

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE ETANO DEL GAS  
NATURAL, PARA LA PLANTA GRAN CHACO”**

**Por:**

**NICOLE ACOSTA CABERO**

**Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el  
grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

**Mayo de 2012**

**TARIJA-BOLIVIA**

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esta responsabilidad del autor.

**Dedicado a:**

La persona que con su abnegación hizo de mí una amante por la vida y la realidad; mi ser sublime Miriam. Al que con su ejemplo y sabiduría sembró la perseverancia y perfección el pivote de la familia Erice y por último a la persona que me enseñó la humildad, el apoyo incondicional en las buenas y malas condición un amigo de verdad Eliot.

En memoria de S.M.D.

**Agradecimientos:**

A todas las personas que guiaron y colaboraron en la elaboración del presente trabajo. Y en especial a los Srs. Ingenieros Ignacio Velásquez y Luis Lafuente; que con su aporte se llegó a la elaboración exitosa del presente.

*“Yo soy el que eligió mi camino”*

*(I am the one who chose my path)*

Jonathan Houseman Davis

**ÍNDICE**  
**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCION**

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| 1.1. Antecedentes                             | 1             |
| 1.1.1. Nivel Internacional                    | 1             |
| 1.1.1.1. Proceso Absorción                    | 1             |
| 1.1.1.2. Proceso Criogénico con Turboexpansor | 2             |
| 1.1.2. Nivel Latinoamérica                    | 2             |
| 1.1.3. Nivel Nacional                         | 4             |
| 1.2. Objetivos                                | 5             |
| 1.2.1. Objetivo General                       | 5             |
| 1.2.2. Objetivos Específicos                  | 5             |
| 1.3. Justificación                            | 5             |

**CAPÍTULO II**  
**ESTUDIO DE MERCADO**

|  |    |
|--|----|
| 2.1. Introducción  | 8  |
| 2.2. Generalidades   | 8  |
| 2.3. Estructura del Mercado Regional, Nacional e Internacional   | 8  |
| 2.4. Descripción y Especificaciones de Materia Prima y Productos | 11 |
| 2.4.1. Materia Prima   | 11 |
| 2.4.2. Producto  | 12 |
| 2.5. Análisis Oferta - Demanda Materias Primas y Productos       | 15 |
| 2.5.1. Análisis de la Oferta                                     | 15 |

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| 2.5.1.1. Materia Prima  | 15            |
| 2.5.1.2. Productos  | 16            |
| 2.5.1.2.1. Oferta de Etileno Nivel Mundial                        | 17            |
| 2.5.1.2.2. Oferta Etileno Nivel Latinoamérica                     | 17            |
| 2.5.2. Análisis de Demanda  | 18            |
| 2.5.2.1. Materia Prima  | 18            |
| 2.5.2.2. Productos  | 20            |
| 2.5.2.2.1. Demanda de Etileno Nivel Mundial                       | 20            |
| 2.5.2.2.2. Demanda de Etileno Nivel Latinoamérica                 | 21            |
| 2.5.2.2.3. Demanda de Derivados de Etileno en Bolivia             | 22            |
| 2.6. Balance Entre Oferta y Demanda                               | 23            |
| 2.6.1. Balance Entre Oferta y Demanda de Etileno a Nivel Mundial  | 23            |
| 2.6.2. Balance Entre Oferta y Demanda Etileno Nivel Latinoamérica | 23            |
| 2.7. Descripción Geo. del Mercado y Políticas de Comercialización | 26            |
| 2.8. Análisis de Precios  | 27            |
| 2.8.1. Materia Prima  | 28            |
| 2.8.2. Productos  | 30            |
| 2.8.3. Precio Importaciones Derivados del Etano                   | 31            |
| 2.9. Proyecciones   | 33            |
| 2.9.1. Proyección Oferta de Etileno a Nivel Mundial               | 33            |
| 2.9.2. Proyección Oferta en Latinoamérica                         | 34            |
| 2.9.3. Proyección Demanda Etileno Nivel Mundial                   | 34            |
| 2.9.4. Proyección Demanda de Etileno Latinoamérica                | 34            |
| 2.9.5. Proyección Productos Derivados Etileno en Bolivia          | 35            |

