

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**PLANTA PRODUCTORA DE OXÍGENO Y NITRÓGENO POR
DESTILACIÓN FRACCIONADA DEL AIRE**

Por:

EVELYN ROSSIO AVILA IBAÑEZ

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

Diciembre del 2015

TARIJA – BOLIVIA

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

Dedicado a:

Mis padres (Antonio y Aideé), quienes con su amor, respeto e incansable apoyo han hecho de mí una persona responsable, dedicada y positiva; quienes me han impulsado a cumplir con las metas que me he propuesto.

Agradecimientos:

A todos mis docentes, que me han guiado durante la culminación de mis estudios, en especial al Ing. José Ernesto Auad, Ing. René Michel y al Ing. Bernardo Echart quienes me ayudaron a desarrollar y completar este proyecto.

*“No es la Fuerza, sino la Perseverancia de los
altos sentimientos, la que hace a los humanos
Superiores”*

Friedrich Nietzsche.

ÍNDICE

	Página
Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Pensamiento	iv

CAPÍTULO I **INTRODUCCIÓN**

1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.1.1. Bolivia.....	1
1.1.2. Tarija.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.2.1. Objetivo General.....	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	5

CAPÍTULO II **ESTUDIO DE MERCADO**

2.1. GENERALIDADES.....	6
2.2. ESTRUCTURA DEL MERCADO REGIONAL.....	7
2.3. DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS.....	8
2.3.1 Materia Prima.....	8
2.3.1.1 Propiedades Físicas y Químicas del Aire	8
2.3.1.1.1 Propiedades Físicas.....	8
2.3.1.1.2 Propiedades Químicas	9
2.3.2. Productos.....	10

	Página
2.3.2.1 Oxígeno.....	10
2.3.2.1.1 Propiedades Físicas.....	10
2.3.2.1.2 Propiedades Químicas.....	11
2.3.2.1.3. Usos y Aplicaciones.....	11
2.3.2.2 Nitrógeno.....	12
2.3.2.1.1 Propiedades Físicas.....	12
2.3.2.1.2 Propiedades Químicas.....	13
2.3.2.1.3. Usos y Aplicaciones.....	13
2.4. ANÁLISIS DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.	15
2.4.1. Análisis de la Oferta.....	15
2.4.1.1 Materia Prima.....	15
2.4.1.2. Productos.	16
2.4.1.2.1 Oxígeno	16
2.4.1.2.2. Nitrógeno.....	17
2.4.2. Análisis de la Demanda.	17
2.4.2.1 Materia Prima.....	17
2.4.2.2. Productos.....	18
2.4.2.2.1 Oxígeno	18
2.4.2.2.2. Nitrógeno	21
2.5. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL MERCADO Y POLÍTICAS DE COMERCIALIZACIÓN.....	22
2.6. ANÁLISIS DE PRECIOS.....	25
2.6.1. Materia prima.....	25
2.6.2. Productos.	26
2.7. PROYECCIONES.....	26

CAPÍTULO III
TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN

	Página
3.1. JUSTIFICACIÓN DEL TAMAÑO.....	30
3.1.1 Tamaño – Demanda Potencial del Oxígeno	30
3.1.2 Tamaño – Disponibilidad de la Materia Prima.....	32
3.1.3 Tamaño – Maquinaria y Equipos.....	32
3.1.4 Tamaño – Financiamiento.....	32
3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN.....	33
3.2.1 Macrolocalización.....	33
3.2.2. Microlocalización.....	34
3.2.2.1. Acceso al Mercado	34
3.2.2.2. Costo del Terreno.....	34
3.2.2.3. Disposición del Terreno	34
3.2.2.4. Mano de Obra	35
3.2.2.5. Costo de Transporte	35
3.2.2.6. Impacto Ambiental.....	35
3.2.2.7. Servicios Básicos (Energía, Agua, Gas, Comunicación).....	35

CAPÍTULO IV
INGENIERÍA DEL PROYECTO.

4.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.....	38
4.1.1 Materia Prima.....	38
4.1.2. Productos.	39
4.1.2.1 Oxígeno.....	39
4.1.2. Nitrógeno.....	42
4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS EXISTENTES PARA LA ELABORACIÓN DEL PRODUCTO.....	46
4.2.1 Destilación fraccionada del aire.....	46

