

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

DISEÑO DE GASODUCTO PARA TRANSPORTE DE GAS
NATURAL DE LA REFINERÍA DE ALTAMIRA (TAMPICO)

A TULA (HIDALGO)

INGENIRÍA QUÍMICA

ALUMNOS.

- CIDÓN HERNÁNDEZ BRIAN MANUEL 201720046
- MURILLO GARCÍA DIEGO ALBERTO 201720773

ASESOR

ING. ALBERTO COCOM CELAYA

COACAOLCO DE BERRIOZÁBAL, MEX. AGOSTO 2024

ABSTRACT

The present project resides in the design of a gas pipeline including concepts, including the details that must be considered to carry out the transportation of gas.

In the first chapter are all the generalities of natural gas as concepts and definition; likewise, the physical and chemical properties, its commercial use, its classification, its importance, and the corresponding regulations are indicated.

In chapter two, the thermodynamic design of a gas pipeline that goes from Altamira Tampico to Tula Hidalgo is presented, which consists of a distance of 300.58 km. In this section of the work, you can see the procedure in detail for the calculation of molecular weight, mole fraction, compressibility, density, specific gravity, and viscosity.

Chapter three presents the mechanical design, as well as its Reynolds number, apparent molecular weight, GPM, and vapor pressures.

Chapter four addresses the design of the pipeline, as well as the suggested route, supply and delivery of the pipeline, and water content.

In chapter five the design in AutoCAD and the simulation in the Aspen software are presented.

Chapter six presents the graphic design, including the necessary calculations for its construction, as well as the parameters for E.

In chapter seven, the economic analysis of the project is shown, which refers to the profitability of the project, since this way we can know if it meets the needs and if it is convenient to stretch out or if it does not meet the objective. Likewise, it contains production costs of the line to be built and the annual production cost.

Finally, in chapter eight, the conclusions and analysis of results are shown, as well as the bibliography used as support.

RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño de un gasoducto, involucrando los conceptos y detalles que se deben tomar en cuenta para llevar a cabo el transporte del gas.

En el primer capítulo se encuentran todas las generalidades del gas natural como conceptos y definiciones; así también, se indican las propiedades físicas y químicas, su uso comercial, su clasificación, su importancia y las normatividades correspondientes.

En el capítulo dos, se presenta el diseño termodinámico de un gasoducto que va de Altamira Tampico a Tula Hidalgo, el cual consta de una distancia de 300.58 km. En esta sección del trabajo se puede apreciar el procedimiento a detalle para el cálculo del peso molecular, fracción molar, compresibilidad, densidad, gravedad específica y viscosidad.

El capítulo tres, presenta el diseño mecánico, así como su número de Reynolds, peso molecular aparente, GPM y presiones de vapor.

En el capítulo cuatro se aborda el diseño del gasoducto, así como de la ruta sugerida, suministro y entrega del gasoducto y contenido de agua.

En el capítulo cinco se presenta el diseño en AutoCAD y la simulación en el software Aspen.

El capítulo seis, presenta el diseño gráfico, incluyendo los cálculos necesarios para su construcción.

En el capítulo siete, se muestra el análisis económico del proyecto; el cual hace referencia a la rentabilidad del proyecto, puesto que así podemos saber si satisface las necesidades y si es conveniente llevarlo a cabo o si no cumple con el objetivo. Así mismo, contiene costos de producción de la línea a construir y el costo de producción anual.

Finalmente, en el capítulo ocho, se muestran las conclusiones y análisis de resultados, así como bibliografía utilizada como apoyo.

ÍNDICE GENERAL

<u>ABSTRACT</u>	<u>2</u>
RESUMEN.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	10
OBJETIVOS.....	12
INTRODUCCIÓN.....	133
JUSTIFICACIÓN	144
PROBLEMÁTICA PARA RESOLVER.....	155
ANTECEDENTES	16
MARCO TEÓRICO.....	19
DEFINICIÓN DEL GAS NATURAL.....	199
PROCESAMIENTO.....	199
TRANSPORTE	199
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	20
PODER CALORÍFICO	20
TEMPERATURA DE IGNICIÓN	211
DENSIDAD RELATIVA.....	211
VISCOSIDAD	211
CLASIFICACIÓN	211
USO COMERCIAL	222
IMPORTANCIA DEL GAS NATURAL	222
MÉTODOS DE EXPLORACIÓN	233
MÉTODOS GEOFÍSICOS.....	233
MÉTODOS GEOLÓGICOS.....	23

EVALUACIÓN IMPACTO AMBIENTAL.....	244
MEDIDAS PARA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS.....	244
IMPACTO ECONÓMICO DEL PROYECTO.....	255
IMPACTOS O ESTÍMULOS A LA ECONOMÍA LOCAL.....	255
INVERSIÓN Y BENEFICIO SOCIAL.....	255
IMPACTO SOBRE LA SALUD.....	266
IMPACTO HIDROLÓGICO.....	266
OPERACIÓN.....	26
PROTECCIÓN.....	277
INTEGRIDAD DE GASODUCTO A LARGO PLAZO.....	298
NORMAS.....	299
MEDIO DE TRANSPORTE.....	31
UPSTREAM:	322
MIDSTREAM.....	332
DOWNSTREAM.....	333
SIMULADOR PRO/II.....	333
OFERTA Y DEMANDA EN LAS LOCALIDADES.....	354
TIPO DE FLUIDO TRANSPORTADO.....	355
IMPACTO SÍSMICO Y VOLCÁNICO.....	355
MATERIAL Y CONSTRUCCIÓN.....	355
ALGORITMO DE SOLUCIÓN	38
METODOLOGÍA	39
COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL:	399
DISEÑO TERMODINÁMICO: PROPIEDADES DEL GAS.....	409
TABLA PROPIEDADES PSEUDOCRÍTICAS.....	40

FORMULAS	411
CONVERSIONES REALIZADAS.....	411
CÁLCULO DE Z	421
DENSIDAD	432
GRAVEDAD ESPECIFICA	432
VISCOSIDAD.	433
DISEÑO MECÁNICO	444
N.º DE REYNOLDS.....	444
PESO MOLECULAR APARENTE	444
GPM	454
PRESIONES DE VAPOR.....	455
DISEÑO DEL GASODUCTO.....	466
RUTA DEL GASODUCTO.....	476
SUMINISTRO Y ENTREGA DEL PRODUCTO.	476
TEOREMA DE BERNOULLI.	509
CONTENIDO DE AGUA.	532
DISEÑO EN SOFTWARE.....	56
DISEÑO EN AUTOCAD.....	576
PROCESO DE ELABORACIÓN DEL AUTOCAD	57
RESULTADOS DE AUTOCAD	632
SIMULACIÓN	632
SECUENCIA DE SIMULACIÓN:.....	643
DISEÑO GRÁFICO.	71
PARÁMETROS PARA E.	73
DISEÑO ECONÓMICO.	754

ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO.	754
COSTO DE MATERIAL.	754
COSTO DE REVESTIMIENTO.	754
COSTO DE INSTALACIÓN.	754
COSTO DEL DUCTO.	754
COSTOS OPERATIVOS.	764
COSTO ANUAL.	765
COSTO DE TRANSPORTE.	765
ANÁLISIS DE RESULTADOS.	776
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.	787
COMPETENCIAS DESARROLLADAS:	798
FUENTES DE INFORMACIÓN.	809
ANEXOS.	843

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL.	39
TABLA 2. PROPIEDADES PSEUDOCRÍTICAS.	40
TABLA 3. CÁLCULOS DE GPM, PCI, PODER CALORÍFICO, W Y PV.	40
TABLA 4. CÁLCULOS DE PSC, TSC Y MA.	44
TABLA 5. CÁLCULOS.	45
TABLA 6. CÁLCULOS	45
TABLAS 7,8,9. PRESIÓN DEL GASODUCTO Y PUNTOS DE ENTREGA.	48
TABLA 10. CÁLCULO DE SUMINISTRO	49
TABLA 11. ENTREGA.	50
TABLA 12. VARIABLES.	71

TABLA 13. VARIABLES.	72
TABLA 14. VARIABLES.	743
TABLA 15. DATOS DE LOS COMPONENTES	83
TABLA 16. RUTAS POR LAS QUE SE TRANSFERIRÁ EL GAS	84
TABLA 17. PRECIO DEL DIESEL EN ALTAMIRA	85

Tablas realizadas por nosotros, con análisis y composiciones de los compuestos.

ÍNDICE DE FIGURAS DISEÑO EN AUTOCAD

ÍNDICE DE FIGURAS SIMULACIÓN PRO/II ¡Error! Marcador no definido.

FIGURA 1. DISEÑO DE TUBERÍA EN AUTOCAD.....	56
FIGURA 2. INSTALACIÓN DEL AUTOCAD	57
FIGURA 3. CONFIGURACIÓN EN AUTOCAD	58
FIGURA 4. TRAZOS DEL GASODUCTO	59
FIGURA 5. ALINEACIÓN EN AUTOCAD	60
FIGURA 6. SEMI-TERMINACIÓN DEL MODELO EN AUTOCAD	60
FIGURA 7. VISTA DEL MODELO TERMINADO	61
FIGURA 8. MODELO TERMINADO EN AUTOCAD	61

ÍNDICE DE FIGURAS SIMULACIÓN PRO/II

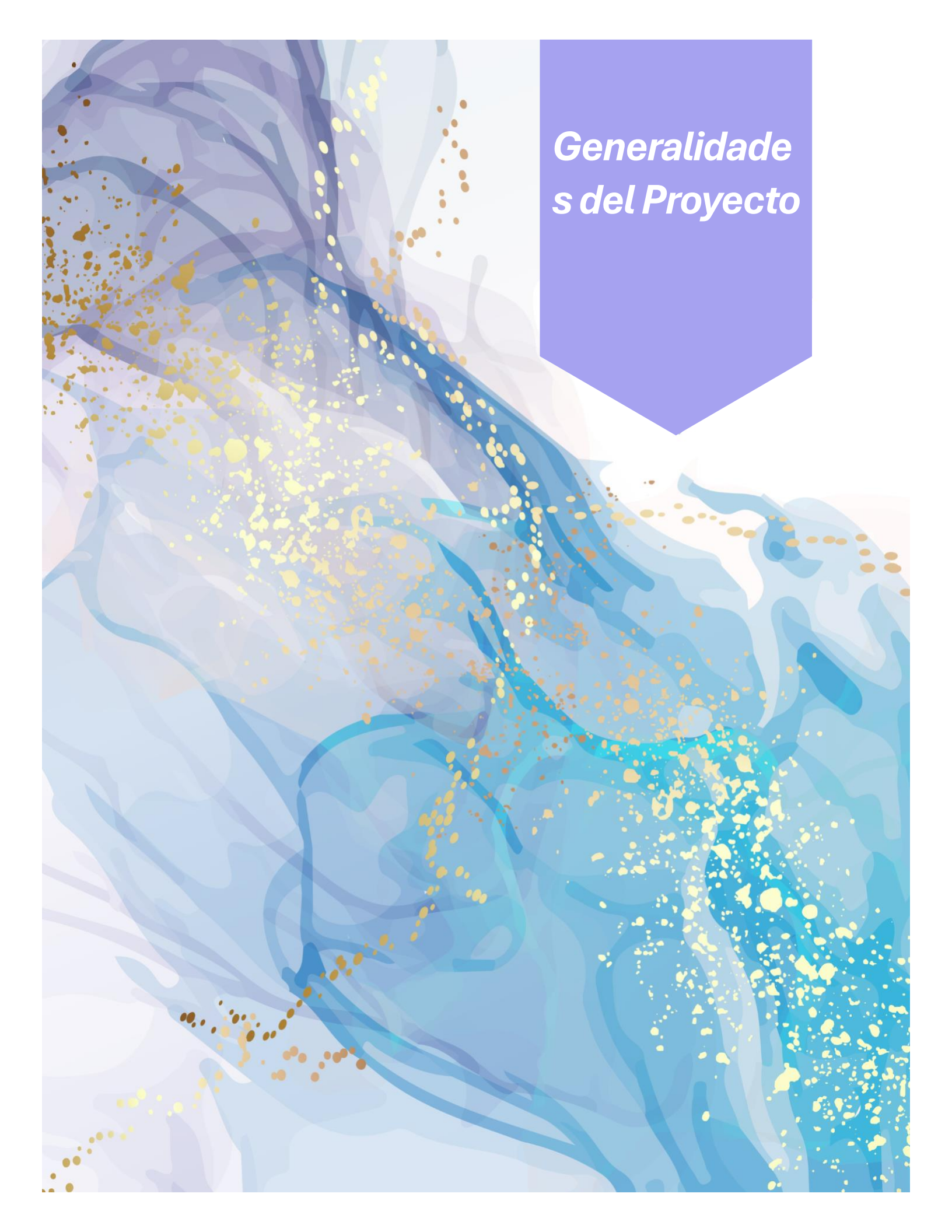
Figura 1: Selección del modelo termodinámico	63
Figura 2: Selección de los componentes presentes en el gasoducto.....	64
Figura 3: Especificación del flujo molar y composición de la corriente de entrada al gasoducto.....	65
Figura 4: Determinación de las especificaciones de entrada al gasoducto...	66
Figura 5: Selección del tipo de cálculo a emplear.....	67
Figura 6: Establecimiento de la caída de presión.....	68
Figura 7: Datos generales de la tubería	69
Figura 8: Dimensionamiento de la tubería	69
Figura 9: Simulación del gasoducto en Simci Pro II.....	70
Figura 10: Diámetro obtenido para el gasoducto en software Simci Pro II....	71

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la academia de ingeniería química del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco por la enseñanza que se nos ha brindado en todo paso de la carrera universitaria, dándonos las bases que nos proporcionan un aprendizaje, conocimiento y la estrategia para poder resolver e implementar lo aprendido, en laboratorios donde hemos podido poner en práctica la teoría aprendida en el aula, material de trabajo para poder hacer prácticas, experimentos e investigaciones.

A nuestros profesores de la academia por brindarnos su conocimiento, tiempo y atención en cada una de nuestras dudas, enseñándonos, apoyándonos y siempre implementando estrategias para nuestro mayor aprendizaje, preparándonos para la vida laboral como ingenieros químicos.

Agradecemos profundamente al Ing. Alberto Cocom Celaya por enseñarnos a analizar, trabajar, comprender y visualizar cada problema pensando como futuros ingenieros químicos, por brindarnos de su tiempo y conocimiento asignándonos pruebas y proyectos que nos desafían a buscar nuevas alternativas, a explotar nuestros conocimientos en diversas áreas de la industria, de antemano gracias.



Generalidades del Proyecto

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

Generar una propuesta procedimental para el diseño y construcción de un gasoducto desde Altamira hasta la refinería de Tula con el fin de transportar gas natural.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un gasoducto desde Altamira hasta la refinería de Tula Hidalgo, realizando las investigaciones, cálculos para conocer los parámetros necesarios y realizarlo en esa área, así mismo emplear un programa para simular el diseño del gasoducto.
- Calcular e interpretar correctamente las composiciones de los diferentes compuestos que lleva la mezcla, así como presiones, temperaturas, factores de fricción, diámetro interior y exterior, caudal, tipo de flujo, entre otros factores.
- Analizar los costos que tendrá el gasoducto en base a los parámetros calculados y tomados a consideración.
- Analizar y estudiar el campo de construcción y diseño en el área, tomando en cuenta el impacto ambiental que tendrá en la zona, así mismo como los beneficios del diseño y la construcción del gasoducto.
- Generar un instrumento didáctico para la materia de Ciencia y Tecnología del Gas Natural, impartida en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco.

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto radica en diseñar, calcular y proponer un gasoducto que se extenderá de Altamira a la planta de Tula en Hidalgo, donde el gas será procesado, transportado y distribuido por la planta para su uso comercial.

Actualmente, el gas natural es el tercer combustible comercializado en el mundo después del petróleo y carbón, cuya participación es del 24% del consumo mundial total de energía. Su uso en la última década se ha incrementado, principalmente porque presenta ventajas económicas y ambientales, sobre otras fuentes por ser un combustible que produce menos cantidad de contaminantes a la atmósfera, reduciendo así el calentamiento global de la Tierra.

En nuestro país el uso del gas natural ha aumentado rápidamente a partir de la última década alcanzando en el año 2000 el 23% de la oferta total de energía primaria, principalmente por su uso en el sector industrial y eléctrico (plantas de ciclo combinado). (Secretaría de Energía, México, 2003)

Esta importancia del gas natural nos conduce a realizar esta investigación acerca de la evolución y perspectivas de dicho energético.

En México, el desarrollo económico depende de la industria petrolera y sus derivados, paradójicamente la distancia que se requiere del lugar del yacimiento hasta el destino final es bastante extensa, es decir, llevarlo a los puntos de consumo por lo que requiere de un transporte seguro, rápido y confiable. La mejor manera es por medio de gasoductos.

Anteriormente la industria petrolera era más rentable, pues el aceite particularmente se refinaba hasta de los lugares de producción, pero, a medida que el comercio y la demanda crecieron, se requieren más refinerías, que fueron construidas lejos de los lugares de producción, esto llevó a crear redes de ductos para su transporte hacia éstas y su almacenaje. a pesar de que existen otros medios de transporte del aceite y sus derivados como barcos, ferrocarriles, auto tanques, pipas, etcétera. Sin embargo, de los medios de transporte más utilizados en México para el aceite del

crudo son los gasoductos y los barcos petroleros de gran capacidad debido a que son sistemas de transporte masivo y de alguna manera los más rentables. Si hablamos de las ventajas de los medios de transporte del petróleo, los gasoductos representan el medio más seguro, económico y rentable, con una ingeniería de alguna manera siempre superable, tomando en cuenta las condiciones del suelo donde se colocan los ductos, gracias a que el petróleo es un fluido, se puede transportar a granel, es decir a cantidades de acuerdo con nuestras necesidades, reduce gastos (siendo mínimos) y permite una automatización casi completa de los procesos que requiere. Hoy en día se requiere una buena red de tuberías y proceder la apertura y cierre de válvulas de forma manual y automática. (PEMEX, 2005)

Para el diseño y construcción de un gasoducto se requiere analizar tres áreas:

- económica
- técnica
- ingeniería

En la ingeniería necesitamos conocer diámetro de la tubería a utilizar, tipo de tubería, número de válvula, ruta de la tubería, entre otros.

En el área técnica necesitamos conocer el perfil topográfico y buscar la trayectoria más confiable, rentable y segura.

En lo económico, se debe analizar obras a realizar como túneles que pudieran requerirse para la ruta, siempre buscando el lado más rentable.

En este proyecto se analizaron los costos, la simulación del gasoducto tomando en cuenta todos los cálculos y parámetros para el diseño y construcción del gasoducto.

JUSTIFICACIÓN

El diseño de este gasoducto tiene como finalidad incrementar la capacidad de procesamiento del gas natural, la producción de productos derivados del mismo para satisfacer la demanda del mercado nacional en cantidad y calidad ecológica, se planteó la necesidad de diseñar y crear el gasoducto de Altamira a la refinería de Tula para que el gas natural sea procesado de manera correcta, ya que es la planta

más cercana y mejor equipada. Para poder lograrlo se incrementó la capacidad de procesamiento de esta y así poder distribuirlo a otros puntos.

Debido a la creciente demanda del gas natural a nivel nacional, además de ser considerado como servicio público, en nuestro país este debe llegar a todos los puntos necesarios, abasteciendo en cantidades y calidades aceptables de acuerdo con las normas. Dada esta creciente demanda se ve a la necesidad de instalar más gasoductos tanto de red primaria y secundaria, siendo importante en esta el diseño termodinámico, mecánico, hidráulico y económico de acuerdo con las condiciones de operación.

PROBLEMÁTICA PARA RESOLVER

En los últimos años se ha observado que la oferta y la demanda de gas natural presenta variaciones significativas que dependen, entre otros factores, de la economía de las naciones y la rapidez con que se invierte en nuevas estrategias de exploración, además del comportamiento de otros sectores como el petrolero y de energía eléctrica. (Estrada, Rodriguez, Ventura, 2022, p.15)

En este sentido, las técnicas de simulación juegan un papel fundamental como herramienta de análisis, brindando el soporte para la toma de decisiones ante diferentes escenarios tanto técnicos como económicos. Los análisis de confiabilidad de sistemas de transporte y de gas natural permiten la toma de decisiones de los entes reguladores, al igual que otorga alternativas a posibles eventos adecuando la infraestructura para un uso eficiente.

El sistema de transporte para llevar el gas desde Altamira hasta la refinería en Tula Hidalgo es un beneficio para la sociedad y la economía. Se necesita proyectar, analizar y estudiar el área y el trayecto de este gasoducto.