**CAPÍTULO III**  
**TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN**

|                                       | <b>PÁGINA</b> |
|---------------------------------------|---------------|
| 3.1. Justificación del Tamaño         | 43            |
| 3.2. Justificación de la Localización | 44            |
| 3.2.1. Macrolocalización              | 44            |
| 3.2.2. Microlocalización              | 46            |
| 3.2.2.1. Factores Cualitativos        | 47            |
| 3.2.2.1.1. Materia Prima              | 47            |
| 3.2.2.1.2. Potencia y Combustibles    | 47            |
| 3.2.2.1.3. Existencia del Producto    | 48            |
| 3.2.2.1.4. Accesibilidad              | 48            |
| 3.2.2.1.5. Disponibilidad del Terreno | 48            |
| 3.2.2.1.6. Servicios                  | 48            |
| 3.2.2.1.7. Eliminación de Efluentes   | 49            |
| 3.3. Factores Determinantes           | 49            |

**CAPÍTULO IV**  
**INGENIERÍA DEL PROYECTO**

|   |    |
|---|----|
| 4. 1. Características Técnicas de Materias Primas y Productos         | 50 |
| 4.1.1. Materia Prima  | 50 |
| 4.1.1.1. Propiedades del Gas Natural                                  | 52 |
| 4.1.2. Producto   | 52 |
| 4. 2. Descripción de Proceso Existentes para Elaboración del Producto | 53 |



|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| 4.2. 1. Baja Recuperación de Etano  | 54            |
| 4.2.1.1. Refrigeración por expansión o refrigeración externa                        | 54            |
| 4.2.1.2. Absorción con Aceite Pobre   | 56            |
| 4.2.1.3. Proceso Aprovechamiento de Gas Recirculado<br>en el Tope de la Torre (IOR) | 57            |
| 4.2. 2. Alta Recuperación de Etano  | 58            |
| 4.2.2.1. Proceso Turboexpansor  | 58            |
| 4.2.2.2. Proceso Reflujo de Residuo Frío (CRR)                                      | 59            |
| 4.2.2.3. Proceso Criogénico Gas Subenfriado (GSP)                                   | 60            |
| 4.2.2.4. Proceso Recirculación de Vap. Fraccionado (RSV)                            | 61            |
| 4.2.2.5. Proceso Reflujo de Flujo Fraccionado (SFR)                                 | 62            |
| 4.2. 3. Fraccionamiento de los Líquidos del GN                                      | 63            |
| 4.2.3.1. Fundamentos de la Destilación  | 63            |
| 4.2.3.2. Principio de la Destilación  | 64            |
| 4.2.3.3. Torre de Fraccionamiento   | 67            |
| 4.2.3.3.1. Proceso de Destilación y Tipos de Fraccionamientos                       | 68            |
| 4.2.3.3.2. Propósito del Fraccionamiento  | 69            |
| 4. 3. Selección del Proceso a Diseñar   | 70            |
| 4. 4. Diagramas de Flujo  | 74            |
| 4. 5. Balances de Materia y Energía   | 75            |
| 4.5.1. Balance de Materia   | 75            |
| 4.5.1.1. Balance de Materia en el Chiller E-111                                     | 76            |

|  | <b>PÁGINA</b> |
|--|---------------|
| 4.5.1.2. Balance de Materia Separador Frio H-112           | 77            |
| 4.5.1.3. Balance de Materia Válvula L-114                  | 78            |
| 4.5.1.4. Balance Materia Expansor G-113                    | 79            |
| 4.5.1.5. Balance Materia Columna Deetanizadora D-110       | 79            |
| 4.5.1.6. Balance Materia Intercambiador de Calor E-115     | 80            |
| 4.5.1.7. Balance Materia Compresor G-120                   | 81            |
| 4.5.1.8. Balance Materia Compresor G-121                   | 81            |
| 4.5.1.9. Balance Materia Válvula V-116                     | 82            |
| 4.5.1.10. Balance Materia Válvula V-117                    | 82            |
| 4.5.2. Balance de Energía                                  | 84            |
| 4.5.2.1. Balance de Energía Eléctrica                      | 85            |
| 4.5.2.2. Balance Energía Condensador Columna Deetanizadora | 85            |
| 4.5.2.3. Balance Energía Rehervidor Columna Deetanizadora  | 86            |
| 4. 6. Diseño de los Equipos Principales                    | 87            |
| 4.6.1. Diseño por Medio de Simulación                      | 88            |
| 4.6.2.1. Diámetro de la Columna                            | 88            |
| 4.6.2.2. Altura de la Columna                              | 90            |
| 4.6.2.3. Eficiencia de la Columna                          | 90            |
| 4. 7. Distribución General de la Planta                    | 91            |
| 4. 8. Servicios Auxiliares                                 | 95            |
| 4.8.1. Energía Eléctrica                                   | 95            |
| 4. 9. Evaluación Técnica de la Planta                      | 95            |

