)+(14)+(15)+(22)+(23)+(24)+(35)-(26)</b>	<b>-101.187.676</b>	<b>25.585.144</b>	<b>26.219.587</b>	<b>26.869.837</b>	<b>27.536.235</b>	<b>27.820.386</b>	<b>28.918.827</b>	<b>29.635.685</b>	<b>30.370.018</b>	<b>31.122.139</b>	<b>86.530.561</b>

<b>VALOR PRESENTE NETO</b>	<b>43.048.857</b>
<b>TIR</b>	<b>22,16%</b>

Tabla 33 B. Flujo de caja (Mopico)

Impuesto de renta	33%	526.120
-------------------	-----	---------

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Ingresos</b>											
1 Ingresos por servicios	0	32.861.400	33.656.376	34.472.761	35.311.205	36.172.377	37.056.970	37.965.701	38.899.310	39.858.563	40.844.252
2 Venta de Activo											
<b>3 Total Ingresos</b>	<b>0</b>	<b>32.861.400</b>	<b>33.656.376</b>	<b>34.472.761</b>	<b>35.311.205</b>	<b>36.172.377</b>	<b>37.056.970</b>	<b>37.965.701</b>	<b>38.899.310</b>	<b>39.858.563</b>	<b>40.844.252</b>
<b>Egresos</b>											
4 Costos y Gastos Variables	16.800.000	4.522.892	4.666.244	4.814.278	4.967.153	7.287.192	5.288.078	5.456.472	5.630.391	5.810.022	8.265.828
5 Costos y Gastos Fijos	0	432.432	449.730	467.719	486.428	505.885	526.120	547.165	569.052	591.814	615.486
6 Depreciacion y Amortizacion	0	840.000	840.000	840.000	840.000	1.272.432	1.272.432	1.272.432	1.272.432	1.272.432	1.294.054
7 Valor en Libros Activos Vendidos											
<b>8 Total Egresos (4)+(5)+(6)+(7)</b>	<b>16.800.000</b>	<b>5.795.324</b>	<b>5.955.973</b>	<b>6.121.997</b>	<b>6.293.580</b>	<b>9.065.509</b>	<b>7.086.631</b>	<b>7.276.070</b>	<b>7.471.875</b>	<b>7.674.268</b>	<b>10.175.369</b>
<b>9 Utilidad Operativa (U.A.I.) (3)-(8)</b>	<b>-16.800.000</b>	<b>27.066.076</b>	<b>27.700.403</b>	<b>28.350.765</b>	<b>29.017.625</b>	<b>27.106.868</b>	<b>29.970.339</b>	<b>30.689.631</b>	<b>31.427.435</b>	<b>32.184.295</b>	<b>30.668.884</b>
10 (-) Pago de Intereses Prestamo bancario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>11 Utilidad Antes de Impuestos (U.A.I.) (9)-(10)</b>	<b>-16.800.000</b>	<b>27.066.076</b>	<b>27.700.403</b>	<b>28.350.765</b>	<b>29.017.625</b>	<b>27.106.868</b>	<b>29.970.339</b>	<b>30.689.631</b>	<b>31.427.435</b>	<b>32.184.295</b>	<b>30.668.884</b>
12 (-) Impuesto Renta		8.931.805	9.141.133	9.355.752	9.575.816	8.945.266	9.890.212	10.127.578	10.371.053	10.620.817	10.120.732
<b>13 Utilidad Neta (11)-(12)</b>	<b>-16.800.000</b>	<b>18.134.271</b>	<b>18.559.270</b>	<b>18.995.012</b>	<b>19.441.809</b>	<b>18.161.601</b>	<b>20.080.127</b>	<b>20.562.053</b>	<b>21.056.381</b>	<b>21.563.478</b>	<b>20.548.152</b>
<b>Ajustes Contables</b>											
14 (+) Depreciaciones y Amortizacion (6)	0	840.000	840.000	840.000	840.000	1.272.432	1.272.432	1.272.432	1.272.432	1.272.432	1.294.054
15 (+) Valor en Libros Activos Vendidos (7)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 (-) Inversiones											
17 Maquinaria y equipo	-88.663.020										
18 Vehiculos	0										
19 Capital de Trabajo	0										
20 Software	0										
21 Gastos Preoperativos	-205.000										
<b>22 Total Inversiones (17)+(18)+...+(21)</b>	<b>-88.868.020</b>										
23 (+) Ingresos por Recursos de Creditos											
24 (+) Recuperacion de Capital de Trabajo	0										
25 (+) Valor de Recuperación por Ventas de Activos											0
<b>26 (-) abono a capital prestamo</b>											
<b>Flujo Neto de Caja</b>											
<b>(13)+(14)+(15)+(22)+(23)+(24)+(35)-(26)</b>	<b>-105.668.020</b>	<b>18.974.271</b>	<b>19.399.270</b>	<b>19.835.012</b>	<b>20.281.809</b>	<b>19.434.034</b>	<b>21.352.560</b>	<b>21.834.485</b>	<b>22.328.814</b>	<b>22.835.910</b>	<b>21.842.206</b>

