

**DISEÑO DE UN ALGORITMO PARA LA
DISTRIBUCIÓN TEORICA DE GASOLINA Y GLP
EN PLANTAS DE PROCESAMIENTO
DE GAS NATURAL**

Enrique Rojas Arano

Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

Mayo de 2007

RESUMEN EJECUTIVO

Gran parte de las plantas que procesan Gas Natural están diseñadas para extraer la Gasolina y GLP (Componentes más pesados de la composición química del Gas Natural).

El volumen de extracción es directamente proporcional a la riqueza del gas producido por los yacimientos.

A fines de maximizar la producción de licuables, las plantas de procesamiento captan Gas Natural de varios yacimientos productores. El volumen de Gas Natural que aporta cada yacimiento se mide físicamente y se determina su composición química (Cromatografía) antes de entrar a la planta.

Durante el proceso, el Gas Natural recibido de diferentes yacimientos se mezcla, se procesa y se obtiene un volumen medido de Gasolina y otro volumen medido de GLP, a efectos contables, esa producción se debe repartir teóricamente entre los yacimientos que aportaron el Gas Natural.

En la actualidad, estos cálculos se realizan en complejas planillas que son de costoso mantenimiento y por otro lado las normas internacionales de la información no consideran como medios válidos y seguros datos procesados y reportados en planillas de cálculo.

La propuesta de este trabajo está orientada a diseñar un algoritmo basado en el balance de masa, que pueda ser transformado en un programa de computación y que se convierta en una herramienta que apoye el trabajo a los responsables de informar la producción diaria y adicionalmente permitir que la compañía se ajuste a normas y estándares internacionales de gestión de información.

1 INTRODUCCIÓN

El gas, luego de la separación y deshidratación, contiene todavía componentes pesados que es necesario extraer por el valor económico de la gasolina natural y el Gas Licuado de Petróleo.

El procesamiento del gas natural, consiste en separar las moléculas de metano de las otras moléculas de hidrocarburos más pesados (ej.: etano, propano, butano y pentano). La separación de las moléculas se la realiza sometiendo el hidrocarburo producido a diferentes presiones y temperaturas y en base a la diferencia en las propiedades físicas de cada uno de los componentes. Esta separación se la realiza principalmente para facilitar el Transporte de los productos que se encuentran en distintas fases y para producir productos con diferentes características para diferentes mercados.

Los hidrocarburos propano y superiores se separan para producir el GLP y la gasolina natural, El GLP es una mezcla de propano y butano, las gasolinas naturales son los pentanos y superiores. Los procedimientos más utilizados son: Refrigeración y Absorción.

Las plantas de procesamiento de Gas Natural normalmente cuentan con los instrumentos necesarios para determinar el volumen de Gasolina y GLP producidos. Los yacimientos productores que no cuentan con facilidades de extracción de GLP y/o Gasolina, a la salida del separador tienen instalados instrumentos como ser: gravitómetros, registradores multiflujo, medidores másicos, cromatógrafos para análisis cualitativos y cuantitativos, registradores de presión y temperatura y equipos que permita establecer las cantidades de GLP y Gasolina Natural incorporadas en la corriente de Gas Natural despachada.

Las plantas de absorción, en función a su capacidad de procesamiento, pueden procesar Gas de múltiples yacimientos productores. Los instrumentos de medición proporcionan el volumen y la riqueza de cada Gas que Ingresa al planta así, también el volumen y la calidad de la Gasolina y/o GLP producido.

Este método simplemente requiere como entrada la calidad de cada uno de los gases que entran a la planta, el volumen de Gas que aporta cada yacimiento. En la salida se requiere el Volumen y Calidad del Gas Residual y aplicando una simple operación de diferencia de masa, se puede teóricamente calcular cuánto de Gasolina y GLP contiene el Gas que produce cada yacimiento.

En este sentido, las empresas tienen que acudir a planillas Excel para poder realizar esta distribución. Excel es una herramienta que permite resolver el problema, pero, a través del tiempo generan complicaciones debido a que no proporciona los beneficios y la seguridad que brinda un sistema de

información, por ejemplo, repositorio único de datos, la generación de informes histórico, procesos adecuadamente documentados y soportados, adicionalmente, las normas internacionales de seguridad de información no contemplan como válida la información reportada o contabilidad en planillas Excel.

Personalmente he identificado esta necesidad en algunas empresas de nuestro medio. Es así que decidí dedicar este esfuerzo a realizar un aporte que permita a los Ingenieros de Sistemas sin conocimientos de la industria petrolera, simplemente tomando como base este trabajo puedan desarrollar un pequeño sistema informático, que complemente cualquier sistema de contabilidad de producción y le resuelva un problema de información a la compañía que lo aplique, adicionalmente, permitirá facilitar el trabajo al supervisor del campo y utilizar su valioso tiempo en otras actividades que podrían considerarse más importantes para la producción de la compañía.

El diseño del algoritmo para balance de masa que se describe en este trabajo, está fundamentado en herramientas de sistemas de información como diagramas de flujo y diagramas de clases, que son de fácil comprensión y podrán ser fácilmente entendidas por cualquier profesional interesado en el tema expuesto y por su puesto a un Ingeniero en Sistemas, le resultará familiar y podrá con mucha facilidad transformarlo en un programa de computadora.

2 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

Entre las herramientas poderosas con que cuenta el ingeniero, están el balance de material o de masa y el balance de energía o de calor. El balance de masa puede ser usado para determinar la producción de una planta, la proporción de flujo necesaria para tratar una solución, el tamaño requerido de la bomba, y muchas otras variables. El balance de energía puede usarse para determinar la entrada de calor requerida en un reboiler, los caballos de fuerza de una bomba, o el calor impuesto en un intercambiador de calor.

En el orden de usar y aplicar el balance de materia y energía apropiadamente, se debe entender las definiciones termodinámicas del sistema. El sistema es simplemente definido como una porción del universo en que nosotros estamos interesados y preocupados en un momento dado.

2.1.1 Balance de Masa

Para un sistema definido dado se expresa el balance de masa para un periodo dado de tiempo como:

*Cambio de masa en el sistema en un periodo de tiempo dado =
(La masa durante el periodo de tiempo) \pm (la masa que se ganó o perdió por
por la transformación atómica).*

Simbólicamente, el balance de masa puede expresarse cómo:

$$M_E - M_B = \sum M_I - \sum M_O \pm M_P \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

$M_E - M_B$ = Cambio de masa en el sistema durante el periodo de tiempo.

$\sum M_I$ = Sumatoria de las masas de entrada al sistema durante el periodo de tiempo.

$\sum M_O$ = Sumatoria de las masas de salida del sistema durante el periodo de tiempo.

M_P = La masa que se ganó o perdió por la transformación atómica.

Un balance de masa puede escribirse basado en la cantidad total de material que cruza los límites del sistema. En este caso es normalmente llamado un balance de material.

Los insumos que entran a un proceso u operación, salen como productos y como residuos. En este sentido, un balance de masa se define como la verificación de la igualdad cuantitativa de masas que debe existir entre los insumos de entrada y los productos y residuos de salida. El balance de masa es aplicable tanto a un proceso como a cada una de las operaciones unitarias como sería el caso tomado para efectos de este trabajo. A menudo no es posible identificar todas las salidas, por lo que se incluye una diferencia de masas “no identificada”.

Por lo tanto, en un balance de masa, la suma de las masas que entran en un proceso u operación, debe ser igual a la suma de las masas que salen de dicho proceso u operación (es decir, la suma de masas de los productos, residuos y de todos los materiales de salida no identificados).

Si:	$M_E = M_{i1} + M_{i2} + \dots + M_{in}$ $M_S = M_P + M_R + M_N$		
Balance de Masa:	$M_E = M_S$		
Donde:	M = Masa	i1 = Insumo 1	R = Residuo
	E = Entrada	i2 = Insumo 2	P = Producto
	S = Salida	in = Insumo n	N = No identificado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.1

Los materiales de salida no identificados, generalmente se atribuyen a pérdidas de insumos y productos por derrames, fugas y otras causas similares, cuyo origen no pudo ser detectado y, por ende, sus masas no pudieron ser cuantificadas.

Si bien el balance de masa global incluye varios productos, normalmente se debe realizar un balance de masa por cada producto identificado. El balance de energía normalmente no se incluye en el balance de masa, y se lo realiza por separado.

Un balance de masa está basado en el axioma que dice: “la materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma”. Por lo tanto, a través del balance de masa, no sólo se tiene una mejor comprensión de lo que ocurre con las entradas y salidas, sino también permite identificar el origen de los residuos y, a menudo, la existencia de pérdidas de masa que, de otra manera, pasan desapercibidas.

De acuerdo al tamaño de la planta, se puede elaborar un balance de masa para cada operación unitaria o puede ser suficiente un solo balance para el proceso.

Para el efecto, se debe contar con información elaborada para cada operación unitaria y para el proceso global. Entonces, se decide si deben incluirse todas las entradas y salidas en el balance de masa, y/o si se hacen balances específicos por separado. Para fines de seguimiento y evaluación de la planta, se debe estandarizar las unidades de medición con (Barriles, Miles de Pies Cúbicos, Galones, Etc.). Asimismo, se debe usar valores medidos en unidades estándar. Con la información obtenida para las entradas y salidas de masa en cada operación unitaria, se puede estructurar el balance de masa.

2.2 Resolución de problemas con ayuda de la Computadora

El proceso de resolución de un problema con una computadora conduce a la escritura de un programa y a su ejecución en la misma. Aunque el proceso de diseñar programas requiere ser creativo, se pueden considerar una serie de fases o pasos comunes, que generalmente deben seguir los programadores.

