

Área del Conocimiento de Agricultura

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE NITRÓGENO, OXÍGENO Y ARGÓN A PARTIR DEL AIRE ATMOSFÉRICO

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Químico

Elaborado por:

Br. Gessell Calvo
Rosales
2016-0028U

Br. Daining Nazareth
López Sánchez
2016-0987U

Tutor:

MSc. María Alberta
Reyes Conrado

24 de febrero de 2025
Managua, Nicaragua

Agradecimiento

En principio agradezco infinitamente a Dios y a la Virgen Santísima por el don de la vida, por haberme permitido finalizar este trabajo a pesar de todos los obstáculos que se presentaron en el camino; por el don de la fe la perseverancia y la sabiduría que, sin duda, fueron los que hoy me ayudaron a ser seguir.

A mis padres y a mis hermanos, los cuales me han apoyado incondicionalmente en todo este proceso. A mis familiares y amigos que siempre estuvieron pendientes de mí. A aquellos familiares que lamentablemente ya no están físicamente conmigo, pero que fueron mis guías en todo este proceso de aprendizaje. Tampoco puedo dejar de agradecer a mi novio, el cual siempre me apoyó, dándome palabras de aliento y fuerzas para seguir intentándolo.

A mi tutora, maestra María Reyes, por su paciencia, confianza y porque colaboró en gran manera para que pudiéramos realizar este trabajo de la mejor forma. Gracias por todos sus consejos. Al Ing. Bayardo Torrez, de la empresa GASPRO, y a todo su personal, que nos apoyaron con consejos y datos para que pudiéramos finalizar este trabajo sin esperar nada a cambio. Gracias por confiar en nosotros.

A todas aquellas personas que, con su granito de arena, apoyaron esta causa. Gracias Danelis, gracias, Doña Brenda, gracias, Sergio. Gracias a todos ustedes este trabajo pudo finalizarse.

Br. Gessell Calvo Rosales

A Dios, que mediante su infinita misericordia nunca me abandonó y siempre me brindó su ayuda, a través de cada una de las personas que colocho en mi camino para culminar esta etapa de mi vida.

A mi abuela, mi madre y mis hermanos que me apoyaron y brindaron esperanzas para concluir mis estudios universitarios. A las profesoras Lesbia Rodríguez y Sara Carballo que, mediante su apoyo y sus consejos, lograron que no me diera por vencido.

A mis amigas Rosemary, Gracie y Danelis por ser personas que siempre me brindaron su amistad fraterna.

A mi compañera de tesis Gessell Calvo por la paciencia y el apoyo que me brindó durante la elaboración de nuestra tesis.

A nuestra tutora, MSc. María Reyes por sus grandes enseñanzas y paciencia que tuvo con nosotros para la elaboración de nuestro trabajo monográfico.

Br. Daining Nazareth López Sánchez

Dedicatoria

A Dios y a nuestra madre Santísima, María, porque sin ellos no hubiera sido posible todo este trabajo. A mis padres, Diego Antonio y María Lourdes, quienes, con su amor, hicieron de mí una persona responsable, perseverante y valiente que no se da por vencida para cumplir los sueños y metas.

Br. Gessell Calvo Rosales

A Dios, nuestro Padre Celestial, por darme la sabiduría y la fortaleza para poder culminar mi vida universitaria. A mi abuela, María Ignacia Cerda Hernández que me dio mucho apoyo para poder salir adelante, a mi madre, mis hermanos y cada una de las personas que me apoyaron durante todo este transcurso.

Br. Daining Nazareth López Sánchez

Resumen

El presente trabajo demuestra la viabilidad comercial, técnica, ambiental, económica y financiera del proyecto de la planta productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón a partir del aire atmosférico, para su comercialización en el mercado nacional.

La globalización, los avances tecnológicos, el crecimiento de la población y el desarrollo de los países crea las condiciones para la viabilidad de nuevos proyectos y empresas, los cuales a su vez deben competir y demostrar las ventajas de sus productos frente a otros. Este proyecto ha demostrado tener grandes beneficios, no sólo económicos, sino sociales, los cuales están en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible acordados en el año 2015 por los 193 países miembros de la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU), los cuales deben alcanzarse en el año 2030.

La planta, la cual se localizará en el municipio de Nagarote, departamento de León, tendrá una capacidad de procesamiento de 68,624.37 Ton/año de aire. Se adquirirá una planta completa ofertada por la empresa Air Liquide, una de las empresas líderes en la producción de gases industriales y medicinales a nivel mundial. Dicha planta contiene: un compresor primario, un intercambiador de calor primario, la batería de Absorbedores de tamices moleculares, un compresor principal, los 3 intercambiadores de calor que conforman la caja fría, la Torre compuesta de alta y baja presión y la columna de argón bruto. Incluye también el sistema de bombeo, compresión auxiliar y tuberías, así como todos los instrumentos para la automatización del proceso, el transporte e instalación de equipos en el punto.

La inversión inicial del proyecto asciende a 15,548,353.16 USD. El costo de procesamiento de 1 t de aire es de 341.87 USD. Los ingresos totales en el primer año del horizonte de tiempo ascienden a 15,299,757.05 USD. Se analizaron 2 escenarios para la evaluación económico-financiera del proyecto: a) sin financiamiento, y b) con financiamiento del 50% de la inversión total, con una tasa de interés anual del 25% a un plazo de 10 años. Se seleccionó el escenario B, el cual fue el único que resultó factible de acuerdo con los criterios para evaluar financieramente un proyecto. Estos criterios empleados dieron como resultado una $VPN > 0$, con monto de 9,108,202.34 USD, $TIR > TMAR$ ($72\% > 30\%$), relación $B/C > 1$ (1.08) y Período de Recuperación de la Inversión de 1.15 años. El proyecto mantiene la $TIR > TMAR$ bajo condiciones adversas, como aumento de costos de producción hasta un 30% y la disminución de ingresos de hasta un 10%; por lo tanto, podemos inferir que el proyecto presenta mayor sensibilidad a la disminución de los ingresos.

El principal impacto positivo de este proyecto se muestra en el factor socioeconómico. Se generarán 103 plazas laborales fijas. El proyecto contribuirá al dinamismo de las actividades económicas de la zona de influencia directa. Los impactos ambientales negativos más notables se dan en la etapa de construcción. Sin embargo, se tomarán todas las medidas necesarias para mitigarlos.

Índice

Agradecimiento.....	i
Dedicatoria	ii
Resumen	iii
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras	xi
I. Introducción.....	1
II. Objetivos	4
2.1. Objetivo General:	4
2.2. Objetivos Específicos:	4
III. Marco Teórico	5
IV. Metodología.....	5
4.1. Tipo de Investigación	5
4.2. Universo de la Investigación	5
4.3. Estudio de Mercado	5
4.4. Estudio Técnico.....	6
4.5. Estudio Financiero	7
V. Estudio de Mercado de Viabilidad Comercial para la instalación de la Planta productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón	9
5.1. Definición del Producto	9
5.1.1. Nitrógeno	9
5.1.2. Oxígeno	10
5.1.3. Argón	10
5.1.4. Envase y Etiqueta de los Productos	11
5.2. Usos del Producto	12
5.2.1. Oxígeno	13
5.2.2. Nitrógeno	13
5.2.3. Argón	14
5.3. Área Geográfica	15
5.4. Principales Consumidores.....	16
5.5. Normas Reguladoras de la Calidad del Producto	18
5.5.1. Farmacopeas.....	18
5.5.2. Normas de Correcta Fabricación de la Unión Europea (NCF).....	19

5.5.3.	Otras Normas Internacionales Relacionadas	19
5.6.	Análisis del Mercado	20
5.6.1.	Análisis de la Oferta	20
5.6.2.	Análisis de la Demanda.....	23
5.6.3.	Determinación de la Demanda Potencial Insatisfecha	30
5.7.	Análisis de Precios del Producto en el Mercado de Interés	31
5.8.	Canales de Comercialización.....	33
5.8.1.	Canales de distribución:	34
VI.	Estudio Técnico para la instalación de la Planta Productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón.....	36
6.1.	Determinación del Tamaño Óptimo de la Planta.....	36
6.2.	Localización de la Planta.....	36
6.2.1.	Macrolocalización	38
6.2.2.	Microlocalización	39
6.3.	Descripción del Proceso Productivo.....	40
6.3.1.	Descripción del Proceso de Producción del Nitrógeno, Oxígeno y Argón. 40	
6.4.	Requerimiento de equipos, Maquinaria y Accesorios y Personal para el Proceso de Producción	50
6.4.1.	Limpieza Preliminar	50
6.4.2.	Compresión	52
6.4.3.	Preenfriamiento	52
6.4.4.	Adsorción.....	53
6.4.5.	Intercambio de Calor	54
6.4.6.	Expansión.....	59
6.4.7.	Destilación	60
6.4.8.	Selección de la Tecnología de la Planta.....	62
6.4.9.	Requerimiento de Insumos, Suministros y Otros Materiales	63
6.5.	Infraestructura y Distribución de la Planta.....	63
6.5.1.	Plano de Distribución de la Planta.....	65
6.6.	Determinación de la Organización del Talento Humano	65
6.6.1.	Requerimiento de Personal:.....	70
6.6.2.	Organigrama.....	73
6.7.	Programación de Actividades.....	73
6.8.	Evaluación de Impactos Ambientales asociados al proyecto	74

6.8.1.	Caracterización del Proyecto.....	75
6.8.2.	Marco Institucional, Legal y Normativo aplicable al proyecto	76
6.8.3.	Línea base ambiental del área de influencia del proyecto	76
6.8.4.	Identificación y Evaluación de los Impactos Ambientales generados por el proyecto.....	89
6.8.5.	Plan de Gestión Ambiental orientado a prevenir, mitigar, corregir, compensar y restaurar los impactos ambientales generados por el proyecto	93
6.8.6.	Pronóstico de la Calidad Ambiental del área de influencia del proyecto	93
VII.	Estudio Financiero.....	96
7.1.	Presupuesto de Operación.....	96
7.1.1.	Presupuesto de Egreso	96
7.1.2.	Costo Unitario de Producción	100
7.2.	Ingresos por Ventas	100
7.3.	Inversión Inicial en Activos Fijos y Diferidos.....	100
7.3.1.	Inversión Fija	101
7.3.2.	Inversión Diferida.....	101
7.4.	Depreciación y Amortización de Activos Fijos y Diferidos	102
7.5.	Capital de Trabajo	102
7.5.1.	Inversión Total y Resumen de Inversiones.....	103
7.6.	Financiamiento	104
7.6.1.	Estructura Financiera del Proyecto.....	104
7.6.2.	Gastos Financieros.....	104
7.7.	Tasa Mínima Aceptable de Retorno	104
7.8.	Evaluación Económica.....	105
7.9.	Análisis de Sensibilidad	105
7.9.1.	Aumento de Costos de Producción	106
7.9.2.	Disminución de los Ingresos.....	106
VIII.	Conclusiones.....	107
IX.	Recomendaciones.....	108
X.	Bibliografía	109
XI.	Anexos	112
	Anexo 1: Tablas del Estudio de Mercado	113
	Anexo 2: Figuras del Estudio de Mercado	119