Proponemos una alternativa para el transporte del crudo hasta la planta.

ANTECEDENTES

Hasta 1995, Petróleos Mexicanos era la única empresa autorizada para construir, operar y ser propietaria de gasoductos en México, así como la única entidad con facultades para producir, importar, exportar y comercializar gas natural en territorio nacional. Con el argumento de impulsar una política de aprovechamiento de gas natural, en 1995 el gobierno mexicano impulsó una serie de reformas legales e institucionales tendientes a redefinir la industria. (Evolución y perspectivas del gas natural en México,2005, pag.18)

Se distinguen aquellas actividades exclusivas a PEMEX, tales como la exploración, la explotación y las ventas de primera mano de este combustible, de las que permiten la participación de los particulares (transporte, almacenamiento y distribución de gas natural). La reforma de 1995 se diferenció de la mayoría de los procesos de reestructuración en otros sectores, ya que ésta en lugar de privatizar totalmente las actividades de la industria, buscó incorporar un esquema de convivencia entre el sector público (PEMEX) y el privado dentro del marco constitucional vigente.

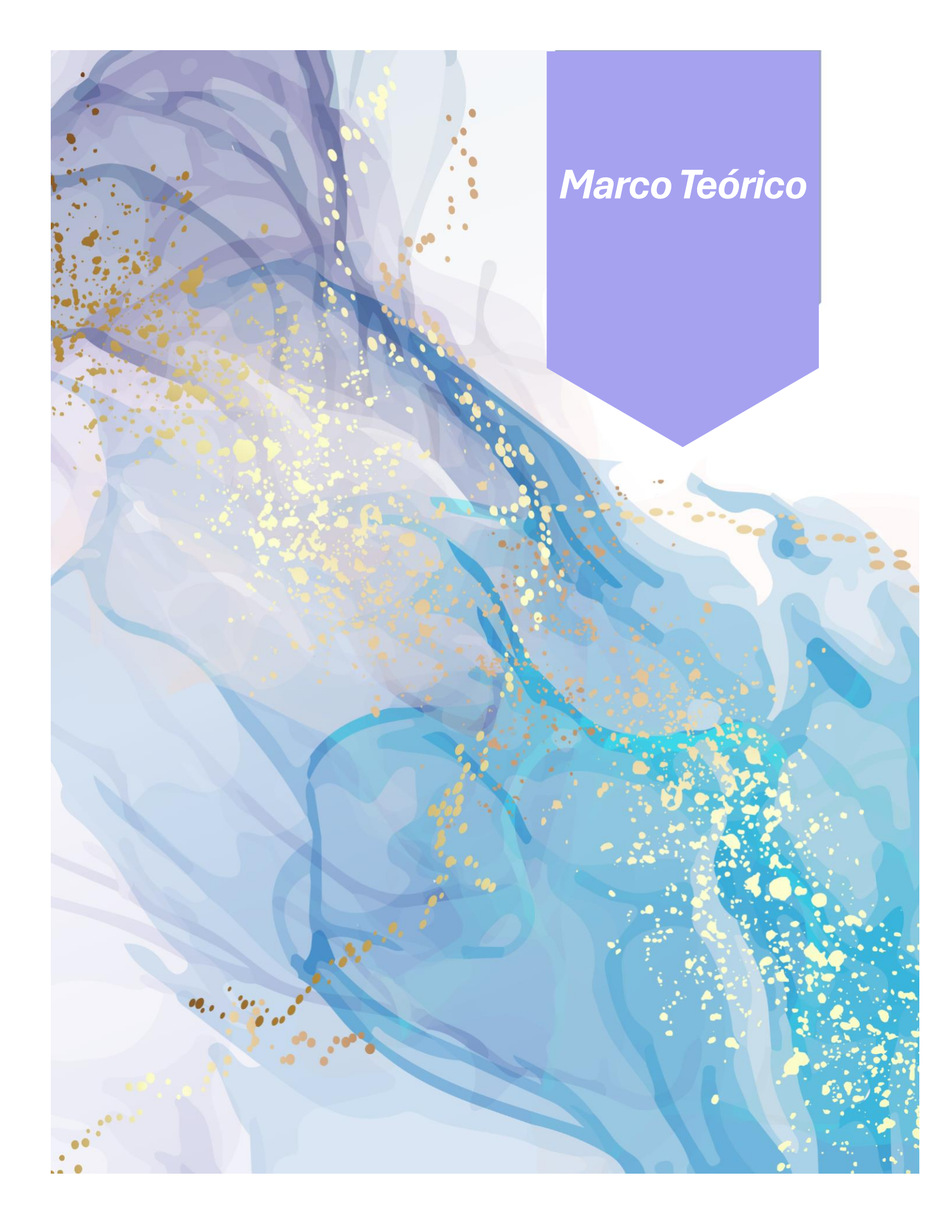
Como resultado, la empresa estatal participaría en la cadena de suministro del combustible como oferente de gas mediante las ventas de primera mano, permisionario de transporte del Sistema Nacional de Gasoductos (SNG) y comercializador. (Evolución y perspectivas del gas natural en México,2005, pag.20)

A partir de la estrategia propuesta, durante 1995 se introdujeron reformas a la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo (la Ley Reglamentaria), y se expidieron tanto el Reglamento de Gas Natural (el Reglamento) como la Ley de la Comisión Reguladora de Energía (Ley de la CRE), donde se establecieron los lineamientos generales del marco regulador de la industria de gas natural.

El mercado de gas natural ha cobrado cada vez más importancia por su creciente aplicación para la generación de electricidad, así como por su uso industrial y residencial. Se ha posicionado como un combustible cada vez más demandado al

generar energía limpia y por su mayor eficiencia en las tecnologías de ciclo combinado. Al requerirse cada vez más recursos para satisfacer la demanda, ha sido evidente que la industria de gas natural en nuestro país no ha tenido el desarrollo que su potencial permite. Durante años, los esfuerzos se centraron en la explotación de yacimientos, de crudo pesado. Actualmente, con el interés de buscar nuevos yacimientos se ha confirmado la riqueza de gas del país con los descubrimientos de los campos de Lankahuasa, Playuela y Hap. El gran desafío es traducir los nuevos descubrimientos en aumentos en la producción para cubrir los requerimientos que demanda el país. (Regulación del mercado de gas natural en México, 2005, pag.38-40)

Veracruz, Ver. Transportadora de Gas Natural de la Huasteca ("TGNH"), filial de TransCanada, está actualmente desarrollando el Gasoducto Tula – Villa de Reyes, que se origina en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo y se extiende hasta el municipio de Villa de Reyes, San Luis Potosí, pasando por los estados de Hidalgo, Querétaro, Guanajuato y San Luis Potosí. (Energía T. , 2017)



Marco Teórico

MARCO TEÓRICO.

GAS NATURAL

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos compuesta principalmente por metano con proporciones variables de otros hidrocarburos (etano, propano, butanos, pentanos y gasolina natural) y de contaminantes diversos. Se encuentra en yacimientos en solución o en fase gaseosa con el petróleo crudo (gas asociado), o bien, en yacimientos que no contienen aceite (gas no asociado). (Osinergmin, 2012)

PROCESAMIENTO

El gas natural sigue un procesamiento que consiste en:

1. Eliminar compuestos ácidos (ácido sulfúrico y dióxido de carbono). El gas alimentado se denomina “amargo”, el producto “gas dulce” y el proceso se conoce generalmente como “endulzamiento”.
2. Se recupera etano e hidrocarburos licuables mediante procesos criogénicos (uso de bajas temperaturas para la generación de un líquido separable por destilación fraccionada).
3. Se extrae el azufre de los gases ácidos que se generan durante el proceso de endulzamiento.
4. Se separan los hidrocarburos líquidos recuperados, obteniendo corrientes ricas en etano, propano, butanos y gasolina.

TRANSPORTE

El gas natural se transporta y distribuye hasta los usuarios finales por medio de ductos de acero de diámetros variables. La conveniencia del transporte por medio de ductos es su economía y seguridad.

Para poder transportarlo por medio de cilindros estos deberían tener especificaciones especiales y diferentes, a los cilindros que transportan el gas LP,

lo que implicaría costos de infraestructura, para poder envasarlos tendría que licuarse lo que alteraría su rango de seguridad. (Natural, NOM-007-SECRE-2010, 2010)

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Según Salcedo,2012 “El gas natural extraído de los yacimientos es un producto incoloro e inoloro, no tóxico y más ligero que el aire”.

Procede de la descomposición de los sedimentos de materia orgánica atrapada entre estratos rocosos y es una mezcla de hidrocarburos ligeros en la que el metano (CH_4) se encuentra en grandes proporciones, acompañado de otros hidrocarburos y gases cuya concentración depende de la localización del yacimiento.

Algunas de sus características particulares son (CONUEE, 2009):

- es un combustible fósil.
- es incoloro e inoloro.
- es menos contaminante a comparación del gas licuado.
- es limpio
- es beneficioso, tanto para la industria como para el uso doméstico, ya que desempeña papeles importantes como un combustible energético.
- su componente fundamental es el metano (CH_4).
- es un gas liviano, más ligero que el aire.
- su poder calorífico es el doble del gas manufacturado.
- es un gas seco.

PODER CALORÍFICO

El poder calorífico "bruto" del gas es el número de BTU producidos por la combustión a presión constante de 1 p° de gas medido a 60° F y 30" de Hg, con aire a la misma presión y temperatura del gas; cuando los productos de la combustión se enfrían hasta la temperatura inicial del gas y aire, y cuando el agua formada por la combustión se condensa al estado líquido. El poder calorífico bruto del gas natural es aproximadamente 1020 BTU/ p3.

El poder calorífico "neto" del gas, es el número de BTU producidos por la combustión a presión constante, de 1p³ de gas medido a 60° F y 30" de Hg con aire a la misma presión y temperatura, cuando los productos de la combustión se enfrían hasta la temperatura inicial del gas y aire, y cuando el agua formada por la combustión permanece en estado de vapor. Se determina por medio de un calorímetro, de un cromatógrafo, o se calcula partiendo de su análisis químico. (CONUEE, 2009)

TEMPERATURA DE IGNICIÓN

Es la temperatura más baja a la que se efectúa la combustión de una mezcla de aire y gas que se calienta gradualmente, por efecto de la velocidad de la reacción química independientemente de la fuente de calor externo. (A. Martin, 2005).

DENSIDAD RELATIVA

Es la relación entre la densidad del gas con respecto al peso molecular del aire.

Como referencia 28.959 es el valor aproximado del aire. (Espinoza G. 2017).

VISCOSIDAD

Es la propiedad que tienen los fluidos para resistir cualquier fuerza que tienda a producir su flujo. Se considera también como la fricción interna de los fluidos, es decir, la resistencia que oponen las partículas internas que se desplazan con distintas velocidades. (Martin, Salcedo, & Font, 2011) (Asociacion Española de Operadores de Productos Petroliferos, 2002)

CLASIFICACIÓN

El gas natural, se clasifica de acuerdo con su contenido de vapores de hidrocarburos líquidos ligeros en la forma siguiente:

- "Gas húmedo" es el que contiene metano, etano, propano, butano, pentano y más pesados; contiene más de 300 gal. de gasolina natural por cada millón de pies cúbicos, medidos a condiciones estándar (1.03 Kg/cm² y 60°F)

- "Gas seco", es el que contiene metano, etano, propano y huellas de butano, su densidad relativa varía de 0.560 a 0.790; contiene menos de 100 gal. de gasolina por MMPCS.
 - "Gas pobre" o mediano, contiene de 100 a 300 gal. de gasolina por MMPCS.
- (Valencia, 2010)

USO COMERCIAL

El gas natural se utiliza como combustible y como materia prima en la industria petroquímica. Como combustible se emplea por su gran poder calorífico, por ser su combustión fácilmente regulable, por ser limpia y producir escasa contaminación. Como materia prima es la más adecuada para la fabricación de amoníaco que es un producto base de toda la industria de abonos nitrogenados, y también del metanol que es un producto que se utiliza en la fabricación de plásticos y proteínas sintéticas. A partir del gas natural se obtienen materias primas de base en la industria petroquímica (etileno, butadieno y propileno).

También se utiliza para generación de vapor, generación de potencia y procesos de calentamiento, para la deshidratación de productos agrícolas por los gases de combustión y en la elaboración del cemento Pórtland. (Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos, 2002)

IMPORTANCIA DEL GAS NATURAL

El gas natural es una energía eficaz, rentable, limpia, por sus precios competitivos y su eficiencia como combustible. Permite alcanzar considerables economías a sus utilizadores por ser el combustible más limpio de origen fósil, contribuye decisivamente en la lucha contra la contaminación atmosférica, y es una alternativa energética que destacará en el siglo XXI por su creciente participación en los mercados mundiales de la energía.

La explotación a gran escala de esta fuente energética natural cobró especial relevancia tras los importantes hallazgos registrados en distintos lugares del mundo a partir de los años cincuenta. Gracias a los avances tecnológicos desarrollados,

sus procesos de producción, transporte, distribución y utilización no presentan riesgos ni causan impacto ambiental apreciable. (Vargas. 2017).

MÉTODOS DE EXPLORACIÓN

Actualmente para la búsqueda de hidrocarburos no existe un método científico exacto, sino al contrario, existen muchos métodos y es preciso realizar una multitud de tareas previas del estudio del terreno los métodos empleados dependiendo del tipo de terrenos serán geológicos o geofísicos.

MÉTODOS GEOFÍSICOS

Cuando el terreno no presenta una estructura igual en su superficie que en el subsuelo los métodos geológicos de estudio de la superficie no resultan útiles por lo cual hay que emplear la geofísica que es la ciencia que estudia las características del subsuelo sin tener en cuenta las de la superficie, en la actualidad aparatos como el gravímetro permiten utilizar las rocas que hay en el subsuelo este aparato mide las diferencias de la fuerza de gravedad en las diferentes zonas de suelo lo que permite determinar el tipo de roca que existe en el subsuelo también se puede emplear el magnetómetro aparato que detecta la disposición interna de los extractos y de los tipos de roca gracias a el estudio de los campos magnéticos que se crean. Se utilizan técnicas de prospección sísmica que estudian las ondas de sonido, su reflexión y su refracción, estos datos estos permiten determinar la composición de rocas del subsuelo mediante una explosión se crea artificialmente una sonda sísmica que atraviesa diversos terrenos qué es desviado por algunos tipos de roca y que se refleja de vuelta por otros y todo ello a diversas velocidades estas ondas son medidas en la superficie por sismógrafos. (Rojas, A.G. 1961).

MÉTODOS GEOLÓGICOS

El objetivo de este método es hallar una roca que se haya formado en un medio propicio para la existencia del petróleo, es decir, suficientemente porosa con la estructura geológica de estratos adecuada, para que puedan existir bolsas de petróleo hay que buscar una cuenca sedimentaria que pueda poseer materia orgánica enterrada hace más de 10000000 de años, para todo ello se realizan

estudios geológicos de la superficie, se recogen muestras del terreno, se inspecciona con rayos x, se perfora para estudiar los estratos y finalmente con todos esos datos se realiza la carta geológica de la región estudiada tras nuevos estudios sobre el terreno se determina si hay rocas petrolíferas alcanzables mediante prospección, la profundidad a la que se alcance a perforar etcétera se puede llegar a la conclusión de si se merece, si vale la pena o no realizar un pozo, únicamente en uno de cada 10 pozos explorados se llega a descubrir petróleo y solo 2 de cada 100 dan resultados que permiten su exploración de forma rentable. (Rojas, A.G. 1961).

EVALUACIÓN IMPACTO AMBIENTAL.

Se recalcan posibles causas de impactos ambientales que se pueden presentar para el gasoducto.

El impacto ambiental que producen los gasoductos se centra en la fase de construcción. Una vez terminada dicha fase, pueden minimizarse todos los impactos asociados a la modificación del terreno, al movimiento de maquinaria, etc. Queda, únicamente, comprobar la efectividad de las medidas correctivas que se haya debido tomar en función de los cambios realizados: repoblaciones, reforestaciones, protección de márgenes, entre otros. (Brzovic, F. 1990)

MEDIDAS PARA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS.

Prevenir el impacto ambiental significa introducir medidas protectoras, correctoras o compensatorias, que consisten en modificaciones de localización, tecnología, tamaño, diseño, materiales, etc., que se hacen al diseño del proyecto o en la incorporación de elementos nuevos. En todo caso su objetivo consiste en:

Evitar, disminuir, modificar, curar o compensar el efecto del proyecto en el medio ambiente.

Aprovechamiento y optimización de las oportunidades que brinda el medio para el mejor éxito del proyecto, de acuerdo con el principio de integración ambiental.

Las medidas que se incorporan a este documento se integran a un conjunto de estrategias concebidas como el conjunto de acciones que deben aplicarse para lograr concretar el objetivo de prevenir el impacto ambiental destacable, identificado para este proyecto. (Brzovic, F. 1990. Obras para gasoductos de Pemex)

IMPACTO ECONÓMICO DEL PROYECTO

Para el presente proyecto se han identificado varios impactos positivos de índole económicos por el establecimiento de las obras, esto durante las diferentes etapas del proyecto.

IMPACTOS O ESTÍMULOS A LA ECONOMÍA LOCAL

Se prevé que habrá cambios en la estructura de la economía local, entre ellos apertura de nuevos mercados para productos y servicios, mayor demanda de bienes de consumo y en atención a esto se generará empleo con mano de obra de las comunidades aledañas al proyecto y se favorece el consumo de productos alimenticios y servicios de proveedores locales, además de la contratación de proveedores locales (hotelería, restaurant, abarrotes, agua embotellada, acarreo de agua en pipas).

Una economía que no degrade sus bases naturales de sustentación. En los próximos años requeriremos una expansión productiva que sienta bases para crear empleos y ampliar la oferta de bienes y servicios demandados por una población en crecimiento. Por ello la política ambiental y de aprovechamiento de los recursos irá más allá de una actitud estrictamente regulatoria y se constituirá también en un proceso de promoción e inducción de inversiones en infraestructura ambiental, de creación de mercados y de financiamiento para el desarrollo sustentable. Así lograremos hacer compatible el crecimiento económico con la protección ambiental. (Ernesto Zedillo en materia ambiental 1995-2000)

INVERSIÓN Y BENEFICIO SOCIAL.

Se cuenta con un procedimiento de Inversión Social de la Empresa para las áreas de salud, educación, actividades cívicas comunitarias, Deportes, cuidado y

conservación al Medio Ambiente, así como el fortalecimiento de tradiciones culturales.

Otro impacto en el sector económico es la implementación de obras de apoyo social se realizan mayoritariamente con recursos y empresas ubicadas en las comunidades locales. (CEPAL/GTZ, 2001)

IMPACTO SOBRE LA SALUD

- Incremento en los niveles de concentración de contaminantes y partículas suspendidas en el aire.
- Alteración de la calidad del agua por incremento de concentración de grasas, aceites y otras sustancias en el suelo Para los impactos socioeconómicos identificados en materia de salud se prevén las siguientes medidas de mitigación:
- Sistema de Gestión Ambiental, Higiene y Seguridad Laboral.
- Se implementarán acciones de mitigación del polvo generado con las actividades propias de la construcción.
- Monitoreo continuo de agua residuales de plantas de tratamiento de oficinas en campo, se utiliza riego de caminos para mitigación del polvo.

IMPACTO HIDROLÓGICO

Junto con las acciones para frenar las tendencias del deterioro ecológico y transitar hacia un desarrollo sustentable, se realizarán programas específicos para sanear el ambiente en las ciudades más contaminadas, restaurar los sitios más afectados por el inadecuado manejo de residuos peligrosos, sanear las principales cuencas hidrológicas y restaurar áreas críticas para la protección de la biosfera.

OPERACIÓN

El procedimiento que se utilice para la operación de soldadura en el ducto debe ser calificado y certificado, mediante pruebas destructivas y no destructivas, para asegurar que las soldaduras tengan propiedades mecánicas apropiadas para la tubería y accesorios, conforme a lo establecido en la NRF-020-PEMEX-2005. Para

servicio no amargo, la calificación de los procedimientos de soldadura debe realizarse de acuerdo con lo establecido en el API STANDARD 1104 o equivalente. Para el caso de servicio amaro y trampas de diablos, la calificación de los procedimientos de soldadura debe realizarse de acuerdo con lo establecido en el Código ASME. (PEMEX, 2005)

PROTECCIÓN

Se realizan los acabados de los equipos y líneas de conducción mediante protección externa, a través de recubrimientos de pinturas anticorrosivas. También se clasificaron los desechos de construcción de acuerdo con su tipo, para que aquellos que se pudieran reusar fueron manejados a través de empresas autorizadas para este propósito, y los no reciclables se dispusieron conforme a lo que determinaron las autoridades municipales. (Agencia de Medio Ambiente. 1998.)