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| 4.9.1. Localización de la planta                            | 95            |
| 4.9.2. Determinación de la capacidad instalada de la planta | 96            |
| 4.9.3. Descripción del proceso productivo                   | 96            |
| 4.9.4. Distribución de la planta                            | 97            |
| 4.9.5. Organigrama de la empresa                            | 97            |
| 4. 10. Cronograma de Ejecución                              | 97            |
| 4.10.1. Método de la Ruta Crítica (CPM)                     | 97            |
| 4.10.2. Diagrama de GANTT                                   | 100           |
| 4. 11. Organización de la Empresa                           | 100           |
| 4.11.1. Dirección General                                   | 101           |
| 4.11.2. Dirección de Recursos Humanos                       | 101           |
| 4.11.3. Dirección de Operaciones                            | 101           |
| 4.11.3.1. Gerencia de Operaciones                           | 102           |
| 4.11.3.1.1. Superintendencia de Distribución y Almacenes    | 102           |
| 4.11.3.1.2. Jefe de Almacén de Insumos                      | 103           |
| 4.11.3.1.3. Jefe de Almacén de Producto Terminado           | 103           |
| 4.11.3.1.4. Jefe de Logística                               | 103           |
| 4.11.3.1.5. Jefe de Control y Programación de la Producción | 103           |
| 4.11.3.1.2. Superintendencia de Mantenimiento               | 104           |
| 4.11.3.1.3. Superintendencia de Producción                  | 104           |
| 4.11.3.2. Gerencia Técnica                                  | 104           |
| 4.11.4. Dirección Administrativa y de Finanzas              | 104           |

## CAPÍTULO V

### ASPECTOS ECONOMICOS DEL PROYECTO

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| 5.1. Inversión del Proyecto                 | 105           |
| 5.1.1. Estructura de la Inversión           | 105           |
| 5.1.1. Detalle de las Inversiones           | 105           |
| 5.1.1.1. Inversión en Activos Fijos         | 105           |
| 5.1.1.1.1. Maquinaria y Equipos             | 105           |
| 5.1.1.1.2. Costo de Instalación             | 106           |
| 5.1.1.1.3. Costo de Mano de Obra Directa    | 107           |
| 5.1.1.1.4. Costo Directo Total              | 107           |
| 5.1.1.1.2 Inversión Diferida                | 107           |
| 5.1.1.1.2.1. Fletes                         | 108           |
| 5.1.1.1.2.2. Gastos Generales               | 108           |
| 5.1.1.1.2.3. Ingeniería                     | 108           |
| 5.1.1.1.2.4. Indirecto Total                | 108           |
| 5.1.1.1.3. Módulo de Bare                   | 109           |
| 5.1.1.1.4. Contingencia y Honorarios        | 109           |
| 5.1.1.1.4.1. Contingencia                   | 109           |
| 5.1.1.1.4.2. Honorarios                     | 109           |
| 5.1.1.1.4.3. Módulo Total                   | 110           |
| 5.1.1.1.4.4. Instalaciones Auxiliares       | 110           |
| 5.1.1.1.4.4.1. Desarrollo del Emplazamiento | 110           |
| 5.1.1.1.4.4.2. Edificios Auxiliares         | 110           |

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| 5.1.1.1.4.4.3. Instalaciones Fuera de Emplazamiento | 111           |
| 5.1.1.1.4.5. Capital Básico Total                   | 111           |
| 5.1.2. Estimación de Costos                         | 112           |
| 5.1.2.1. Costos Directos o Costos Variables         | 112           |
| 5.1.2.2. Costos Indirectos o Costos Fijos           | 113           |
| 5.1.3. Costos de Producción                         | 114           |
| 5.1.3.1 Costo Unitario del Producto                 | 114           |
| 5.1.4. Estimación de Ingresos                       | 115           |
| 5.1.5. Determinación de Utilidades                  | 116           |
| 5.1.6. Financiamiento                               | 117           |
| 5.1.6.1. Necesidad De Capital                       | 117           |
| 5.2.2. Fuentes de Financiamiento                    | 117           |
| 5.2.2.1. Fuentes Internas                           | 117           |
| 5.2.2.2. Fuentes Externas                           | 117           |
| 5.2.3. Amortizaciones                               | 119           |
| 5.2.3.1 Periodo de Gracia                           | 119           |
| 5.2.3.2. Interés                                    | 119           |