Anexo 3: Tablas del Estudio Técnico.....	121
Anexo 4: Figuras del Estudio Técnico.....	133
Anexo 5: Memoria de Cálculo para el Diseño de los Equipos Requeridos para el Proceso Productivo	142
11.5.1. Limpieza Preliminar	142
11.5.2. Diseño del Ciclón tipo Stairmand.....	146
11.5.3. Datos para elección del Compresor	148
11.5.4. Diseño de las Torres de Destilación	152
Anexo 6: Tablas del Estudio Económico – Financiero	162

Índice de Tablas

Tabla 1: Colores de Cilindros para el envasado de Gases Medicinales según la FDA.	11
Tabla 2: Producción de O ₂ con Equipos PSA en Unidades Hospitalarias.	21
Tabla 3: Producción Histórica de Oxígeno Medicinal en plantas PSA.....	21
Tabla 4: Datos correspondientes a la Ecuación de Ajuste para la Proyección de la Oferta de Oxígeno Medicinal.	23
Tabla 5: Importaciones de Gases en el período 2019-2022.....	24
Tabla 6: Empresas distribuidoras de Gases Industriales y Medicinales.	25
Tabla 7: Consumo Nacional Aparente de Oxígeno.	26
Tabla 8: Datos correspondientes a la Ecuación de ajuste de la Demanda de Oxígeno en Nicaragua.....	27
Tabla 9: Consumo Nacional Aparente de Nitrógeno.	27
Tabla 10: Datos de la Ecuación de Regresión Lineal para la Demanda de Nitrógeno.	28
Tabla 11: Consumo Nacional Aparente de Argón.	29
Tabla 12: Datos de la Ecuación de Regresión Lineal para la Demanda de Argón.	30
Tabla 13: Precios de Venta de los Productos Envasados en Diferentes Presentaciones y a Granel para el año 2022-2023.	32
Tabla 14: Tasa de Inflación para Nicaragua durante los años 2019-2028.	32
Tabla 15: Dimensiones del Lavador Venturi.....	50
Tabla 16: Dimensiones del Ciclón Stairmand.	51

Tabla 17: Requerimientos de Diseño para la Selección del Compresor Primario.	52
Tabla 18: Parámetros para la Selección del Intercambiador Primario (Intercambiador de Placas con juntas).	52
Tabla 19: Criterios a Tomar en cuenta para la Selección del Intercambiador de Calor Principal.	57
Tabla 20: Datos del Proceso para el Dimensionamiento del Intercambiador.	58
Tabla 21: Parámetros Requeridos para la Selección de la Turbina.	59
Tabla 22: Especificaciones de la Torre de Destilación de Alta Presión.	60
Tabla 23: Especificaciones Técnicas de la Torre de Baja Presión.	61
Tabla 24: Especificaciones Técnicas para la Torre de Argón Bruto.	62
Tabla 25: Establecimiento de la Ruta Crítica en la Programación de Actividades.	73
Tabla 26: Áreas Litológicas del Municipio de Nagarote.	79
Tabla 27: Municipio de Nagarote y Población Total 1971-2017.	85
Tabla 28: Inversión Total.	103
Tabla 29: Propiedades fisicoquímicas del Nitrógeno.	113
Tabla 30: Propiedades fisicoquímicas del Oxígeno.	113
Tabla 31: Propiedades fisicoquímicas del Argón.	113
Tabla 32: Cilindros utilizados para el Embalaje de Gases Industriales y Medicinales en Nicaragua.	114
Tabla 33: Especificaciones de Gases Medicinales según la Real Farmacopea Española.	114
Tabla 34: Proyección de la Oferta de Oxígeno Medicinal a nivel Nacional.	114
Tabla 35: Proyección de la Demanda de Oxígeno al año 2043.	115
Tabla 36: Proyección de la Demanda de Nitrógeno hasta el año 2043.	115
Tabla 37: Proyección de la Demanda de Argón hasta el año 2043.	115
Tabla 38: Proyección de la Demanda Potencial Insatisfecha de Oxígeno a Nivel Nacional.	116
Tabla 39: Proyección de la Demanda Potencial Insatisfecha de Nitrógeno a Nivel Nacional.	116
Tabla 40: Proyección de la Demanda Potencial Insatisfecha de Argón a Nivel Nacional.	116
Tabla 41: Demanda Potencial Insatisfecha de Oxígeno, Nitrógeno y Argón a Satisfacer en el Horizonte de tiempo.	117
Tabla 42: Proyección de la Inflación en Nicaragua para el Período 2029-2044.	117

Tabla 43: Proyección de los Precios, para el Horizonte de tiempo 2024-2043.	118
Tabla 44: Tamaño Óptimo de la Planta a Diseñar.....	121
Tabla 45: Evaluación de Alternativas para Localización Óptima por el Método Cualitativo por Puntos.	121
Tabla 46: Parámetros Típicos de Operación para Adsorción en Fase Gaseosa.	121
Tabla 47: Tiempos de Ciclos Típicos para Operación de Adsorbedores en Fase Gaseosa (horas).....	122
Tabla 48: Datos del Proceso para el Dimensionamiento del Intercambiador. ..	122
Tabla 49: Especificaciones de las Aletas para el Intercambiador de Calor Principal.	122
Tabla 50: Resumen del Desempeño Térmico de las Corrientes del Intercambiador de Calor Principal.	123
Tabla 51: Requerimiento de Materia Prima e Insumos (Parte 1).....	123
Tabla 52: Requerimiento de Materia Prima e Insumos (Parte 2).....	123
Tabla 53: Distribución de la Planta Productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón.	123
Tabla 54: Programación de Actividades para la Construcción, Montaje y Puesta en Marcha de la Planta.....	124
Tabla 55: Marco Legal Aplicable a la Planta Productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón.....	125
Tabla 56: Medidas para Mitigar los Impactos Ambientales en las diferentes Fases del Proyecto.....	126
Tabla 57: Matriz SLP (Parte 1).	128
Tabla 58: Matriz SLP (Parte 2).	129
Tabla 59: Matriz SLP (Parte 3).	131
Tabla 60: Condiciones iniciales para el Dimensionamiento de los Equipos.	142
Tabla 61: Valores Recomendados para el Diseño del Lavador Venturi.	142
Tabla 62: Eficiencia Global del Lavador Venturi.	145
Tabla 63: Dimensiones ajustadas del Lavador Venturi.....	145
Tabla 64: Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Partículas del Venturi (parte 1).	145
Tabla 65: Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Partículas del Venturi (parte 2).	145
Tabla 66: Características de Ciclones de Alta Eficiencia.....	146
Tabla 67: Cálculo de Eficiencia Total del Ciclón.....	148

Tabla 68: Composiciones Molares de Equilibrio para el Nitrógeno-Oxígeno a 5 bar.	148
Tabla 69: Composiciones Molares de Equilibrio para el Nitrógeno-Oxígeno a 1.01 bar.	149
Tabla 70: Composiciones Molares de Equilibrio para la mezcla de Oxígeno-Argón a 1.01 bar	149
Tabla 71: Datos tomados del Diagrama T vs. s para la etapa de Compresión.	150
Tabla 72: Resumen de las Corrientes de Salida de las etapas de Compresión.	152
Tabla 73: Datos preliminares para la torre de Alta Presión.	155
Tabla 74: Resumen de la Columna de Alta Presión.	157
Tabla 75: Resumen de la Columna de Baja Presión.	159
Tabla 76: Resumen de la Columna de Argón Bruto.	161
Tabla 77: Costos de Materia Prima.	162
Tabla 78: Costos de Producción.....	162
Tabla 79: Costos asociados a Envases y Etiquetas.	163
Tabla 80: Costos de Administración.	163
Tabla 81: Costos de Ventas.	164
Tabla 82: Costos Totales de Operación.	164
Tabla 83: Costo Unitario de Procesamiento del Aire.	164
Tabla 84: Ingresos anuales por ventas.....	164
Tabla 85: Inversión en Activos Fijos y Diferidos.	165
Tabla 86: Desglose de Amortización del Préstamo para la Inversión.....	166
Tabla 87: Depreciación de Equipos de Proceso (Parte 1).....	166
Tabla 88: Depreciación de Equipos de Proceso (Parte 2).....	167
Tabla 89: Depreciación de Equipos de Oficina (Parte 1).....	167
Tabla 90: Depreciación de Equipos de Oficina (Parte 2).....	168
Tabla 91: Depreciación y Amortización de Activos Fijos y Diferidos.	168
Tabla 92: Estado de Resultado del Proyecto sin Financiamiento (Parte 1).	169
Tabla 93: Estado de Resultado del Proyecto sin Financiamiento (Parte 2)	169
Tabla 94: Estado de Resultado del Proyecto con Financiamiento (Parte 1).	170
Tabla 95: Estado de Resultado del Proyecto con Financiamiento (Parte 2)....	170
Tabla 96: Análisis de Sensibilidad: Aumento del 10% de los Costos de Producción (Parte 1).	171
Tabla 97: Análisis de Sensibilidad: Aumento del 10% de los Costos de Producción (Parte 2).	171

Tabla 98: Análisis de Sensibilidad: Aumento del 20% de los Costos de Producción (Parte 1).	172
Tabla 99: Análisis de Sensibilidad: Aumento del 20% de los Costos de Producción (Parte 2).	172
Tabla 100: Análisis de Sensibilidad: Aumento del 30% de los Costos de Producción (Parte 1).....	173
Tabla 101: Análisis de Sensibilidad: Aumento del 30% de los Costos de Producción (Parte 2).....	173
Tabla 102: Análisis de Sensibilidad: Disminución del 10% de los Ingresos (Parte 1).	174
Tabla 103: Análisis de Sensibilidad: Disminución del 10% de los Ingresos (Parte 2).	174
Tabla 104: Análisis de Sensibilidad: Disminución del 20% de los Ingresos (Parte 1).	175
Tabla 105: Análisis de Sensibilidad: Disminución del 20% de los Ingresos (Parte 2).	175
Tabla 106: Análisis de Sensibilidad: Disminución del 30% de los Ingresos (Parte 1).	176
Tabla 107: Análisis de Sensibilidad: Disminución del 30% de los Ingresos (Parte 2).	176

Índice de Figuras

Figura 1: Recta de ajuste para la Proyección de la Oferta de Oxígeno Medicinal.	23
Figura 2: Recta de Ajuste para la proyección de la Demanda de Oxígeno a nivel Nacional.	26
Figura 3: Recta de ajuste para la Proyección de la Demanda de Nitrógeno a nivel Nacional.	28
Figura 4: Recta de Ajuste para determinar la ecuación de Regresión Lineal de Demanda de Argón.	29
Figura 5: Recta de Ajuste de la Inflación en Nicaragua, correspondiente a datos entre 2019-2028.	33
Figura 6: Municipio de Nagarote.....	38
Figura 7: Microlocalización de la Planta Productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón.	39
Figura 8: Diagrama T vs s simplificado.....	45
Figura 9: Doble Columna Linde para el Proceso de Destilación Criogénica.	47