	Página
4.2.2. (P.S.A) Adsorción por cambio de presión a partir del aire mediante un tamiz de carbón molecular.....	47
4.2.3. Sistemas de Membranas.....	48
4.3. SELECCIÓN DEL PROCESO A DISEÑAR.....	50
4.3.1. Comparación de Procesos.....	50
4.3.2. Matriz para elección de proceso.....	51
4.4. DIAGRAMAS DE FLUJO.....	52
4.5. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA.....	53
4.6. DISEÑO DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES.....	56
4.6.1 Compresor C – 1	56
4.6.2 Unidad de Refrigeración UR – 1	63
4.6.3 Columna de Destilación CD – 1	70
4.6.4 Balance de Energía	75
4.6.4.1 Balance de Energía Eléctrica	76
4.6.4.2 Balance de Energía en el Condensador.....	77
4.6.4.3 Balance de Energía en el Rehervidor.....	77
4.7. DISTRIBUCIÓN GENERAL DE LA PLANTA.....	77
4.8. SERVICIOS AUXILIARES.....	80
4.8.1 Energía Eléctrica	80
4.8.2 Consumo de Agua	81
4.9. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA.....	82
4.9.1 Determinación de la Capacidad Instalada de la Planta	82
4.9.3 Determinación del Proceso Productivo.....	82
4.9.4 Distribución de la Planta	83
4.9.5 Organigrama de la Empresa	83
4.10. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN	84
4.10.1 Método del CPM	84
4.10.2 Diagrama de Gantt	87
4.11. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA.....	88

CAPÍTULO V
ASPECTOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO

	Página
5.1 INVERSIÓN DEL PROYECTO	92
5.1.1 Estructura de la Inversión	92
5.1.1.1 Inversión de Bienes Fijos	93
5.1.1.1.1 Terreno	93
5.1.1.1.2 Equipos	94
5.1.1.1.2.1 Costo del Compresor	94
5.1.1.1.2.2 Costo del Intercambiador de Calor	94
5.1.1.1.2.3 Costo de la Columna de Destilación	95
5.1.1.1.3 Muebles y Enseres	96
5.1.1.1.4 Cilindros de Acero	96
5.1.1.1.5 Laboratorio	97
5.1.1.1.6 Obras Civiles	97
5.1.1.1.7 Vehículo	97
5.1.1.2 Inversión de Bienes Diferidos	98
5.1.1.3 Capital de Trabajo	98
5.1.2 Estimación de Costos	100
5.1.2.1 Costos Fijos	101
5.1.2.2 Costos Variables	101
5.1.3 Costo de Producción	102
5.1.3.1 Costo Unitario de Producción	102
5.1.3.2 Precio de Venta	103
5.1.4 Estimación de Ingresos	103
5.1.5 Determinación de Utilidades	104
5.2 FINANCIAMIENTO	105
5.2.1 Necesidad de Capital	105
5.2.1.1 Fuentes de Financiamiento	105
5.2.1.1.1 Financiamiento con Aporte Propio	105

	Página
5.2.1.1.2 Financiamiento mediante Préstamo	106
5.2.1.1.2.1 Condiciones de Financiamiento del Préstamo	107
5.2.1.1.2.1.1 Amortización.....	107
5.2.1.1.2.1.2 Interés.....	107

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.

6.1 DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE EQUILIBRIO.....	109
6.1.1 Punto de Equilibrio en Unidades Monetarias.....	110
6.1.2 Punto de Equilibrio en Volumen Físico.....	111
6.1.3 Porcentaje mínimo de la Capacidad Instalada.....	112
6.2 FUENTES Y USOS DE FONDOS.....	112
6.3 EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....	114
6.3.1 Evaluación Económica	114
6.3.2 Evaluación Financiera	116
6.4 INDICADORES DE EVALUACIÓN	117
6.4.1 Valor Actual Neto VAN.....	117
6.4.2 Tasa Interna de Retorno TIR	118
6.4.2.1 Tasa Interna de Retorno Económica TIRE	119
6.4.2.2 Tasa Interna de Retorno Financiera TIRF.....	120
6.4.3 Efecto Palanca.....	120
6.4.4 Tiempo de Retorno de la Inversión	121
6.4.5 Relación Beneficio / Costo.....	122
6.5 Análisis de Sensibilidad.....	124

CAPÍTULO VII
EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.