Equipo de protección personal para una brigada, constando de cascos, chamarra con pantalón para bombero, bota de hule, mascarilla contra gases, hachas, palas, pico y guantes.

En la refinería de Tula Hidalgo existe una organización que se llama Comité Interno de Protección Civil, cuyo objetivo es trabajar coordinadamente para proteger la integridad física del personal, las instalaciones y bienes de la refinería en el supuesto caso que se presente una situación de emergencia. Este comité se encarga que los trabajadores de la refinería, así como los contratistas conozcan las disposiciones en materia de higiene y seguridad que se deben aplicar en las instalaciones petroleras y así prevenir cualquier actividad o acto inseguro que pudiera transformarse en un accidente.

Junto con las acciones para frenar las tendencias del deterioro ecológico y transitar hacia un desarrollo sustentable, se realizarán programas específicos para sanear el ambiente en las ciudades más contaminadas, restaurar los sitios más afectados por el inadecuado manejo de residuos peligrosos, sanear las principales cuencas hidrológicas y restaurar áreas críticas para la protección de la biosfera. En base a lo anterior, una de las políticas en cuestión ambiental de PEMEX es la protección al

medio ambiente, cumpliendo con todos los requerimientos establecidos por las distintas autoridades, motivo por el cual se realizó el presente trabajo.

Teniendo como principal objetivo la protección de la planta y del medio ambiente que la rodea. Dentro del Plan Nacional de Desarrollo (1995 – 2000) se contemplan las estrategias de crecimiento económico y de desarrollo social, las cuales deben de encuadrarse dentro de una política ambiental responsable que permita un aprovechamiento duradero de los recursos naturales, por esto el proyecto de la refinería es acorde con las propuestas de dicho plan, ya que es prioritaria la conservación y optimización de los recursos no renovables tales como los hidrocarburos, los cuales generan riqueza para el país, la cual fortalece el desarrollo urbano y la dotación de equipamiento para la sociedad. (Pemex. 2003. Manifestación de Impacto Ambiental)

Análisis de los instrumentos normativos Los instrumentos normativos que regulan la totalidad o parte del proyecto son: La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Impacto Ambiental. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Contaminación del Agua. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Ruido. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Emisiones a la Atmósfera. La Ley de Equilibrio Ecológico y al Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo. (Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.2012. Ultima reforma DOF.)

Normas Oficiales Mexicanas en materia ambiental aplicables en los siguientes aspectos:

- Aire
- Agua
- Ruido
- Residuos Peligrosos

INTEGRIDAD DE GASODUCTO A LARGO PLAZO

El gasoducto se realizará tomando en cuenta la composición química del Gas Natural, así como los procesos que se realizan al mismo para que llegue a los destinos previstos con la calidad adecuada.

La construcción del ducto debe de cumplir con normas, estas normas son nacionales e internacionales tanto para delimitar el derecho de vía, excavación, bajado, alineado y en las operaciones necesarias al soldar los ductos. Todos los accesorios, válvulas, sistemas de compresión deben de cumplir con las normas indicadas. Se calcula el diámetro del ducto, el espesor de pared las válvulas de seccionamiento y el número de estaciones de compresión.

Se realiza un análisis económico para decidir si es rentable el proyecto tomando en cuenta el costo del ducto, las válvulas de seccionamiento, el sistema de compresión, la construcción, la ingeniería y todas las variables que involucra el estudio económico.

NORMAS

La Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo establece en el segundo párrafo de su artículo 4o., que los sectores social y privado podrán llevar a cabo, previo permiso de la Secretaría de Energía dado por conducto de su órgano desconcentrado Comisión Reguladora de Energía, el transporte, almacenamiento y distribución de gas, para lo cual podrán construir, operar y ser propietarios de ductos, instalaciones y equipo en los términos de las disposiciones reglamentarias, técnicas y de regulación que se expidan. (Ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en el ramo del petróleo. 2014 .Ley Abrogada DOF.)

Para contribuir a salvaguardar la prestación de los servicios de transporte de gas natural, fomentar una sana competencia entre los permisionarios del ramo, proteger los intereses de los usuarios correspondientes, propiciar una adecuada cobertura nacional y atender a la confiabilidad, estabilidad y seguridad en el suministro de gas natural y prestación del mencionado servicio, es necesario contar con una norma técnica de observancia obligatoria que establezca las especificaciones y los

requisitos mínimos de seguridad que deben satisfacer los materiales, equipos e instalaciones destinados al transporte de dicho gas.

Norma oficial mexicana NOM-007-SECRE-2010, transporte de gas natural (cancela y sustituye a la NOM-007-SECRE-1999, transporte de gas natural).

Esta norma establece las especificaciones técnicas y los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los sistemas de transporte de gas natural por medio de ductos.

Es aplicable a los sistemas de transporte de gas natural por medio de ductos (Sistemas de Transporte) localizados en territorio nacional. Incluye todos aquellos Sistemas de Transporte en diseño, construcción y operación, e inclusive los que están empacados, inertizados y abandonados, y aquellos sistemas de transporte que ya estando contruidos se modifiquen en su diseño original. (Natural, NOM-007-SECRE-2010, 2010)

La aplicación de la Norma a los Sistemas de Transporte localizados en territorio nacional comprende desde el(los) punto(s) de origen del ducto hasta el(los) puntos de destino.

Esta Norma es aplicable a ductos, equipos, instalaciones principales y accesorias y dispositivos de los sistemas de transporte en acero al carbón.

Esta Norma no es aplicable a los sistemas de transporte de gas natural por medio de ductos necesarios para interconectar la explotación y producción del gas natural, excepto aquellos que cuenten con un título de permiso expedido por la Comisión Reguladora de Energía.

Para los efectos de la presente norma, el término transporte comprenderá también al transporte para usos propios en términos del Reglamento de Gas Natural.

Para presiones iguales o menores a 689 kPa podrá utilizarse tubería de polietileno de alta o media densidad y/o tubería multicapa (polietileno-aluminio-polietileno o policloruro de vinilo - aluminio - policloruro de vinilo), de conformidad con la práctica internacionalmente reconocida. Para el diseño, materiales, construcción, operación

y mantenimiento de tuberías de polietileno deberán aplicarse, en lo conducente, las disposiciones de la versión vigente de la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SECRE-2002, Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos, excepto por los requerimientos de señalización, vigilancia, detección de fugas y programa de prevención de accidentes que serán regidos por esta norma. (NOM-001-SECRE-2010, Especificaciones del gas natural.)

NOM-003-SECRE-2002, Distribución de gas natural y gas natural licuado del petróleo por ductos.

Tubería nueva: Para que la tubería nueva de acero califique para uso bajo esta Norma debe estar fabricada de acuerdo con lo establecido en la práctica internacionalmente reconocida y/o de acuerdo con la tecnología propuesta bajo responsabilidad del particular.

Cumplir con la práctica internacionalmente reconocida, cuando la tubería nueva sea expandida en frío.

Tubería usada: Para que la tubería de acero usada califique bajo esta Norma deberá estar fabricada de acuerdo con lo establecido en la práctica internacionalmente reconocida para tubería señalada en la bibliografía.

Efectuar la inspección mediante la cual se demuestre que la tubería está libre de imperfecciones que puedan ocasionar fugas.

Ser utilizada a una presión igual o menor a la presión de operación a la cual fue sometida.

Transporte de tubería. La transportación de tubería por ferrocarril, ríos o vías marinas que tenga una relación de diámetro externo-espesor de pared de 70 a 1 o mayor y que van a operar a esfuerzos del 30% (treinta por ciento) o mayores de la RMC, deberá apegarse a la práctica internacionalmente reconocida.

MEDIO DE TRANSPORTE

Existe una amplia variedad de medios en que se puede transportar el gas natural, pero en este caso práctico hablaremos de los gasoductos. Un gasoducto es una conducción que sirve para transportar gases combustibles a gran escala. Es muy importante su función en la actividad económica actual.

Consiste en una conducción de tuberías de acero, por las que el gas circula a alta presión, desde el lugar de origen. Se construyen enterrados en zanjas a una profundidad habitual de un metro. Excepcionalmente, se construyen en superficie. Por razones de seguridad, las normas de todos los países establecen que a intervalos determinados se sitúen válvulas en los gasoductos mediante las que se pueda cortar el flujo en caso de incidente. Además, si la longitud del gasoducto es importante, puede ser necesario situar estaciones de compresión a intervalos. El inicio de un gasoducto puede ser un yacimiento o una planta de regasificación, generalmente situada en las proximidades de un puerto de mar al que llegan buques (para el gas natural, se llaman metaneros) que transportan gas natural licuado en condiciones criogénicas a muy baja temperatura (-161 °C). (Petróleos

Mexicanos, 2010.)

Las normas particulares de muchos países obligan a que los gasoductos enterrados estén protegidos de la corrosión. A menudo, el método más económico es revestir el conducto con algún tipo de alquitrán de hulla más cintas de fibra de vidrio de modo que la tubería queda eléctricamente aislada del terreno que la rodea. Generalmente se reviste con pintura y polietileno hasta un espesor de 2-7 mm. Para prevenir el efecto de posibles fallos en este revestimiento, los gasoductos suelen estar dotados de un sistema de protección catódica, utilizando ánodos de sacrificio que establecen la tensión galvánica suficiente para que no se produzca corrosión. (Valencia, 2010)

UPSTREAM:

Consiste en la exploración, el descubrimiento y producción del petróleo y el gas. En el presente proyecto únicamente exploramos el llevar de Altamira a la refinería de

Tula-Hidalgo el gas natural, tomando en cuenta los parámetros necesarios para la evaluación y rentabilidad del gasoducto.

MIDSTREAM

Prácticamente en este paso se transportan los combustibles.

Lo cual en el proyecto se remarca cual es el medio de transporte el cual sería el gasoducto.

DOWNSTREAM

Es la distribución. Es el proceso mediante el cual se hace llegar el gas y el petróleo a los comercios, industrias y hogares.

Únicamente lo distribuimos a la planta de Tula-Hidalgo donde ahí llevaran a cabo el proceso donde será tratado y procesado para el uso comercial.

SIMULADOR PRO/II

El simulador que se ha empleado en la simulación del gasoducto es Pro II, se redactara una breve introducción al simulador.

El simulador nos introduce a la ingeniería y análisis de procesos industriales mediante el uso de herramientas computacionales que forman parte de la evaluación y modelaje virtual de los procedimientos en cualquier ámbito industrial, esto a través del simulador de procesos PRO/II. (AVEVA. 2019.)

El simulador está diseñado especialmente para:

- Estudiantes e ingenieros que pudiesen usar PRO/II en su trabajo diario.
- Ingenieros de Procesos que hagan diseño de proceso, proyectos y estudios de optimización de procesos.
- Ingenieros de Planta que realicen evaluaciones de su planta bajo diferentes condiciones de operación.
- Ingenieros de Investigación y Desarrollo y Científicos que utilicen PRO/II para síntesis de procesos.

PRO/II es un programa de simulación de procesos que puede ser usado para resolver un amplio rango de problemas industriales típicos con un tratamiento riguroso en el balance de masa y balance de energía.

Ofrece el método de solución aplicable más compresiva y fácil de usar y es el estándar industrial para refinerías y procesos de gas, incluyendo procesos químicos. Es usado desde la separación de petróleo y gas hasta procesos como la destilación reactiva.

PRO/II es una herramienta para el estudio y la aplicación de la ingeniería, tanto en el diseño de equipos nuevos como en la simulación de los ya existentes. Dentro de las unidades disponibles por el programa están incluidas:

- Tanques de flash
- Separador sólido
- Ciclón
- Cristalizador
- Disolvedor
- Reactor (lotes, PFR, CSTR)
- Separador de membrana
- Columnas (destilación, extracción, absorción)
- Mezcladores
- Separadores de corrientes
- Intercambiadores de calor
- Compresores
- Expansores
- Bombas
- Válvulas

Además, permite la posibilidad de colocar controladores en el sistema, realizar un proceso de optimización (diámetro, flujo, conversión), cálculos de tuberías, obtención de curvas de equilibrio, herramientas de flash en una corriente, reporte de datos en forma de tablas y de gráficas e interfaz con Microsoft Excel.

OFERTA Y DEMANDA EN LAS LOCALIDADES

La obra manifestada corresponde a la construcción de un gasoducto que corre desde el Puerto industrial de Altamira a la refinería de Tula, Hidalgo; para transportar el gas natural a la refinería de Tula, el cual procesa 211,200 de barriles de crudo cada día, convirtiéndose en la unidad que más produce a escala nacional, seguida por las unidades de Salina Cruz en Oaxaca y Minatitlán en Veracruz. (El economista. 2023. La refinería de Tula es la planta de Pemex que procesa más petróleo.)

TIPO DE FLUIDO TRANSPORTADO

Gas natural

IMPACTO SÍSMICO Y VOLCÁNICO.

Con relación al coeficiente sísmico, la construcción del gasoducto Altamira – Tula, de acuerdo con la zona en la que se encuentra se considera una zona NO Sísmica y de acuerdo con el impacto volcánico, el volcán más cerca de la refinería se encuentra a 82.1 km (equivalente a 1 h 10 min), por lo que se considera como un riesgo medio. (Mexicano, Servicio Geologico, 2009)

MATERIAL Y CONSTRUCCIÓN.

La trayectoria general de gasoductos está considerada como localización Clase 2, de acuerdo con la NOM-007-SECRE-1999. Debido a esto la tubería del sistema del transporte es de acero al carbón.

Las actividades de construcción más importantes se mencionan y describen brevemente a continuación:

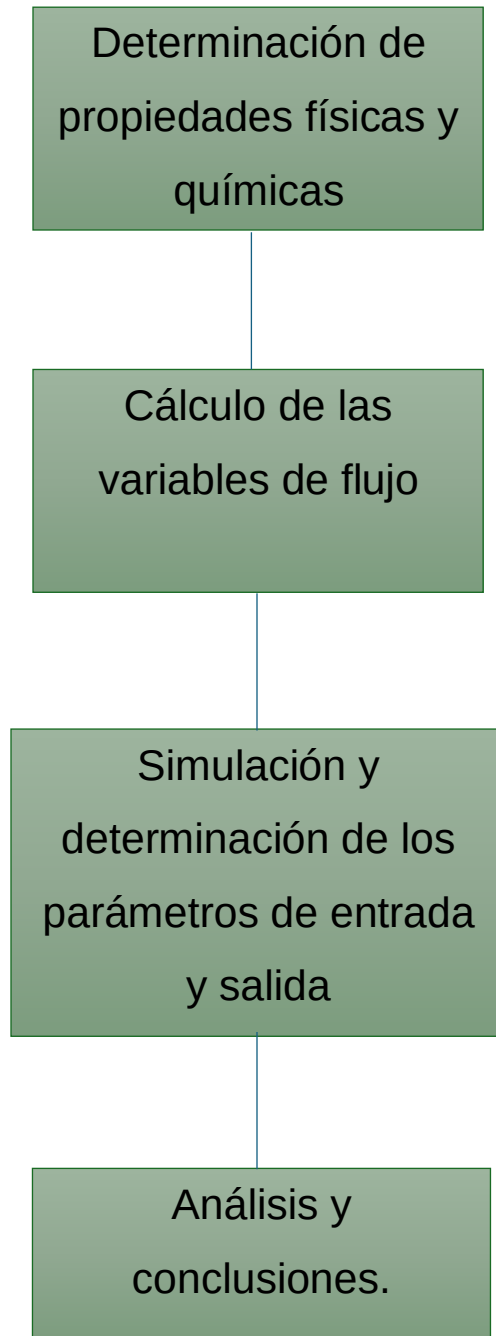
- Excavación de Zanja: Estos trabajos comprenden el afloje y ruptura del material, remoción y extracción de este.

- Interconexión: Considerando que la interconexión se realizará en caliente (hot hopping) será necesaria una plataforma con una profundidad de ± 50 cm para realizar los trabajos de corte y soldadura de la tubería.
- Tendido de tubería: La cuadrilla se va desplazando a lo largo del derecho de vía, colocando la tubería por un lado del eje marcado para la excavación de la zanja.
- Mochetas: En las zonas de los disparos se colocará la tubería que salga del exterior sobre mochetas construidas a base de concreto.
- Colocación de la tubería: Se considera la colocación de la tubería con un colchón de 1.75 m, en promedio a partir del nivel del terreno neutral.
- Alineado y soldado de la tubería: Con el alineado debidamente colocado y el equipo sosteniendo el tubo perfectamente alineado, se aplica el primer colchón de soldadura.
- Inspección radiográfica de la tubería: Esta inspección se lleva a cabo al 100% en todas las uniones soldadas.
- Reparación de la soldadura: Algunos defectos de las soldaduras pueden repararse de acuerdo con la norma CID-NOR.NSI-0001 "Requerimientos mínimos de seguridad para el diseño, construcción, operación, mantenimiento e inspección de tuberías de transporte". Una soldadura puede ser reparada como máximo 2 veces.
- Limpieza interior: Después de que se han reparado las soldaduras defectuosas debe correrse por el interior de la tubería un dispositivo de limpieza de inspección interna para limpiar y desprender materias que pueden resultar de cada junta soldada entre tubos.



Desarrollo

ALGORITMO DE SOLUCIÓN



METODOLOGÍA

COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL:

Compuesto	Yi (%mol)
Dióxido de Carbono	18.1795
Etano	11.2638
Hexano	0.0625
i-Butano	0.9563
i-Pentano	0.5819
Metano	61.7566
n-Butano	2.2378
Nitrógeno	1.1754
n-Pentano	0.5411
Propano	3.2452

Tabla 1. Composición del gas natural.

“Las composiciones del gas natural son recabadas, son números que se indican en la GPSA para la obtención del análisis a realizar en este trabajo. Por lo tanto, no son datos calculados y son utilizados con la finalidad de proponer el gasoducto que transporte la corriente establecida.”

Flujo molar:

- Líquido: 21.1773 lb/s
- Gas: 6.2506 lb/s
- Presión: 9 kg/cm²

- Temperatura: 32 °C

DISEÑO TERMODINÁMICO: PROPIEDADES DEL GAS

Convirtiendo unidades del sistema.

$$T = 32^{\circ}\text{C} \text{ ----- } 89.6^{\circ}\text{F} \text{ ----- } 549.27^{\circ}\text{R}$$

$$P_{\text{man}} = 9 \text{ kg/cm}^2 \text{ ----- } 128.01 \text{ Psi} \text{ ----- } 142.71 \text{ Psia}$$

$$R = 10.731 \frac{\text{psia} \cdot \text{ft}^3}{\text{lbmol} \cdot \text{R}}$$

Nota: La temperatura debe estar no mayor a 89.6°F con una presión de 142.71 Psia, para evitar la formación de hidratos.

TABLA PROPIEDADES PSEUDOCRITICAS.