Figura 10: Corrientes que Intervienen en el Intercambiador de Calor Principal..	57
Figura 11: Detalles de las aletas utilizadas en intercambiadores de calor de placas y aletas.	59
Figura 12: Ruta Crítica de las Actividades para la Construcción, Montaje y Puesta en Marcha de la Planta.....	74
Figura 13: Caracterización de la Cuenca del Litoral Pacífico.	80
Figura 14: Inversión Total.	103
Figura 15: Código especial de color para los Gases Industriales más Importantes (a).	119
Figura 16: Estampado del Cilindro.	119
Figura 17: Diagrama de un Cilindro de Alta Presión.....	119
Figura 18: Código especial de color para los Gases Industriales más Importantes (b).	119
Figura 19: Ejemplo de Etiqueta utilizada en Cilindros de Gases Comprimidos.	120
Figura 20: Código de Colores para gases Medicinales.	120
Figura 21: Color de Cilindros / Ojivas según las propiedades del gas.....	120
Figura 22: Ejemplo de Etiqueta para Termos Criogénicos.	120
Figura 23: Proceso de cuatro etapas del VPSA.	133
Figura 24: Diagrama T - s del Aire (Hausen).....	133
Figura 25: Proceso de Purificación del Aire en los Lechos de Adsorción.	133
Figura 26: Perfil de Temperatura de las Corrientes Involucradas en el Intercambiador de Calor Principal.	133
Figura 27: Dimensiones del Intercambiador de Calor Principal.	134
Figura 28: Unidad de Separación de Aire Estándar Seleccionada para este Trabajo.	135
Figura 29: Diagrama de Flujo del Proceso Productivo de Oxígeno, Nitrógeno y Argón a partir del Aire Atmosférico por el Método de Destilación Criogénica. .	136
Figura 30: Distribución de la Planta Procesadora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón.	137
Figura 31: Organigrama de la empresa (parte 1).	138
Figura 32: Organigrama de la empresa (parte 2).	139
Figura 33: Matriz de Leopold.	141
Figura 34: Esquema de un Lavador Venturi.	142
Figura 35: Esquema Transversal de un Lavador Venturi.	143
Figura 36: Esquema de un Ciclón tipo Stairmand.	146
Figura 37: Diagrama de Equilibrio del Nitrógeno a 5 bar.	148

Figura 38: Diagrama de Equilibrio del Nitrógeno a 1.01 bar.....	149
Figura 39: Diagrama de Equilibrio del Argón a 1.01 bar.....	150
Figura 40: Proceso de Compresión del Aire.....	150
Figura 41: Diagrama de Equilibrio del N ₂ a 5 bar.	153
Figura 42: Correlación de Fair.....	154
Figura 43: Diagrama de Equilibrio del Nitrógeno a 5 bar para el Diseño de la Torre de Alta Presión.	156
Figura 44: Diagrama de Equilibrio del Nitrógeno a 1 bar para el Diseño de la Torre de Baja Presión.	158
Figura 45: Diagrama de Equilibrio del Argón a 1 bar para el Diseño de la Torre de Argón Bruto.	160

I. Introducción

Nuestro país se caracteriza por el desarrollo e implementación de actividades agrícolas y pecuarias, lo cual ha conllevado a que diferentes áreas industriales sean de poca importancia al momento de evaluar y proponer proyectos de inversión. Actualmente los países en vías de desarrollo e incluso las grandes potencias del mundo destinan parte de sus recursos monetarios para el crecimiento de sus industrias, esto debido a que los recientes acontecimientos mundiales (como es el caso de la pandemia del Covid-19) amenazan con sacar de la jugada a quienes no evolucionan sus empresas apoyadas de las nuevas tecnologías.

En el año 2020, a nivel mundial, tanto países del primer mundo como los que están en vías de desarrollo, enfrentaron una crisis de abastecimiento de productos medicinales de primera necesidad, sobresaliendo en esta lista los productos como oxígeno y el aire medicinal, a causa de la demanda que se fue a pique por la pandemia de COVID-19. Esta falta de insumos médicos causó la muerte de miles de personas en el mundo y demostró la importancia de que cada país cuente con una planta productora de gases medicinales, para no depender solo de las importaciones de estos productos.

Se han realizado trabajos a nivel internacional enfocados en el análisis de prefactibilidad de plantas industriales especializadas en la obtención de productos atmosféricos, sin embargo, están más centrados a aplicaciones medicinales. Arandia, 2015, realizó un estudio de factibilidad para la implementación de una fábrica de oxígeno criogénico, utilizando el método de destilación fraccionada donde, económicamente, el proyecto ofrece una considerable rentabilidad. Arévalo, 2011, analizó los indicadores operativos de la producción criogénica de oxígeno en operación continua y discontinua.

Castañeda y Rojas, 2016, llevaron a cabo un análisis de prefactibilidad de una planta de separación de oxígeno y nitrógeno a partir del aire usando membranas para ser instalado en una industria siderúrgica que es parte de la industria metalúrgica. Los autores establecen que el factor más importante es la capacidad del proceso. La tecnología de membrana de transporte iónico y el proceso SPA son de alta pureza de nitrógeno y oxígeno respectivamente, pero son de muy baja capacidad, que no abastecería el requerimiento de aproximadamente 5000 Nm³/h. La tecnología de membrana por transporte iónico prioriza la producción de oxígeno puro, pero en la actualidad es muy limitada y varía entre 30 a 150 Nm³ de oxígeno por hora. El proceso criogénico es el proceso tradicional, abastece la capacidad deseada, pero tiene un alto costo de inversión y de operación.

Clavería, Lozano y Hombrados, 2001, realizaron un estudio en el cual se presenta la modelación y simulación, en estado estacionario, de una planta criogénica de separación de aire con el simulador de procesos HYSYS, estos elaboraron modelos específicos de equipos especiales (compresores multietapa, intercambiadores multiflujo, columnas de destilación criogénica, etc.) para facilitar el estudio de configuraciones alternativas de la planta de separación de aire y favorecer la implantación de diferentes estrategias de operación.

Palmay, Montoro, Bruno y Coronas, 2015, realizaron un estudio enfocado en el análisis energético global y detallado básico de una planta de separación de aire. De los resultados que ellos obtuvieron se demostró que para una planta de unos 60000 Nm³/h de aire a tratar, el consumo del compresor principal se sitúa sobre los 4380 kW. Por lo tanto, el coste del consumo eléctrico es el principal criterio que se sigue para establecer la estrategia de operación de la planta.

En el ámbito nacional no fue posible encontrar estudios basados en el análisis de prefactibilidad de plantas industriales productoras de oxígeno, nitrógeno o argón, por lo tanto, se considera que no se han realizado estudios similares o, de haberlos, los autores no los han publicado o facilitado para utilizarlos de base en estudios posteriores. No obstante, a nivel nacional existen tres empresas que son conocidas por ofrecer gases de vital importancia para la economía nacional en diferentes sectores como la ganadería, la construcción, la metalmecánica, la industria química, la industria alimenticia, además de una gran cantidad de talleres de soldadura de la pequeña y mediana empresa, estas son: Productos del Aire y GASPRO y Trigas.

En el presente trabajo monográfico se realizó un estudio de Prefactibilidad para evaluar la rentabilidad de la instalación de una planta productora de oxígeno, nitrógeno y argón. Para la elaboración del estudio de Pre factibilidad se realizó un estudio de mercado que determinó la demanda potencial insatisfecha y la capacidad de producción de la planta, un estudio técnico enfocado en especificar los recursos tecnológicos y espacio geográfico necesarios para el buen funcionamiento de la planta y un estudio financiero que determinó claramente cuál es la factibilidad del producto y así también cómo formular un modelo de negocio que beneficie cada etapa productiva del proyecto.

La planta productora de oxígeno, nitrógeno y argón estará localizada en el municipio de Nagarote, como resultado de las evaluaciones que se realizaron en el estudio técnico. Inicialmente, para la evaluación económico-financiera de este proyecto se había contemplado realizarse para un horizonte de tiempo de 10 años; sin embargo, debido a los consejos técnicos del Gerente General de la empresa GASPRO, se decidió realizar este estudio para un horizonte de tiempo de 20 años, debido a la alta inversión que se requiere para plantas de este tipo.

Con el desarrollo del estudio se espera contribuir con las bases necesarias para la realización de futuros trabajos en el área de producción de elementos necesarios y primordiales en diferentes ramas como la medicina y la producción en general, haciendo uso de las habilidades y conocimientos obtenidos de las diferentes asignaturas cursadas en la carrera de Ingeniería Química cumpliendo con la visión del Área del Conocimiento de Agricultura de contribuir a la transformación tecnológica y al desarrollo sustentable del país y la región. Con la realización de la presente investigación se espera contribuir con la información base para la implementación de prácticas industriales que cumplan con las metas nacionales e internacionales (Objetivos de Desarrollo Sostenible, Plan de Lucha Nacional contra la Pobreza y el Desarrollo Humano 2022 – 2026) enfocadas en la preservación y protección de los recursos naturales, así como también al desarrollo humano.

II. Objetivos

2.1. Objetivo General:

Desarrollar un estudio de Prefactibilidad para la instalación de una planta productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón en condiciones óptimas para garantizar la viabilidad técnico-financiera del proyecto.

2.2. Objetivos Específicos:

- Verificar la existencia de una demanda potencial insatisfecha de Nitrógeno, Oxígeno y Argón mediante la realización de un estudio de mercado.
- Determinar la viabilidad técnica del diseño de una planta productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón para el horizonte de tiempo de 20 años.
- Determinar la rentabilidad económica-financiera de la instalación de la planta productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón para el horizonte de tiempo de 20 años.

III. Marco Teórico

Para ver todos los acápite que comprendieron el marco teórico, trasládese al Protocolo de Investigación de este estudio.

IV. Metodología

4.1. Tipo de Investigación

La presente investigación, que se refiere al estudio de Prefactibilidad para la instalación de una planta productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón para su comercialización en el territorio nacional, tiene un enfoque cuantitativo y es de tipo descriptiva, ya que se estudió el fenómeno en condiciones o momento determinado, sin manipular o controlar ninguna de las variables implícitas en el estudio. A través de ella, se buscó estimar la magnitud de las variables que son de relevancia para el estudio y, en base a ello, dar solución a los demás objetivos propuestos. (Hernández Sampieri et al., 2014).

Esta investigación estuvo orientada a analizar el comportamiento de las variables que intervienen en el mercado del producto de interés. Las variables que se consideraron fueron, principalmente, la demanda, la oferta, los precios de los productos, los cuales incidieron directamente en la determinación del tamaño de la planta y su localización óptima; de igual forma, los montos económicos de inversión y su rentabilidad. (Urbina & Gámez, 2020)

Con relación al diseño de la investigación, la estrategia de recolección de datos y análisis de la información, en función de los objetivos propuestos, fue dirigida a un diseño de campo, no experimental y transeccional. Para el caso de la segunda etapa del estudio, esta se clasificaría como de desarrollo tecnológico.