Las fases principales para desarrollar un programa para computadora son:

- a.) Análisis del problema.
- b.) Diseños del Algoritmo.
- c.) Codificación.
- d.) Compilación y Ejecución.
- e.) Verificación.
- f.) Depuración.
- g.) Documentación.

Las dos primeras fases conducen a un diseño detallado escrito en forma de algoritmo. Durante la tercera etapa se implementa el algoritmo en un código escrito en un lenguaje de programación reflejando las ideas desarrolladas en las fases de análisis y diseño.

La fase de compilación y ejecución traduce y ejecuta el programa. En las fases de verificación y depuración el programador busca errores de las etapas anteriores y los elimina. Comprueba que mientras más tiempo se gaste en la fase de análisis y diseño menos se gastara en la depuración del programa. Por último, se debe realizar la documentación del programa.

Antes de conocer las tareas a realizar en cada fase, se consideran el concepto y significado de la palabra algoritmo, ésta deriva de la traducción del latín de la palabra árabe alkhwarizmi, nombre de un matemático y

astrónomo árabe que escribió un tratado sobre manipulación de números y ecuaciones en el siglo IX. Un algoritmo es un método para resolver un problema mediante una serie de pasos precisos, definidos y finitos.

2.2.1 Características de un algoritmo

Un algoritmo debe producir un resultado en un tiempo finito. Los métodos que utilizan algoritmos se denominan métodos algorítmicos, en oposición a los métodos que implican algún juicio o interpretación que se denominan métodos heurísticos, los métodos algorítmicos se pueden implementar en computadoras; sin embargo, los procesos heurísticos no han sido convertidos fácilmente en las computadoras, en los últimos años las técnicas de inteligencia artificial han hecho posible la implementación del proceso heurístico en computadoras.

Ejemplos de algoritmos: instrucciones para montar en una bicicleta, hacer una receta de cocina, obtener el máximo común divisor de dos números, etc. los algoritmos se pueden expresar por formulas, diagramas de flujo o n-s y pseudo códigos, esta última representación es la más utilizada en lenguajes estructurados como Delphi.

Resumiendo, cabe resaltar las características más importantes de un algoritmo

- a.) Preciso (indicar el orden de realización en cada paso)
- b.) Definido (si se sigue dos veces, obtiene el mismo resultado cada vez)
- c.) Finito (tiene fin; un número determinado de pasos)

2.2.2 Análisis del problema

La primera fase de la resolución de un problema con computadora es el análisis del problema. Esta fase requiere una clara definición, donde se contemple exactamente lo que debe hacer el programa y el resultado o solución deseada.

Dado que se busca una solución por computadora, se precisan especificaciones detalladas de entrada y salida.

Para poder definir bien un problema es conveniente responder a las siguientes preguntas:

- a.) ¿Qué entrada se requiere (tipo y cantidad)?
- b.) ¿Cuál es la salida deseada (tipo y cantidad)?
- c.) ¿Qué método produce la salida deseada?

2.2.3 Diseño de un Algoritmo

En la etapa de análisis del proceso de programación se determina que hace el programa. En la etapa de diseño se determina como se hace el programa la tarea solicitada. Los métodos eficaces, para el proceso de diseño se basan en el conocido divide y vencerás, es decir, la resolución de un problema complejo se realiza dividiendo el problema en sub-problemas y a estos sub-problemas en otros de nivel más bajo, hasta que pueda ser implementada una solución en la computadora. Este método se conoce técnicamente como diseño descendente o modular. El proceso de romper el problema en cada etapa y expresar cada paso en forma más detallada se denomina refinamiento sucesivo.

Cada sub-problema es resuelto mediante un modulo que tiene un solo punto de entrada y un solo punto de salida. Cualquier programa bien diseñado consta de un programa principal que llama subprograma que, a su vez, pueden llamar a otros subprogramas, los programas estructurados. De esta forma se dice que tiene un diseño modular y el método de romper el programa en módulos más pequeños se llama programación modular. Los módulos pueden ser planeados, codificados, comprobados y depurados independientemente y entre sí. El proceso implica la ejecución de los siguientes pasos hasta que el programa se termina:

- a.) Programar un módulo.
- b.) Comprobar el módulo.
- c.) Si es necesario, depurar el módulo, combinar el módulo con los módulos anteriores.

El proceso que convierte los resultados del análisis del problema en un diseño modular con refinamientos sucesivos que permitan una posterior traducción a un lenguaje se denomina **“Diseño del Algoritmo”**. El diseño del algoritmo es independiente del lenguaje de programación en el que se vaya a codificar posteriormente.

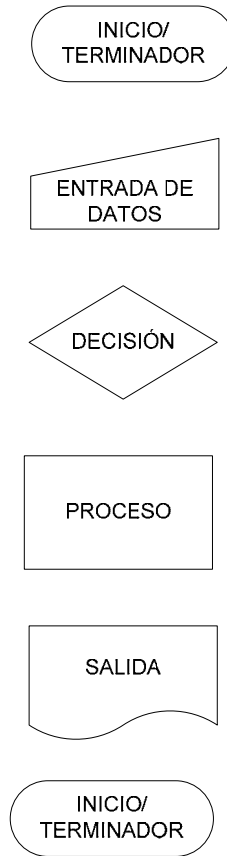
2.2.4 Herramientas de Programación

Las herramientas de programación, son técnicas y metodologías que permiten desarrollar adecuadamente programas para computadoras.

2.2.4.1 Diagramas de flujo

Un diagrama de flujo (flowchart) es una representación gráfica de un algoritmo, los símbolos utilizados han sido normalizados por el instituto norteamericano de normalización (ANSI). Se presentan los símbolos utilizados para generar programas:

SÍMBOLOS GRÁFICOS MÁS UTILIZADOS PARA DIBUJAR ALGORITMOS POR MEDIO DE DIAGRAMAS DE FLUJO



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.1

2.2.4.2 Pseudo-código

El pseudocódigo es una herramienta de programación en la que las instrucciones se escriben en palabras similares al inglés o español, que facilitan tanto la escritura como la lectura de programas. En esencia, el pseudocódigo se puede definir como un lenguaje de especificaciones de algoritmos.

Aunque no existen reglas para escritura del pseudocódigo en español, se ha recogido una notación estándar empleada en los libros de programación en español. Las palabras reservadas básicas se representan en letras resaltadas minúsculas, estas palabras son traducciones libre de palabras reservadas de lenguajes como Basic, Pascal.

2.2.5 Codificación de un Programa

Codificación es la escritura en un lenguaje de programación de la representación del algoritmo desarrollada en las etapas precedentes, dado que el diseño de un algoritmo es independiente del lenguaje de programación utilizado para su implementación. El código puede ser escrito con igual facilidad en un lenguaje o en otro.

Para realizar la conversión del algoritmo en programa se deben sustituir las palabras reservadas en español por sus homónimos en inglés, y las operaciones en instrucciones correspondientes indicadas en lenguaje natural expresarlas en el lenguaje de programación correspondiente.

Aunque, lógicamente, no comprenda las sentencias del programa anterior, es necesario observar las siguientes características básicas.

- a.) Cabecera del programa, nombre del programa, autor, fecha de creación.
- b.) Lista de variables. Es obligatoria su declaración en pascal.
- c.) Legibilidad, los programas deben ser lo más legibles posibles. El espaciado y las sangrías se deben utilizar con frecuencia.
- d.) Diseño modular. Este simple programa solo consta de un modulo principal.
- e.) Documentación. Los programas deben incluir comentarios internos, en forma de líneas con separadores o bien por * *.

2.2.6 Compilación y ejecución de un programa

Una vez que el algoritmo se ha convertido en un programa fuente, es preciso introducirlo en memoria mediante el teclado y almacenarlo posteriormente en un disco. Esta operación se realiza con un programa editor. Posteriormente el programa fuente se convierte en un archivo de programa que se guarda en disco.

El programa fuente debe ser traducido a lenguaje máquina. Este proceso se realiza con el compilador y el sistema operativo que se encarga prácticamente de la compilación. Si tras la compilación se presentan errores en el programa fuente, es preciso volver a editar el programa, corregir los errores y compilar de nuevo. Este proceso se repite hasta que no se producen errores, obteniéndose el programa objeto que todavía no es ejecutable directamente.

Suponiendo que no existen errores en el programa fuente, se debe instruir el sistema operativo para que realice la fase de montaje o enlace, carga, del programa objeto con las librerías del programa del compilador. El proceso de montaje produce un programa ejecutable.

Cuando el programa ejecutable se ha creado, se puede utilizar desde el sistema operativo con solo teclear su nombre, suponiendo que no existen errores durante la ejecución, se obtendrá la salida de resultados del programa.

Las instrucciones u órdenes para compilar y ejecutar un programa pueden variar según el tipo de compilador.

2.2.7 Verificación y Depuración de un programa

La verificación o depuración de un programa es el proceso de ejecución del programa con una amplia variedad de datos de entrada, llamados datos de prueba, que determinan si el programa tiene errores. Para realizar la verificación se debe desarrollar una amplia gama de datos de prueba: los valores normales de entrada, valores extremos de entrada que comprueben los límites del programa y valores de entrada que comprueben los aspectos especiales del programa.

La depuración es el proceso de encontrar los errores del programa y corregir o eliminar dichos errores.

2.2.8 Documentación y Mantenimiento

La documentación de un programa consta de las descripciones de los pasos a dar en el proceso de resolución de un problema. La importancia de la documentación debe ser destacada por su decisiva influencia en el producto final, programas pobremente documentados son difíciles de leer, mas difíciles de depurar y casi imposibles de mantener y modificar.