**CAPÍTULO VI**  
**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO**

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| 6.1. Determinación del Punto de Equilibrio        | 121           |
| 6.1.1. Punto de Equilibrio en Volúmenes de Ventas | 121           |
| 6.1.2. Punto de Equilibrio en Volúmenes Físicos   | 122           |
| 6.2. Fuentes y Usos de Fondos                     | 122           |
| 6.3. Evaluación Económica                         | 123           |
| 6.4. Indicadores de Evaluación                    | 125           |
| 6.4.1. Valor Actual Neto                          | 125           |
| 6.4.2. Tasa Interna de Retorno                    | 126           |
| 6.4.3. Relación Beneficio/Costo                   | 127           |
| 6.4.4. Tiempo de Retorno de la Inversión          | 128           |
| 6.5. Determinación de la Utilidad Líquida         | 129           |
| 6.5.1. Rentabilidad con Relación a la Inversión   | 130           |
| 6.6. Análisis de Sensibilidad                     | 131           |

**CAPÍTULO VII**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 7.1. Conclusiones    | 133 |
| 7.2. Recomendaciones | 135 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| Tabla II-1 Productos Regulados y No Regulados   | 10            |
| Tabla II-2 Producción de Campos con Facilidades extracción<br>de GLP y Gasolina Natural | 11            |
| Tabla II-3 Productos del Gas Natural  | 13            |
| Tabla II-4 Volúmenes Facturados Mercado Exportación                                     | 16            |
| Tabla II-5 Evolución Capacidad de Etileno Latinoamérica                                 | 19            |
| Tabla II-6 Sud y Centro América: Producción y Consumo de GN                             | 20            |
| Tabla II-7 Demanda de Etileno Nivel Mundial   | 22            |
| Tabla II-8 Demanda de Etileno Nivel Latinoamérica                                       | 23            |
| Tabla II-9 Importaciones de Plásticos y Manufacturas                                    | 24            |
| Tabla II-10 Balance Oferta/ Demanda Etileno Nivel Latinoamérica                         | 27            |
| Tabla II-11 Evolución Precio Gas Natural  | 31            |
| Tabla II-12 Precio de Venta de Gas Natural a Argentina<br>Contrato Enarsa (\$us/Mmbtu)  | 32            |
| Tabla II-13 Principales Importaciones derivados Etileno 2000-2009                       | 35            |
| Tabla II-14 Proyección Capacidad de Etileno Nivel Mundial                               | 37            |
| Tabla II-15 Capacidad de Etileno Latinoamérica  | 38            |
| Tabla II-16 Demanda Potencial de Etileno Nivel Mundial                                  | 39            |
| Tabla II-17 Demanda Potencial de Etileno Nivel Latinoamérica                            | 39            |
| Tabla II-18 Importación Histórica Polietileno<br>densidad Inferior a 0,94               | 41            |

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| Tabla II-19 Proyección Demanda Polietileno<br>densidad Inferior a 0,94                        | 42            |
| Tabla II-20 Importación Histórica Polietileno<br>densidad Superior a 0,94                     | 43            |
| Tabla II-21 Proyección Demanda Polietileno<br>densidad Superior a 0,94                        | 44            |
| Tabla II-22 Importación Histórica Polímeros de Etileno<br>en Formas Primarias                 | 45            |
| Tabla II-23 Proyección Demanda Polímeros de Etileno<br>en Formas Primarias                    | 46            |
| Tabla IV-1 Composición de Gas Seco Planta Gran Chaco  | 59            |
| Tabla IV-2 Poder Calorífico del Metano e Hidrocarburos Pesados<br>Presentes en el Gas Natural | 60            |
| Tabla IV-3 Opciones de Proceso Extracción de Líquidos del GN                                  | 62            |
| Tabla IV-4 Punto de Ebullición por Compuesto  | 74            |
| Tabla. IV-5 Diferentes Tipos de Fraccionamientos  | 79            |
| Tabla. IV-6 Selec. Procesos Alta Recuperación Etano   | 81            |
| Tabla IV-7 Selección del Proceso  | 84            |
| Tabla IV-8 Resumen de Flujo   | 97            |
| Tabla IV-9 Consumo de Energía   | 98            |
| Tabla IV-10 Resumen de Balance de Energía   | 101           |
| Tabla IV-11 Coeficiente K   | 103           |
| Tabla IV-12 Parámetros Calculados   | 105           |