4.2. Universo de la Investigación

El universo de estudio de esta investigación lo conformó el mercado nacional de nitrógeno, oxígeno y argón, en donde interaccionan no sólo proveedores internacionales, sino también consumidores de la región, los cuales establecen la demanda, oferta y precios de los productos, y son importantes para la determinación del tamaño de la planta y la ubicación, los montos económicos necesarios y su rentabilidad.

4.3. Estudio de Mercado

La metodología que se utilizó para la realización del estudio de mercado del producto “Nitrógeno, Oxígeno y Argón”, estuvo determinada principalmente por el

análisis del comportamiento del mercado de interés; es decir, el mercado nacional, al cual nos referimos en el acápite anterior.

La información para la elaboración de este estudio de mercado fue obtenida tanto de fuentes primarias, como de secundarias (entrevistas, datos obtenidos en la web de CETREX, etc). Las actividades realizadas estuvieron orientadas a recopilar información sobre los temas de interés que involucren el mercado del nitrógeno, oxígeno y argón.

Se recopiló, analizó y procesó información específica acerca del producto, el mercado específico a estudiar y la competencia, y se estableció lo siguiente:

- Definición del Producto. Identificación y Análisis de las normas técnicas de calidad para la protección del consumidor y reglamentos sanitarios aplicables al producto “Nitrógeno, Oxígeno y Argón”.
- Determinación del perfil de consumidores del producto “Nitrógeno, Oxígeno y Argón” dentro del mercado nacional.
- Determinación del comportamiento histórico de la oferta, demanda y precios del producto en el mercado nacional.
- Identificación de los canales de distribución y comercialización del producto en el mercado nacional.

Los datos históricos de la demanda aparente (representada por las importaciones) de gases medicinales e industriales para el período 2019-2022, que son reportados en la tabla 17, se procesaron utilizando el método de regresión lineal, debido a que los datos describían una tendencia lineal (a excepción del año 2020 donde el consumo de gases medicinales incrementó en gran medida a causa de la pandemia de COVID-19).

4.4. Estudio Técnico

El estudio técnico se inició con la determinación de la capacidad de diseño efectiva de la planta, el cual quedó establecida como un porcentaje de la demanda potencial insatisfecha presente en el mercado nacional.

Se utilizó el Método Cualitativo por Puntos para obtener la ubicación óptima de la planta, de acuerdo con los parámetros de importancia para la planta. Se seleccionó el tipo de proceso de producción (continuo o discontinuo) y la tecnología más idónea de acuerdo con los requerimientos de cantidad y calidad de los productos finales, con los correspondientes equipos necesarios para llevar a cabo cada parte del proceso productivo. Por cada año del horizonte de tiempo se formularon los balances de materia y energía requeridos, los cuales permitieron cuantificar los flujos de materia prima, insumos, suministros necesarios, áreas de almacenes que garantice la producción por día que satisfaga la demanda anual para el horizonte de tiempo planeado. Así mismo se diseñó, dimensionó y seleccionó el conjunto de equipos y maquinarias requeridas que satisfagan la producción por día planificada y se determinó la cantidad de personal operativo y

administrativo (talento humano) necesario para el correcto funcionamiento de la planta.

Ya que este proceso productivo requiere de intercambiadores de calor singulares y de diseño complicado, se empleó un software especializado en diseño y simulación de procesos llamado **Aspen**, donde se hizo el diseño del equipo, se determinaron los valores óptimos para los parámetros más importantes de operación y, en base a eso, se realizó el dimensionamiento del Intercambiador de Calor Principal en su módulo **Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)**.

La distribución de la planta se realizó aplicando el método SLP, teniendo en cuenta cada una de las áreas requeridas para la ejecución de las operaciones del proceso productivo.

4.5. Estudio Financiero

En el estudio financiero, se determinaron los costos de producción, tomando como base la producción de la planta, incluyendo todos sus requerimientos (materia prima, insumos y suministros, personal operativo). Para este fin, se estableció previamente, por medio de cálculos, los costos de extracción y pretratamiento de materia prima, mano de obra, costos energéticos, costos de agua, mantenimiento, depreciación de activos y amortización. De igual manera, se determinaron los costos administrativos, costos de ventas y distribución, y los costos unitarios de los productos a ofertar.

También se determinó la inversión inicial de la planta, incluyendo los costos de adquisición de activos fijos, así como de los tangibles y diferidos o intangibles, los cuales son imprescindibles para iniciar las operaciones de la empresa. Dentro de los activos fijos se incluyeron costos monetarios de los equipos principales y secundarios, mobiliarios y equipos de oficina, terrenos, y costos de ejecución de las obras civiles de la planta.

Para el cálculo de los costos de adquisición de equipos de proceso, inicialmente estos fueron cotizados a través de sitios webs de proveedores, y en base al precio de venta se calculó el correspondiente valor del flete y seguro y la instalación de estos. Cabe resaltar que se contempló la compra de una planta completa ofertada por la empresa Air Liquide, que incluye: compresor primario, intercambiador de calor primario de placas, batería de 4 adsorbedores de tamices moleculares de lecho fijo, compresor principal, 3 intercambiadores de calor de la caja fría (intercambiador de calor principal, intercambiador de calor de alta presión y subenfriador), turbina accionada por el compresor, 2 bombas criogénicas, la torre de destilación de alta y baja presión).

En inversiones diferidas, se determinaron los costos sobre planeación del proyecto, la ingeniería del proyecto, supervisión e imprevistos. La inversión total quedó determinada por la suma de los activos fijos y los diferidos. Se determinó el capital de trabajo y los ingresos anuales por año en base a la proyección en el horizonte de evaluación del proyecto.

En la evaluación financiera del proyecto, se analizaron dos escenarios: a) sin financiamiento, es decir, que el inversionista costearía toda la inversión inicial y, b) con financiamiento del 50% de la inversión total a una tasa de interés del 25% anual. Se determinaron los estados de resultado de ambos casos, para establecer el flujo neto anual en el horizonte de tiempo y se aplicaron los criterios de evaluación, considerando el valor del dinero en el tiempo (VPN, TIR), para determinar la viabilidad financiera y la rentabilidad de ambos escenarios.

Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad para estudiar el efecto de los cambios siguientes:

- a) Aumento de los costos de producción del 10%, 20% y 30%.
- b) Disminución de los ingresos en un 10%, 20% y 30%.

Para cada una de estas propuestas, se generaron los respectivos estados

de resultados y se hicieron los cálculos de indicadores financieros para validar el impacto de esos cambios en la rentabilidad financiera del proyecto.

V. Estudio de Mercado de Viabilidad Comercial para la instalación de la Planta productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón

5.1. Definición del Producto

5.1.1. Nitrógeno

Descubierto en 1772 por Rutherford. Lavoisier lo denominó ázoe o azote (sin vida). Es obtenido por destilación fraccionada del aire. Constituye el 78% de la atmósfera terrestre; sin embargo, en su forma diatómica no puede ser utilizado por la mayor parte de las formas vivas existentes en el planeta. (Quintero & Fernández, 2010)

La tabla 29 del anexo 1 presenta las propiedades fisicoquímicas del nitrógeno. El número de Registro CAS para el nitrógeno es el 7727-37-9. El número UN para nitrógeno gaseoso (gas comprimido) es UN 1066 y para el líquido refrigerado es UN 1977 (Compressed Gas Association, 2022a).

5.1.1.1. Nitrógeno Medicinal

Nitrógeno medicinal es uno de los gases pertenecientes al grupo de *gases medicinales*. Este debe cumplir con los requerimientos y estándares establecidos por la USP 99. La monografía titulada “Nitrógeno” establece que el “nitrógeno contiene no menos que el 99% v/v, de N₂. También, la NF posee una monografía titulada “Nitrógeno 97%”, sin embargo, reconoce solo como nitrógeno a aquellos productos que cumplen las características mencionadas en la monografía “nitrógeno”. (U.S. Department of Health and Human Services, 2015)

En Nicaragua, el nitrógeno que se comercializa posee una concentración mayor al 99% v/v (Productos del Aire, 2016) y entre 99.995-99.999% v/v de N₂ (Gaspro Latinoamérica S.A., 2017)

5.1.1.2. Nitrógeno de uso industrial

En general, el nitrógeno de uso industrial es exactamente igual (en lo que a pureza se refiere) al producido para fines medicinales. Sin embargo, la concentración de este puede variar dependiendo de los requerimientos y especificaciones de los clientes según los usos del producto. Además, el envase de nitrógeno industrial tiene una leve diferencia frente al de uso medicinal, la cual será inferida en el acápite 5.1.4. que trata sobre el envase de estos productos (Linde, 2022).

5.1.2. Oxígeno

El oxígeno molecular es un compuesto químico diatómico que se compone de dos átomos de oxígeno. Es un compuesto fundamental para la vida, pues es necesario en todos los tejidos del organismo para permitir a las células generar energía.

Aunque fue descubierto por el farmacéutico Karl Wilhelm Scheele en 1771, su trabajo no obtuvo reconocimiento y tradicionalmente su descubrimiento ha sido atribuido a Joseph Priestley, quien lo descubrió de manera independiente en 1772. Sin embargo, el primero que publicó un trabajo sobre él y le dio nombre fue el químico francés Lavoisier. Poco después, Lavoisier explicó su papel en la respiración y Beodez introdujo el tratamiento con oxígeno en Inglaterra, publicando en 1794 *“Consideraciones sobre el uso medicinal y la producción de aires ficticios”*, obra que puede considerarse como el comienzo de la terapia por inhalación (Quintero & Fernández, 2010).

En la Tabla 30 se plasman las propiedades fisicoquímicas del oxígeno. El Número de Registro CAS del oxígeno es el 7782-44-7. El número UN para el oxígeno gaseoso es el UN 1072 y para el líquido refrigerado es el UN 1073 (Compressed Gas Association, 2022c).

5.1.2.1. Oxígeno Medicinal

Oxígeno Medicinal es un gas para inhalación que pertenece al grupo de medicamentos denominados *gases medicinales*. Dicho producto es administrado para aumentar sus niveles en la sangre y, como consecuencia, conseguir un mayor transporte de oxígeno a los tejidos y órganos del cuerpo. (Air Liquide, n.d.)

El oxígeno de uso medicinal debe tener una pureza de al menos 99.5%. (Quintero & Fernández, 2010)

5.1.2.2. Oxígeno de uso industrial

Al igual que en el caso del nitrógeno, el oxígeno para uso industrial más puro debe poseer al menos una pureza de 99.5%. Igualmente, se comercializan mezclas de oxígeno con otros gases según los requerimientos de los clientes y los diversos usos en el ámbito industrial.

5.1.3. Argón

La tabla 31 resume las propiedades fisicoquímicas de interés del argón. El número de Registro CAS del Argón es el 7440-37-1. El número UN para el argón gaseoso es el UN 1006, y para el argón líquido es el UN 1951 (Compressed Gas Association, 2022).

5.1.4. Envase y Etiqueta de los Productos

Los envases utilizados para transportar gases comprimidos son denominados cilindros, los cuales deben fabricarse bajo las normas DOT (Department of Transportation), el cual es el organismo que regula estos envases en Estados Unidos, o bien, bajo la norma ISO 3807 (en el caso de los cilindros de acetileno). Tal como indica el nombre, estos cilindros son llenados a alta presión, comprimiendo el gas en su espacio interior.