Componente	% en mol	mol (yi)	Mi	Pc	Tc	Yi*Pi	Yi*Tc	Yi*Mi
CO2	18.1795	0.181795	44.01	1071	547.58	194.702445	99.5473061	8.00079795
C1	11.2638	0.112638	30.07	706.5	549.59	79.578747	61.9047184	3.38702466
Hexano	0.0625	0.000625	86.177	436.9	913.27	0.2730625	0.57079375	0.05386063
i-C4	0.9563	0.009563	58.123	527.9	734.13	5.0483077	7.02048519	0.55583025
i-C5	0.5819	0.005819	72.154	490.4	828.77	2.8536376	4.82261263	0.41986413
C2	61.7566	0.617566	16.043	666.4	343	411.545982	211.825138	9.90761134
n-C4	2.2378	0.022378	58.123	550.6	765.29	12.3213268	17.1256596	1.30067649
N2	1.1754	0.011754	28.013	493.1	227.16	5.7958974	2.67003864	0.3292648
n-C5	0.5411	0.005411	72.154	488.6	845.27	2.6438146	4.57375597	0.39042529
C3	3.2552	0.032552	44.097	616	665.73	20.052032	21.670843	1.43544554
Total	100.0101	1.000101	508.964	6047.4	6419.79	734.815253	431.731351	25.7808011
						Psc	Tsc	Ma

Tabla 2. Propiedades pseudocriticas. "Fuente propia"

GPM	Pci	Poder Calorífico	Tr	A	B	W	PV	Estado
0.043012	0	0	0.9965	0.0032	-0.4906	0.2667	942.666	vapor
0.018209	1769.6	199.324	0.9928	-0.0186	-0.5483	0.979	405.37	vapor
0.00029	4755.9	2.972	0.5974	-3.6838	-11.0038	0.2994	0.44	liquido
0.002988	3251.9	31.097	0.7432	-1.8599	-5.8537	0.1852	27.793	liquido
0.002257	4000.9	23.281	0.6584	-2.7779	-8.5745	0.228	4.315	liquido
0.053263	1010	623.741	1.5908	4.6391	5.3908	0.0104	72396.483	vapor
0.006992	3262.3	73.003	0.713	-2.1617	-6.7495	0.1995	16.489	liquido
0.00177	0	0	2.4021	39.4173	8.7211	0.0372	8.97E+19	vapor
0.002099	4008.9	21.692	0.6455	-2.9386	-9.0489	0.2514	2.659	liquido
0.007693	2516.1	81.652	0.8196	-1.1957	-3.8873	0.1522	103.11	vapor
0.138573	24575.6	1056.762	10.1593					
GPM								

Tabla 3. Cálculos de GPM, Pci, Poder calorífico, W y PV. “Fuente propia”

FORMULAS

$$P_{ab} = P_{man} + P_{atm}$$

$$A = Y_{CO_2} + Y_{H_2S}$$

$$B = Y_{H_2S}$$

$$Fsk = 120(A^{0.9} - A^{1.6}) + 15(B - B^4)$$

$$pTc = sTc - FSK$$

$$pPc = \frac{(sPc)(pTc)}{(sTc) + B(1 - B)Fsk}$$

$$sTr = \frac{T}{sTc}$$

$$sPr = \frac{P}{sPc}$$

$$\rho = \frac{P * M_{WA}}{Z * R * T}$$

$$M_{WA} = \sum Y_{Ci} * M_{Wi} + \dots + Y_n * M_{Wn}$$

$$GPM = \sum_{i=3}^n \left(\frac{(1000) * (Y_i * \frac{M_i}{P_i})}{3796.6} \right)$$

$$MWA = 29 * Y_g \therefore Y_g = \frac{MWA}{29}$$

$$Viscosity\ radio = \frac{\mu}{\mu_1} \therefore \mu = viscosity\ radio * \mu_1$$

CONVERSIONES REALIZADAS.

$$0^\circ C * \frac{9}{5} + 491.67 = 0^\circ C \therefore 32^\circ C * \frac{9}{5} + 491.67 = 549.27^\circ R$$

$$549.27^\circ R - 459.67 = 89.6^\circ F$$

$$9 \frac{kg}{cm^2} \left| \frac{14.2233 \frac{lb}{in^2}}{1 \frac{Kg}{cm^2}} \right| = 128.097 psi \rightarrow 128.097 + 14.7 = \mathbf{142.797 psia}$$

$$0.807999 \frac{lb}{ft^3} \left| \frac{60.6365 \frac{g}{gal}}{1 \frac{lb}{ft^3}} \right| = 48.499 \frac{g}{gal}$$

CÁLCULO DE Z

$$A = YCO_2 + YH_2S$$

$$A = 0.181795 + 0$$

$$A = 0.181795$$

$$B = YH_2S$$

$$B = 0$$

$$Fsk = 120(A^{0.9} - A^{1.6}) + 15(B - B^4)$$

$$Fsk = 120(0.181795^{0.9} - 0.181795^{1.6}) + 15(0 - 0^4)$$

$$Fsk = 18.0269$$

$$pTc = sTc - Fsk$$

$$pTc = 431.731 - 18.0269 = \mathbf{413.704^\circ R}$$

$$pPc = \frac{(sPc)(pTc)}{(sTc) + (1 - B)Fsk} \rightarrow \frac{(734.815)(413.704)}{(431.731) + (1 - 0)18.026} = \mathbf{704.132}$$

$$sTr = \frac{T}{sTr} \rightarrow \frac{549.27^\circ R}{413.704^\circ R} = \mathbf{1.327}$$

$$sPr = \frac{P}{sPr} \rightarrow \frac{128.01 psia}{704.132 psia} = \mathbf{0.181}$$

DENSIDAD

$$\rho = \frac{P * M_{WA}}{Z * R * T} \rightarrow \frac{128.01 \text{ psia} * 25.780}{0.70 * 10.71 \frac{\text{psia} * \text{ft}^3}{\text{lbmol} * ^\circ\text{R}} * 549.21 ^\circ\text{R}} = 0.801 \frac{\text{lbmol}}{\text{ft}^3}$$

GRAVEDAD ESPECIFICA

$$Y_g = \frac{M_{WA}}{29} \rightarrow \frac{25.780}{29} = 0.888$$

VISCOSIDAD.

$$\mu_1 = \mu_{1 \text{ no corregida}} + \Delta\mu_{N_2} + \Delta\mu_{CO_2} + \Delta\mu_{H_2S} \rightarrow 0.010 + 0.00017 + 0.00108 = 0.0112$$

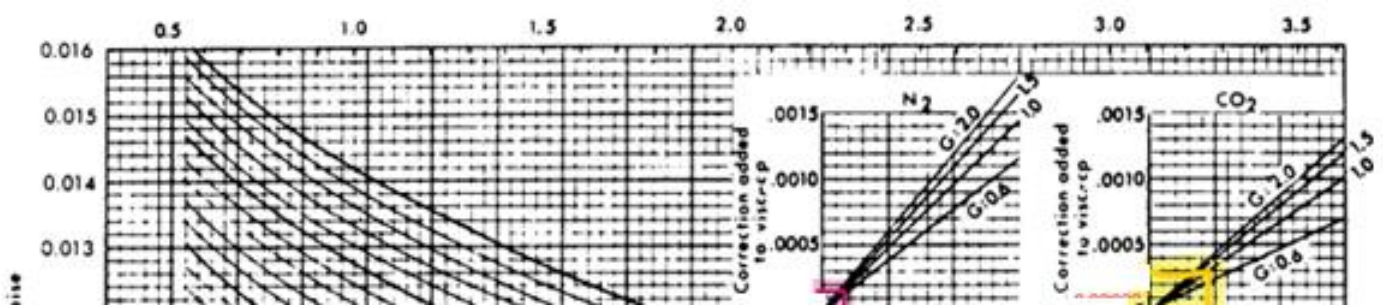
De la **figura 23-22**, de Viscosity of Paraffin Hydrocarbon Gases at One Atmosphere. Del Libro: ENGINEERING DATA

BOOK.

Se determino la viscosidad de N₂, CO₂ y a una atmosfera.

La cual se entra con %mol una vez determinado anteriormente (N₂=1.17mol y de CO₂=18.1 mol) interceptando con gravedad de (0.888), obteniendo una viscosidad de N₂= 0.00017 y CO₂= 0.0018.

Para la viscosidad a 1 atmosfera, se grafica con PM el cual es de (25 g/mol) y 100°F, dando como resultado una viscosidad de 0.010.



DISEÑO MECÁNICO

N.º DE REYNOLDS

$$Re = 0.0004778 * \left(\frac{Pb}{Tb} \right) * \left(\frac{y * Q}{\mu * D_{int}} \right)$$

$$Re = 0.0004778 * \left(\frac{14.7 \text{ lpca}}{502 \text{ } ^\circ R} \right) * \left(\frac{0.8888 * 3324634.724 \frac{ft^3}{dia}}{0.0009 * 4.01 \text{ in}} \right) = 11439.23$$

PESO MOLECULAR APARENTE

$$M_{WA} = \Sigma Y_{C1} * M_{WI} + \dots + Y_n * M_{wn}$$

Componente	% en mol	mol (yi)	Mi	Pc	Tc	Yi*Pi	Yi*Tc	Yi*M _i
CO2	18.1795	0.181795	44.01	1071	547.58	194.702445	99.5473061	8.00079795
C2	11.2638	0.112638	30.07	706.5	549.59	79.578747	61.9047184	3.38702466
Hexano	0.0625	0.000625	86.177	436.9	913.27	0.2730625	0.57079375	0.05386063
i-C4	0.9563	0.009563	58.123	527.9	734.13	5.0483077	7.02048519	0.55583025
i-C5	0.5819	0.005819	72.154	490.4	828.77	2.8536376	4.82261263	0.41986413
C1	61.7566	0.617566	16.043	666.4	343	411.545982	211.825138	9.90761134
n-C4	2.2378	0.022378	58.123	550.6	765.29	12.3213268	17.1256596	1.30067649
N2	1.1754	0.011754	28.013	493.1	227.16	5.7958974	2.67003864	0.3292648
n-C5	0.5411	0.005411	72.154	488.6	845.27	2.6438146	4.57375597	0.39042529
C3	3.2552	0.032552	44.097	616	665.73	20.052032	21.670843	1.43544554
Total	100.0101	1.000101	508.964	6047.4	6419.79	734.815253	431.731351	25.7808011
						Psc	Tsc	Ma

Tabla 4. Cálculos de Psc, Tsc y Ma. “Fuente propia.”

GPM

$$GPM = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(1000) * (Y_i * \frac{M_i}{p_i})}{3796.6} \right)$$

Componente	% en mol	mol (yi)	Mi	Pc	Tc	Yi*Pi	Yi*Tc	Yi*M _i	GPM
CO2	18.1795	0.181795	44.01	1071	547.58	194.702445	99.5473061	8.00079795	0.043012
C2	11.2638	0.112638	30.07	706.5	549.59	79.578747	61.9047184	3.38702466	0.018209
Hexano	0.0625	0.000625	86.177	436.9	913.27	0.2730625	0.57079375	0.05386063	0.00029
i-C4	0.9563	0.009563	58.123	527.9	734.13	5.0483077	7.02048519	0.55583025	0.002988
i-C5	0.5819	0.005819	72.154	490.4	828.77	2.8536376	4.82261263	0.41986413	0.002257
C1	61.7566	0.617566	16.043	666.4	343	411.545982	211.825138	9.90761134	0.053263
n-C4	2.2378	0.022378	58.123	550.6	765.29	12.3213268	17.1256596	1.30067649	0.006992
N2	1.1754	0.011754	28.013	493.1	227.16	5.7958974	2.67003864	0.3292648	0.00177
n-C5	0.5411	0.005411	72.154	488.6	845.27	2.6438146	4.57375597	0.39042529	0.002099
C3	3.2552	0.032552	44.097	616	665.73	20.052032	21.670843	1.43544554	0.007693
Total	100.0101	1.000101	508.964	6047.4	6419.79	734.815253	431.731351	25.7808011	0.138573
						Psc	Tsc	Ma	GPM

Tabla 5. Cálculos. “Fuente propia”

PRESIONES DE VAPOR

Cada componente tiene su propia temperatura crítica; para esta sección se usará la temperatura del sistema, de esta manera cada componente tendrá una temperatura reducida diferente.

W=factor acéntrico (se encuentra en el anexo de tablas).

$$Tr = \frac{T}{T_c}$$

$$A = 5.92714 - \frac{6.09648}{Tr} - 1.2886 \ln(Tr) + 0.1934(Tr)^6$$

$$B = 15.2518 - \frac{15.6875}{Tr}$$

$$Pv = Pc \exp(A + wB)$$

Tr	A	B	W	PV	Estado de Agregacion
0.9965	0.0032	-0.4906	0.2667	942.666	vapor
0.9928	-0.0186	-0.5483	0.979	405.37	vapor
0.5974	-3.6838	-11.0038	0.2994	0.44	liquido
0.7432	-1.8599	-5.8537	0.1852	27.793	liquido
0.6584	-2.7779	-8.5745	0.228	4.315	liquido
1.5908	4.6391	5.3908	0.0104	72396.483	vapor
0.713	-2.1617	-6.7495	0.1995	16.489	liquido
2.4021	39.4173	8.7211	0.0372	8.97E+19	vapor
0.6455	-2.9386	-9.0489	0.2514	2.659	liquido
0.8196	-1.1957	-3.8873	0.1522	103.11	vapor
10.1593					

Tabla 6. Cálculos. “Fuente propia”

Una vez que se obtiene la presión de vapor de cada compuesto, se clasificara si es vapor o líquido; esto se hace de acuerdo con los siguientes parámetros:

$$Psistema < Pv \therefore \text{es vapor}$$

$$Psistema > Pv \therefore \text{es liquido}$$

$$Psistema = Pv \therefore \text{esta en equilibrio}$$

DISEÑO DEL GASODUCTO

RUTA DEL GASODUCTO (Pág. 46).

SUMINISTRO Y ENTREGA DEL PRODUCTO.

Con los datos del suministro del gasoducto, se calculó la P1 con la fórmula de Bernoulli, tomando en cuenta que la presión con la que llega a la refinería Tula Hidalgo es de 299.16 Psia, así mismo, se obtuvieron las latitudes a la que esta tanto el campo, como la refinería destino y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

[illegible]

Tabla 7, 8, 9. Presión del gasoducto y puntos de entrega. “Fuente propia”

TEOREMA DE BERNOULLI.

$$u_1 + \frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 * g * Q - W = u_2 + \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 * g$$

$$P_1 = \left(\frac{299.16}{0.888} + 2020 - 21.35 \right) 0.888 = 2075.6422$$

Una vez obtenidas las dos presiones (suministro y entrega) percibiendo que la P1 debe ser mayor, esto se debe a que la latitud a la que se encuentra el campo está muy próxima al nivel del mar, debido a esto, se implementó un sistema de bombas, las cuales impulsarán con más fuerza el líquido por la tubería, para que así pueda llegar a la refinería Tula Hidalgo, llegando con una presión menor, posteriormente se dispuso a calcular el factor de compresibilidad, los datos como: densidad, gravedad específica y viscosidad del gas se habían calculado con anterioridad.

Es importante mencionar que la temperatura a la que entra la composición al gasoducto se mantiene constante, debido a que, si tuviera algún cambio dentro de él, se tendrían problemas la estructura del gasoducto; como fugas o grietas, explosiones, o bien, el flujo se vería afectado, etc.

Suministro		
Densidad	0.8079	<i>Ib/ft³</i>
Factor de Compresibilidad(Z)	0.7	Grafica
Gravedad especifica	0.888	
Viscosidad	0.0009	

Tabla 10. Cálculos de suministros. “Fuente propia”

$$A = 0.181795 + 0$$

$$A = 0.181795$$

$$B = 0$$

$$Fsk = 120(A^{0.9} - A^{1.6}) + 15(B - B^4)$$

$$Fsk = 120(0.181795^{0.9} - 0.181795^{1.6}) + 15(0 - 0^4)$$

$$Fsk = 18.0269$$

$$pTc = sTc - Fsk$$

$$pPc = \frac{(sPc)(pTc)}{(sTc) + (1 - B)Fsk} \rightarrow \frac{(734.815)(413.704)}{(431.731) + (1 - 0)18.026} = 704.132$$

Valores para calcular Z en gráfica:

$$pTc = \frac{545.67}{413.704} = 1.318$$

$$sTr = \frac{T}{sTr} \rightarrow \frac{2075.642}{704.132} = 2.947$$

Entrega		
Densidad	0.8079	
Factor de Compresibilidad(Z)	0.95	Grafica
Gravedad especifica	0.888	
Viscosidad	0.0009	

Tabla 11. Entrega.

$$A = 0.181795 + 0$$

$$A = 0.181795$$

$$B = 0$$

$$Fsk = 120(A^{0.9} - A^{1.6}) + 15(B - B^4)$$

$$Fsk = 120(0.181795^{0.9} - 0.181795^{1.6}) + 15(0 - 0^4)$$

$$Fsk = 18.0269$$

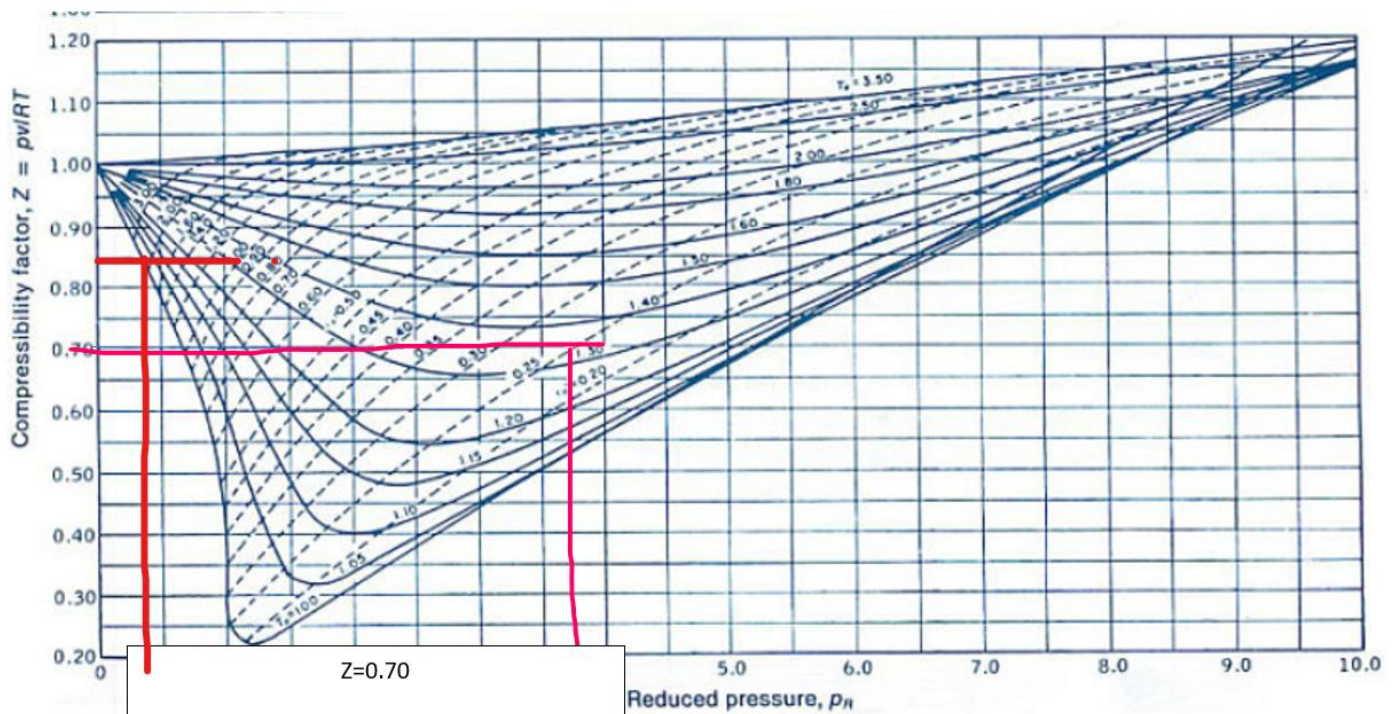
$$pTc = sTc - Fsk$$

$$pPc = \frac{(sPc)(pTc)}{(sTc) + (1 - B)Fsk} \rightarrow \frac{(734.815)(413.704)}{(431.731) + (1 - 0)18.026} = 704.132$$

Valores para calcular Z en gráfica:

$$pTc = \frac{545.67}{413.704} = 1.318$$

$$sTr = \frac{T}{sTr} \rightarrow \frac{299.16}{704.132} = 0.424$$



Para la **determinación de Z** (compresibilidad de un gas) se obtuvo dicha grafica del enlace siguiente:

<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/01/gas-real-y-factor-de-compresibilidad.html>

Entrando con una presión reducida de:0.181 y una temperatura reducida de:1.32 dando lugar a 0.70 de compresibilidad del gas.

Con una Tr de 0.90 y a Pr de 0.424, obtenemos una compresibilidad de 0.85.

CONTENIDO DE AGUA.