|  | <b>PÁGINA</b> |
|--|---------------|
| Tabla IV-13 Costos de Energía Eléctrica                          | 110           |
| Tabla IV-14 Factores de Decisión                                 | 111           |
| Tabla IV-15 Cronograma CPM                                       | 113           |
| Tabla V-1 Inversión Total Requerida                              | 128           |
| Tabla V-2 Resumen de Costos Anuales                              | 130           |
| Tabla V-3 Costo Unitario de Producción                           | 131           |
| Tabla V-4 Precio de Venta del Etano                              | 132           |
| Tabla V-5 Ingresos Anuales Proyectados                           | 133           |
| Tabla V-6 Estado de Pérdidas y Ganancias                         | 134           |
| Tabla V-7 Estructura de Financiamiento                           | 136           |
| Tabla V-8 Plan de Pagos  | 137           |
| Tabla VI-1 Punto de Equilibrio en Unidades Monetarias            | 139           |
| Tabla VI-2 Punto de Equilibrio en Unidades Físicas               | 140           |
| Tabla VI-3 Estado de Flujo de Fondos                             | 141           |
| Tabla VI-4 Análisis de Pérdidas y Ganancias Económicas           | 142           |
| Tabla VI-5 Estado de Flujos Económicos                           | 143           |
| Tabla VI-6 Flujo Neto Económico                                  | 144           |
| Tabla VI-7 Relación Beneficio/Costo                              | 147           |
| Tabla VI-8 Flujo Neto Financiero                                 | 148           |
| Tabla VI-9 Utilidad Líquida                                      | 149           |
| Tabla VI-10 Rentabilidad con Relación a la Inversión             | 149           |
| Tabla VI-11 Análisis Sensibilidad Disminuyendo Ingresos en un 6% | 150           |

Tabla VI-12 Análisis Sensibilidad Incrementando Costos en un 6%

151

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| Fig. 4-1 Extracción Etano por medio del Proceso Turbo Expansión | 83            |
| Fig.4-2 Extracción Etano por medio del Proceso RSV              | 83            |
| Fig. 4-3 Representación Gráfica del Método CPM                  | 114           |
| Fig. 4-4 Tiempo Early y Last de Cada Situación                  | 115           |
| Fig. 4-5 Camino Crítico   | 116           |

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS, ORGANIGRAMAS Y MAPAS

|   | PÁGINA |
|---|--------|
| Mapa 3-1 Ubicación Población Madrejón 1   | 52     |
| Mapa 3-2 Ubicación Población Madrejón 2   | 53     |
| Mapa 3-3 Planta de Extracción Etano Según Fuentes de GN   | 54     |
| Diagrama 4-1 Proceso Refrigeración Directa<br>para Parcial Recuperación C <sub>2</sub> <sup>+</sup> | 63     |
| Diagrama 4-2 Proceso de Absorción con Aceite Pobre  | 65     |
| Diagrama 4-3 Proceso Aprovechamiento Gas Recirculado Tope<br>de la Torre (IOR)                      | 67     |
| Diagrama 4-4 Proceso Turboexpansor sin Recirculación<br>al Demetanizador                            | 69     |
| Diagrama 4-5 Proceso Frio Residual Recirculado para Maximizar<br>recuperación de Etano              | 70     |
| Diagrama 4-6 Proceso ORTLOFF Gas Subenfriado  | 71     |
| Diagrama 4-7 Proceso ORTLOFF Recirculación Vap. Fraccionado   | 73     |
| Diagrama 4-8 Diagrama de Flujo Proceso RSV  | 87     |
| Diagrama 4-9 Diagrama de Flujo Balance de Materia   | 89     |
| Plano de Ubicación 4-1 Distribución General de Áreas de la Planta<br>de Extracción de Etano         | 107    |
| Plano de Distribución 4.2. Lay Out de la Planta de<br>Extracción de Etano                           | 108    |
| Organigrama 4-1 Organización de la Empresa  | 118    |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  | <b>PÁGINA</b> |
|--|---------------|
| Gráfico 2-1 Aprovechamiento Etileno por Industria Petroquímica     | 15            |
| Gráfico 2-2 Volúmenes Facturados al Mercado de Exportación         | 17            |
| Gráfico 2-3 Evolución Capacidad Global de Etileno                  | 18            |
| Gráfico 2-4 Sud y Centro América: Producción y Consumo de GN       | 21            |
| Gráfico 2-5 Balance entre Oferta/ Demanda Etileno Nivel Mundial    | 26            |
| Gráfico 2-6 Principales Mercados a Nivel Bolivia                   | 29            |
| Gráfico 2-7 Principales Mercados a Nivel Latinoamérica             | 30            |
| Gráfico 2-8 Evolución Precio Gas Natural                           | 32            |
| Gráfico 2-9 Precio de Venta de Gas Natural a la Argentina          | 33            |
| Contrato Enarsa (\$us/Mmbtu)                                       |               |
| Grafica 2-10 Precio de Venta Vs Año de Etileno                     | 34            |
| Nivel Mundial Proyección   |               |
| Gráfico 2-11 Principales Importaciones derivados Etileno 2000-2009 | 36            |
| Gráfico 2-12 Proyección Demanda Polietileno                        | 43            |
| densidad Inferior a 0,94   |               |
| Grafica 2-13 Proyección Demanda Polietileno                        | 45            |
| densidad Superior a 0,94   |               |
| Gráfico 2-14 Proyección Demanda Polímeros de Etileno               | 47            |
| en Formas Primarias  |               |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1: Eslabones de la Industria Petroquímica