El cilindro debe ser de acero de calidad especial, fabricados sin uniones soldadas y tratados térmicamente para optimizar sus propiedades de resistencia y elasticidad. El espesor de la pared varía entre 5 y 8 mm, excepto en la base y el hombro, donde el espesor aumenta para hacer seguro el manejo y permitir el estampado de letras y números, así como los datos y valores establecidos por las normas (Gaspro Latinoamérica S.A., 2015).

La FDA, establece los siguientes colores de cilindros o botellas para gases puros y mezclas. La siguiente tabla resume la información encontrada en el informe sobre los Gases Medicinales Comprimidos.

Tabla 1: Colores de Cilindros para el envasado de Gases Medicinales según la FDA.

Gas	Color de Cilindro
Oxígeno USP	Verde
Dióxido de Carbono USP	Gris
Óxido Nitroso USP	Azul
Helio USP	Café
Nitrógeno NF	Negro
Dióxido de Carbono USP y Oxígeno USP	Gris y Verde
Helio USP y Oxígeno USP	Café y Verde
Aire Médico (Mezclas de Nitrógeno NF y Oxígeno USP que contiene entre 19.5 % a 23.5 % de Oxígeno)	Amarillo
Mezclas de Nitrógeno NF / Oxígeno USP diferentes a las descritas anteriormente	Verde y Negro

Fuente: (Food and Drug Administration, 2015)

En Nicaragua, el color del envase está definido de igual forma por las normas internacionales, salvo algunas excepciones como el nitrógeno y el aire que se comercializan en envase de colores diferentes a los estipulados por la FDA.

Son dos las empresas que encabezan el mercado de gases comprimidos en nuestro país (Productos del Aire y Gaspro); ambas comercializan tanto gases de

aplicación industrial, como para uso medicinal. La tabla 32 del anexo 1 detalla los colores de los cilindros según el gas que transportan, correspondientes a las dos empresas mencionadas anteriormente. En esta tabla, la imagen que observamos en la primera fila nos muestra el color de los cilindros utilizados por la empresa GASPRO, siendo los de la primera fila de uso industrial y los de la segunda fila de uso medicinal. Seguidamente, se presentan los colores de los cilindros utilizados por la empresa Productos del Aire para los determinados gases comprimidos.

La norma UNE EN ISO 1089-3 también establece colores determinados para los cilindros y ojivas de los cilindros de gases comprimidos. En las figuras 17 a la 20 del anexo 2, se puede visualizar los colores correspondientes según las propiedades del gas y el tipo de gas.

Las propiedades más importantes de las mezclas de gas determinan el color de la botella (o cilindro) en base a los requisitos del reglamento ADR de transporte de materias peligrosas. Así, por ejemplo, una mezcla compuesta por un 2% de hidrógeno en argón, es aún una mezcla inerte y, por lo tanto, el color de la ojiva/cilindro será verde claro. Pero, una mezcla del 5% de hidrógeno en argón es, por el contrario, una mezcla inflamable, por lo que el color de la ojiva o del cilindro será rojo. La misma regla se aplica a las mezclas de gases tóxicos, corrosivos y oxidantes (Messer Ibérica de Gases SA, 2021).

Cada cilindro debe ser etiquetado de una forma visible y estable, evitando cubrir el estampado del cilindro. La etiqueta debe ser colocada en el hombro y contiene el nombre del gas, su fórmula química, el nombre usual del producto en caso de mezclas, la identificación del fabricante del gas, su clasificación (oxidante, inflamable, no inflamable, tóxico, no tóxico, etc.), rombo de clasificación de riesgo y las recomendaciones básicas de seguridad. Para los termos y tanques, se identifica cada gas y su grado de pureza según la CGA en la etiqueta colocada en el cuerpo del tanque, en la cual se menciona el nombre del gas, código UN, rombo de seguridad, número de registro sanitario y precauciones principales para su manejo. En el caso de gases de uso medicinal, se agrega la palabra “medicinal” a la etiqueta y se le anexa una cruz en rojo (cruz de Ginebra), al igual que las etiquetas de los cilindros. (Gaspro Latinoamérica S.A., 2015). También, estos envases pueden ser termos, utilizados para almacenar mayor cantidad de gas. Estos son fabricados de acero inoxidable. Para poder observar los ejemplos de etiquetas utilizadas en envases de gases vea el anexo 2 de este documento.

5.2. Usos del Producto

El uso de gases obtenidos del aire abarca una variedad de sectores, tanto medicinales como industriales (industria metalúrgica, química, alimentaria, electrónica, farmacéutica y automotriz, entre otras). Estos gases se utilizan tanto en forma gaseosa como líquida y su versatilidad y propiedades físicas y químicas únicas los convierten en recursos valiosos para una amplia gama de procesos.

Los productos que se comercializarán en el mercado nacional son el oxígeno, el nitrógeno y el argón, por lo cual se describe los principales usos de estos gases.

5.2.1. Oxígeno

El oxígeno tiene numerosos usos en diferentes industrias y aplicaciones.

- 1) Medicina: El oxígeno se utiliza ampliamente en la medicina para el tratamiento de pacientes con problemas respiratorios. Se suministra a través de máscaras, cánulas nasales o ventiladores mecánicos para aumentar el suministro de oxígeno en los pulmones.
- 2) Soldadura y corte: El oxígeno se utiliza en procesos de soldadura y corte de metales. En combinación con un gas combustible, como el acetileno, se genera una llama de alta temperatura que permite fundir y unir metales.
- 3) Industria química: El oxígeno se utiliza en diversas reacciones químicas y procesos industriales, como la oxidación de sustancias orgánicas, la producción de ácido nítrico y la síntesis de compuestos orgánicos.
- 4) Tratamiento de aguas residuales: El oxígeno se utiliza en plantas de tratamiento de aguas residuales para estimular la actividad bacteriana y favorecer la descomposición de los contaminantes orgánicos presentes en el agua.
- 5) Industria del vidrio: En la fabricación de vidrio, el oxígeno se utiliza para proporcionar una atmósfera oxidante que ayuda a eliminar las impurezas y mejorar la calidad del producto final.
- 6) En su forma más pura, el oxígeno se usa en muchos químicos importantes como óxido de etileno y dióxido de titanio. También se utiliza para aumentar la capacidad de producción de los procesos de oxidación.
- 7) El oxígeno se utiliza extensamente en las refinerías para incrementar la capacidad de las plantas de craqueo catalítico fluido (FCC) y las unidades de recuperación de azufre (SRU).

5.2.2. Nitrógeno

El nitrógeno es un gas abundante en la atmósfera y su versatilidad lo convierte en un elemento clave en numerosas aplicaciones industriales y científicas.

- 1) Medicina: El nitrógeno desempeña un papel importante en diferentes procedimientos médicos y terapias, aprovechando sus características criogénicas y propiedades inertes.

- 2) Industria alimentaria: El nitrógeno se utiliza en la industria alimentaria para el almacenamiento y envasado de alimentos. Al reemplazar el oxígeno en los envases, se previene la oxidación y el deterioro de los productos, prolongando su vida útil.
- 3) Industria química: El nitrógeno se utiliza en la fabricación de productos químicos, como fertilizantes, amoníaco, ácido nítrico y explosivos. También se utiliza como gas inerte en procesos de purga y protección de materiales y reacciones químicas sensibles al oxígeno.
- 4) Industria electrónica: El nitrógeno se utiliza en la producción de dispositivos electrónicos, como semiconductores y circuitos integrados. Se utiliza en procesos de purga y enfriamiento para prevenir la oxidación y garantizar condiciones libres de humedad.
- 5) Criogenia: El nitrógeno líquido se utiliza en aplicaciones criogénicas, como la conservación de tejidos, la refrigeración de muestras biológicas y la congelación de alimentos.
- 6) Industria metalúrgica: El nitrógeno se utiliza en procesos de tratamiento térmico de metales para mejorar sus propiedades físicas, como la dureza y resistencia. También se utiliza en la producción de acero inoxidable y en la protección de metales sensibles a la oxidación durante el procesamiento.

5.2.3. Argón

El argón, que es un gas noble y el tercer gas más abundante en la atmósfera terrestre, tiene varios usos y aplicaciones en diversas industrias y campos.

- 1) Soldadura: El argón se utiliza comúnmente como gas de protección en la soldadura por arco. Ayuda a prevenir la oxidación y la contaminación del metal fundido, creando un ambiente inerte alrededor del área de soldadura.
- 2) Industria electrónica: El argón se utiliza en la fabricación de dispositivos electrónicos, especialmente en la producción de lámparas de descarga, como las utilizadas en pantallas de televisores de plasma, lámparas de halogenuros metálicos y lámparas de sodio de alta presión.
- 3) Industria metalúrgica: El argón se utiliza en procesos de enfriamiento y solidificación de metales, como en la fabricación de acero inoxidable y titanio, donde se emplea para evitar la oxidación y lograr una mayor resistencia y calidad del metal.
- 4) Industria química: El argón se utiliza como gas inerte en reacciones químicas y procesos industriales que requieren un ambiente libre de

oxígeno y humedad. Además, se utiliza en la producción de silicio y germanio para la fabricación de semiconductores.

- 5) Investigación científica: El argón se utiliza en experimentos científicos, especialmente en física de partículas y en la detección de radiación. También se utiliza en espectrometría de masas y en la cromatografía de gases.
- 6) Conservación y almacenamiento de alimentos: El argón se utiliza en la industria alimentaria para preservar alimentos sensibles al oxígeno y para evitar la proliferación de microorganismos. Se emplea para reemplazar el aire en envases sellados, prolongando así la vida útil de los alimentos.
- 7) Industria de la iluminación: El argón se utiliza en la fabricación de bombillas incandescentes, proporcionando un ambiente inerte dentro de la lámpara y ayudando a prolongar la vida útil del filamento.

5.3. Área Geográfica

Nicaragua es un país con una ubicación geográfica estratégica en América Central. Limita al norte con Honduras y al sur con Costa Rica, y tiene acceso tanto al océano Pacífico como al mar Caribe. Esta posición geográfica favorece la conectividad con otros países de la región y brinda oportunidades para el comercio y la expansión empresarial.

El mercado potencial para una planta de obtención de oxígeno en Nicaragua es prometedor por varias razones. A continuación, se destacan algunos aspectos relevantes:

- ✓ Demanda de oxígeno medicinal: Nicaragua cuenta con un sistema de salud en crecimiento y una demanda creciente de servicios médicos. La obtención de oxígeno medicinal a partir del aire atmosférico podría satisfacer la necesidad de suministro constante y confiable de oxígeno para hospitales, clínicas y centros de salud en todo el país.
- ✓ Empresas de índole manufacturera e industrial en expansión: Nicaragua ha experimentado un crecimiento significativo en su sector industrial en los últimos años. La disponibilidad de oxígeno para uso industrial sería vital para diversas aplicaciones, como soldadura, corte de metales, fabricación y procesamiento de productos químicos, entre otros.
- ✓ Disponibilidad de recursos naturales: Nicaragua cuenta con una gran diversidad de recursos naturales, incluyendo aire limpio y abundante. La obtención de oxígeno a partir del aire atmosférico sería viable y sostenible en este entorno.