Página

7.1 Conclusiones.....	126
7.2 Recomendaciones	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. II-1.Composición del aire (cerca del nivel del mar).....	8
Tabla. II-2. Propiedades físicas del Oxígeno.....	10
Tabla. II-3. Propiedades Físicas del Nitrógeno.	12
Tabla. II-4. Resumen Climatológico.....	15
Tabla. II-5. Empresas Ofertantes.....	16
Tabla. II-6. Oferta Histórica de Oxígeno	16
Tabla. II-7. Demanda de Oxígeno en los Principales centros de Salud.....	19
Tabla. II-8. Demanda de Oxígeno en Clínicas Privadas.....	19
Tabla. II-9. Resumen de Demandantes de Oxígeno en la ciudad de Tarija.....	20
Tabla. II-10. Demanda Histórica del Oxígeno en Tarija.....	21
Tabla. II-11. Datos Climatológicos de la ciudad de Tarija	23
Tabla. II-12. Empresas Comercializadoras.....	25
Tabla. II-13. Precio de Venta del Oxígeno y Nitrógeno en Tarija	26
Tabla. II-14. Datos para Cálculo del Método de Regresión Lineal	28
Tabla. II-15. Proyección de la Demanda del Oxígeno en Tarija.....	29
Tabla. III-1. Matriz de Localización.....	37
Tabla. IV-1. Comparación de los Procesos.	50
Tabla. IV-2. Matriz para elección de Proceso.....	51
Tabla. IV-3. Cálculos para los otros gases del Aire	55
Tabla. IV-4. Matriz para la elección del Compresor	56
Tabla. IV-5. Matriz para la Elección del Intercambiador de Calor.....	63

	Página
Tabla. IV-6 Valores de K	73
Tabla. IV-7. Consumo de Energía	77
Tabla. IV-8. Consumo de Energía Eléctrica	81
Tabla. IV-9. Consumo de Agua	81
Tabla. IV-10. Cronograma de Actividades	84
Tabla. IV-11. Puestos de Trabajo	91
Tabla. V-1. Estructura de las Inversiones	92
Tabla. V-2. Detalle de la Inversión Fija	93
Tabla. V-3. Costo total del Compresor	94
Tabla. V-4. Costo Total del Intercambiador de Calor	95
Tabla. V-5. Costo Total de la Columna de Destilación	95
Tabla. V-6. Costo Total de los Equipos	95
Tabla. V-7. Muebles y Enseres	96
Tabla. V-8. Detalle de la Inversión Diferida	98
Tabla. V-9. Costo de Salarios	99
Tabla. V-10. Inversión Total Requerida	100
Tabla. V-12. Ingresos Anuales Proyectados	104
Tabla. V-14. Estructura de Financiamiento	106
Tabla. V-15. Plan de Pagos	108
Tabla. VI-1. Punto de Equilibrio en Unidades Monetarias	110
Tabla. VI-2. Punto de Equilibrio en Volúmenes Físicos	111
Tabla. VI-3. Porcentaje de la Capacidad Instalada	112
Tabla. VI-8. Flujo Neto Económico	117
Tabla. VI-13. Análisis de Sensibilidad con 5 % menos en Ingresos	124
Tabla. VI-14. Análisis de Sensibilidad con 5% más en los Costos	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2-1. Demanda Insatisfecha del Oxígeno.	21
Fig. 2-2. Evolución de la Población del Departamento de Tarija.	23

	Página
Fig. 2-3. Geografía del Departamento de Tarija.....	24
Fig. 2-4. Demanda Potencial Proyectada de Oxígeno.....	27
Fig. 3-1. Demanda Potencial Proyectada de Oxígeno	31
Fig. 4-1. Proceso de Destilación Fraccionada del Aire	46
Fig. 4-2. Diagrama de Bloques para el Proceso de P.S.A.....	48
Fig. 4-3. Diagrama de Flujo del Proceso	52
Fig. 4-4. Sistema de Licuefacción del Aire	58
Fig. 4-5. Diagrama de T vs S del Sistema de Licuefacción	59
Fig. 4-6. Diagrama de T vs S del Aire.....	60
Fig. 4-7. Distribución de la Planta	79
Fig. 4-8.Representación Gráfica del CPM	85
Fig. 4-9. Ruta Crítica	86
Fig. 4-11. Organigrama de la Empresa	88
Fig. 6-1. Punto de Equilibrio	109

ANEXOS

ANEXO 1 Fig. 4-10.Diagrama de GANTT

ANEXO 2 Tabla. V-11 Costo Anual

ANEXO 3 Tabla. V-13. Estado de Pérdidas o Ganancias

ANEXO 4 Tabla. VI-4. Estado de Flujo de Fondos

ANEXO 5 Tabla. VI-5. Análisis de Ganancias o Pérdidas

ANEXO 6 Tabla. VI-6. Estado de Flujo de Fondos Económicos

ANEXO 7 Tabla. VI-7. Estado de Flujo de Fondos Financieros

ANEXO 8 Tabla. VI-9. Cuadro Resumen de Resultados para Cálculo de TIRE

ANEXO 9 Tabla. VI-10. Cuadro Resumen de Resultados para Cálculo de TIRF

ANEXO 10 Tabla. VI-11. Datos para cálculo de Beneficio / Costo

ANEXO 11 Tabla. VI-12. Resultado de Beneficio/Costo