La documentación de un programa puede ser interna y externa. La documentación interna es la contenida en las líneas de comentarios. La documentación externa incluye análisis, diagramas de flujo y/o pseudocódigos, manuales de usuario con instrucciones para ejecutar el programa y para interpretar los resultados.

La documentación es vital cuando se desea corregir posibles errores futuros o bien cambiar el programa. Tales cambios se denominan mantenimiento del programa. Después de cada cambio la documentación debe ser actualizada para facilitar cambios posteriores. Es buena práctica numerar las sucesivas versiones de los programas 1.0, 1.1, 2.0, 2.1, (si los cambios introducidos son importantes, se varia el primer dígito [1.0, 2.0, . . .]), en caso de pequeños cambios solo se varia el segundo dígito [2.0, 2.1, . . .].)

2.3 Lenguaje Unificado de Modelamiento

Es un lenguaje de modelado visual que se usa para especificar, visualizar, construir y documentar artefactos de un sistema de software. Se usa para entender, diseñar, configurar, mantener y controlar la información sobre los sistemas a construir.

Capta la información sobre la estructura estática y el comportamiento dinámico de un sistema que se modela como una colección de objetos discretos que interactúan para realizar un trabajo que finalmente beneficia a un usuario externo.

El lenguaje de modelado (UML) pretende unificar la experiencia pasada sobre técnicas de modelado e incorporar las mejores prácticas actuales en un acercamiento estándar.

UML no es un lenguaje de programación. Las herramientas pueden ofrecer generadores de código de UML para una gran variedad de lenguajes de programación, así como construir modelos por ingeniería inversa a partir de programas existentes.

Es un lenguaje de propósito general para el modelado orientado a objetos. UML es también un lenguaje de modelamiento visual que permite una abstracción del sistema y sus componentes.

Existían diversos métodos y técnicas Orientadas a Objetos, con muchos aspectos en común pero que utilizan distintas notaciones, lo que presentaba inconvenientes para el aprendizaje, aplicación, construcción y uso de herramientas además de pugnas entre enfoques, lo que generó la creación del UML como estándar para el modelamiento de sistemas de software principalmente, pero con posibilidades de ser aplicado a todo tipo de proyectos.

2.3.1 Características de UML

UML es un lenguaje de modelado de propósito general que pueden usar los modeladores. No tiene propietario y está basado en el común acuerdo de gran parte de la comunidad informática.

UML no pretende ser un método de desarrollo completo. No incluye un proceso de desarrollo paso a paso. UML incluye los conceptos que se consideran necesarios para utilizar un proceso moderno iterativo, basado en construir una sólida arquitectura para resolver requisitos dirigidos por casos de uso.

Ser tan simple como sea posible pero manteniendo la capacidad de modelar la gama de sistemas que se necesita construir. UML necesita ser lo suficientemente expresivo para manejar todos los conceptos que se originan en un sistema moderno, tales como la concurrencia y distribución, así como también los mecanismos de la ingeniería de software, como son la encapsulación y componentes.

Debe ser un lenguaje universal, como cualquier lenguaje de propósito general.

2.3.2 Áreas conceptuales de UML

Los conceptos y modelos de UML pueden agruparse en las siguientes áreas conceptuales:

a) Estructura estática

Cualquier modelo preciso debe primero definir su universo, esto es, los conceptos clave de aplicación, sus propiedades internas y las relaciones entre cada una de ellas. Este conjunto de construcciones es la estructura estática.

Los conceptos de la aplicación son modelados como clases, cada una de las cuales describe un conjunto de objetos que almacenan información y se comunican para implementar un comportamiento. La información que almacena es modelada como atributos; La estructura estática se expresa con diagramas de clases y puede usarse para generar la mayoría de las declaraciones de estructuras de datos en un programa.

b) Comportamiento dinámico

Hay dos formas de modelar el comportamiento: la historia de la vida de un objeto y la forma como interactúa con el resto del mundo; los patrones de comunicación de un conjunto de objetos conectados, es decir, la forma en que interactúan entre sí.

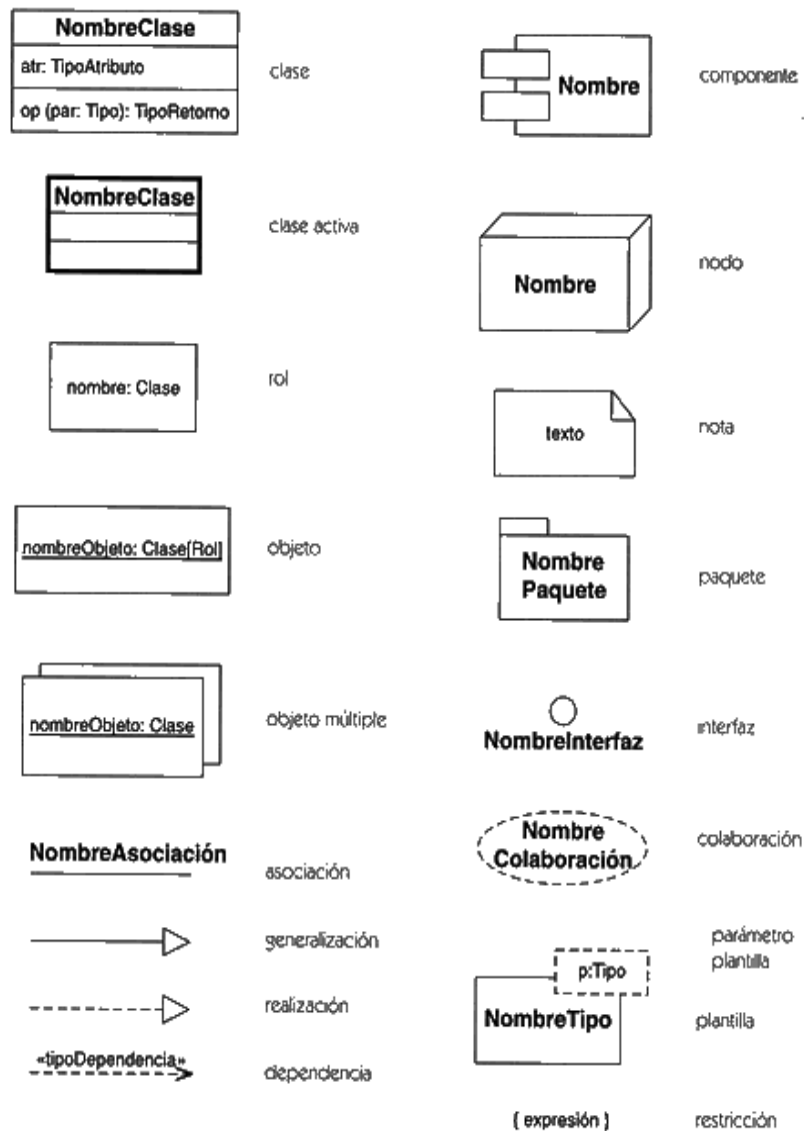
La visión de un objeto aislado es una máquina de estados, muestra la forma en que el objeto responde a los eventos en función de su estado actual. La visión de interacción de objetos se representa con los enlaces entre objetos junto con el flujo de mensajes y los enlaces entre ellos. Este punto de vista unifica la estructura de los datos, el control de flujo y el flujo de datos.

2.3.3 Diagramas UML

Se presenta una lista de los diagramas que se usan con mayor frecuencia para modelar sistemas de información:

ELEMENTOS PARA MODELAR DIAGRAMAS UML

Algunos Iconos en UML

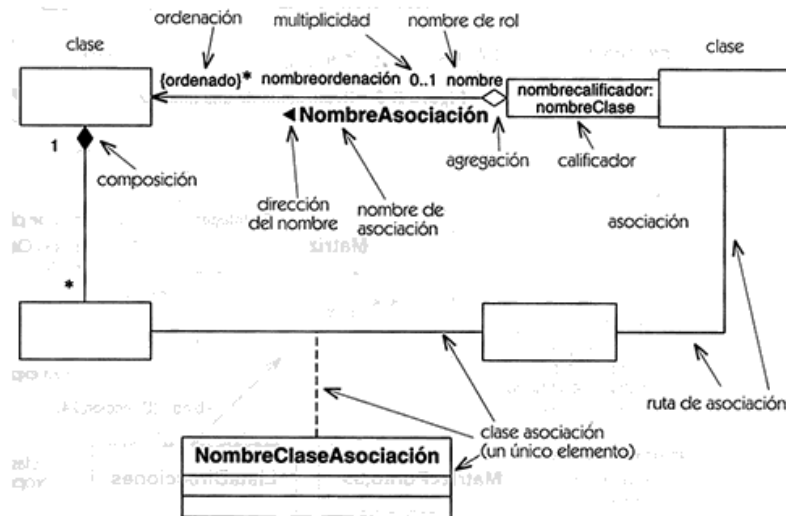


Fuente: (LARMAN, 1999)

Figura 2.2

MODELO EXPLICADO DE UN DIAGRAMA CONCEPTUAL

Asociaciones en Clases y Objetos



Fuente: (LARMAN, 1999)