- ✓ Estabilidad política y económica: Nicaragua ha logrado mantener una relativa estabilidad política y económica en los últimos años. Esto brinda un entorno favorable para la inversión y el crecimiento empresarial, lo que facilitaría la creación y el desarrollo de una planta de obtención de oxígeno.
- ✓ Infraestructura y logística: Nicaragua cuenta con una red de infraestructura en desarrollo, que incluye carreteras, puertos y aeropuertos. Estas infraestructuras facilitan el transporte y la distribución de productos, permitiendo el suministro de oxígeno a diferentes regiones del país de manera eficiente.
- ✓ Creciente conciencia de la salud y el medio ambiente: En Nicaragua, al igual que en muchas partes del mundo, existe una creciente conciencia sobre la importancia de la salud y la protección del medio ambiente. La obtención de oxígeno a partir del aire atmosférico se alinea con estas preocupaciones, ya que reduce la dependencia de fuentes no renovables y minimiza el impacto ambiental.

5.4. Principales Consumidores

Los potenciales consumidores de gases medicinales e industriales pueden ser diversos y dependen de los diferentes tipos de gases en cuestión.

- **Oxígeno:**

Los potenciales consumidores para el oxígeno medicinal o industrial se pueden describir de la siguiente manera:

- Uso medicinal:
 - Hospitales y clínicas: Los principales consumidores de oxígeno medicinal son los hospitales, clínicas y centros de atención médica en general. Utilizan oxígeno para el tratamiento de pacientes con enfermedades respiratorias, trastornos cardíacos y otras afecciones médicas que requieren terapia de oxígeno.
 - Pacientes en el hogar: Personas que requieren terapia de oxígeno en sus hogares debido a enfermedades crónicas o afecciones respiratorias, como enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), fibrosis quística o apnea del sueño.
- Uso industrial:

- **Industria manufacturera:** Diversas industrias utilizan oxígeno en sus procesos de fabricación, como la industria metalúrgica, la industria química y la industria del vidrio. El oxígeno se utiliza en procesos de combustión, oxidación, soldadura y corte de metales, así como en la producción de químicos y vidrio.
- **Tratamiento de aguas residuales:** Las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden utilizar oxígeno en sus procesos de aireación, donde se requiere oxígeno para promover la descomposición de materia orgánica y el crecimiento bacteriano beneficioso.
- **Acuicultura:** En la acuicultura, el oxígeno se utiliza en sistemas de cultivo de peces y mariscos para mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto en el agua, lo cual es vital para la vida y el crecimiento de los organismos acuáticos.

Los consumidores de oxígeno medicinal pueden variar desde hospitales grandes que requieren grandes cantidades de oxígeno diariamente, hasta pacientes individuales que necesitan suministros más pequeños para uso domiciliario. En el caso del uso industrial, la escala de consumo dependerá de la naturaleza y tamaño de la empresa y sus procesos productivos.

• **Nitrógeno**

Los principales consumidores de nitrógeno medicinal son los hospitales y clínicas. El nitrógeno se utiliza en aplicaciones médicas como crioterapia, donde se utiliza para congelar y destruir tejidos anormales, y en terapia de oxígeno hiperbárico, donde se suministra en cámaras de presión para tratar enfermedades y heridas específicas. Para su uso industrial los principales consumidores serán las grandes, medianas y pequeñas empresas pertenecientes a la industria alimentaria, industria electrónica e industria química, además el nitrógeno también se utiliza en aplicaciones de purga y prevención de incendios en tanques de almacenamiento de combustibles y en la producción de productos farmacéuticos, productos químicos y plásticos.

• **Argón:**

Al igual que el oxígeno y el nitrógeno, los potenciales consumidores serán las grandes, medianas y pequeñas empresas pertenecientes a industria de la soldadura, industria de la metalurgia o a la investigación científica. El consumo de argón puede variar según la industria y el tamaño de la empresa. Algunos consumidores pueden requerir grandes volúmenes de argón para operaciones continuas, mientras que otros pueden necesitar cantidades más pequeñas y menos frecuentes.

5.5. Normas Reguladoras de la Calidad del Producto

5.5.1. Farmacopeas

La Farmacopea es un marco de referencia común aplicable en la industria farmacéutica. Históricamente, es un conjunto de normas sobre el control de calidad de los medicamentos. (Air Liquide, 2018)

Son códigos oficiales que abarcan una recopilación de procedimientos para el análisis y determinación de sustancias farmacéuticas, que sirven como un componente de referencia para que cualquier Estado Miembro de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se adapte a los requisitos farmacéuticos (Cabrera & Maldonado, 2022). Estas establecen el material, sus propiedades fisicoquímicas y las pruebas de identificación y control de calidad a realizar, con los criterios de aceptación correspondientes, para todos los insumos que puedan utilizarse en la composición de un medicamento (materias primas, preparados, recipientes, etc.) con fines de salud pública (Air Liquide, 2018). Existen diferentes farmacopeas vigentes a nivel internacional.

- ✓ La **Farmacopea Europea** cuyo objetivo es garantizar la uniformidad de las normas específicas oficiales en el territorio europeo para asegurar la calidad de los productos farmacéuticos.
- ✓ La **Real Farmacopea Española**.
- ✓ La **Farmacopea Francesa**, que incluye un listado de monografías adicionales a las de la farmacopea europea.
- ✓ La **Farmacopea de Estados Unidos**.
- ✓ La **Farmacopea Japonesa**.
- ✓ Y, la más antigua, la **Farmacopea China**, que se basa en la medicina china tradicional.

Se considera que el gas medicinal tiene calidad de medicamento, si no supera los límites de impurezas marcados por la farmacopea, y es analizado según el método que ésta determina (Quintero & Fernández, 2010). En la tabla 33 del anexo 1 se especifican los valores máximos permitidos de impurezas y los distintos métodos analíticos a utilizar para los análisis.

La Farmacopea Americana USP 29 / NF 24 menciona:

“El oxígeno que se produce por destilación criogénica (licuefacción del aire) debe consolidar una pureza no menor al 99%. El oxígeno producido a través de este proceso está exento de los requerimientos de pruebas para dióxido de carbono y monóxido de carbono.” (Kahkashan, 2016b)

Sin embargo, aquel producido por PSA (Pressure Swing Absorption) debe tener una pureza no menor al 90% y no mayor al 96% V/V y el remanente de nitrógeno y argón, y análisis de impurezas que sea tolerable para el organismo, ya que no

puede pasar un máximo de 300 ppm de CO₂ y 10 ppm de CO.” (Cabrera & Maldonado, 2022; Kahkashan, 2016c)

Sobre el nitrógeno, la USP29 infiere que:

“El nitrógeno debe ser de pureza no menor al 99% V/V.” (Kahkashan, 2016a)

También, sobre el nitrógeno 97:

“Nitrógeno al 97% es nitrógeno producido por un método físico de separación de aire. Este contiene una pureza no menor al 97% V/V, de N₂.” (Kahkashan, 2017)

La Farmacopea Europea EP / 7th Ed. Establece:

“El oxígeno que se produce es al 93% en una sola etapa utilizando zeolitas; además debe cumplir con los siguientes requisitos: Dióxido de Carbono CO₂ máx. 300 ppm, monóxido de carbono (CO) máx. 5 ppm, monóxido de nitrógeno (NO) máx. 2 ppm, Dióxido de azufre (SO₂) máx. 1 ppm, aceite y humedad.” (Cabrera & Maldonado, 2022)

5.5.2. Normas de Correcta Fabricación de la Unión Europea (NCF)

Las NCF se definen como “la parte de la garantía de calidad que asegura que los medicamentos son elaborados y controlados de acuerdo con las normas de calidad apropiadas para el uso al que están destinados.” (Comisión Europea - Directiva General de Salud y Consumidores, 2010)

Para más información, puede visitar el enlace oficial de la Comisión Europea De Salud Pública: https://health.ec.europa.eu/medicinal-products/eudralex/eudralex-volume-4_en.

5.5.3. Otras Normas Internacionales Relacionadas

5.5.3.1. ISO 7396-1:2016

Esta norma específica los requisitos para el diseño, la instalación, el funcionamiento, las prestaciones, la documentación, el ensayo y la puesta en servicio de los sistemas de canalización para gases medicinales comprimidos, gases para accionamiento de herramientas quirúrgicas y de vacío en instalaciones sanitarias para asegurar el suministro continuo del gas correcto y la provisión de vacío desde el sistema de canalización. Incluye los requisitos para los sistemas de suministro, los sistemas de distribución canalizada, los sistemas de control, los sistemas de supervisión y alarma y para la no intercambiabilidad entre los componentes de sistemas de gases diferentes (ISO, 2016; Quintero & Fernández, 2010)

5.5.3.2. NFPA 99

Es un documento dentro de la familia de códigos y normas de la NFPA, el cual se aplica a todas las instalaciones de atención médica. En él se comprenden los requisitos relacionados con la seguridad contra incendios. Establece los estándares que deben cumplir los establecimientos de cuidados de la salud basado en los riesgos de incendio o explosiones a los que están expuestos los pacientes, personal médico o visitantes. (Argüello, 2020)

5.5.3.3. Buenas Prácticas de Manufactura para Gases Medicinales de la FDA

Esta guía está destinada para ayudar a los fabricantes de gases medicinales a cumplir con las normas de buenas prácticas de manufactura (GMP) aplicables a los procesos e instalaciones de esta índole. El cumplimiento de estos requisitos de GMP ayuda a garantizar la seguridad, identidad, potencia, calidad y pureza de los gases medicinales. El término “buena práctica de manufactura” incluye la implementación de supervisión y controles sobre la fabricación de medicamentos para garantizar la calidad, incluida la gestión del riesgo y el establecimiento de la seguridad en materias primas, materiales usados en la elaboración de los medicamentos y productos farmacéuticos terminados. No están incluidos como “gases medicinales” aquellos con aplicaciones industriales o los utilizados como gas de calibración de equipos (Center for Drug Evaluation and Research, 2017).

5.6. Análisis del Mercado

5.6.1. Análisis de la Oferta

5.6.1.1. Análisis de la Oferta actual

5.6.1.1.1. Análisis de la Oferta Actual de Oxígeno Medicinal

En el caso del oxígeno medicinal, tanto el MINSA y el INSS cuentan con plantas productoras en algunas unidades hospitalarias, con el fin de satisfacer parcialmente la demanda de Oxígeno medicinal de estos centros que brindan servicios hospitalarios a los aproximadamente 800,000 nicaragüenses que están suscritos al seguro social (INSS, 2021) y a la población en general. El proceso que utilizan para producir oxígeno medicinal es el de Adsorción con Cambio de Presión (PSA, por sus siglas en inglés).

Tabla 2: Producción de O₂ con Equipos PSA en Unidades Hospitalarias.