Presión: 310 psia

Temperatura: 50 °F

$$W = y_{HC}W_{HC} + y_{CO2}W_{CO2} + y_{H2S}W_{H2S}$$

$$y_{HC} = (0.904 * 37)$$

$$y_{CO2} = (0.002 * 13)$$

$$Y_{H2S} = (0.904 * 130)$$

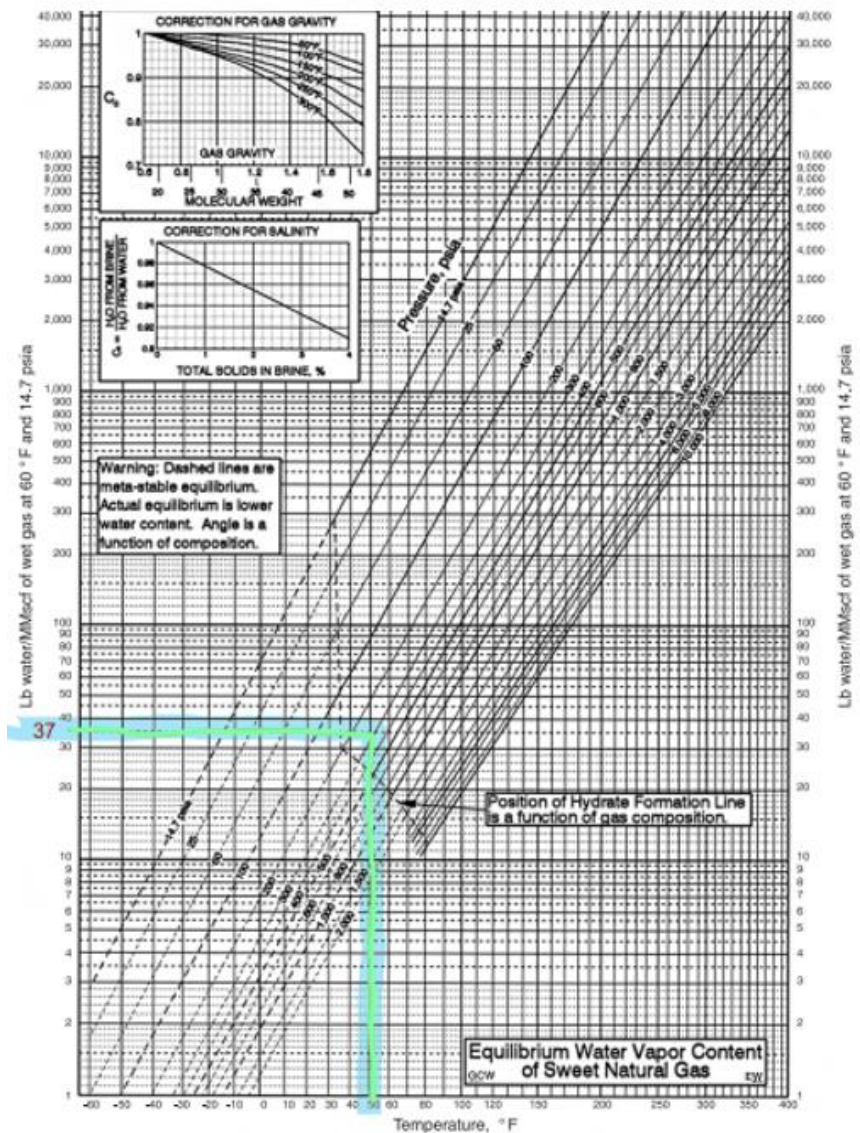
$$W = (0.904 * 37) + (0.002 * 13) + (0.094 * 130)$$

$$W = 45.64 \frac{lbm}{MMPCS}$$

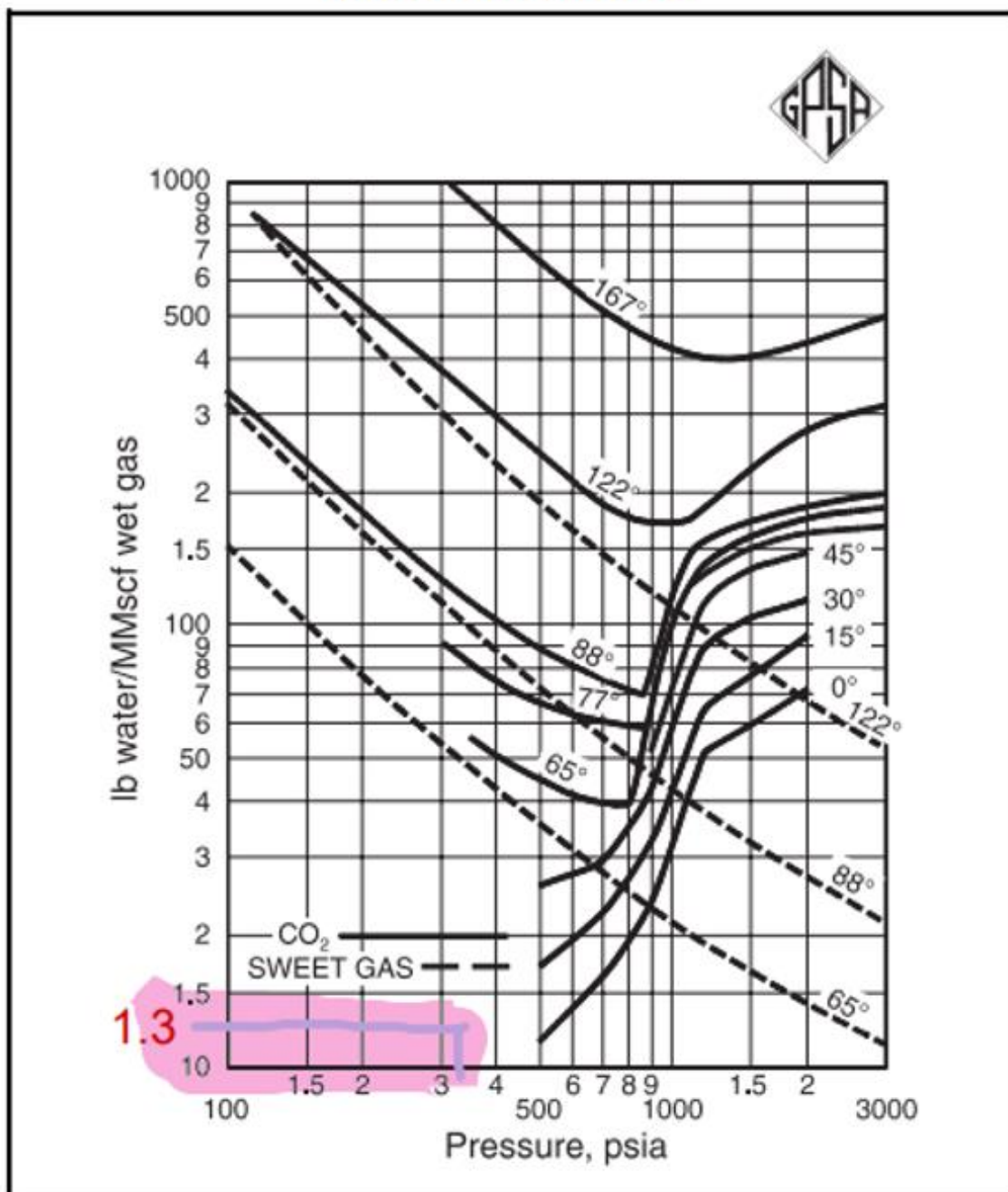
De la figura 20-5. Del libro:
ENGINEERING DATA BOOK.

“Water Content of Hydrocarbon Gas”.

Se obtuvo contenido de agua del gas, entrando con 50°F y una presión de:310, obteniendo 37 lb water/MMscf.

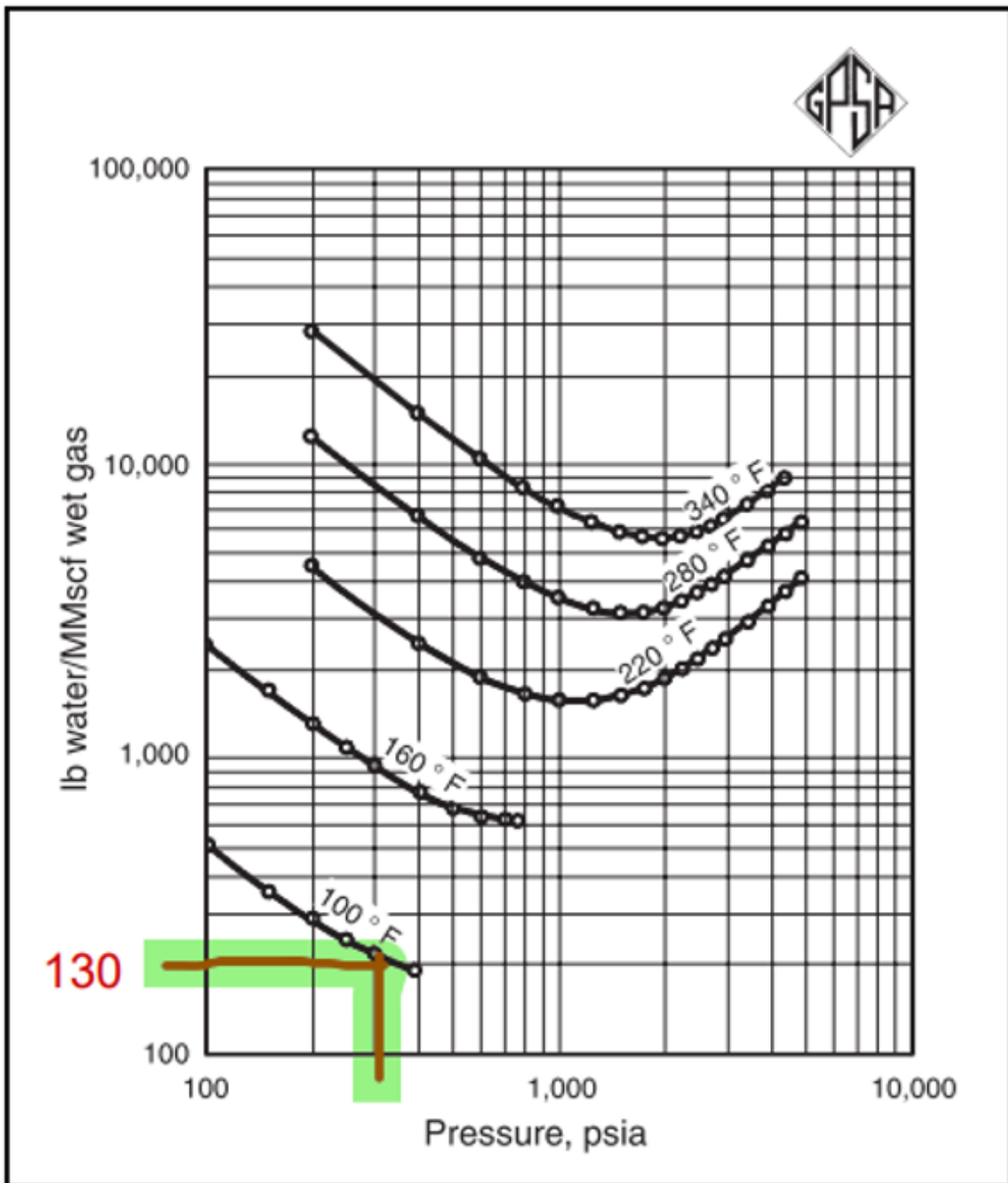


Water Content of CO₂



Se obtuvo 1.3 lbwater/ MMscf, entrando con una presión de 310 psia a una temperatura de 50°F

Water Content of Hydrogen Sulfide



Por lo cual se deduce que en este caso se requiere un tratamiento de gas.



Simulación

DISEÑO EN SOFTWARE.

DISEÑO EN AUTOCAD.

El propósito de este diseño es obtener los mejores parámetros para la tubería del gasoducto y así poder transferir de una manera óptima el gas. **(Los simuladores son de acceso libre).**

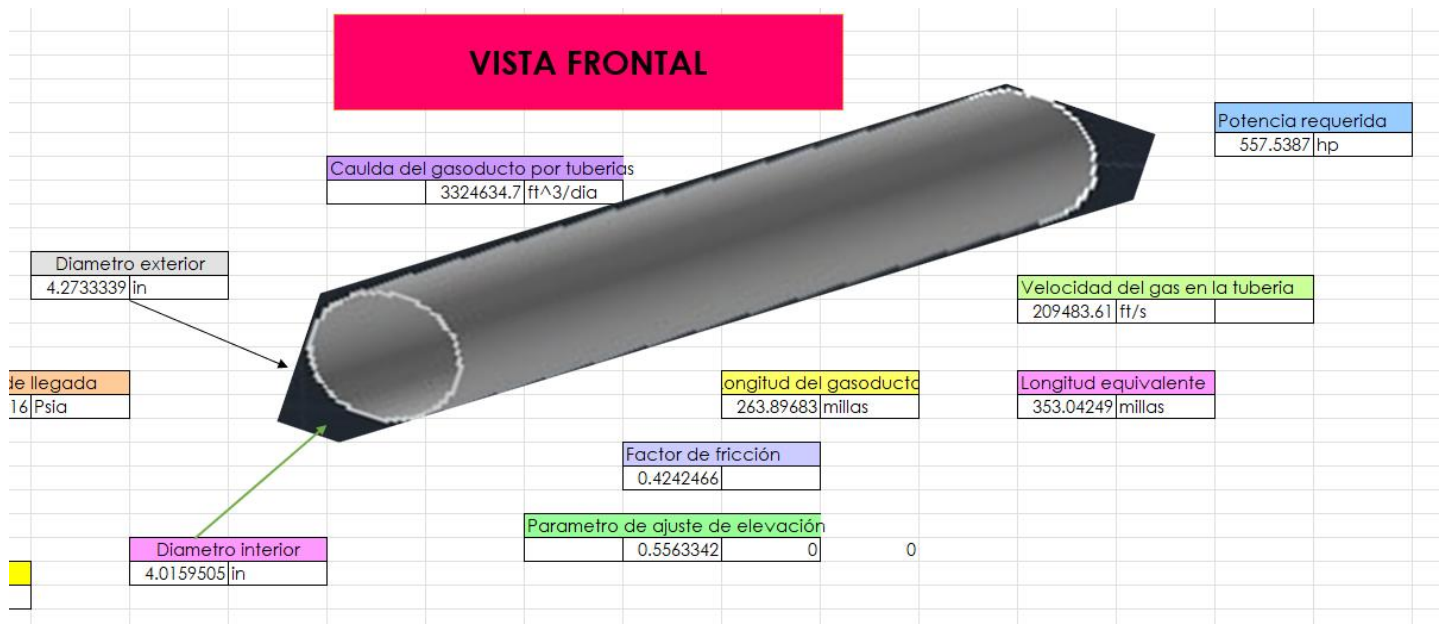
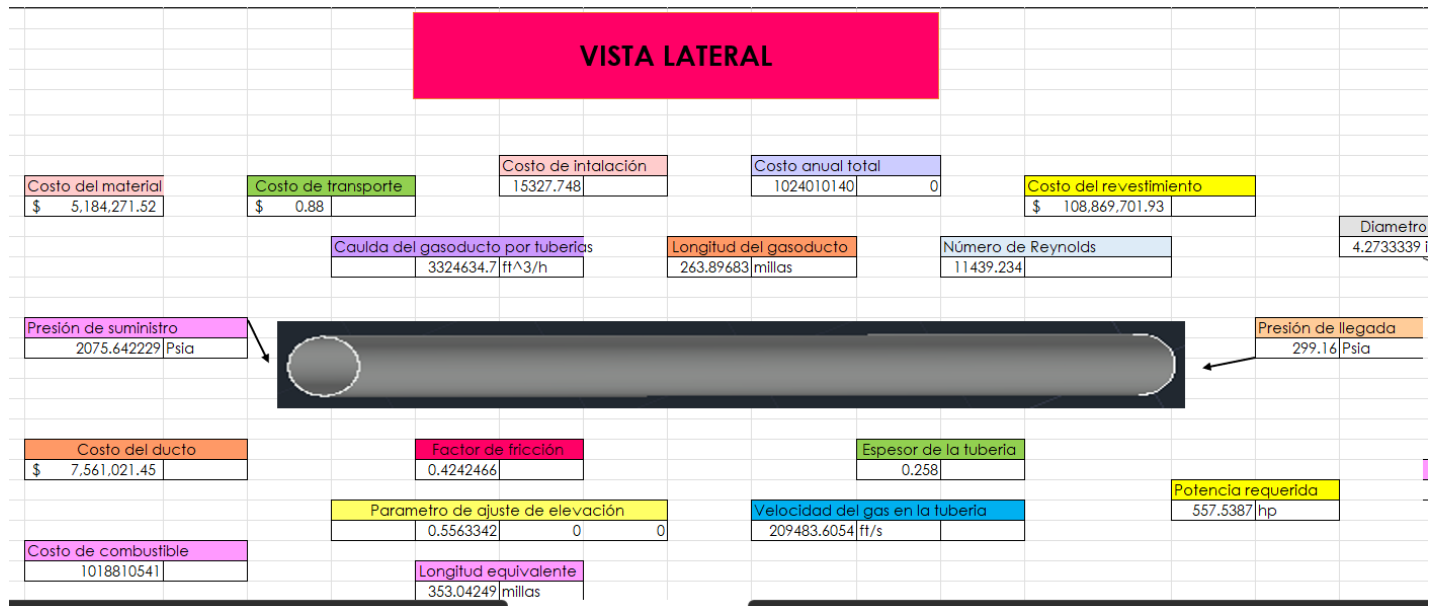


Figura 1. Diseño de tubería en AutoCAD.

PROCESO DE ELABORACIÓN DEL AUTOCAD

1. Se instalo AutoCAD

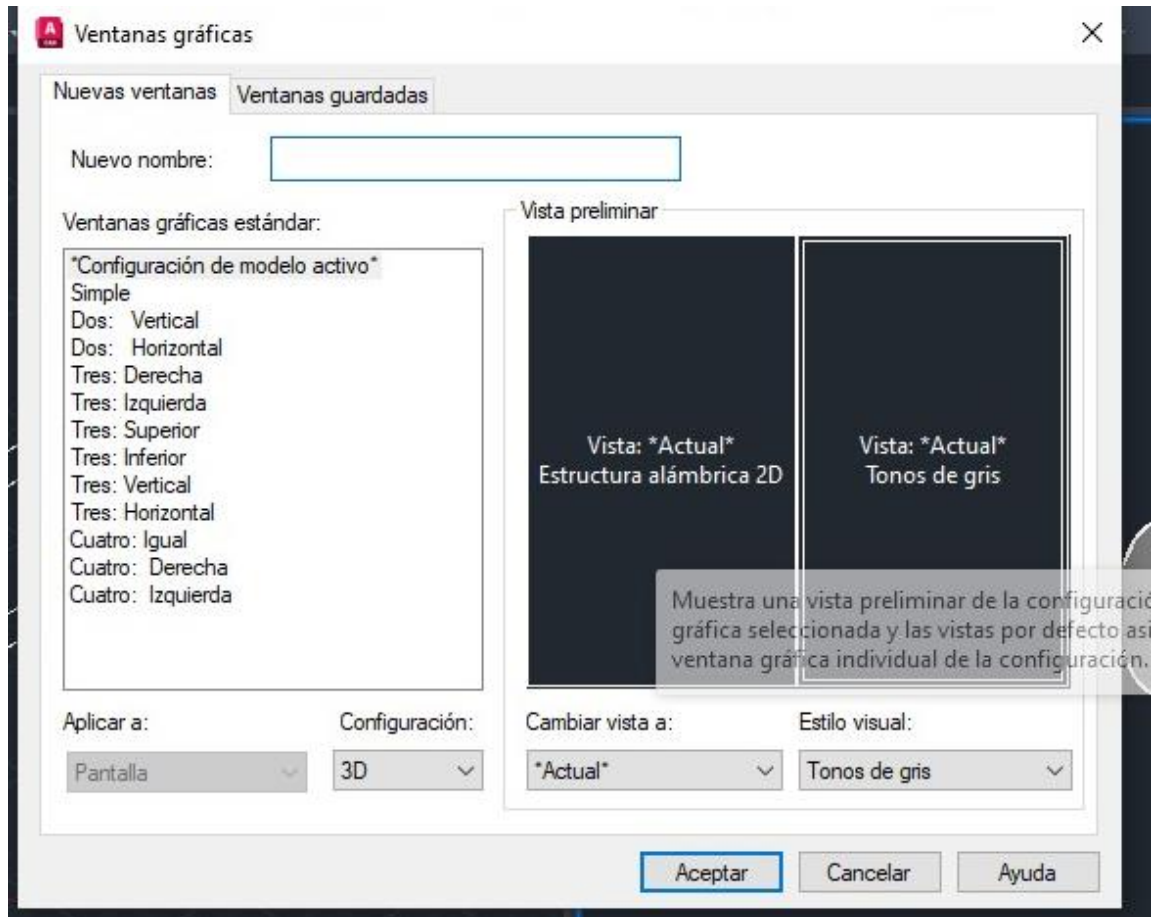


Figura 2. Instalación del AutoCAD.

2. Se abrió un nuevo proyecto y en la parte de código se escribió “ventanas”, ventanas gráficas y damos en la opción “dos horizontales”, a continuación, se coloca en configuración 3D y damos aceptar.