Figura 2.3

3 DIAGNÓSTICO

3.1 Problema

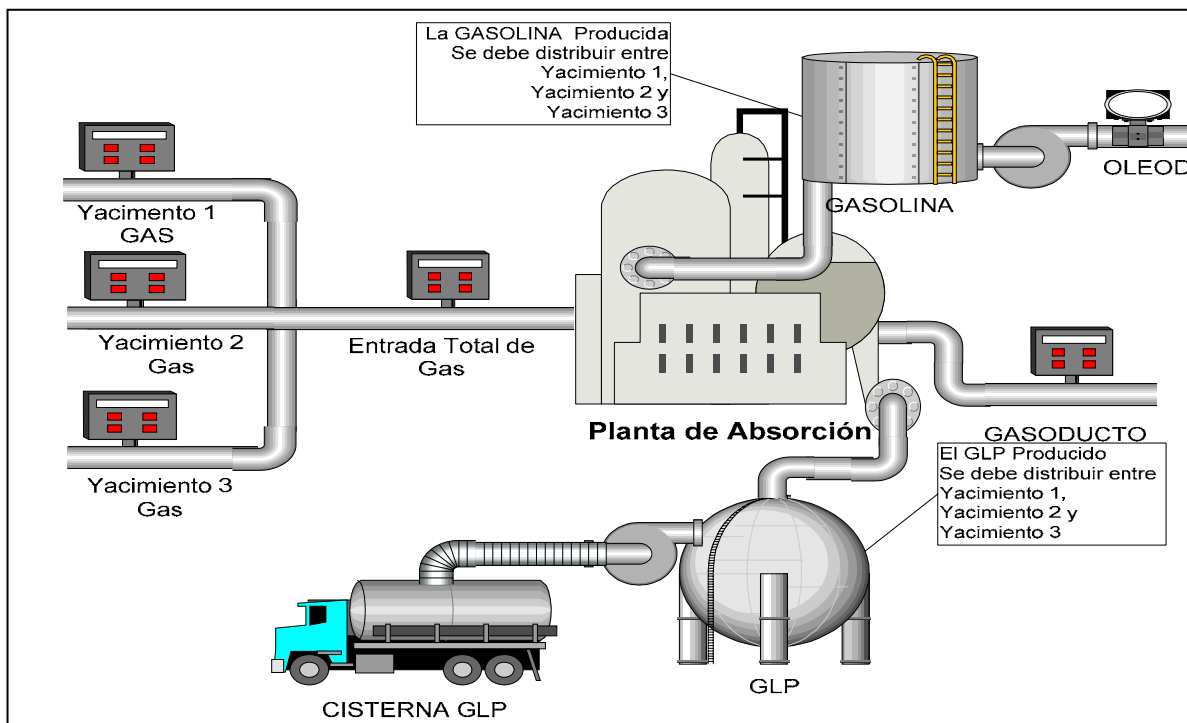
Existen en nuestro país plantas de absorción de gas que producen Gasolina y GLP. Estas plantas reciben GAS de varios yacimientos y a efectos de contabilidad de petrolera, el producto final se debe distribuir adecuadamente a cada yacimiento proveedor de GAS.

Los sistemas comerciales de contabilidad petrolera, dadas las particularidades de estos casos, no cuentan con una solución adaptable a cada empresa. En consecuencia, se aplican planillas de cálculo que ayudan a resolver el problema puntual. Las planillas de cálculo no son auditables y por lo tanto no son consideradas como válidas por las normas internacionales de seguridad de información.

3.2 Esquema del Problema

La siguiente figura presenta esquemáticamente una planta de absorción que produce Gasolina y GLP. El gas que procesa es recibido de varios yacimientos por lo que la Gasolina y GLP producido debe distribuirse entre los yacimientos proveedores de gas, es decir, Yacimiento 1, Yacimiento 2 y Yacimiento 3.

ESQUEMA PLANTA DE ABSORCIÓN QUE PRODUCE GASOLINA Y GLP



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.1

4 SOLUCIÓN

4.1 Solución Propuesta

Diseñar un algoritmo basado en el balance de masa, para la distribución de gasolina y GLP entre los campos que aportan GAS a la planta de absorción.

4.2 Balance de Gas

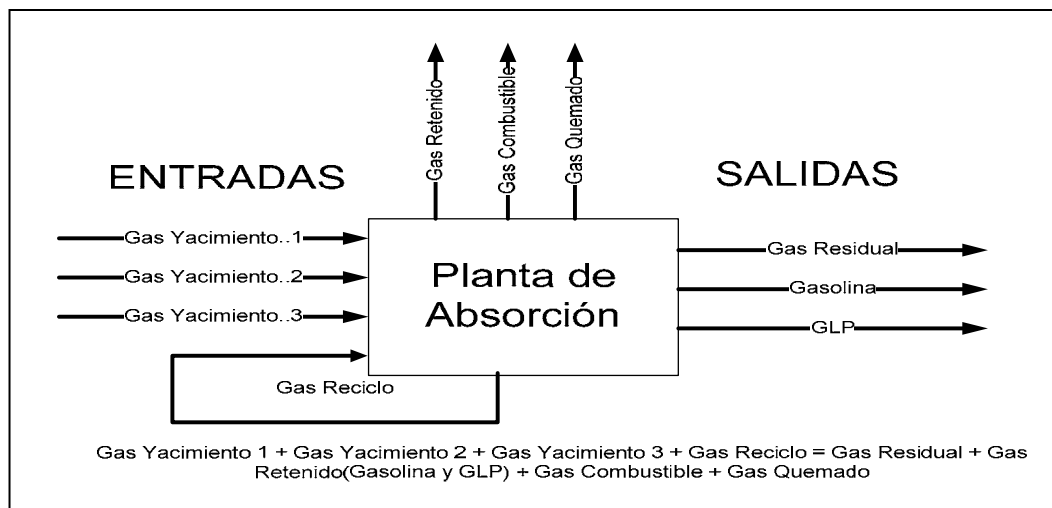
Es importante para el proceso, conocer el balance de gas de la planta, el mismo que debe estar compuesto básicamente de los siguientes datos:

- Combustible. Gas que se usó como combustible en la planta.
- Inyección. En caso de que la planta inyecte GAS a los pozos, se debe contabilizar el volumen de gas inyectado.
- Venta. El volumen de Gas que se entrega al Gasoducto.
- Licuable. El volumen de gas que se convierte en líquido, es decir, Gasolina y GLP. Este volumen es el resultado de restar el volumen de Gas Alimento – Volumen De Gas Residual, (normalmente el gas alimento y gas residual se miden).
- Quema. Representa el Gas Quemado y/o venteado en la planta. Normalmente se calcula como suma de separadores (Boca de Pozo) menos Usos (Combustible, Inyección, Venta, Licuable); esto se hace para balancear la producción.

4.3 Diagrama de Balance de Masa para una Planta de Absorción

Se describe esquemáticamente el balance de Masa aplicable a una planta de Absorción. Se utilizar este modelo genérico para desarrollar el algoritmo de balance de masa propuesto en este estudio (Fig. 4.1):

PROTOTIPO BALANCE DE MASA PARA UNA PLANTA DE ABSORCIÓN



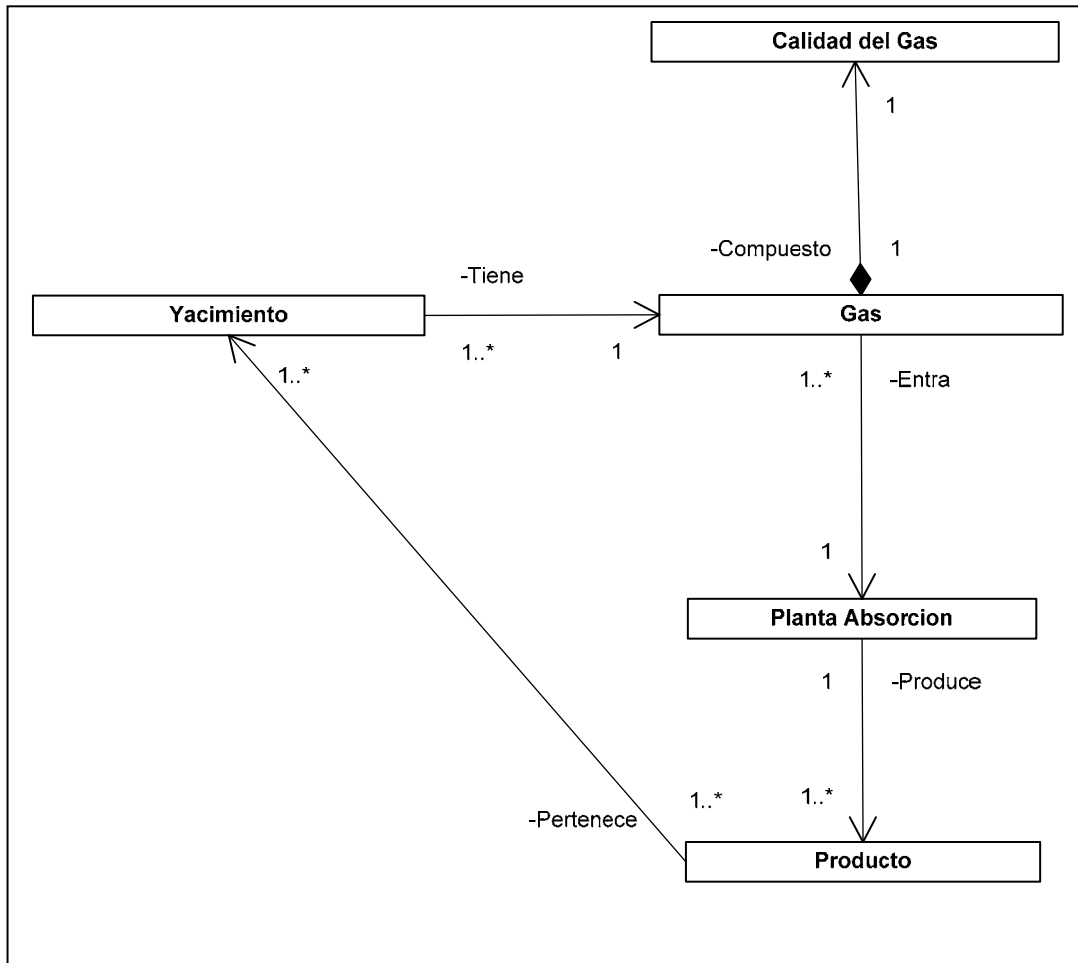
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.1

4.4 Diagrama Conceptual

El siguiente diagrama es la representación real del problema planteado en términos de programación orientada a objetos.