Anexo 2: Cadena Petroquímica del Gas Natural

Anexo 3: Relación Reservas/Producción de Gas Natural en Latinoamérica

Anexo 4: Propiedades Físicas del Gas Natural

Anexo 5: Propiedades Físicas del Etano

Anexo 6: Resumen de Equipos para la Extracción de Etano del Gas Natural

Anexo 7: Diagrama de GANTT

## NOMENCLATURA EMPLEADA

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| $\alpha$                         | Volatilidad  |
| $\alpha_{\text{Cont}}$           | Factor para el costo Contingencia (%)                |
| $\alpha_{\text{E}}$              | Factor para el costo de Ingeniería (%)               |
| $\alpha_{\text{FEE}}$            | Factor para el Honorarios (%)                        |
| $\alpha_{\text{FLE}}$            | Factor para el costo de fletes (%)                   |
| $\alpha_{\text{L}}$              | Factor para el costo de mano de obra directa (%)     |
| $\alpha_{\text{M}}$              | Factor para el costo de instalación (%)              |
| $\alpha_{\text{o}}$              | Factor para gastos generales (%)                     |
| $\Delta t_{\text{refrigerante}}$ | Diferencia de Temperaturas del Refrigerante (K)      |
| $\lambda_{\text{agua}}$          | Calor Latente de Agua (kJ/kmol)                      |
| $\lambda_{\text{mezcla}}$        | Calor Latente de la mezcla de Gas Natural (kJ/kmol)  |
| $\text{\$/MMpc}$                 | Dólares por millones de pies cúbicos                 |
| $\text{\$/MMbtu}$                | Dólares por millones de unidades británicas térmicas |
| $\text{\$/tma}$                  | Dólares por tonelada métrica                         |
| $a$                              | Exponente del factor de escala                       |
| $a$                              | Constante.   |
| $b$                              | Coefficiente de X                                    |
| $\text{bar}$                     | Bar  |
| $\text{B/C}$                     | Relación Beneficio/Costo                             |
| $\text{bpd}$                     | Barriles por día                                     |
| $\text{Btu/ft}^3$                | Unidades térmicas británicas por pie cubico          |
| $\text{C}_1$                     | Metano   |
| $\text{C}_2$                     | Etano  |
| $\text{C}_2^+$                   | Hydrocarburos más pesados que el etano               |
| $\text{C}_3$                     | Propano  |

|            |  |
|------------|--|
| $C_3^+$    | Hydrocarburos más pesados que el propano   |
| $C_3`s$    | Propanos   |
| $C_4$      | Butano   |
| $C_4^+$    | Hydrocarburos más pesados que el butano  |
| $C_4`s$    | Butanos  |
| $C_5^+$    | Hydrocarburos más pesados que el pentano   |
| $C_6$      | Hexano   |
| $C_7$      | Heptano  |
| <b>CAN</b> | Comunidad Andina de Naciones   |
| $C_A$      | Concentración del compuesto A  |
| $C_B$      | Concentración del compuesto B  |
| $C_{AB}$   | Costo Edificios Auxiliares (\$us)  |
| $C_{Cont}$ | Costo Contingencia (\$us)  |
| $C_{DE}$   | Costo Directo Total (\$us)   |
| $C_E$      | Costo de Ingeniería (\$us)   |
| <b>CF</b>  | Costos Fijos (\$us)  |
| $C_{FEE}$  | Honorarios (\$us)  |
| $C_{FLE}$  | Costo de Fletes (\$us)   |
| $C_{GR}$   | Capital Básico Total (\$us)  |
| $C_{IE}$   | Costo Indirecto Total (\$us)   |
| <b>CIF</b> | Sigla correspondiente a las expresiones en inglés de <a href="#">costo</a> (cost), seguro (insurance) y <a href="#">flete</a> (freight). |
| $C_L$      | Costo de Mano de Obra Directa (\$us)   |
| $C_M$      | Costo de Instalación (\$us)  |
| $C_{MB}^0$ | Módulo de Bare (\$us)  |
| $C_{MT}$   | Módulo Total (\$us)  |