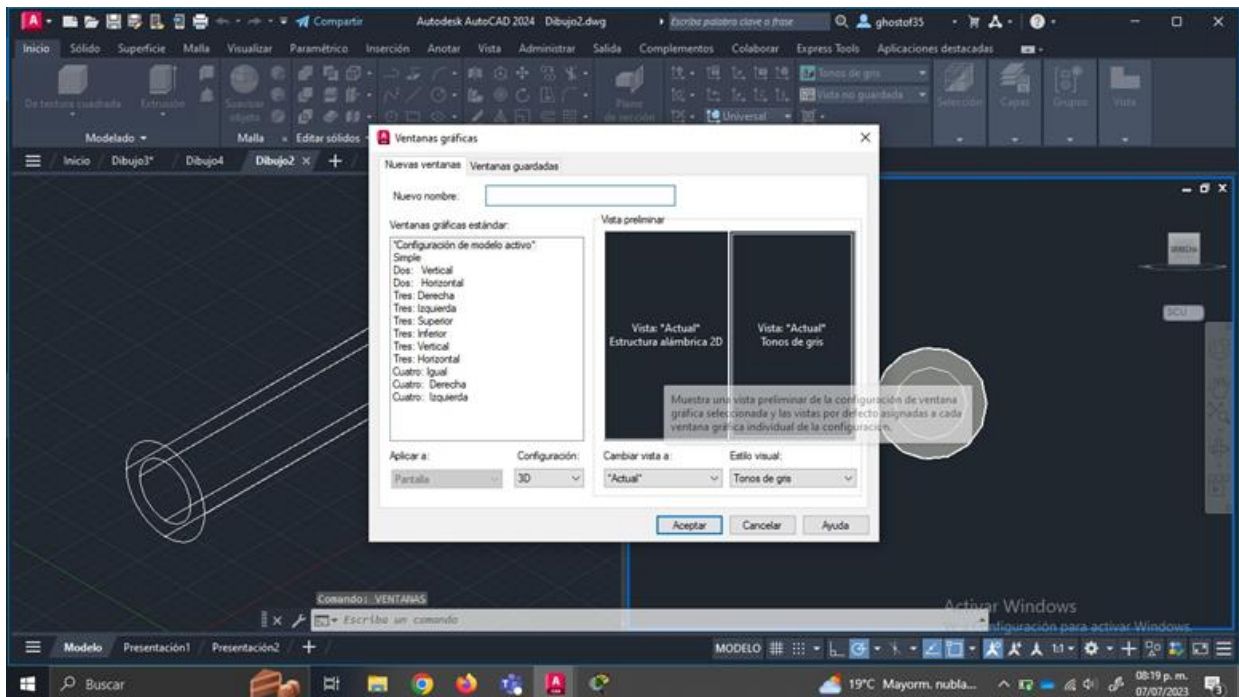


Figura 3. Configuración en AutoCAD.

3. Se inició con los trazos del gasoducto en la parte superior damos clic en el círculo con radio y colocamos las medidas obtenidas por los cálculos anteriores. Luego agarrar la opción de líneas y empezamos a trazar las líneas necesarias para obtener lo deseado.

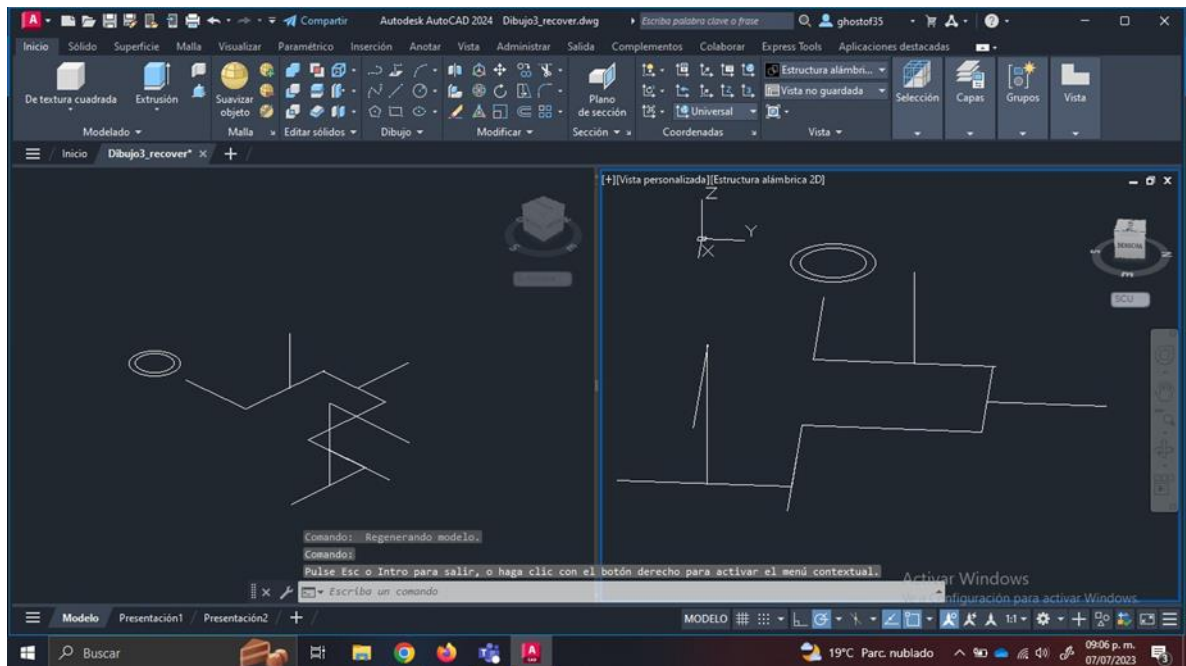


Figura 4. Trozos del gasoducto.

4. A continuación, se colocarán más líneas esto es para que al momento de darle a la opción barrido se pueda obtener el modelo, pero en 3D, esto depende de tus medidas y de tu modelo.

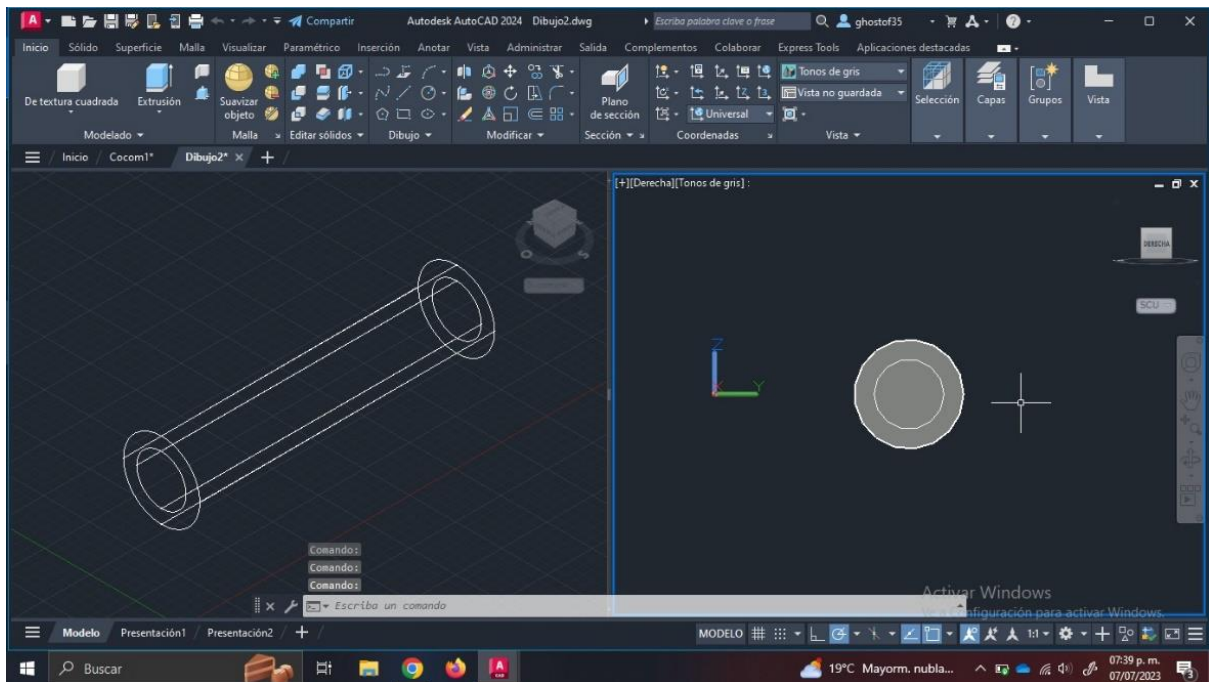


Figura 5. Alineación en AutoCAD.

Se puede observar del lado derecho se encuentra en 2D mientras que del lado izquierdo se encuentra 3D.

5. Se continua con la opción barrido en la parte superior damos clic y damos en las líneas de nuestro modelo para poder juntarlas y se hagan una sola, para esto se necesita el código "juntar" damos clic y listo.

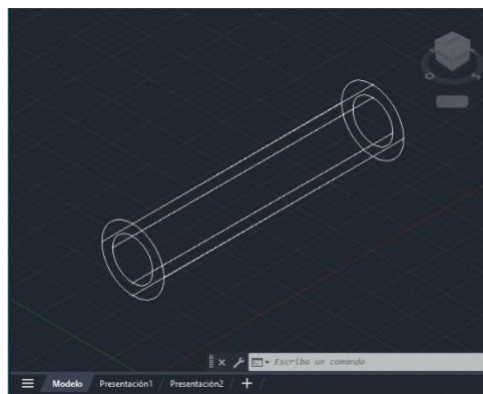


Figura 6. Semi-terminación del modelo en AutoCAD.

6. Finalmente damos en la opción “barrido” y nos sale nuestro modelo final.

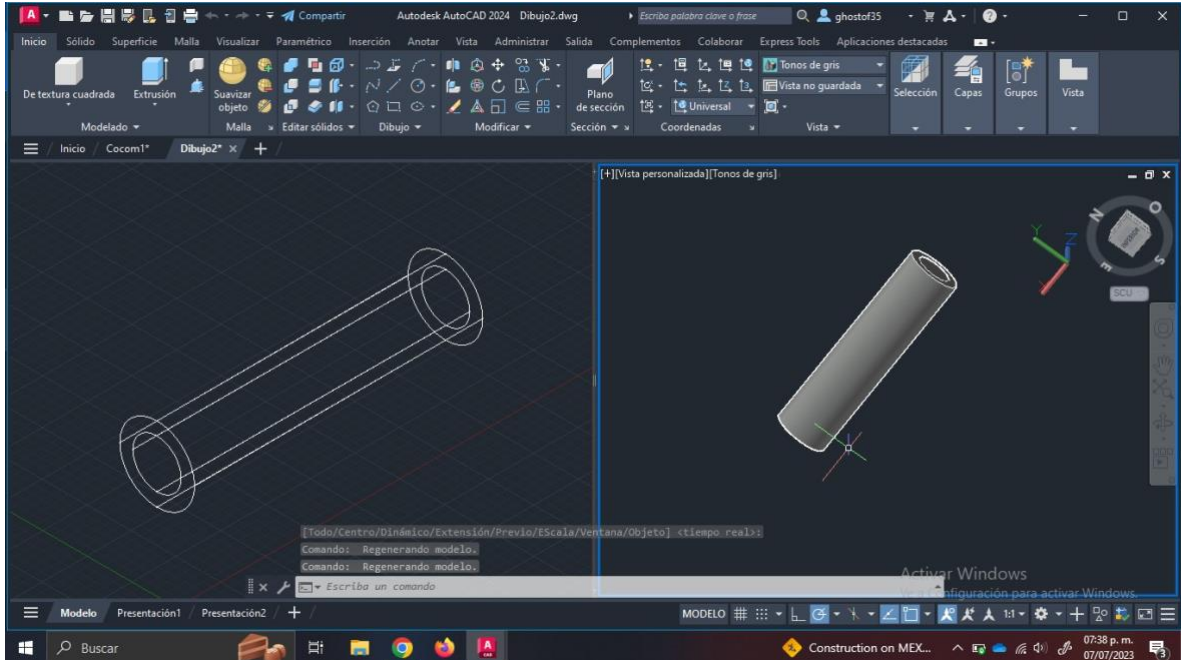


Figura 7. Vista del modelo terminado.

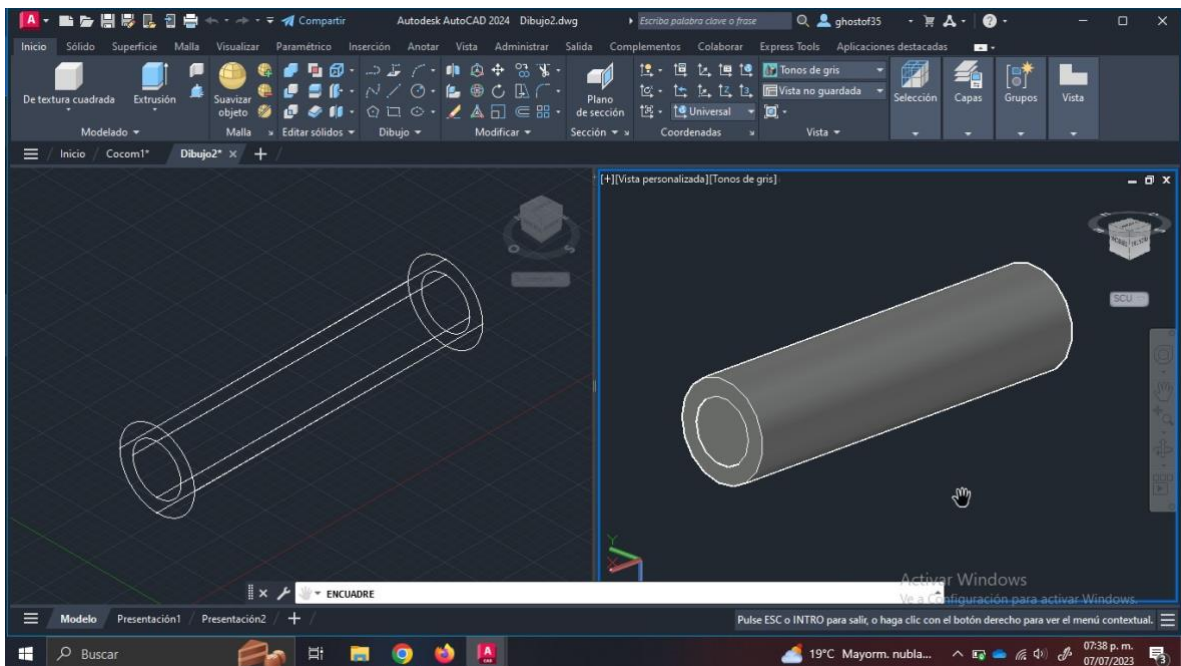


Figura 8. Modelo terminado en AutoCAD.

RESULTADOS DE AUTOCAD

Se puede observar que, a través de este simulador, nos brindó mucha ayuda, ya que esta herramienta es sencilla si se tiene los cálculos requeridos y necesarios para poder elaborar el gasoducto; además no solo funcionara para la vida estudiantil, sino que también en lo profesional, para tener en cuenta una simulación de lo que se quiere llevar a cabo y así facilitar más la idea y plasmarlo.

SIMULACIÓN

La simulación del gasoducto se realizó en el software Simci Pro II 10.2. A continuación se presenta el proceso realizado para llevar a cabo la mencionada simulación, para poder simular el proceso en dicho programa es necesario tener los siguientes datos;

1. Caudal de tubería
2. Densidad del gas (densidad normal, no la relativa)
3. Peso molecular aparente del gas
4. Temperatura
5. Presión de entrada
6. Presión base
7. Longitud de tubería
8. Elevaciones (H1 y H2)
9. Rugosidad de tubería (ese es dato)
10. Presión a la salida de la tubería
11. composición porcentual en mol de cada componente

SECUENCIA DE SIMULACIÓN:

1. Selección de unidades de medida, componentes y modeló termodinámico

Para este sistema se eligió el sistema inglés de unidades y el modelo termodinámico de Peng-Robinson (**figura 1**). Los componentes presentes en el gasoducto se muestran seleccionados en la **figura 2**

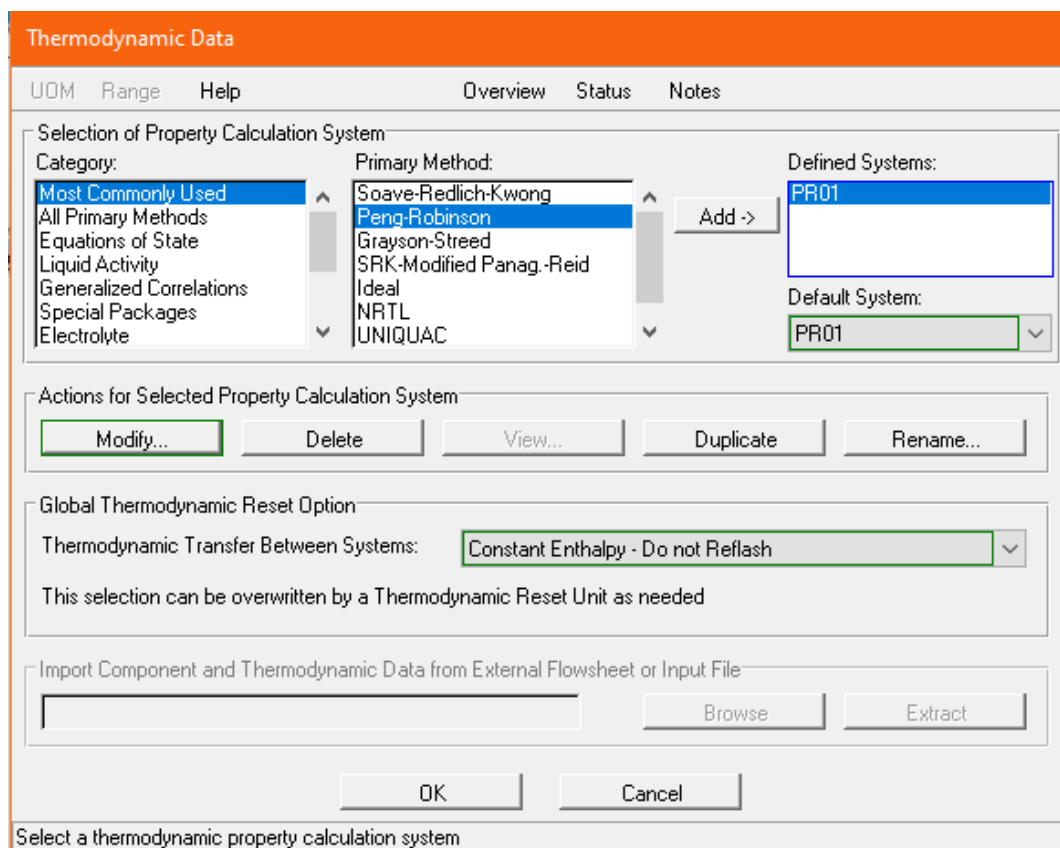


Figura 1. Selección del modelo termodinámico.

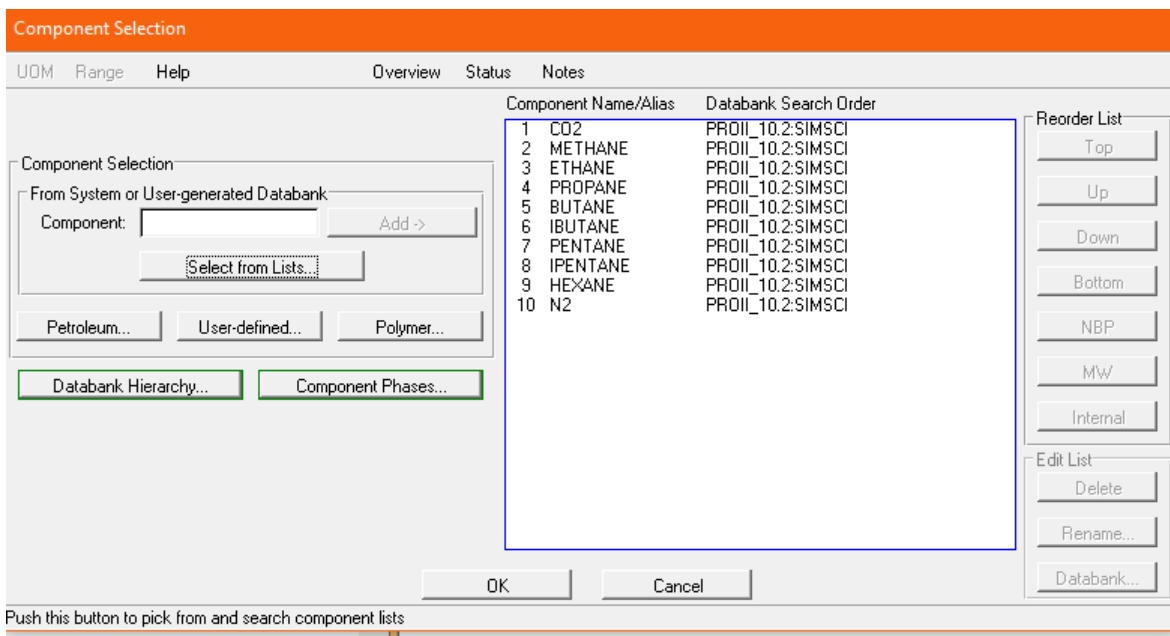


Figura 2. Selección de los componentes presentes en el gasoducto.