VALOR PRESENTE NETO	25.752.953
TIR	19,46%

Tabla 34 A. Flujo de caja (Reciprocantes)

Impuesto de renta	33%	526.120
-------------------	-----	---------

Concepto	0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Ingresos</b>											
1 Ingresos por servicios	0	40.844.252	41.857.196	42.898.240	43.968.262	45.068.166	46.198.890	47.361.403	48.556.707	49.785.840	51.049.877
2 Venta de Activo											
<b>3 Total Ingresos</b>	<b>0</b>	<b>40.844.252</b>	<b>41.857.196</b>	<b>42.898.240</b>	<b>43.968.262</b>	<b>45.068.166</b>	<b>46.198.890</b>	<b>47.361.403</b>	<b>48.556.707</b>	<b>49.785.840</b>	<b>51.049.877</b>
<b>Egresos</b>											
4 Costos y Gastos Variables	16.800.000	6.187.198	6.385.148	6.589.623	6.800.842	9.402.819	7.244.439	7.477.298	7.717.866	7.966.405	10.726.158
5 Costos y Gastos Fijos	0	640.106	665.710	692.338	720.032	748.833	778.786	809.938	842.335	876.029	911.070
6 Depreciacion y Amortizacion	0	1.294.054	1.294.054	1.294.054	1.294.054	1.316.757	1.316.757	1.316.757	1.316.757	1.316.757	1.340.595
7 Valor en Libros Activos Vendidos											
<b>8 Total Egresos (4)+(5)+(6)+(7)</b>	<b>16.800.000</b>	<b>8.121.357</b>	<b>8.344.912</b>	<b>8.576.015</b>	<b>8.814.928</b>	<b>11.468.409</b>	<b>9.339.982</b>	<b>9.603.993</b>	<b>9.876.958</b>	<b>10.159.190</b>	<b>12.977.823</b>
<b>9 Utilidad Operativa (U.A.I.I.) (3)-(8)</b>	<b>-16.800.000</b>	<b>32.722.895</b>	<b>33.512.284</b>	<b>34.322.225</b>	<b>35.153.334</b>	<b>33.599.757</b>	<b>36.858.907</b>	<b>37.757.410</b>	<b>38.679.749</b>	<b>39.626.650</b>	<b>38.072.054</b>
10 (-) Pago de Intereses Prestamo bancario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>11 Utilidad Antes de Impuestos (U.A.I.) (9)-(10)</b>	<b>-16.800.000</b>	<b>32.722.895</b>	<b>33.512.284</b>	<b>34.322.225</b>	<b>35.153.334</b>	<b>33.599.757</b>	<b>36.858.907</b>	<b>37.757.410</b>	<b>38.679.749</b>	<b>39.626.650</b>	<b>38.072.054</b>
12 (-) Impuesto Renta		10.798.555	11.059.054	11.326.334	11.600.600	11.087.920	12.163.439	12.459.945	12.764.317	13.076.795	12.563.778
<b>13 Utilidad Neta (11)-(12)</b>	<b>-16.800.000</b>	<b>21.924.339</b>	<b>22.453.230</b>	<b>22.995.891</b>	<b>23.552.734</b>	<b>22.511.837</b>	<b>24.695.468</b>	<b>25.297.464</b>	<b>25.915.432</b>	<b>26.549.856</b>	<b>25.508.276</b>
<b>Ajustes Contables</b>											
14 (+) Depreciaciones y Amortizacion (6)	0	1.294.054	1,294.054	1,294.054	1,294.054	1,316.757	1,316.757	1,316.757	1,316.757	1,316.757	1,340.595
15 (+) Valor en Libros Activos Vendidos (7)	0										0
16 (-) Inversiones											
17 Maquinaria y equipo	-88.663.020										
18 Vehiculos	0										
19 Capital de Trabajo	0										
20 Software	0										
21 Gastos Preoperativos	-205.000										
<b>22 Total Inversiones (17)+(18)+...(21)</b>	<b>-88.868.020</b>										
23 (+) Ingresos por Recursos de Creditos											
24 (+) Recuperacion de Capital de Trabajo	0										
25 (+) Valor de Recuperacion por Ventas de Activos											49.445.806
<b>26 (-) abono a capital prestamo</b>											
<b>Flujo Neto de Caja</b>											
<b>(13)+(14)+(15)+(22)+(23)+(24)+(35)-(26)</b>	<b>-105.668.020</b>	<b>23.218.394</b>	<b>23.747.284</b>	<b>24.289.945</b>	<b>24.846.788</b>	<b>23.828.594</b>	<b>26.012.225</b>	<b>26.614.221</b>	<b>27.232.188</b>	<b>27.866.612</b>	<b>76.294.676</b>