|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>C<sub>o</sub></b>             | Gastos Generales (\$us)  |
| <b>CO<sub>2</sub></b>            | Dióxido de Carbono   |
| <b>C<sub>os</sub></b>            | Costo Instalaciones Fuera de Emplazamiento (\$us)                |
| <b>C<sub>p</sub><sup>o</sup></b> | Costo Inicial del Equipo (\$us)                                  |
| <b>cp<sup>gi</sup></b>           | Calor Específico a Presión constante del Gas Ideal (kJ/kg*K)     |
| <b>CPM</b>                       | Método de la Ruta Crítica  |
| <b>cp<sub>refrigerante</sub></b> | Calor Especifico a Presión constante del refrigerante (kJ/kg*K)  |
| <b>C<sub>p,u,r</sub></b>         | Costo Inicial del Equipo a una capacidad “u” en el año “r”(\$us) |
| <b>C<sub>p,v,r</sub></b>         | Costo Inicial del Equipo a una capacidad “v” en el año “r”(\$us) |
| <b>CRR</b>                       | Proceso Reflujo de Residuo Frio                                  |
| <b>C<sub>SD</sub></b>            | Costo Desarrollo del Emplazamiento (\$us)                        |
| <b>C.T.</b>                      | Costo Total (\$us)   |
| <b>C.U.P.</b>                    | Costo Unitario del Producto (\$us)                               |
| <b>CV</b>                        | Costos Variables (\$us)  |
| <b>E</b>                         | Eficiencia de la Columna Demetanizadora/Deetanizadora            |
| <b>ENARSA</b>                    | Energía Argentina S.A.   |
| <b>etc</b>                       | Etcétera   |
| <b>FN</b>                        | Flujo Neto   |
| <b>F.N.p.a.</b>                  | Flujo Neto promedio anual  |
| <b>Gas. Alim.</b>                | Gas Alimentado   |
| <b>Gasol. Nat.</b>               | Gasolina Natural   |
| <b>GIJA</b>                      | Gasoducto Internacional Juana Azurduy de Padilla                 |
| <b>GLP</b>                       | Gas Licuado de Petróleo  |
| <b>GNL</b>                       | Gas Natural Licuado  |
| <b>GN</b>                        | Gas Natural  |

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>GPM</b>                | Galones de líquido que se puede obtenerse de diez pies cúbicos normales de Gas Natural |
| <b>GSP</b>                | Proceso de Gas Subenfriado   |
| <b>°</b>                  | Grados, escrito antes de una letra, ejemplo °C   |
| <b>°C</b>                 | Grados, Centígrados  |
| <b>GTL</b>                | Gas a Líquido  |
| <b>H</b>                  | Altura de la Columna Demetanizadora/Deetanizadora                                      |
| <b>H<sub>2</sub></b>      | Hidrógeno  |
| <b>h</b>                  | Porcentaje de Utilidad   |
| <b>hk</b>                 | Componente Clave Pesado  |
| <b>HP</b>                 | Caballos Fuerza  |
| <b>I</b>                  | Ingreso Total (\$us)   |
| <b>i</b>                  | Tasa de Interés (%)  |
| <b>iC<sub>4</sub></b>     | Iso_Butano   |
| <b>iC<sub>5</sub></b>     | Iso_Pentano  |
| <b>I.N.E.</b>             | Instituto Nacional de Estadísticas   |
| <b>IOR</b>                | Proceso Aprovechamiento de Gas Recirculado en el Tope de la Torre                      |
| <b>J-T</b>                | Joule-Thompson   |
| <b>K</b>                  | Coefficiente de la altura de cierre de líquido y la distancia entre platos             |
| <b>K</b>                  | Capital a Financiar (\$us)   |
| <b>k</b>                  | Constante de Equilibrio  |
| <b>kcal/m<sup>3</sup></b> | Kilocaloría por metro cubico   |
| <b>kg/h</b>               | Kilogramo por hora   |
| <b>kgmol</b>              | Kilogramo mol  |
| <b>kgmol/d</b>            | Kilogramo mol por día  |
| <b>kgmol/h</b>            | Kilogramo mol por hora   |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <b>k<sub>HK</sub></b>         | Constante de Equilibrio del componente clave pesado   |
| <b>k<sub>j</sub></b>          | Constante de Equilibrio del componente “j”            |
| <b>kJ</b>                     | Kilo Joule  |
| <b>kJ/kgmol</b>               | Kilo Joule por kilogramo mol                          |
| <b>k<sub>Lk</sub></b>         | Constante de Equilibrio del componente clave ligero   |
| <b>kPa</b>                    | Kilopascal  |
| <b>kW</b>                     | Kilowatt  |
| <b>M</b>                      | Monto a pagar por año                                 |
| <b>mmHg</b>                   | Milímetros de mercurio                                |
| <b>m<sub>mezcla</sub></b>     | Flujo Másico de la mezcla de Gas Natural (t/h)        |
| <b>MM\$us</b>                 | Millones de dólares                                   |
| <b>MMmcd</b>                  | Millones de metros cúbicos día                        |
| <b>MMm<sup>3</sup>/d</b>      | Millones de metros cúbicos por día                    |
| <b>MMpc</b>                   | Millones de pies cúbicos                              |
| <b>MMpcd</b>                  | Millones de pies cúbicos día                          |
| <b>MMpca</b>                  | Millones de pies cúbicos año                          |
| <b>MMtma</b>                  | Millones de Toneladas métricas año                    |
| <b>MTBE</b>                   | Metil tert-butil eter                                 |
| <b>m<sub>vapor agua</sub></b> | Flujo Másico de Vapor de Agua (t/h)                   |
| <b>n</b>                      | Años de Pago  |
| <b>NANDINA</b>                | Nomenclatura Arancelaria Común de la Comunidad Andina |
| <b>nC<sub>4</sub></b>         | Normal Butano   |
| <b>nC<sub>5</sub></b>         | Normal Pentano  |
| <b>N<sub>2</sub></b>          | Nitrógeno   |
| <b>P</b>                      | Periodo de Recuperación del Capital                   |
| <b>P.E.</b>                   | Punto de Equilibrio en Volumen de Venta               |