DIAGRAMA CONCEPTUAL



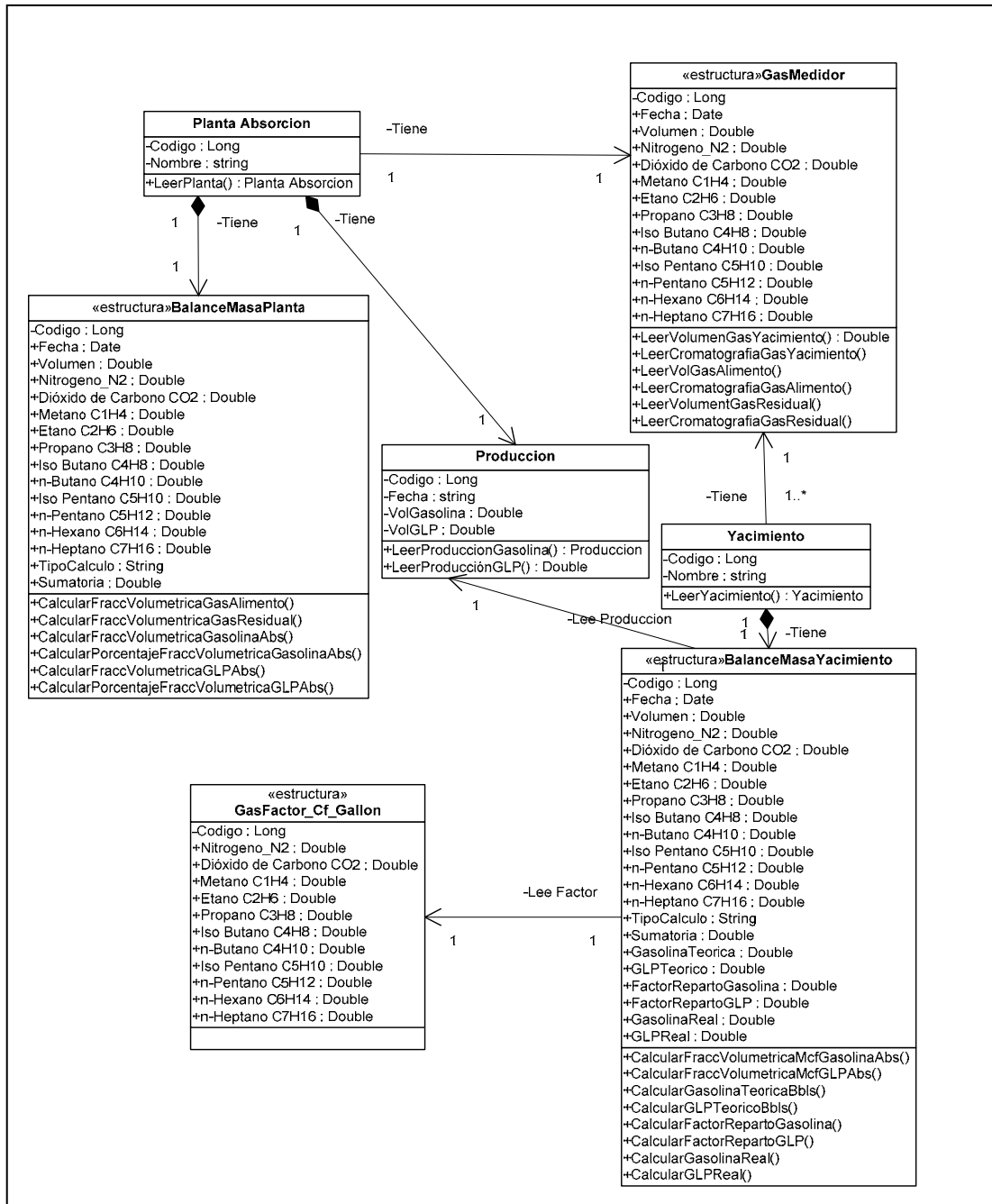
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.2

4.5 Diagrama de Estructura Estática

Muestra una vista de la aplicación en un determinado momento, es decir, en un instante en que el sistema está detenido. Las clases son la plantilla de los objetos representados con sus atributos o características y su comportamiento o métodos, así como la relación entre ellos:

DIAGRAMA DE ESTRUCTURA ESTÁTICA O DIAGRAMA DE CLASES



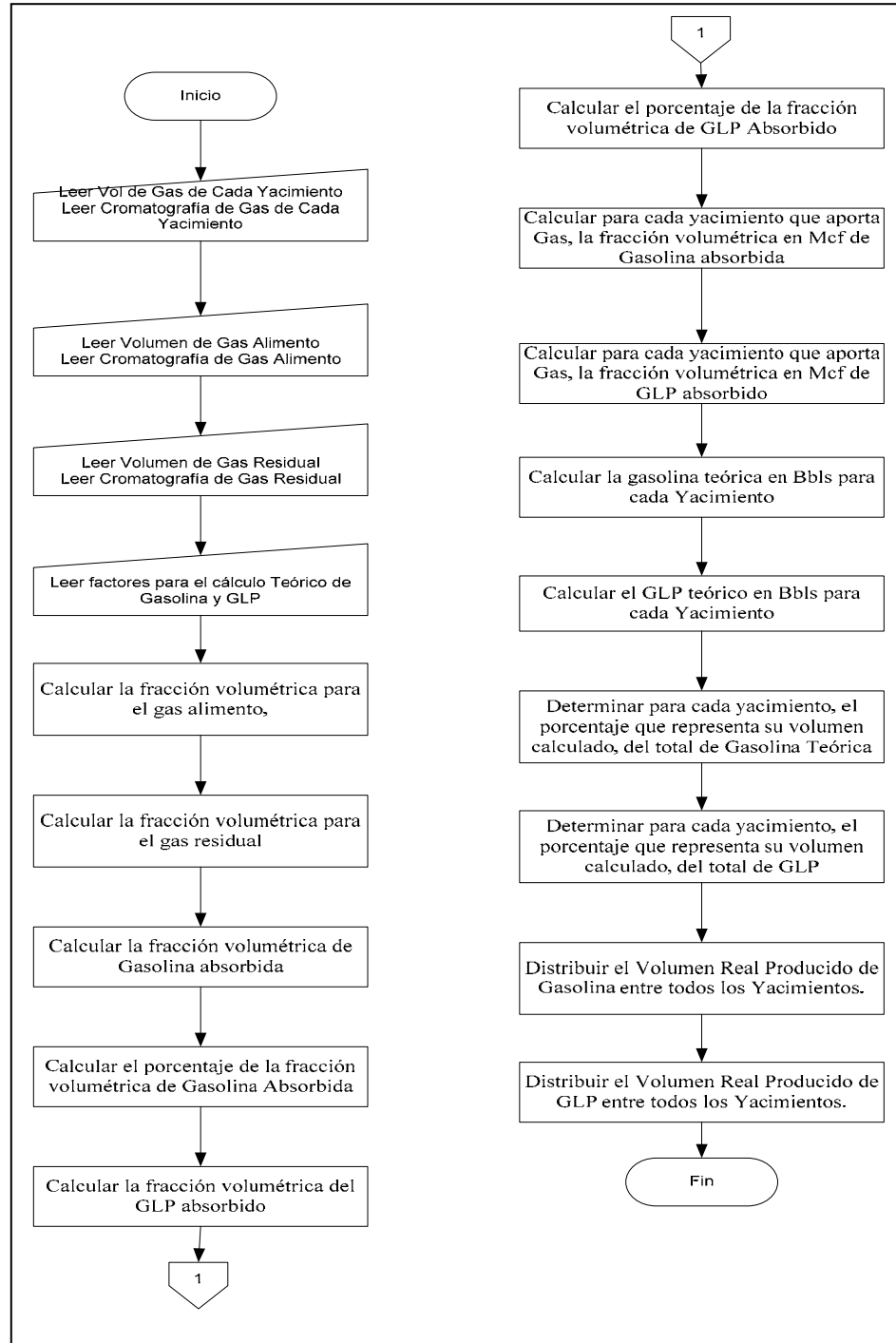
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.3

4.6 Diagrama de Flujo del Proceso de Balance de Masa

Utilizamos diagramas de flujos para describir el algoritmo propuesto para la distribución teórica de Gasolina y GLP, basado en el cálculo de balance de masa.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROCESO DE BALANCE DE MASA



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.4

4.7 Datos requeridos para un Yacimiento que entrega Gas a la Planta de Proceso

Para realizar la distribución aplicando el balance de masa, se requieren los siguientes datos de entrada:

- El volumen de gas en Mcf que aporta cada yacimiento.
- La cromatografía (GPM, Gramos por Mol) del gas que entrega cada yacimiento. Los elementos que se deben proporcionar son:

COMPOSICIÓN QUÍMICA REQUERIDA POR EL PROCESO

Componente	Fórmula
Nitrógeno	N ₂
Dióxido de Carbono	CO ₂
Metano	C ₁ H ₄
Etano	C ₂ H ₆
Propano	C ₃ H ₈
Iso Butano	C ₄ H ₈
n-Butano	C ₄ H ₁₀
Iso Pentano	C ₅ H ₁₀
n-Pentano	C ₅ H ₁₂
n-Hexano	C ₆ H ₁₄
n-Heptano	C ₇ H ₁₆

Fuente: Elaboración Propia. **Tabla 4.1**

4.8 Especificación del Algoritmo de Balance de Masa

En función a las entradas requeridas por el balance de masa, se deben realizar los siguientes cálculos:

- La gasolina se calcula en función a los componentes de la Tabla 4.2. Tomar en cuenta estos elementos posteriormente cuando se haga referencia al cálculo de Gasolina.