VALOR PRESENTE NETO	25.752.953
TIR	19,46%

Tabla 35 B. Flujo de caja (Reciprocantes)

En la tabla 30 el procedimiento es el mismo al realizado en la evaluación donde el proyecto a considerar tenía los compresores de tecnología Mopico, obteniendo una TIR del 19,46%.

De los anteriores calculas se ratifica la decisión de optar por unidades de compresión Mopico es la más favorable y probable.

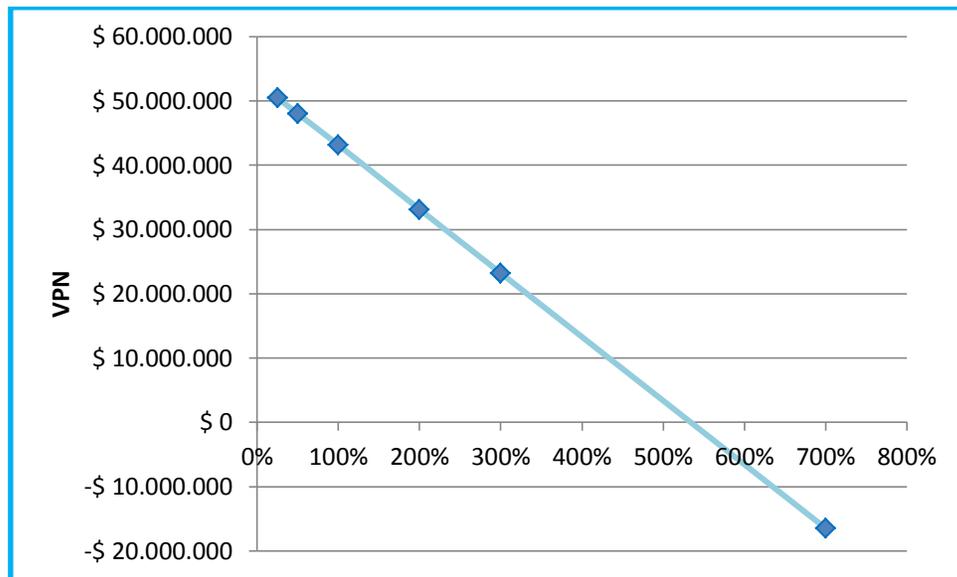
#### 5.4. Análisis de sensibilidad

En el aparte anterior ratificamos nuestra elección técnica de la mejor tecnología a utilizar, mas sin embargo, esto está ilustrado bajo una circunstancia fija e ideal (tratada como la opción más cercana al evento real). La forma más fácil de cubrirnos en un margen de seguridad de nuestra elección es confirmar la sensibilidad a la cual está sometido el proyecto al variar los aspectos relacionados con dicha tecnología (Mopico).

Inicialmente miraremos todos los aspectos relacionados en el flujo de caja como Costos y Gastos Variables dentro de los cuales se encuentra el precio mismo de la compra de la maquinaria.

Costo y Gastos Variables	
VPN	%
\$ 50.488.019	25
\$ 48.008.299	50
\$ 43.154.396	100
\$ 33.129.974	200
\$ 23.211.091	300
SV	
5,34	

Tabla 36. Variación de los costos y gastos variables



**Ilustración 14. Variación de los costos y gastos variables**

Como podemos ver tanto en la tabla 31 como en la ilustración 14 la viabilidad del proyecto es poco sensible a la variación de dichos costos y además con un Switching Value 5.34 indicándonos que tal cual esta configurados los ingresos (estimados) tendríamos que incrementar los valores de costos y gastos variables hasta algo más de un 530% para que deje de generar la ganancia esperada por TGI, también podemos ver de manera muy implícita ya que dentro de los costos variables se encuentra el valor del consumo eléctrico (fuente energética que da marcha a dicha tecnología) que a pesar de ser un ítem muy importante a considerar su valor no representa una gran amenaza para la viabilidad del proyecto siendo este valor casi el 30% de la variable en consideración en el analisis.