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>P.E.<sup>monetario</sup></b> | Punto de Equilibrio Monetario               |
| <b>PEMEX</b>                    | Petroquímica México                         |
| <b>PET</b>                      | Tereftalato de Polietileno                  |
| <b>PEQUIVEN</b>                 | Petroquímica de Venezuela                   |
| <b>PGCH</b>                     | Planta Gran Chaco                           |
| <b>Prod. Cond.</b>              | Producción de Condensados (bpd)             |
| <b>Prod. Gasol. Nat.</b>        | Producción de Gasolina Natural (bpd)        |
| <b>Prod. GLP.</b>               | Producción de GLP (tmd)                     |
| <b>P.V.</b>                     | Precio de Venta (\$us/t)                    |
| <b>PVC</b>                      | Policloruro de vinilo                       |
| <b>Q</b>                        | Producción (tonelada/año)                   |
| <b>q<sub>c</sub></b>            | Calor liberado en el condensador (kJ)       |
| <b>q<sub>r</sub></b>            | Calor absorbido en el rehervidor (kJ)       |
| <b>Q.T.</b>                     | Cantidad Total (tonelada/año)               |
| <b>r</b>                        | Coefficiente de Correlación                 |
| <b>RI</b>                       | Rentabilidad con relación a la inversión    |
| <b>ROD</b>                      | Demetanizador de aceite rico                |
| <b>R/P</b>                      | Relación Reservas/Producción de Gas Natural |
| <b>RSV</b>                      | Proceso Recirculación de Vapor Fracción     |
| <b>SBR</b>                      | Caucho Estireno Butadieno                   |
| <b>SFR</b>                      | Proceso Reflujo de Flujo Fraccionado        |
| <b>t/d</b>                      | Toneladas por día                           |
| <b>t/h</b>                      | Toneladas por hora                          |
| <b>tmd</b>                      | Toneladas métricas día                      |
| <b>T.I.R.</b>                   | Tasa Interna de Retorno (%)                 |
| <b>u</b>                        | Velocidad de los Vapores (m/s)              |

|                      |   |
|----------------------|---|
| <b>V<sub>T</sub></b> | Volumen molar generado en el tope de la columna                       |
| <b>V<sub>F</sub></b> | Volumen molar generado en el fondo de la columna                      |
| <b>V.A.N.</b>        | Valor Actual Neto (\$us)  |
| <b>Y</b>             | Valor calculado de la variable dependiente (toneladas importadas/año) |
| <b>YPFB</b>          | Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos                          |
| <b>X</b>             | Valor de la variable independiente (tiempo)                           |