ELEMENTOS REQUERIDOS PARA EL CÁLCULO DE LA GASOLINA

Componente	Fórmula
Iso Pentano	C ₅ H ₁₀
n-Pentano	C ₅ H ₁₂
n-Hexano	C ₆ H ₁₄
n-Heptano	C ₇ H ₁₆

Fuente: Elaboración Propia. **Tabla 4.2**

- b.) El GLP se calcula en función a los componentes de la Tabla 4.3. Tomar en cuenta estos elementos posteriormente cuando se haga referencia al cálculo de GLP.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE GLP

Componente	Fórmula
Propano	C ₃ H ₈
Iso Butano	C ₄ H ₈
n-Butano	C ₄ H ₁₀

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.3

- c.) Si se cuenta con instrumentos de medición del Gas Alimento, tomar los valores proporcionados por el instrumento. En caso de no contar con los instrumentos de medición, se debe calcular el % molar de la mezcla de los gases de entrada, usando la siguiente fórmula:

$$Croma Gas Alimento (\% Molar) = \sum_i^n GPM_i * Vol.de Entrada en Mcf / \sum_j^n Vol.de Entrada_j$$

donde i , representa cada componente del gas de entrada.

Ecuación 4.2

donde j , representa el volumen de entrada de cada yacimiento en Mcf

$$Gas Alimento (Mcf) = \sum_j^n Vol.de Entrada_j$$

Ecuación 4.1

Donde j , representa el volumen de entrada de cada yacimiento (Mcf)

- d.) Recuperar la cromatografía y el volumen del gas residual. Estos datos normalmente son tomados por instrumentos electrónicos llamados cromatógrafo y medidor respectivamente.
- e.) El volumen de gas de salida de la planta, también puede determinarse de acuerdo al balance de gas explicado en el primer inciso. La fórmula es la siguiente:

$$Volumen de Gas Residual (Mcf) = Combustible (Mcf) + Venta (Mcf) + Inyección (Mcf) + Quema (Mcf).$$

Ecuación 4.3

Nota.- Esta fórmula, representa el gas que salió de la planta de proceso. Por tal motivo, no se contempla el gas Licuable que fue retenido en la planta para producir gasolina y GLP.

- f.) Calcular la fracción volumétrica para el gas alimento. Se debe usar la siguiente fórmula:

$$Fracción Volumétrica Gas Alimento (Mcf) = (Cromatografía * Volumen Gas Alimento (Mcf)) / 100.$$

Ecuación 4.4

- g.) Calcular la fracción volumétrica para el gas residual. Se debe usar la siguiente fórmula:

$$\text{Fracción Volumétrica Gas Residual(Mcf)} = (\text{Cromatografía} * \text{Volumen Gas Residual (Mcf)})/100.$$

Ecuación 4.5

- h.) Calcular la fracción volumétrica de Gasolina absorbida, usando la siguiente fórmula:

$$\text{Fracción Volumétrica Gasolina Absorbida(Mcf)} = \text{Fracción Volumétrica Gas Alimento} - \text{Fracción Volumétrica Gas Residual}$$

Ecuación 4.6

Nota.- Tomar solamente los elementos que componen la Gasolina (C5H10, C5H12, C6H14, C7H16).

- i.) En función al gas alimento, calcular el porcentaje de la fracción volumétrica de Gasolina Absorbida. Este factor se usa para determinar la distribución teórica de la Gasolina producida entre yacimientos que aportan gas. Usar la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Gasolina Absorbida} = \frac{\text{Fracción Volumétrica Gasolina Absorbida}}{\text{Fracción Volumétrica del Gas Alimento}} \quad \textbf{Ecuación 4.7}$$

Nota.- Tomar solamente los elementos que componen la gasolina(C5H10, C5H12, C6H14, C7H16).

- j.) Calcular la fracción volumétrica del GLP absorbido. Usar la siguiente fórmula:

$$\text{Fracción Volumétrica GLP Absorbido(Mcf)} = \text{Fracción Volumétrica Gas Alimento} - \text{Fracción Volumétrica Gas Residual}$$

Ecuación 4.8

Nota.- Tomar solamente los elementos que componen el GLP(C3H8, C4H8, C4H10).

- k.) En función al gas alimento, calcular el porcentaje de la fracción volumétrica de GLP Absorbido, este factor se usará para la distribución teórica del GLP producido, entre los yacimientos que aportan gas. Usar la siguiente fórmula:

$$\% \text{ GLP Absorbido} = \frac{\text{Fracción Volumétrica GLP Absorbido}}{\text{Fracción Volumétrica del Gas Alimento}} \quad \textbf{Ecuación 4.9}$$

Nota.- Tomar solamente los elementos que componen el GLP(C3H8, C4H8, C4H10).

- l.) Calcular para cada yacimiento que aporta Gas, la fracción volumétrica (Mcf) de Gasolina absorbida. Usar la siguiente fórmula:

$$\text{Fracción Volumétrica de Gasolina Yacimiento (Mcf)} = \frac{(\text{Cromatografía Gasolina Gas Yacimiento} * \text{Volumen Gas Yacimiento (Mcf)} * \% \text{Gasolina Absorbida})}{100}.$$

Ecuación 4.10

Nota.- Tomar solamente los elementos que componen la Gasolina (C5H10, C5H12, C6H14, C7H16).

- m.) Calcular para cada yacimiento que aporta Gas, la fracción volumétrica (Mcf) de GLP absorbido. Usar la siguiente fórmula:

$$\text{Fracción Volumétrica de GLP Yacimiento (Mcf)} = \frac{(\text{Cromatografía GLP Gas Yacimiento} * \text{Volumen Gas Yacimiento (Mcf)} * \% \text{GLP Absorbido})}{100}.$$

Ecuación 4.11

Nota.- Tomar solamente los elementos que componen el GLP (C3H8, C4H8, C4H10).

- n.) Usar los siguiente factores, para el cálculo teórico de Gasolina y GLP:

CONSTANTES REQUERIDAS POR EL PROCESO PARA DETERMINAR EL VOLUMEN DE GASOLINA Y GLP.

Componente	Producto	Fórmula	Factor cf/Galón
Propano	GLP	C3H8	36.375
Iso Butano	GLP	C4H8	30.639
n-Butano	GLP	C4H10	31.79
Iso Pentano	GASOLINA	C5H10	27.393
n-Pentano	GASOLINA	C5H12	27.674
n-Hexano	GASOLINA	C6H14	24.371
n-Heptano	GASOLINA	C7H16	19.58

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.4

- o.) Calcular la gasolina teórica (Bbls) para cada Yacimiento, Usar la siguiente fórmula:

$$\text{Gasolina Teórica Yacimiento (Bbls)} = \sum_i^n \frac{\text{Fracción Volumétrica de Gasolina Yacimiento (Mcf)}_i * 1000}{\text{Factor cf/Galón}_i * 42}$$

Ecuación 4.12

donde i, representa cada uno de los elementos que componen la gasolina.

Notas:

Tomar solamente los elementos que componen la Gasolina (C5H10, C5H12, C6H14, C7H16).

Se multiplica * 1000 para llevar la Fracción Volumétrica de Gasolina Yacimiento (Mcf a cf).

Se multiplica el Factor cf/Galón * 42, para llevarlo de Galón a Barril(Petróleo).

- p.) Calcular el GLP teórico en Bbls para cada Yacimiento, Usar la siguiente fórmula:

$$\text{GLP Teórico Yacimiento(Bbls)} = \sum_i^n \frac{\text{Fracción Volumétrica de GLP Yacimiento (Mcf)}_i * 1000}{\text{Factor cf/Gallon}_i * 42} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

donde i, representa cada uno de los elementos que componen el GLP.

Notas:

Tomar solamente los elementos que componen el GLP(C3H8, C4H8, C4H10).

Se multiplica * 1000 para llevar la Fracción Volumétrica de Gasolina Yacimiento (Mcf a cf).

Se multiplica el Factor cf/Galón * 42, para llevarlo de Galón a Barril(Petróleo).

- q.) Determinar para cada yacimiento, el porcentaje que representa su volumen calculado del total de Gasolina Teórica. Usar la siguiente fórmula:

$$\% \text{Gasolina Yacimiento} = \frac{\text{Gasolina Teórica Yacimiento(Bbls)}}{\sum_i^n \text{Gasolina Teórica Yacimiento(Bbls)}_i} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

donde i, representa el volumen teórico de gasolina calculado para cada uno de los yacimientos que aportan Gas a la Planta.

- r.) Determinar para cada yacimiento, el porcentaje que representa su volumen calculado, del total de GLP. Usar la siguiente fórmula:

$$\% \text{GLP Yacimiento} = \frac{\text{GLP Teórico Yacimiento(Bbls)}}{\sum_i^n \text{GLP Teórico Yacimiento(Bbls)}_i} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

donde i, Representa el volumen teórico de GLP calculado para cada uno de los yacimientos que aportan Gas a la Planta.