2. Definición de la corriente de entrada en la tubería

Para la corriente de entrada en el gasoducto se introdujeron los valores de flujo molar y composición de cada componente (**figura 3**). Para obtener el flujo molar, se realizó el siguiente análisis:

$$\text{flujo molar} = \frac{Q\rho}{\bar{M}} = \frac{3500000 \frac{ft^3}{día} (0.801 \frac{Lb}{ft^3})}{25.77 \frac{Lb}{mol}} = 108789.29 \frac{mol}{día}$$

Stream Data - Flowrate and Composition

UOM Range Help Tag

Specify flowrate and composition for stream S1

Fluid Flowrate Specification

☒ Total Fluid Flowrate: 108789 lb-mol/day Total LV or GV rate Basis: Standard Basis

☐ Individual Component Flowrates

☐ Component Concentrations

Total Fluid Flowrate: lb-mol/day

Copy	Component	Composition Mole
Paste	CO2	0.181795
	METHANE	0.617566
	ETHANE	0.112638
	PROPANE	0.032452
	BUTANE	0.022378
	IBUTANE	0.009563
	PENTANE	0.005411

Clear Compositions Total: 1.0000

☐ Normalize Component Flowrates Based on Specified Fluid Flowrate

OK to PFD OK Cancel Cancel to PFD

Enter the composition

Figura 3. Especificación del flujo molar y composición de la corriente de entrada al gasoducto.

Además, se establecieron como especificaciones la temperatura del flujo y la presión de entrada en el ducto, como se muestra en la **figura 4**.

Stream Data

UOM Range Help Tag Overview Status Notes

Stream: S1 Description:

To Unit: PI1

Stream Type

- Composition Defined
- Petroleum Assay
- Spiral Assay
- Referenced to Stream
- Solids Only Stream

Flowrate and Composition...

Stream Solids Data...

Stream Polymer Data...

Thermal Condition

First Specification:

Temperature 502 R

Second Specification:

Pressure 2075.64 psia

Thermodynamic System: Determined From Connectivity

OK Cancel

Enter stream pressure

Figura 4. Determinación de las especificaciones de entrada al gasoducto.

3. Introducción de los parámetros de simulación de la tubería

Para la simulación, como se desea determinar el diámetro de la tubería, se eligió la opción de *Line Sizing* (**figura 5**). Con esta opción, se introdujeron los datos de caída de presión (**figura 6**), longitud del ducto, diferencia de alturas del ducto desde la entrada hasta la salida, rugosidad (**figura 7**), y presión de salida del gasoducto.

Pipe

UOM Range Help Overview Status Notes

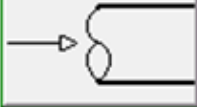
Unit: Description:

Calculation Type

☐ Fixed Line Diameter - Forward Calculation
☐ Fixed Line Diameter - Backward Calculation
☒ Line Sizing - Forward Calculation
☐ Multiple Devices - Forward Calculation

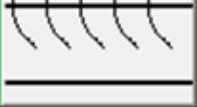
Thermodynamic System:

[Continue](#) calculations if negative pressure occurs.

Pressure Drop Method


Line/Fitting Data


Line Sizing Data


Heat Transfer


Product Phases


OK Cancel

Calculate pipe size from flowrate and required pressure drop

Figura 5. Selección del tipo de cálculo a emplear.

Pipe - Pressure Drop Method

UOM Define Range Help

Pressure Drop Correlation: Beggs-Brill-Moody ▾

Estimated Pressure Drop: 14.4 psi

Convergence Tolerance: 0.01 Percent

Flow Efficiency: 100 Percent

Moody Friction Factor:

☒ Include Acceleration Term in Pressure Drop Equation

OK to PFD OK Cancel Cancel to PFD

Enter an estimated pressure drop

Figura 6. Establecimiento de la caída de presión.

Pipe - Line/Fitting Data

UDM Define Range Help

Line/Fitting Diameter

☒ Inside Diameter: in

☐ Nominal Pipe Size: in Schedule:

Line Length: ft

Elevation Change: ft

Roughness

☒ Absolute: in

☐ Relative:

Divide line length into segments for pressure drop calculation.

☐ Print Segmentwise Data in Output Report

OK to PFD OK Cancel Cancel to PFD

Enter absolute roughness

Figura 7. Datos generales de la tubería.

Pipe - Line Sizing

UDM Define Range Help

Primary Sizing Criterion

☐ Maximum Pressure Drop: psi

☒ Minimum Outlet Pressure: psia

Maximum Average Fluid Velocity: FT/SEC

Line Inside Diameter Selection Method

☒ Use Explicitly Defined Inside Diameters

☐ Use Nominal Pipe Sizes

Pipe Diameters Used in Sizing Search

Copy Paste

Inside Diameters
in
2
4
6
8
10
12
16
24
30
36

Restore Defaults

Clear All

OK to PFD OK Cancel Cancel to PFD

Enter maximum allowable fluid velocity

Figura 8. Dimensionamiento de la tubería.

4. Resultados de la simulación

Especificados los parámetros de la corriente de entrada y de la tubería, se procede a realizar la simulación, la cual, pudo correrse de manera satisfactoria, sin errores ni advertencias, como se muestra en la **figura 9**.

Es importante considerar, como se mostró en la **figura 8** en la sección nombrada *Pipe diameters used in sizing search*, que el simulador propone una serie de

diametros predeterminados como posibles resultados, por tanto, es posible que el resultado de la simulación no concuerde con el obtenido analíticamente. Esto último no se considerará un error, siempre y cuando el valor de diámetro obtenido en la simulación sea cercano al obtenido en el diseño mecánico.

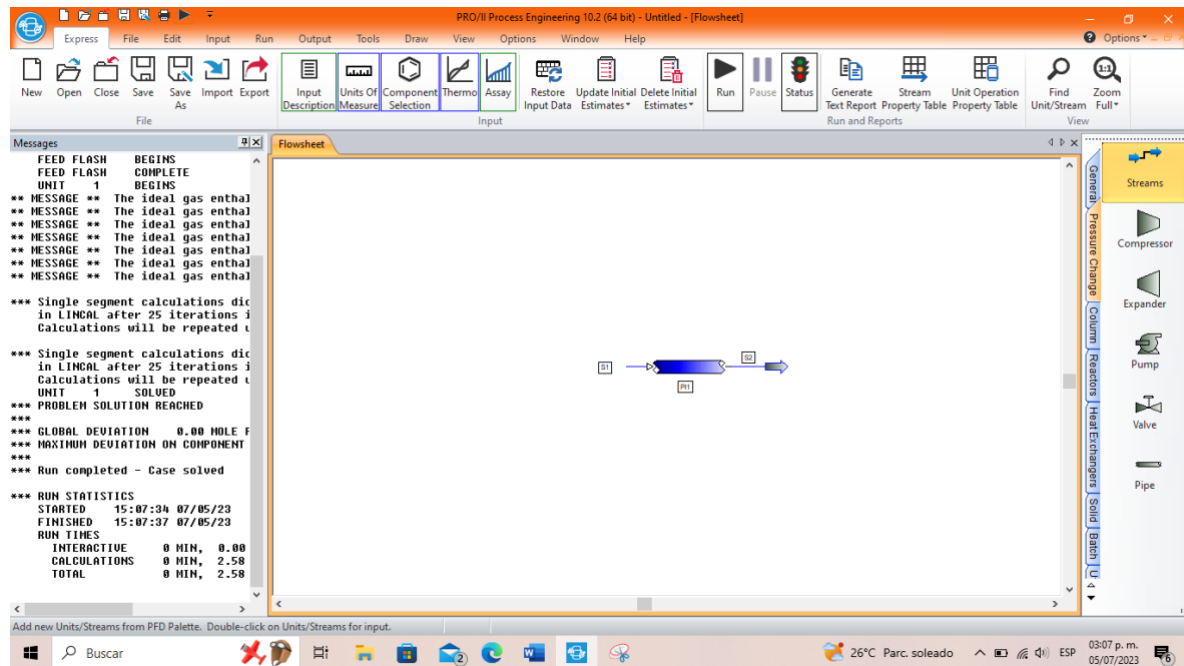


Figura 9. Simulación del gasoducto correctamente realizada en Simci Pro II.

Corrida exitosamente la simulación, se generó el reporte de resultados. En este se busca el valor del diámetro arrojado en el simulador. Para este caso, el valor obtenido es de 10 in (**figura 10**).

400	MIXTURE FLOWING FLUID PROPERTIES	INLET	OUTLET
401		-----	-----
402	TEMPERATURE, R	502.00000	406.53094
403	PRESSURE, PSIA	2075.64000	433.29038
404	MOLE FRACTION LIQUID	1.00000	0.25469
405	VELOCITY, FT/SEC	1.78223	13.92777
406	SLIP DENSITY, LB/FT3	33.38856	9.40057
407	FRICTION FACTOR	0.01369	0.01966
408	SLIP LIQUID HOLDUP FRACTION, (VOL/VOL)	1.00000	0.15666
409	TAITEL-DUKLER-BARNEA FLOW REGIME	SINGLE PHASE	ANNULAR
410			
411	GENERAL DATA	LINE	
412		-----	
413	INSIDE DIAMETER, IN	10.00000	
414	LINE LENGTH, FT	1.39337E+06	
415	AVERAGE MOODY FRICTION FACTOR	0.01668	
416	AVERAGE REYNOLDS NUMBER,	5.17244E+06	
417	ROUGHNESS, IN	0.00180	
418	ROUGHNESS, RELATIVE	MISSING	
419	ELEVATION CHANGE, FT	6557.57065	
420	FLOW EFFICIENCY, PCT	100.00000	

Figura 10. Diámetro obtenido para el gasoducto en software Simci Pro II.

DISEÑO GRÁFICO.

Ya obtenidas las presiones de entrada y de salida, factores de compresibilidad, densidades, viscosidades, gravedad específica y temperatura del gasoducto, se realizará al diseño gráfico, el cual nos indicará el tamaño que debe tener el diámetro de nuestro gasoducto, así como su factor de fricción.

Se utilizaron las siguientes variables:

Q_{sc}	pies ³ /día	m ³ /día	Tasa de flujo estándar medido a una temperatura y presión base.
T_b	°R	K	Temperatura base.
p_b	Psia	KPa	Presión base.
p_1	Psia	KPa	Presión de entrada a la tubería.
p_2	Psia	KPa	Presión de salida de la tubería.
γ	Adimensional	Adimensional	Gravedad específica del gas a transportar.
L	Mi	Km	Longitud de la tubería.
H_1	Pies	m	Elevación aguas arriba.
H_2	Pies	m	Elevación aguas abajo.
Z_a	Adimensional	Adimensional	Factor de compresibilidad a la temperatura de flujo.
T_a	°R	K	Temperatura promedio absoluta de la tubería.

Tabla 12. Variables.

- $T_b = 502^\circ R$
- $P_b = 14.4 \text{ lpca}$
- $R = 10.73 \text{ psia} \cdot \text{ft}^3 / \text{lbmol} \cdot R$
- $P_1 = 2075.64223$
- $P_2 = 299.16$
- $T_{\text{prom}} = 545.67 \text{ R}$
- $P_{\text{prom}} = 1187.40111 \text{ lpca}$
- $Z_{\text{prom}} = 0.72$
- Gravedad específica = 0.8888
- $L = 424.61$
- $KM = 263.896 \text{ millas}$
- $E = 0.95$ Valor obtenido según las condiciones de la tubería
- $H_1 = 21.35 \text{ msnm} = 70.04935 \text{ ft}$
- $H_2 = 2020 \text{ msnm} = 6627.62$
- $Ch = 784387.557 \text{ lpca}^2$

Presión de diseño (Pd)	2075.642	psia	2060.9462	psig
Díámetro exterior de tubería (Dext)	5.563	in		
Tensión mínima de fluencia especificada (S)	2400	kg/cm²	34136.024	psig
Factor de junta (E)	1			
Factor de diseño (F)	0.5			
Factor de disminución de temperatura (T)	1			

Norma ASME B31.8 - 2012, "Sistemas de tuberías

Clase de localidad	Factor de diseño, F
Localidad Clase 1, División 1	0.8
Localidad Clase 1, División 2	0.72
Localidad clase 2	0.6
Localidad clase 3	0.5
Localidad clase 4	0.4

Fuente: Norma ASME B31.8 - 2012, "Sistemas de tuberías para transporte y distribución de gas".

Díámetro de tubería (in)	Costo promedio (\$/in-día/año)
8	18,000
10	20,000
12	22,000
16	14,900
20	20,100
24	33,950
30	34,600
36	40,750

Es una tubería de acero soldada y sin costura, de inmersión en caliente con recubrimiento de zinc de acuerdo con el estándar ASTM A53.

El Dext está entre 1/8 - 26 in

Propiedades mecánicas acero ASTM A53

	Grado A	Grado B
Resistencia a la tracción, min.	48,000 psi (331 MPa)	60,000 psi (415 MPa)
Fluencia, min.	35,000 psi (241 MPa)	35,000 psi (241 MPa)

Especif. No.	Clase de Tubería	Factor E
ASTM A53	Sin costura	1
	Soldado por resistencia eléctrica	1
	Soldado a tope de acero, soldadura continua	0.6
ASTM A106	Sin costura	1
ASTM A134	Soldadura por Electro Fusión con arco	0.8
ASTM A135	Soldado por resistencia eléctrica	1
ASTM A139	Soldado por Electro Fusión	0.8
ASTM A211	Tubería de acero soldado en espiral	1
ASTM A333	Sin costura	1
	Soldado por resistencia eléctrica	1
ASTM A381	Soldadura por arco sumergido	1
ASTM A671	Soldado por Electro Fusión	0.8
	Clases 13, 23, 33, 43, 53	
	Clases 12, 22, 32, 42, 52	1

Tabla 13. Variables.

PARÁMETROS PARA E.

E=1 para tuberías nuevas sin curvas, codos, válvulas, ni cambio de diámetro o elevación de la tubería.

E= 0.95 para condiciones de funcionamiento muy buenas.

E= 0.92 para condiciones de funcionamiento medias.

E= 0.85 Para condonaciones de funcionamiento desfavorables.

$$Ch = \frac{0.375(h_2 - h_1)P_{prom_2}}{(Z_{Prom})(T_{Prom})} \rightarrow \frac{0.375 * 0.888 * (6627.62 \text{ millas} - 70.049) * 1187.401}{(20.72 * 545.67 \text{ } ^\circ R)}$$

$$Ch = 784387.557 \text{ lpca}$$

Diámetro interior 4.015905 in	Factor de fricción 0.020141344	Parámetro de ajuste de elevación 0.556334242	Longitud equivalente 353.04249 millas	Caudal del gasoducto por tuberías 77.54 34.14966 32.319966 4152184.5 3324634.724 ft^3/día 2483.1452 40.891897 0.95	Número de Reynolds 11439.23424											
Factor de fricción -5.5560139 5.5560139 0.4242466	Este factor de fricción fue calculado por el número de Reynolds obtenido, así que este es el que se utilizaría en la tubería.	Velocidad del gas en la tubería 209483.61 ft/s		Costo del ducto \$ 7,561,021.45												
		Potencia requerida 557.5387 hp														
		Factor de disminución de temperatura para tubería <table><thead><tr><th>Temperatura, °F</th><th>Factor de disminución de temperatura, Y</th></tr></thead><tbody><tr><td>250 o menos</td><td>0.967</td></tr><tr><td>300</td><td>0.967</td></tr><tr><td>350</td><td>0.933</td></tr><tr><td>400</td><td>0.9</td></tr><tr><td>450</td><td>0.867</td></tr></tbody></table>	Temperatura, °F	Factor de disminución de temperatura, Y	250 o menos	0.967	300	0.967	350	0.933	400	0.9	450	0.867		Costo del material \$ 5,184,271.52 \$ 103,685,430.41 5%
Temperatura, °F	Factor de disminución de temperatura, Y															
250 o menos	0.967															
300	0.967															
350	0.933															
400	0.9															
450	0.867															
	La temperatura de operación es de 86°F por lo que el Factor P=1			Costo del revestimiento \$ 108,869,701.931												
Número de presión interna 2075.642 psia 2060.9462 psig		Norma ASME B31.8 - 2012, "Sistemas de tuberías"	Este valor varía de acuerdo a los costos típicos de instalación proporcionado por Gas Pipeline Hydraulics.	Costo de instalación extrapolación 0.001394579 \$ 15,327.75												

Tabla 14. Variables.

Una vez que se obtuvieron todos los valores, incluyendo el de Ch, se obtendrá el tamaño del diámetro, el cual se calculara con la ecuación de Weymouth ($2'' < D15''$), o con la ecuación de Panhandle A ($> 15''$). Esto será decidido de acuerdo con el valor del diámetro que nos salga con la primera ecuación, si es mayor a 15" se utilizara la segunda, pero si este es menor a 15" y mayor a 2", se respetara el primer método utilizado.

Ecuación Weymouth ($2'' < D < 15''$)

$$Q = 433.5E\left(\frac{T_b}{P_b}\right)\left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - Ch}{GT_{prom} * L * Z_{prom}}\right)^{0.5} D^{2.667} = 3500000 PCDN$$

DISEÑO ECONÓMICO.

ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO.

$$t = 0.258$$

$$t_r = (t * t_c)$$

Valor de tablas 12.5

$$t_c = (4.2733 * 0.125) = 0.53$$

$$t_r = (0.258 * 0.53) = 0.136$$

COSTO DE MATERIAL.

$$C(D_e * t)t * L * P_{material}$$

Constante 28.1959

$$C_{material} = 28.1959(4.2733 * 0.258)0.258 * 163.89 * 997$$

$$C_{material} = 2,110,118.513$$

COSTO DE REVESTIMIENTO.

$$C_{material} + 5\% = 2,110,118.513 + 105505 * 9257$$

$$C_{material} = 2,215,624.439$$

COSTO DE INSTALACIÓN.

\$ 18,000

COSTO DEL DUCTO.

$$C_{ducto} = C_{material} + C_{revestimiento} + C_{instalación}$$

$$C_{ducto} = 2,110,118.513 + 2,215,624.439 + 18,000$$

$$C_{ducto} = 4,343,742.97$$

COSTOS OPERATIVOS.

$$C_{operativos} = C_{combustible} + C_{mantenimiento}$$

$$C_{combustible} = CC * m * P_{combustible}$$

$$CC \rightarrow \text{Gasto del combustible} = \$8,193\text{MMPSD}$$

$$m \rightarrow \text{Días de operación} = 350 \text{ días}$$

$$P_{combustible} \rightarrow \$23.149$$

$$C_{combustible} = (8193 * 350 * 23.149)$$

$$C_{combustible} = \$66,380,914.95$$

$$C_{mantenimiento} = \$19,000,000$$

$$C_{operativos} = 66,380,914.95 + 19,000,000$$

$$C_{operativos} = \$85,380,914.95$$

COSTO ANUAL.

$$C_{anual} = C_{ducto} + C_{operativos}$$

$$C_{anual} = 4,343,742.97 + 85,380,914.95$$

$$C_{anual} = 89,724,657.92$$

COSTO DE TRANSPORTE.

$$C_{transporte} = \frac{C_{anual}}{Q * \text{días}}$$

$$C_{transporte} = \frac{89,724,657.92}{(332.48 * 350)} = 771.0423$$

$$C_{transporte} = 771.0423 \frac{\$}{\text{MMPSD}}$$

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Llevado a cabo todo el procedimiento pertinente para el diseño de un gasoducto, se han obtenido los datos necesarios para esta simulación, se observó que la temperatura inicial se reduce a comparación de la de salida, esto es porque, aunque tenga impulsores a lo largo de la tubería, su velocidad disminuye por la altura al nivel del mar en la que se encuentra la refinería, mientras que la temperatura se encuentra constante para evitar explosiones en algún tramo del gasoducto. Cabe destacar que el material para la tubería usada es el que se usa usualmente en los gasoductos esta es de acero al carbono.

Especificados los parámetros de la corriente de entrada y de la tubería, se procede a realizar la simulación, la cual, pudo correrse de manera satisfactoria, sin errores ni advertencias, como se muestra en la figura 9.

Es importante considerar, como se mostró en la figura 8 en la sección nombrada Pipe diameters used in sizing search, que el simulador propone una serie de diámetros predeterminados como posibles resultados, por tanto, es posible que el resultado de la simulación no concuerde con el obtenido analíticamente. Esto último no se considerará un error, siempre y cuando el valor de diámetro obtenido en la simulación sea cercano al obtenido en el diseño mecánico.