No.	Unidad Hospitalaria	Institución/Dependencia	Capacidad de Producción con PSA, m ³ /día	Fecha de Proyección
1	Hosp. Militar Alejandro Dávila B.	Ejército de Nicaragua	2,716.0	2012
2	Hosp. SERMESA Granada	INSS	342.0	2008
3	Hosp. SERMESA Masaya	INSS	342.0	2008
4	Hosp. SERMESA Bolonia	INSS	600.0	2008
5	Hosp. SERMESA León	INSS	342.0	2008
6	PGO Xiloá (FARCOSA)	INSS	6,000.0	2021-2022
7	Hosp. Fernando Vélez Páiz (Mga)	MINSA	2,262.0	2014
8	Hosp. Óscar D. Rosales (León)	MINSA	7,452.0	2023
9	Hosp. Luis Felipe Moncada (Nva. Segovia)	MINSA	2,250.0	2023
10	Hosp. Nuevo Amanecer (Bilwi)	MINSA	2,250.0	2023
11	Hosp. Lenin Fonseca (Mga)	MINSA	2,200.0	2021-2022
TOTAL (m ³ /día)			26,756.0	

Fuente: MINSA, 2023; INSS, 2021

A partir de los datos de la tabla anterior (Tabla 2), se pudo calcular la producción correspondiente a los años 2019-2022, asumiendo que la planta se aprovecha en un 100%, es decir, que trabaja a su máxima capacidad, y esa producción es constante los 365 días del año. Los resultados de esta operación se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Producción Histórica de Oxígeno Medicinal en plantas PSA.

Año	Producción, m ³ /día	Producción Anual (x 365 días), m ³ /año
2019	6,604.0	2,410,460.0
2020	6,604.0	2,410,460.0

2021	6,604.0	2,410,460.0
2022	14,804.0	5,403,460.0
2023	14,804.0	5,403,460.0

Fuente: Elaboración Propia

Según la Tabla. 3, la oferta para el año en curso se prevé que sea de un total de 5, 403,460 m³ de oxígeno medicinal, producido siempre con el fin de satisfacer un porcentaje de la demanda en las unidades hospitalarias donde estas plantas están instaladas.

5.6.1.1.2. Análisis de la Oferta Actual de Nitrógeno y Argón

Nicaragua no cuenta con plantas productoras de nitrógeno y argón de ninguna índole (ya sea por PSA, destilación o por intercambio de membrana); por lo tanto, la oferta, que está representada por la producción nacional, es equivalente a cero. De esta situación es que surge la necesidad de importar estos gases de otros países en donde sí se producen

5.6.1.2. **Análisis de la Oferta Futura**

5.6.1.2.1. Análisis de la Oferta Futura de Oxígeno Medicinal

Actualmente, la oferta de oxígeno medicinal a nivel nacional está determinada por la producción de las plantas PSA instaladas en los hospitales de referencia del país, y por la brindada por las 2 empresas que tienen presencia en el país (Productos del Aire y Gaspro). De igual manera, la oferta futura estará determinada de gran manera por esta condición, por lo tanto, hablamos de una oferta de tipo oligopólica.

La proyección futura de la oferta de oxígeno medicinal se realizó utilizando los datos de la Tabla 3.

Se realizó un análisis de regresión lineal en Excel, para determinar la ecuación de ajuste, y poder proyectar la producción de oxígeno medicinal. La Figura 1 muestra los datos de la recta de ajuste.

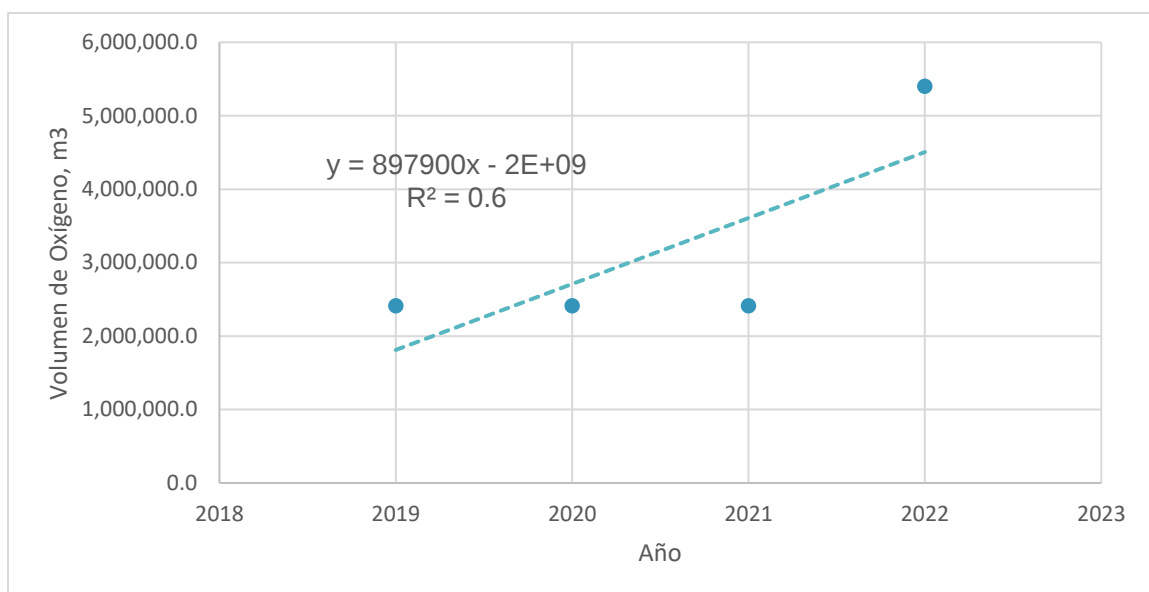


Figura 1: Recta de ajuste para la Proyección de la Oferta de Oxígeno Medicinal.

Los coeficientes correspondientes a la ecuación que Excel brindó a partir del análisis de regresión son los siguientes:

Tabla 4: Datos correspondientes a la Ecuación de Ajuste para la Proyección de la Oferta de Oxígeno Medicinal.

	Coeficientes
Intercepción	-1811048240
Variable X1	897900

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos para la proyección de la producción (oferta) de oxígeno medicinal se pueden observar en Tabla 4. La proyección de la oferta de Oxígeno se infiere en la tabla 34 del anexo 1.

En el caso del Nitrógeno y el Argón, no es posible realizar una proyección de oferta, puesto que estos no están siendo producidos en el país.

5.6.2. Análisis de la Demanda

La demanda de oxígeno, nitrógeno y argón, en relación con la oportunidad, se cataloga como insatisfecha, ya que no se logra cubrir en un 100% la demanda del producto, puesto que la misma es función de la tasa de crecimiento de la población y del tiempo y debido a que en el país no existe una planta dedicada a la

producción de estos gases. Solamente existen empresas encargadas del envasado del producto proveniente de importaciones de sus asociados internacionales y su distribución. En relación con su necesidad, esta demanda se considera una de bienes social y nacionalmente necesarios, ya que se trata de productos de primera necesidad. En términos de su temporalidad, se trata de una demanda de tipo cíclica o estacional, ya que solo se ve afectada por circunstancias comerciales, como el aumento en la demanda de oxígeno provocado por la pandemia del Covid-19 en 2020.

Para analizar la demanda, se calculó la demanda aparente o consumo aparente, que relaciona la producción, importación y exportación de los gases de interés. Los datos utilizados se obtuvieron de la Ventanilla Única de Comercio Exterior de Nicaragua (VUCEN), que centraliza los trámites relacionados con permisos pres aduanales de importación, documentos de exportación VUCEN, trámites portuarios y otros documentos necesarios para la exportación e importación.

Para obtener el consumo aparente de los gases de interés se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo Aparente} = \text{Producción} + \text{Importación} - \text{Exportación} \quad \text{ec. 1}$$

En la Tabla 5 se muestran los datos de importaciones correspondientes a los años comprendidos entre 2019 y 2022.

Tabla 5: Importaciones de Gases en el período 2019-2022.

Importaciones de Gases del 2019 - 2022			
Año	Oxígeno, m ³	Nitrógeno, m ³	Argón, m ³
2019	2,537,928.62	340,648.04	60,187.47
2020	3,900,837.23	339,971.86	24,519.74
2021	7,154,707.53	294,401.35	26,289.39
2022	3,893,496.88	501,832.49	31,248.23

Fuente: Elaboración propia.

Las tres principales empresas encargadas de proveer el producto de interés en el mercado nicaragüense son responsables de llevar a cabo estas importaciones, y es importante señalar que todo el producto importado se consume por completo.

Estas tres empresas importadoras de gases industriales y medicinales son: **Productos del Aire**; la cual encabeza la lista de importadores de gases industriales y medicinales, en lo que respecta a cantidad, y es la que tiene más años de presencia en el territorio nacional, seguida por **Gaspro**, que inició sus operaciones en el país en el año 2016, y **Trigas**.

Cada una de estas empresas cuentan con centros de envasado, almacenamiento y distribución de gases industriales y medicinales, los cuales se encuentran distribuidos a lo largo del territorio nacional. Cabe destacar que, actualmente, solamente la empresa Gaspro cuenta con un centro de producción dentro del país, (inaugurado en el mes de mayo); las demás importan los gases desde el país donde se ubican los centros de producción (Guatemala, Bélgica, Costa Rica, Estados Unidos, México, Colombia, entre otros).

Tabla 6: Empresas distribuidoras de Gases Industriales y Medicinales.

Empresa	Localización del Centro Distribución
Productos del Aire	Managua, Chinandega, Masaya y Estelí
Gaspro	Managua y Chinandega
Trigas	Managua

Fuente: Elaboración Propia

El mercado de gases industriales y medicinales es considerado de tipo oligopólico, y en el cual, los precios de los productos dependen mucho de las disposiciones de aquel que tiene mayor influencia dentro del mercado, por lo tanto, esta puede ser considerada un tipo de competencia con altos riesgos o desventajas para cualquiera que desee cubrir parte de la demanda. A pesar de esta situación, el mercado de gases medicinales sigue una tendencia de aumento según son las necesidades de la población creciente. De igual forma, el desarrollo industrial a nivel mundial permite suponer un aumento en la necesidad de gases de uso industrial.

5.6.2.1. Análisis de la demanda actual y futura de Oxígeno

El oxígeno es el gas más demandado en el mercado nacional, ya sea para aplicaciones medicinales o industriales. Esto implica que cada año se realicen importantes importaciones de este producto. Aunque es cierto que algunos hospitales cuentan con pequeñas plantas de producción para abastecer sus necesidades internas, estas instalaciones no disponen de la capacidad suficiente para satisfacer la demanda total.

En la tabla siguiente se presenta el cálculo del consumo nacional aparente de oxígeno. Los datos de importación se proporcionaron al comienzo de esta sección, mientras que los datos de producción se describieron en el apartado de la oferta. Cabe señalar que no se registra ninguna exportación de este producto, ya que el país carece de una planta de producción a gran escala para fines de exportación.

Tabla 7: Consumo Nacional Aparente de Oxígeno.