- s.) Distribuir el Volumen Real producido de Gasolina a cada uno de los yacimientos que aportan gas a la planta.

Gasolina Real Yacimiento (Bbls) = Gasolina Real Producida por la Planta (Bbls) * %Gasolina Yacimiento.

Ecuación 4.16

- t.) Distribuir el Volumen Real producido de GLP a cada uno de los yacimientos que aportan gas a la planta.

GLP Real Yacimiento (Bbls) = GLP Real Producida por la Planta (Bbls) * %GLP Yacimiento.

Ecuación 4.17

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Para contabilizar la producción adecuadamente, se debe distribuir el volumen de Gasolina y GLP producidos entre los yacimientos que aportan Gas a la Planta. En nuestro medio no se cuenta con instrumentos capaces de realizar este cálculo automáticamente. Es más, considerando los elevados costos puede no resultar rentable una inversión en instrumentos para este fin.

Para resolver este problema, la Ingeniería Química proporciona una metodología denominada “Balance de Masa” que es una técnica que se apoya en ecuaciones matemáticas. A través de este método es posible realizar una distribución teórica de la producción de Gasolina y GLP.

En la actualidad, los sistemas de producción que se comercializan en el mercado, no cuentan con una funcionalidad orientada a resolver este problema.

Este trabajo busca proporcionar a los profesionales que se desarrollan en el sector de hidrocarburos, una metodología clara y documentada de lo que es un balance de masa para distribución teórica de Gasolina y GLP en una planta de Absorción. Se diseñó de un algoritmo con la estructura necesaria para que el profesional de sistemas, pueda transformar el cálculo en un sistema informático que aporte mayores beneficios a la empresa que realice el emprendimiento de implementarlo.

El análisis de costos versus beneficios es totalmente favorable al inversor, desde el punto de vista económico la inversión que requiere el desarrollo del proyecto se recupera en menos de dos años y por su puesto los beneficios intangibles aportan un gran valor a la compañía, entre otras cosas, facilitando el trabajo notablemente al personal que directa o indirectamente está involucrado en la elaboración de informes diarios de producción, adicionalmente, el usuario final de la información contará con un proceso documentado que le permita comprender el origen de los datos.

5.2 Recomendaciones

- ❖ La elección de la herramienta para desarrollar el programa de computadora, se debe realizar en función a los estándares vigentes en cada compañía esta propuesta es un diseño que es técnicamente factible desarrollar en cualquier herramienta. Para la estructura de datos se es aconsejable tener un esquema de datos exclusivamente para la solución. Esto facilitará notablemente el mantenimiento de la base de datos.
- ❖ Diseñar interfases que sean amigables al usuario final, de fácil operación.
- ❖ Proporcionar un conjunto de reportes, que permita hacer seguimiento a los cálculos que realiza el proceso.
- ❖ Se debe llevar la gestión de cambios adecuadamente. Esto permitirá a la compañía, tener las versiones del programa debidamente documentadas y autorizadas.
- ❖ Para maximizar los beneficios del proyecto, es importante hacer énfasis en la capacitación de operación a los usuarios finales. Se debe diseñar un plan de capacitación que incluya mucha práctica que le permita al usuario final operar el sistema y generar los informes con toda confianza.

6 BIBLIOGRAFÍA

6.1 Bibliografía

CAMPBELL, J. M. *Element of Field Processing*. Cambell Petroleum Series by John M. Cambell.
 CAMPBELL, J. M. (1982). *Gas Conditioning and Processing* (Third ed., Vol. GAS AND LIQUID SWEETENING). Norman, Oklahoma: Cambell Petroleum Series by John M. Cambell.
 CAMPBELL, J. M. (1982). *Gas Conditioning and Processing* (Vol. ADVANCED TECHNIQUES AND APPLICATIONS). Norman, Oklahoma: Cambell Petroleum Series by John M. Cambell.
 CAMPBELL, J. M. (1984). *Gas Conditioning and Processing* (Seventh ed., Vol. The Basic Principles). Norman, Oklahoma: Cambell Petroleum Series.
 LARMAN, C. (1999). *UML y Patrones, Introducción al análisis y diseño orientado a Objetos*. México: PRENTICE HALL.

6.2 A cerca del Autor

ENRIQUE ROJAS ARANO

DATOS PERSONALES	Fecha de Nacimiento	:	09/MAY/1977
	Nacionalidad	:	Boliviana
	Dirección Actual	:	Condominio el Paseo Nro. 6-B – Remanso II
	Teléfonos	:	(591 3)-3384328 – Cel. 72188050 (591 3)-3416935 – Cel. 72192110
	E-Mail	:	enrojasar@yahoo.es
	Sitio Web	:	http://erojas.cjb.net
FORMACIÓN	Ing. Informático, Especialista en Sistemas de Producción de Petróleo, Gestión y Tecnología del Gas Natural.		

ANEXOS

Constantes de Propiedades Físicas

Componente	Formula	Peso Molecular	Temperatura de Fusión °C	Temperatura de Evaporación °C	Calor de Vaporización kJ/kg	Temperatura Crítica °C	Presión Crítica bar	Densidad Crítica kg/m ³
Metano	CH ₄	16.043	-182.48	-161.50	509.90	-82.62	45.95	162.8
Etano	C ₂ H ₆	30.070	-183.23	-88.60	489.40	32.30	48.80	203.0
Propano	C ₃ H ₈	44.097	-187.69	-42.10	425.70	96.70	42.50	217.0
n-butano	C ₄ H ₁₀	58.124	-138.36	-0.48	385.30	152.00	37.97	228.0
iso-butano	C ₄ H ₁₀	58.124	-159.61	-11.73	366.40	135.00	36.48	221.0
n-Pentano	C ₅ H ₁₂	72.151	-129.73	36.04	357.20	196.50	33.69	237.0
iso-Pentano	C ₅ H ₁₂	72.151	-159.91	27.87	342.20	187.20	33.81	236.0
neo-Pentano	C ₅ H ₁₂	72.151	-16.57	9.48	315.30	160.60	31.99	238.0
n-Hexano	C ₆ H ₁₄	86.178	-95.32	68.74	334.80	234.20	29.70	233.0
n-Heptano	C ₇ H ₁₆	100.206	-90.58	98.43	316.30	267.00	27.36	232.0
n-Octano	C ₈ H ₁₈	114.233	-56.76	125.68	301.20	295.60	24.87	232.0
n-Nonano	C ₉ H ₂₀	128.260	-53.49	150.82	287.90	321.40	23.10	-
n-Decano	C ₁₀ H ₂₂	142.287	-29.64	174.15	276.10	344.30	20.99	-
Cyclopentano	C ₅ H ₁₀	70.135	-93.87	49.26	389.20	238.50	45.08	270.0
Cyclohexano	C ₆ H ₁₂	84.163	6.54	80.73	356.00	280.30	40.70	273.0
Etileno	C ₂ H ₄	28.054	-169.14	-103.71	482.60	9.20	50.32	218.0
Propileno	C ₃ H ₆	42.081	-185.25	-47.70	437.70	91.80	46.20	233.0
i-Buteno	C ₄ H ₈	56.108	-185.35	-6.26	390.70	146.40	40.20	234.0
cis-2-Buteno	C ₄ H ₈	56.108	-138.92	3.72	416.20	162.40	42.10	240.0
trans-2-Buteno	C ₄ H ₈	56.108	-105.53	0.88	405.60	155.50	41.00	236.0
iso-Buteno	C ₄ H ₈	56.108	-140.34	-6.90	394.20	144.70	40.00	235.0
i-Penteno	C ₅ H ₁₀	70.135	-165.22	29.97	359.30	191.60	40.50	-
Acetileno	C ₂ H ₂	26.038	-81.00	-84.00	651.00	35.20	61.39	231.0
Benzeno	C ₆ H ₆	78.115	5.53	80.10	393.80	288.90	48.98	302.0
Tolueno	C ₇ H ₈	92.142	-94.97	110.63	360.10	318.60	41.09	293.0
Etilbenceno	C ₈ H ₁₀	106.169	-94.95	136.19	334.90	343.90	36.09	284.0
p-Xileno	C ₈ H ₁₀	106.169	13.26	138.35	338.90	343.00	35.11	280.0
Air	-	28.964	-	-194.30	213.00	-	-	-
Amonia	NH ₃	17.031	-77.70	-33.40	1369.00	132.40	112.80	235.0
Monóxido de Carbono	CO	28.011	-207.00	-191.50	215.60	-140.24	34.98	301.0
Dioxido de Carbono	CO ₂	44.010	-	-78.50	571.10	31.00	73.80	468.0
Helio	He	4.003	-271.00	-268.90	20.80	-267.96	2.27	69.8
Hydrogeno	H ₂	2.016	-259.20	-252.80	445.90	-240.20	12.93	31.4
Hydrogeno Sulfídrico	H ₂ S	34.080	-85.60	-60.30	549.60	100.00	89.40	346.0
Methanol	CH ₃ OH	32.042	-97.70	64.70	1100.00	239.40	81.00	272.0
Nitrogeno	N ₂	28.013	-210.00	-195.80	199.00	-147.00	33.90	313.0
Oxígeno	O ₂	31.999	-218.80	-182.96	213.00	-118.60	50.43	436.0
Dioxido de Sulfuro	SO ₂	64.060	-75.50	-10.00	389.60	157.60	78.90	525.0
Agua	H ₂ O	18.015	0.00	100.00	2256.80	373.99	220.50	320.0

TABLA 6.1 Constantes Propiedades físicas del Gas Natural.