En cuanto a los valores de los costos y gastos fijos, se podría decir que es casi blindado a alguna variación, ya que tendríamos que llegar a un aumento de más del 4000% (S.V. 48.47) de estos para poder experimentar un valor negativo como veremos a continuación.

Costo y Gastos Fijos	
VPN	%
\$ 43.729.074	25
\$ 43.502.335	50
\$ 43.154.396	100
\$ 42.141.902	200
\$ 41.234.947	300
SV	
48,47	

**Tabla 37. Variación de los costos y gastos fijos**

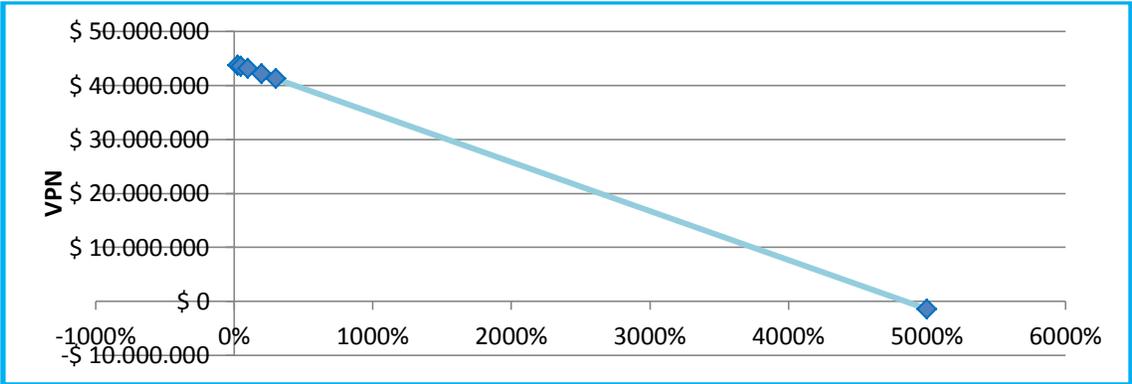


Ilustración 15. Variación de los costos y gastos fijos

## 6. CONCLUSION

En el estudio del incremento de capacidad del gasoducto de La Sabana se encontró una disyuntiva sobre cual tecnología utilizar para la nueva estación de compresión, ya que se tenían tres posibilidades que perfilaban con mejores prestaciones según el escenario en el cual se encuentra enmarcado todo el proyecto, esto después de haber descartado otras opciones que podrían servir pero debido a ciertas restricciones no eran viables. De esta manera podemos afirmar que:

- Inicialmente después de un estudio más extenso que el mostrado en el presente trabajo solo en la parte técnica se tenía una preferencia clara hacia tener una estación de compresión con tecnología Mopico ya que manejaba de mejor manera los rangos y las características particulares del proyecto.
- Sin embargo, solo al descartar mediante un estudio financiero se podría aseverar que realmente la tecnología Mopico podría desplazar a la reciprocante o turbinas, ya que los costos de la maquinaria, insumos, infraestructura y mantenimientos para cada una son de diferentes magnitudes, como efectivamente fue realizado y comprobado.
- Como última medida, realizar un análisis de la sensibilidad a la variación de los costos y gastos tanto variables como fijos (tecnología Mopico y Reciprocantes) del proyecto debido a que estos ítems son los que representaban el cambio en la tecnología a utilizar, puede brindar una certeza de que tanta incertidumbre es capaz de afrontar el proyecto en consideración. Como resultado de tal análisis efectuado a la tecnología Mopico se evidencia una inflexibilidad muy alta en los ingresos a obtener si se variaban los costos y gastos nombrados anteriormente y por consiguiente es innecesario realizar una sensibilidad utilizando la tecnología reciprocantes que había sido descartada anteriormente en el escenario fijo utilizado para la evaluación.
- Después de haber recorrido todo este camino podemos decir con certeza que la mejor opción para la construcción de una estación de compresión de gas natural en La Sabana de Bogotá es la Mopico.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- PIPELINE PUMPING AND COMPRESSION SYSTEMS. A Practical Approach. Mo Mohitpour, Kamal K. Botros y Thomas Van Hardeveld.
- ARNOLD. Ken, Surface production operations.(design of gas-handling systems and facilities) 2 ed. Houston Tx.: Gulf Publishing Company, 1999 559p. Volume 2.
- E.W. McAllister, Editor. RULES OF THUMB. Handbook. (a manual of quick, accurate solutions to everyday pipeline engineering problems).7 ed. Oxford.: Gulf Publishing Company, 2009 763p.
- GPSA. Engineering Data Book
- MAN DIESEL & TURBO. Turbomachinery: Compressors and Industrial Turbines. <http://www.mandieselturbo.com>