De acuerdo con todos los diseños, estudios y cálculos realizados, se observó que el diseño del gasoducto así mismo como el diseño del equipo, análisis de los componentes. Es pertinente y eficiente para el uso óptimo para el uso y transporte del gas natural como material principal del gasoducto. Se realizaron diseños tanto manuales como así también el uso de programas como Autocad y en el simulador Pro/II. De donde obtuvimos resultados muy efectivos, claramente existen pequeños cambios al momento de simular y hacerlo de manera manual

En los estudios Económicos tanto de construcción y transporte han sido severamente económicos a comparación de otros diseños, el cual nos proporciona mejor rentabilidad en el proceso.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los combustibles causan contaminación tanto al usarlos como al producirlos y transportarlos. Uno de los problemas más estudiados en la actualidad es el que surge de la inmensa cantidad de CO₂ que estamos emitiendo a la atmósfera al quemar los combustibles fósiles. Sin embargo, el gas natural es un combustible limpio, es decir causa poco efecto invernadero y es recomendable en usos industriales.

Después de toda la investigación, económica y química, podemos concluir que el diseño del gasoducto es una buena opción que nos permite optimizar tiempo y recursos económicos buscando la manera más rentable, cumpliendo con las respectivas normas, recomendamos seguir estudiando, analizando y explorando la zona propuesta para seguir dando viabilidad al gasoducto propuesto, siempre buscando el cuidado del medio ambiente, considerando el impacto económico y social en el real al que se pueda realizar, siempre buscando una manera más sustentable con el medio ambiente y con la salud de los habitantes de dichas zonas, existe la posibilidad de generar más empleos a largo plazo durante la construcción de este.

Hidalgo cuenta con una refinería que tiene todas las instalaciones y equipo para poder tratar, almacenar y distribuir el gas, por ese motivo muchos más especificados en el presente escrito, es una opción viable y rentable, ahorrando muchos recursos y aprovechando otros.

En México, poco más del 70% del gas natural que consume el país proviene de los Estados Unidos, y es justo a través de los gasoductos, que esta energía llega a las plantas y centrales eléctricas para generar la energía que se necesita. Por ser el gas una de las fuentes más consumibles en México es importante tomar en cuenta seguir invirtiendo en gasoductos que nos promuevan y mejoren la economía del país, así mismo genere más empleos, más métodos y campos de estudio.

El transporte por ductos es más seguro, eficiente y genera menos emisiones de GEI que el transporte por barco, camión o tren. Las empresas de gasoductos emplean

ingenieros y expertos en seguridad y medio ambiente para garantizar que los ductos cumplan con rigurosos estándares medioambientales y de seguridad.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS:

- Diseña, selecciona, opera, optimiza y controla procesos en industrias químicas y de servicios con base en el desarrollo tecnológico de acuerdo con las normas de higiene y seguridad, de manera sustentable.
- Utiliza las tecnologías de la información y comunicación como herramientas en la construcción de soluciones a problemas de ingeniería y difundir el conocimiento científico y tecnológico.
- Se comunica en forma oral y escrita en el ámbito laboral de manera expedita y concisa.
- Demuestra actitudes de superación continua para lograr metas personales y profesionales con pertinencia y competitividad.

FUENTES DE INFORMACIÓN.

- Rojas, A. G. (1961). La industria del gas en México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 31-41.
- Brito, D. L., & Rosellón, J. (2002). Oportunidad de la inversión en gasoductos de GLP en México. El trimestre económico, 567-581.
- Brzovic, F. (1990). Casos de estudios de impacto ambiental: obras para el gasoducto Atasta-ciudad Pemex en la laguna Pom, México.
- Vargas, R. (2017). La integración energética EUA-México: 2013-2017. Denarius, (33), 141-141.
- Lajous Vargas, A. (2013). Dilema del suministro de gas natural en México.
- Lajous, A. (2006). México: Producción y reservas de petróleo y gas natural. Este País, 186, 36-48.
- SNG. (2016). Descripción General Sistema Nacional Gasoductos. Obtenido de: Descripción General Sistema Nacional Gasoductos | Centro Nacional de Control del Gas Natural | Gobierno | gob.mx
- Asociacion Española de Operadores de Productos Petroliferos. (2002). *Gases Licuados del Petroleo* . Madrid.
- Bardan, C., & Hernandez , H. (2003). REGULACIÓN DEL MERCADO DE GAS NATURAL EN MÉXICO. En C. Bardan, & H. Hernandez, *Evolución y perspectivas del gas natural en México* (pág. 120).
- CONUEE. (2009). *Bases para el ahorro de energia en calderas y sistemas de vapor* . Mexico.
- Energia, S. d. (2014). *Prospectiva de Gas Natural y Gas LP*.
- Energia, T. (3 de Marzo de 2017). *TC Energia*. Obtenido de <https://www.tcenergia.com/noticias/transcanada-anuncia-temporada-abierta-para-gasoducto-tula-villa-de-reyes/>
- Martin, Salcedo, & Font. (2011). *Mecanica de Fluidos*.

- Mexicano, S. G. (Noviembre de 2009). *Atlas de Riesgos de Altamira-Tamaulipas*. Obtenido de <https://www.tamaulipas.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/36/2011/12/ATLAS-DE-RIESGOS-MPIOS-TAMPICO-MADERO-Y-ALTAMIRA.pdf>
- Mexicanos, Petroleos. (s.f.). *Anuario Estadístico de Transporte*.
- Muñoz, H., & Bardan, C. (2003). *Evolución y perspectivas del gas natural en México*.
- Natural, T. d. (2010). *NOM-007-SECRE-2010*. Obtenido de <https://dof.gob.mx/normasOficiales/4292/sener/sener.htm>
- Natural, T. d. (2010). *NOM-007-SECRE-2010*. Obtenido de <https://dof.gob.mx/normasOficiales/4292/sener/sener.htm>
- Osinergmin. (2012). *El gas natural y sus diferencias con el GLP*.
- PEMEX. (Septiembre de 2005). *NRF-020-PEMEX-2005*. Obtenido de <https://fddocuments.mx/document/nrf-020-pemex-2005-568363ef2c373.html?page=1>
- Valencia, A. (Junio de 2010). *Escuela Superior de Ingenieria IPN*. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15987/Dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20un%20gasoducto%20que%20va%20de%20Hermosillo%20a%20Isla%20Tibur%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Asociacion Española de Operadores de Productos Petroliferos. (2002). *Gases Licuados del Petroleo*. Madrid.

- Bardan, C., & Hernandez , H. (2003). REGULACIÓN DEL MERCADO DE GAS NATURAL EN MÉXICO. En C. Bardan, & H. Hernandez, *Evolución y perspectivas del gas natural en México* (pág. 120).
- CONUEE. (2009). *Bases para el ahorro de energía en calderas y sistemas de vapor* . Mexico.
- Energía, S. d. (2014). *Prospectiva de Gas Natural y Gas LP*.
- Energía, T. (3 de Marzo de 2017). *TC Energía*. Obtenido de <https://www.tcenergia.com/noticias/transcanada-anuncia-temporada-abierta-para-gasoducto-tula-villa-de-reyes/>
- Martin, Salcedo, & Font. (2011). *Mecanica de Fluidos*.
- Mexicano, S. G. (Noviembre de 2009). *Atlas de Riesgos de Altamira-Tamaulipas*. Obtenido de <https://www.tamaulipas.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/36/2011/12/ATLAS-DE-RIESGOS-MPIOS-TAMPICO-MADERO-Y-ALTAMIRA.pdf>
- Mexicanos, Petroleos. (s.f.). *Anuario Estadístico de Transporte*.
- Muñoz, H., & Bardan , C. (2003). *Evolución y perspectivas del gas natural en México*.
- Natural, T. d. (2010). *NOM-007-SECRE-2010*. Obtenido de <https://dof.gob.mx/normasOficiales/4292/sener/sener.htm>
- Natural, T. d. (2010). *NOM-007-SECRE-2010*. Obtenido de <https://dof.gob.mx/normasOficiales/4292/sener/sener.htm>
- Osinergmin. (2012). *El gas natural y sus diferencias con el GLP*.
- PEMEX. (Septiembre de 2005). *NRF-020-PEMEX-2005*. Obtenido de <https://fddocuments.mx/document/nrf-020-pemex-2005-568363ef2c373.html?page=1>

- Valencia, A. (Junio de 2010). *Escuela Superior de Ingenieria IPN*. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15987/Dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20un%20gasoducto%20que%20va%20de%20Hermosillo%20a%20Isla%20Tibur%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Desconocido, gobmx (2018). Manifestación de impacto ambiental, modalidad particular del proyecto "Gasoducto City Gate Tamaulipas." [M-09-DMA0239-06-18-DGGPI.pdf](#)
- Desconocido, gobmx (2018). El sector del gas natural: algunas propuestas para el desarrollo de la industria nacional. [Documento Tecnico GasNatural CNH2018 1 .pdf \(www.gob.mx\)](#)

ANEXOS.

Nombre del compuesto	Masa molecular (lbm/mol)	Volumen crítico (lbm/ft ³)	Presión crítica (lb/ft ² abs.)	Temperatura Crítica °F	Valor de Z_{RA}	Factor acéntrico ω
Metano C_1H_4	16.043	0.0988	696.40	-116.67	0.2892	0.0104
Etano C_2H_6	30.07	0.0783	706.50	89.92	0.2808	0.979
Propano C_3H_8	44.097	0.0727	616.00	206.06	0.2766	0.1522
i-Butano $i-C_4H_{10}$	58.123	0.0714	527.90	274.46	0.2754	0.1852
n-Butano $n-C_4H_{10}$	58.123	0.0703	550.60	305.62	0.2730	0.1996
i-Pentano $i-C_5H_{12}$	72.154	0.0679	490.40	369.10	0.2717	0.2280
n-Pentano $n-C_5H_{12}$	72.154	0.0675	488.60	365.60	0.2684	0.2514
n-Hexano $n-C_6H_{14}$	86.177	0.0668	436.90	453.60	0.2635	0.2994
n-Heptano $n-C_7H_{16}$	100.20	0.0691	396.80	512.70	0.2604	0.3494
i-Octano $i-C_8H_{18}$	114.23	0.0656	373.40	519.46	0.2684	0.03035
n-Octano $n-C_8H_{18}$	114.23	0.06900	360.70	564.22	0.2571	0.3977
n-Nonano $n-C_9H_{20}$	126.25	0.0664	373.40	610.66	0.2543	0.4445
n-Decano $n-C_{10}H_{22}$	142.28	0.0679	305.20	652.00	0.2507	0.1950
Bióxido de Carbono, CO_2	44.01	0.0344	1 071.00	87.91	0.2722	0.2667
Nitrógeno, N_2	28.013	0.0510	493.10	-232.51	0.2900	0.0372
Ácido sulfhídrico, H_2S			1300	212.45		

Component	Feed Gas Mole%	Residue Gas Mole %	HHV BTU/scf	Feed Gas BTU/scf	Residue Gas BTU/scf
N_2	1.000	1.115	0.0	0.00	0.00
CO_2	3.000	3.346	0.0	0.00	0.00
C_1	85.000	94.808	1010.0	858.50	957.56
C_2	5.800	0.647	1769.6	102.64	11.45
C_3	3.000	0.067	2516.1	75.48	1.68
IC_4	0.700	0.008	3251.9	22.76	0.25
NC_4	0.800	0.009	3262.3	26.10	0.29
IC_5	0.300	0.000	4000.9	12.00	0.00
NC_5	0.200	0.000	4008.9	8.02	0.00
C_6+	0.200	0.000	4755.9	9.51	0.00
Total	100.000	100.000		1115.01	971.24
MMSCFD	330.000	295.862			

Tabla 15. Datos de los componentes.

Nº	Km	Sitio	Controladores	Deteccion de movimiento	Limpiadores de Tuberia	Actuador RTU	Apertura de puerta de gabinete	Valvula de seccionamiento	Estacion de Compresion
1	0	Poza Rica-Altamira	2	1	1	1	1	1	1
2	7.14	Estacion de compresion clemente rorres	2						
3	17.78	Tampico Alto	2	1			1		
4	27.73	Tancusay	2	1			1		
5	38.12	Las Chacas	2	1			1		
6	46.84	Horoncitos	2	1			1		
7	61.22	Potrellos	2	1			1	1	
8	72.48	Estacion de compresion Paso Nuevo							
9	76.65	Los venados	2	1			1		
10	96.95	Nuevo Xuchitil	2	1			1		
11	104.37	Cerro de Oro	2	1			1		1
12	111.7	La mina	2	1			1		
13	119.47	Estacion de compresion Las piedras grandes							
14	132.05	Balcazar	2	1			1		
15	145.66	Nalua	2	1	1		1		
16	157.49	Congregacion Juana Mozo	2	1			1		
17	166.55	Santa Cruz Zapotal	2	1			1		
18	178.36	Estacion de Compresion La Loma							
19	188.82	Enrique Rodriguez Cano	2	1			1	1	
20	195.62	sebastian Lerdo de Tejada	2	1		1	1		
21	209.91	El Crucero	2	1			1		1
22	217.39	Zanatepec	2	1			1		
23	249.98	Hula	2	1			1		
24	252.23	Xicotepec de Juarez	2	1			1		
25	265.25	Huachinango	2	1			1	1	
26	277.13	Huehuetilla	2	1			1		
27	292.69	Estacion de compresion San Pedro Tlachiilco							
28	299.86	Napateco	2	1			1	1	
29	314.84	Sangre de Cristo	2	1			1		
30	326.58	Singuilucan	2	1			1		
31	350.28	Santa Maria Aticpac	2	1			1	1	
32	361.25	Estacion de compresion villa de Tezontepec							
33	388.08	Santa Maria Ajoloapan	2	1			1		
34	416.29	Teocalco	2	1			1		
35	424.61	Tula Hidalgo	2	1	1	1	1	1	1

Tabla 16. Rutas por las que se transferirá el gas.

No de Permiso	Nombre de la gasolinera	Dirección	Producto	Subproducto	Precio registrado
PL/11402/EXP/ES/2015	SUPER SERVICIO LOS POTRILLOS, S.A. DE C.V.	Avenida 20 de Noviembre No. 998	Gasolinas	Regular (con un índice de octano $[(RON+MON)/2]$ mínimo de 87)	\$22.19
PL/11402/EXP/ES/2015	SUPER SERVICIO LOS POTRILLOS, S.A. DE C.V.	Avenida 20 de Noviembre No. 998	Gasolinas	Premium (con un índice de octano $[(RON+MON)/2]$ mínimo de 91)	\$23.79
PL/13619/EXP/ES/2016	Gasolinera Gran Patio Poza Rica SA de CV	Palomar Km 50	Gasolinas	Premium (con un índice de octano $[(RON+MON)/2]$ mínimo de 91)	\$23.89
PL/13619/EXP/ES/2016	Gasolinera Gran Patio Poza Rica SA de CV	Palomar Km 50	Gasolinas	Regular (con un índice de octano $[(RON+MON)/2]$ mínimo de 87)	\$22.19
PL/13619/EXP/ES/2016	Gasolinera Gran Patio Poza Rica SA de CV	Palomar Km 50	Diésel	Diésel Automotriz [contenido mayor de azufre a 15 mg/kg y contenido máximo de azufre de 500 mg/kg]	\$23.73
PL/19025/EXP/ES/2016	GRUPO FERCHE, S.A. DE C.V.	Avenida Puebla S/N	Gasolinas	Premium (con un índice de octano $[(RON+MON)/2]$ mínimo de 91)	\$23.79
PL/19025/EXP/ES/2016	GRUPO FERCHE, S.A. DE C.V.	Avenida Puebla S/N	Diésel	Diésel Automotriz [contenido mayor de azufre a 15 mg/kg y contenido máximo de azufre de 500 mg/kg]	\$23.74
PL/19025/EXP/ES/2016	GRUPO FERCHE, S.A. DE C.V.	Avenida Puebla S/N	Gasolinas	Regular (con un índice de octano $[(RON+MON)/2]$ mínimo de 87)	\$22.19
PL/19268/EXP/ES/2016	COMBUSTIBLES LAS PALMAS, S. DE R.L. DE C.V.	Boulevard Ruiz Cortinez Sn	Gasolinas	Regular (con un índice de octano $[(RON+MON)/2]$ mínimo de 87)	\$22.19
PL/19268/EXP/ES/2016	COMBUSTIBLES LAS PALMAS, S. DE R.L. DE C.V.	Boulevard Ruiz Cortinez Sn	Gasolinas	Premium (con un índice de octano $[(RON+MON)/2]$ mínimo de 91)	\$23.79

Tabla 17. Precio del Diésel en Altamira.

FIG. 20-5
Water Content of Hydrocarbon Gas

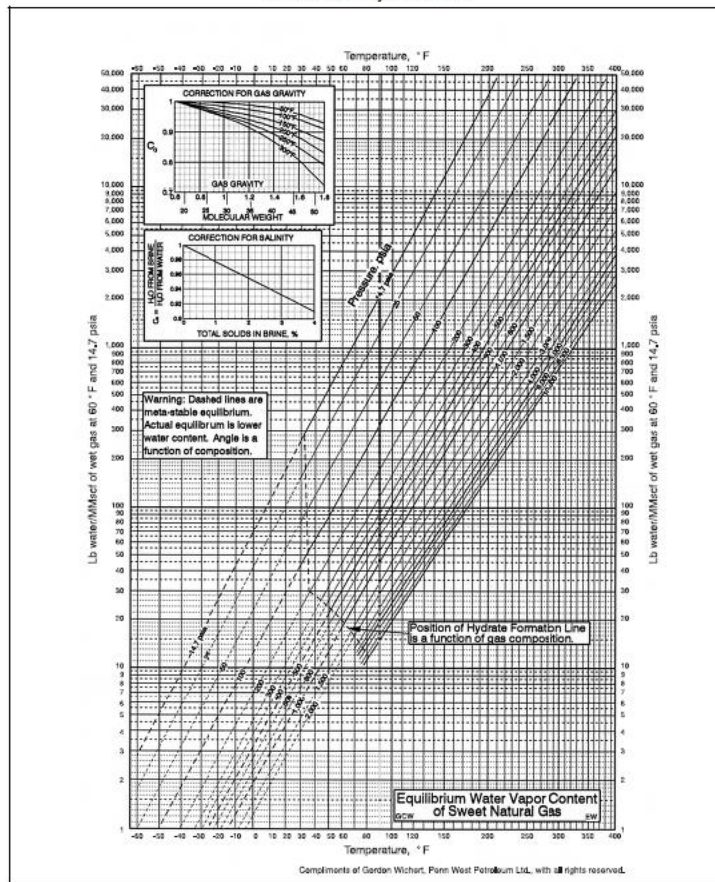


Ilustración 18_Figura. 20-5

FIG. 20-6
Water Content of CO₂

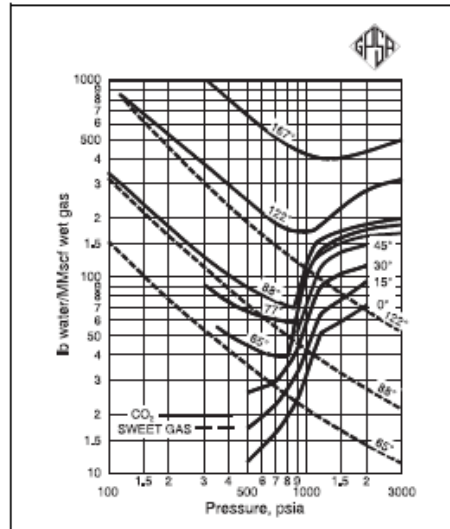


Ilustración 19_Figura. 20-6

FIG. 20-7
Water Content of Hydrogen Sulfide

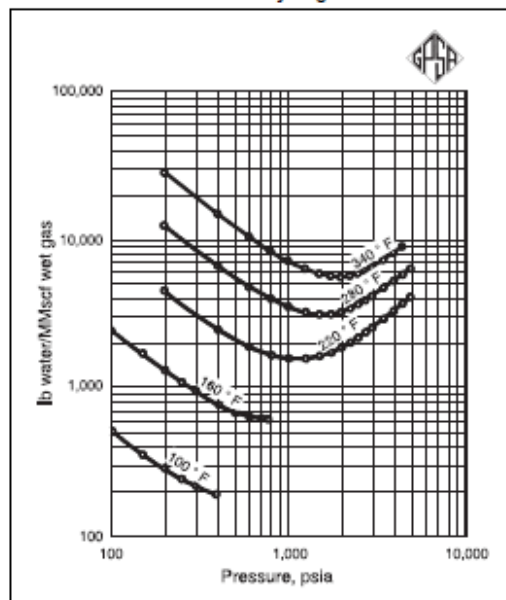


Ilustración 20_Figura. 20-7