Constantes de Propiedades Físicas

Componente	Formula	Densidad del Líquido, kg/m ³		Estado Gaseoso Seco a 15°C, y 1013.25 mbar				
		en el punto de evaporación	a 20°C °C	Densidad Ideal kg/m ³	Densidad Relativa (Ideal)	Factor de Compresibilidad ad °C	Calor Específico, Cp (Ideal) kJ/(kg °C)	Valor Calorífico (Ideal) MJ/m ³ (st)
Metano	CH ₄	422.400	-	0.6785	0.5537	0.9981	2.206	37.71
Etano	C ₂ H ₆	546.500	-	1.2718	1.0378	0.9915	1.713	66.35
Propano	C ₃ H ₈	583.000	500.50	1.8650	1.5219	0.9807	1.624	93.94
n-Butano	C ₄ H ₁₀	601.700	578.80	2.4583	2.0059	0.9639	1.633	121.80
iso-Butano	C ₄ H ₁₀	594.500	557.20	2.4583	2.0059	0.9660	1.618	121.44
n-Pentano	C ₅ H ₁₂	610.200	626.20	3.0515	2.4900	(0.9435)	1.620	149.66
iso-Pentano	C ₅ H ₁₂	611.600	619.70	3.0515	2.4900	(0.9482)	1.599	149.36
neo-Pentano	C ₅ H ₁₂	603.000	591.00	3.0515	2.4900	0.9510	1.635	148.74
n-Hexano	C ₆ H ₁₄	613.700	659.40	3.6448	2.9741	(0.9120)	1.615	177.55
n-Heptano	C ₇ H ₁₆	615.000	683.80	4.2382	3.4584	(0.8600)	1.610	205.43
n-Octano	C ₈ H ₁₈	613.000	702.50	4.8312	3.9422	(0.8020)	1.606	233.29
n-Nonano	C ₉ H ₂₀	608.000	717.60	5.4245	4.4264	(0.7120)	1.604	261.18
n-Decano	C ₁₀ H ₂₂	605.000	730.10	6.0179	4.9106	(0.6000)	1.602	289.06
Cyclopentano	C ₅ H ₁₀	717.000	745.40	2.9662	2.4205	(0.9680)	1.132	140.53
Cyclohexano	C ₆ H ₁₂	719.800	778.60	3.5595	2.9046	(0.9620)	1.212	167.30
Etileno	C ₂ H ₄	568.400	-	1.1865	0.9682	0.9938	1.514	59.72
Propileno	C ₃ H ₆	613.700	513.90	1.7797	1.4523	0.9843	1.480	87.09
i-Buteno	C ₄ H ₈	625.000	595.10	2.3730	1.9364	0.9702	1.483	114.98
cis-2-Buteno	C ₄ H ₈	640.900	621.30	2.3730	1.9364	0.9659	1.366	114.69
trans-2-Buteno	C ₄ H ₈	626.000	604.20	2.3730	1.9364	0.9660	1.528	114.55
iso-Buteno	C ₄ H ₈	626.000	594.20	2.3730	1.9364	0.9687	1.547	114.25
i-Penteno	C ₅ H ₁₀	632.000	640.50	2.9662	2.4205	(0.9500)	1.519	142.87
Acetileno	C ₂ H ₂	621.000	-	1.1012	0.8986	0.9926	1.658	54.98
Benzeno	C ₆ H ₆	813.600	879.00	3.3037	2.6959	(0.9290)	1.004	139.69
Tolueno	C ₇ H ₈	778.600	867.00	3.8970	3.1799	(0.9030)	1.088	167.06
Etilbenceno	C ₈ H ₁₀	759.400	867.00	4.4903	3.6641	(0.8800)	1.167	194.95
p-Xileno	C ₈ H ₁₀	752.800	861.10	4.4903	3.6641	(0.8800)	1.157	194.45
Air	-	-	-	1.2250	0.9996	0.9996	1.004	-
Amonia	NH ₃	681.800	610.00	0.7203	0.5878	0.9850	2.083	16.20
Monóxido de Carbono	CO	789.000	-	1.1847	0.9667	0.9995	1.039	1.97
Dioxido de Carbono	CO ₂	1178.000	775.00	1.8613	1.5188	0.9943	0.833	-
Helio	He	125.000	-	0.1693	0.1381	1.0005	5.200	-
Hydrogeno	H ₂	70.800	-	0.0853	0.0696	1.0006	14.270	12.10
Hydrogeno Sulfídrico	H ₂ S	915.000	777.00	1.4414	1.1762	0.9903	1.001	23.79
Methanol	CH ₃ OH	749.000	789.00	1.3552	1.1058	(0.9600)	1.353	32.33
Nitrogeno	N ₂	810.000	-	1.1848	0.9668	0.9997	1.039	-
Oxygeno	O ₂	1141.000	-	1.3533	1.1043	0.9993	0.916	-
Dioxido de Sulfuro	SO ₂	1462.000	1382.00	2.7093	2.2108	0.9790	0.615	-
Agua	H ₂ O	958.300	998.20	0.7619	0.6217	(0.9900)	1.862	-

TABLA 6.2 Constantes Propiedades físicas del Gas Natural, Parte II.

Conversion Factor Tables

Velocity (Length/unit of time)					
ft/sec	ft/min	Miles/hr (U.S. Statute)	m/sec	m/min	km/hr
1	60	0.6818182	0.3048	18.288	1.09728
0.01666667	1	0.01136364	5.08×10^{-3}	0.3048	0.018288
1.466667	88	1	0.44704	26.8224	1.609344
3.280840	196.8504	2.236936	1	60	3.6
0.05468066	3.280840	0.03728227	0.016667	1	0.06
0.9113444	54.68066	0.6213712	0.2777778	16.66667	1

Energy						
Ft-lbf	Kg-meter	Btu (IT)	Kilo-calorie (IT)	Hp-hr	Kilowatt-hr	joule (J)
1	0.1382550	1.285068×10^{-3}	3.238316×10^{-4}	5.050505×10^{-7}	3.766161×10^{-7}	1.355818
7.233014	1	9.294911×10^{-3}	2.342278×10^{-3}	3.653037×10^{-6}	2.724070×10^{-6}	9.806650
778.1692	107.5858	1	0.2519958	3.930148×10^{-4}	2.930711×10^{-4}	1055.056
3088.025	426.9348	3.968321	1	1.559609×10^{-3}	1.163×10^{-3}	4186.8
1980000	273744.8	2544.434	641.1865	1	0.7456999	2684520.
2655224	367097.8	3412.142	859.8452	1.341022	1	3600000.
0.7375621	0.1019716	9.478171×10^{-4}	2.388459×10^{-4}	3.725061×10^{-7}	2.777778×10^{-7}	1

TABLA 6.3 Factores de Conversión

UNIDADES METRICAS		
[Longitud] L 1.00 m 100 cm 1.094 yd 1000. mm .00100 km 1.00×10^6 micrones 1.06×10^{-16} año luz 3.28 ft 39.4 in 1.00×10^{10} Å (Angstroms) 6.21×10^{-4} milla	[Área] L² 1.00 m ²	[Volumen] L³ 1.00 L 1000 mL 1000 cm ³ 1.00×10^{-3} m ³ 0.264 gal(US liq) 1.06 qt(US liq) 61.0 in ³
[Masa] M 1.00 kg 1000 g 6.023×10^{26} UMA	[Densidad] M/L³ 1.00 g / mL 1.00 kg / L 1.00×10^3 kg / m ³	[Tiempo] T 1.00 h 60.0 min. 3600 s .0417 d .00595 semana 1.14×10^{-4} año
[Velocidad] L/T 1.00 m / s	[Fuerza] ML/T² 1.00 N (newton) 1.00 kg m / s ² 1.00×10^5 dina 1.00×10^5 g cm / s ² .2248 lb (libra) 1.12×10^{-4} ton	[Momento] ML/T 1.00 kg m / s

TABLA 6.4 Factores de Conversión

UNIDADES METRICAS		
[Energía] ML^2/T^2 1.00 J (joule) 1.00 N m 1.00×10^7 ergio 1.00×10^7 dina cm .7376 ft lb .239 cal 9.48×10^{-4} BTU .00987 L atm 2.78×10^{-7} kW H 6.24×10^{18} eV 1.00 v coulomb	[Presión] ML/T^2 1.00 atm 760 mm Hg 760 torr 1.013×10^5 N / m ² 1.013×10^5 Pa 14.7 lb / in ² 29.9 in Hg	[Aceleración] L/T^2 1.00 m / s ²
[Potencia] ML^2/T^3 1.00 W 1.00 J / s .00134 caballos de fuerza .00100 kW 1.00×10^7 ergio / s	[Frecuencia] $1/T$ 1.00 ciclos / seg 1.00 hertz	[Corriente] A 1.00 amp
[Carga] AT 1.00 coulomb 6.24×10^{18} carga eléctrica 1.036×10^{-6} Faraday 3.00×10^9 statcoul	[Resistencia] ML^2/A^2T^3 1.00 ohm	[FEM] ML^2/AT^3 1.00 V (volt) 1.00 J/ coulomb
[Números] 1.00 mole 6.023×10^{23} unidades 5.02×10^{22} docena	[Ángulos] 1.00 círculo 360 grados 21600 min 6.28 radianes 1.30×10^6 seg	[Temperatura] K (Kelvin) °C + 273

TABLA 6.5 Factores de Conversión