Cálculo del C.N.A de Oxígeno				
Año	Producción, m ³	Importación, m ³	Exportación, m ³	C.N.A, m ³
2019	2,410,460	2,537,928.62	0	4,948,388.62
2020	2,410,460	3,900,837.23	0	6,311,297.23
2021	2,410,460	7,154,707.53	0	9,565,167.53
2022	5,403,460	3,893,496.88	0	9,296,956.88

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de consumo nacional aparente para el período 2019 – 2022 se elaboró una gráfica que sirvió como punto de partida para llevar a cabo un análisis de regresión y determinar la ecuación de ajuste que permitiera estimar los valores de la demanda actual y futura del oxígeno.

En la figura siguiente se muestra la ecuación de ajuste obtenida para la proyección de la demanda:

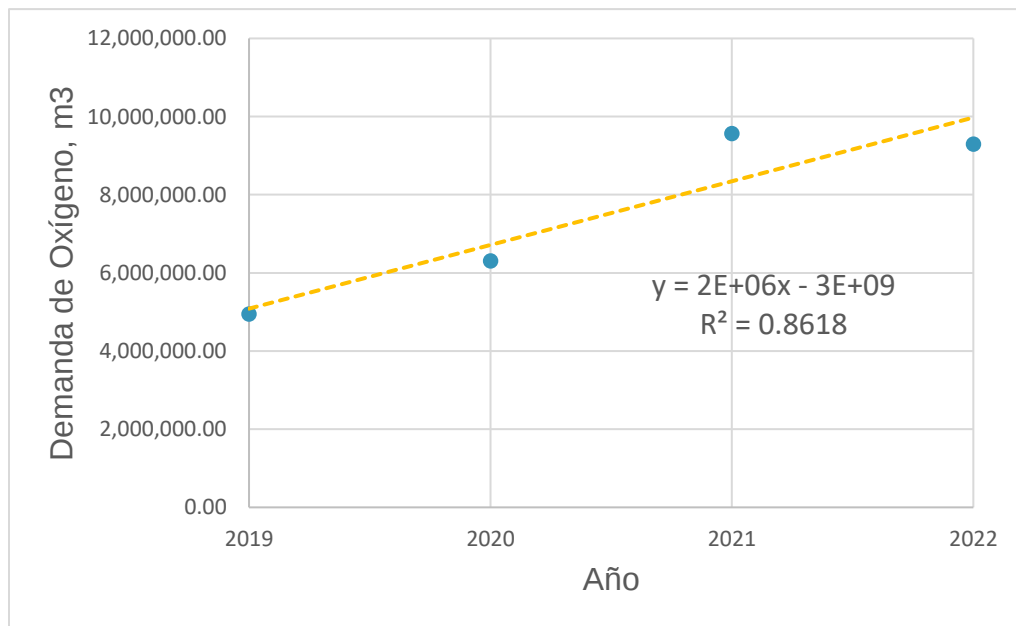


Figura 2: Recta de Ajuste para la proyección de la Demanda de Oxígeno a nivel Nacional.

En la tabla se muestran los datos de la ecuación de regresión lineal:

Tabla 8: Datos correspondientes a la Ecuación de ajuste de la Demanda de Oxígeno en Nicaragua.

	Coeficientes
Intercepción	-3,285,798,692
Variable X 1	1,629,957.508

Fuente: Elaboración propia.

Siendo la ecuación obtenida:

$$y = 1,629,957.508x - 3,285,798,692 \quad \text{ec. 2}$$

Con un $R^2 = 0.8618$, por lo que con la ecuación de regresión obtenida se procedió a obtener el valor de la demanda actual de oxígeno, así como también la proyección de la demanda futura de oxígeno al año 2043. Los datos de las proyecciones son presentados en la tabla 35.

5.6.2.2. Análisis de la demanda actual y futura de Nitrógeno

El nitrógeno, al igual que el oxígeno, desempeña un papel de suma importancia en el mercado nacional. No obstante, Nicaragua no cuenta con instalaciones para la producción de nitrógeno, por lo que la demanda de este producto satisface mediante las importaciones realizadas por las empresas responsables de su distribución. En consecuencia, el consumo nacional aparente se corresponderá directamente con las importaciones durante el período de estudio.

Tabla 9: Consumo Nacional Aparente de Nitrógeno.

Cálculo del C.N.A de Nitrógeno				
Año	Producción, m³	Importación, m³	Exportación, m³	C.N.A, m³
2019	0	340,648.04	0	340,648.04
2020	0	339,971.86	0	339,971.86
2021	0	294,401.35	0	294,401.35
2022	0	501,832.49	0	501,832.49

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó un análisis de regresión lineal utilizando los datos recopilados sobre el consumo nacional aparente de nitrógeno entre 2019 y 2022. A partir de este análisis, se obtuvo una ecuación algebraica que se empleó para proyectar la disponibilidad de nitrógeno en momentos específicos. Es esencial destacar que

este análisis se limitó a los años 2019, 2020 y 2021, debido a un aumento significativo en el consumo aparente durante 2022, ocasionado por factores externos. La figura 3 muestra la ecuación de ajuste utilizada para establecer la ecuación de regresión lineal que modela la demanda de nitrógeno.

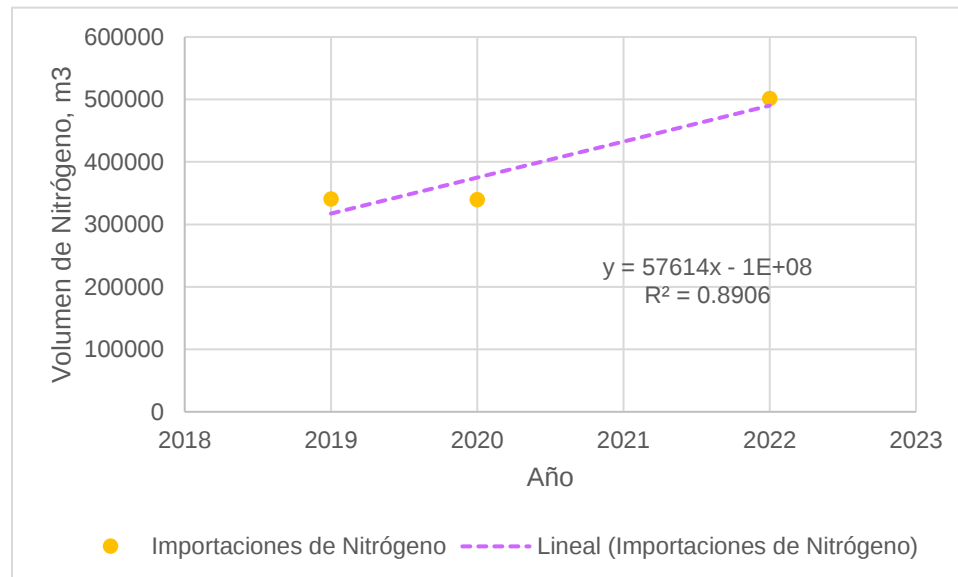


Figura 3: Recta de ajuste para la Proyección de la Demanda de Nitrógeno a nivel Nacional.

En la tabla 10 se muestran los datos de la ecuación de regresión lineal:

Tabla 10: Datos de la Ecuación de Regresión Lineal para la Demanda de Nitrógeno.

	Coeficientes
Intercepción	-116005685.1
Variable X 1	57614.17382

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación obtenida es la siguiente:

$$y = 57614.17382x - 116005685.1 \quad \text{ec. 3}$$

Esta ecuación tiene un coeficiente de determinación (R^2) de 0.8906. Basándonos en esta ecuación, se determinó el valor de la demanda actual de nitrógeno. Posteriormente se proyectó la demanda del producto al año 2043. Los resultados de estas proyecciones se detallan en la tabla 36.

5.6.2.3. Análisis de la demanda de Argón

El consumo nacional aparente de argón, al igual que la del nitrógeno, se basa únicamente en los datos de importación, ya que no se registra producción ni exportación de este gas en nuestro país.

Tabla 11: Consumo Nacional Aparente de Argón.

Cálculo del C.N.A de Argón				
Año	Producción, m ³	Importación, m ³	Exportación, m ³	C.N.A, m ³
2019	0	60,187.47	0	60,187.47
2020	0	24,519.74	0	24,519.74
2021	0	26,289.39	0	26,289.39
2022	0	31,248.23	0	31,248.23

Fuente: Elaboración Propia

La proyección de la demanda futura de argón se llevó a cabo siguiendo un proceso análogo al empleado para el oxígeno y nitrógeno. Un análisis de regresión lineal se erigió como la metodología primordial, haciendo uso de los datos acopiados referentes al consumo aparente de argón en el intervalo comprendido entre 2019 y 2022. A partir de esta diligencia, se forjó una ecuación algebraica que fungió como instrumento para anticipar la disponibilidad de argón en momentos específicos. Cabe subrayar que este análisis se circunscribió únicamente a los años 2020, 2021 y 2022, motivado por el repunte ostensible de las importaciones de 2019, como respuesta a factores externos. La figura 4 se adscribe como la representación gráfica que ilustra la recta de ajuste empleada para obtener la ecuación de regresión lineal que rige la dinámica de la demanda de argón.

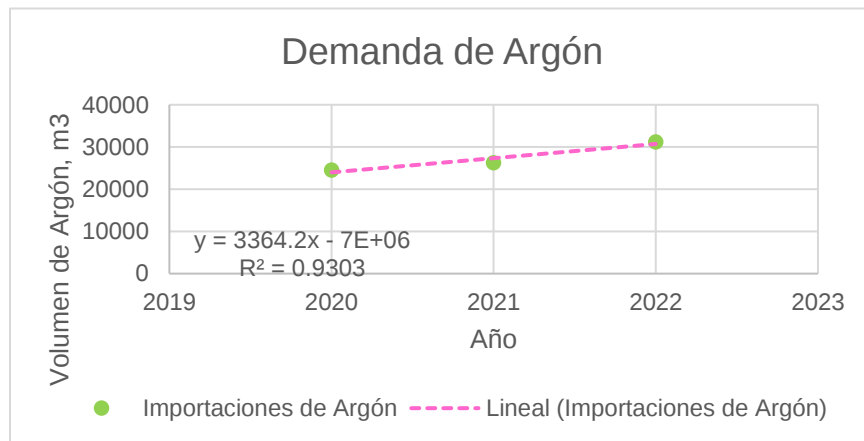


Figura 4: Recta de Ajuste para determinar la ecuación de Regresión Lineal de Demanda de Argón.

En la tabla 12 se presentan los datos derivados de la ecuación de regresión lineal:

Tabla 12: Datos de la Ecuación de Regresión Lineal para la Demanda de Argón.

	<i>Coefficientes</i>
Intercepción	-6771791.532
Variable X 1	3364.247395

Fuente: Elaboración propia.

La expresión algebraica es la siguiente:

$$y = 3364.247395x - 6771791.532 \quad \text{ec. 4}$$

La ecuación mencionada anteriormente ostenta un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9303. Con esta ecuación como base, se determinó el valor de la demanda actual de argón y se procedió a efectuar una proyección de la disponibilidad de argón con vistas al año 2043. Los resultados de estas proyecciones se encuentran minuciosamente detallados en la Tabla 37.

5.6.3. Determinación de la Demanda Potencial Insatisfecha

La Demanda Potencial Insatisfecha, según Baca Urbina, 2016, se puede obtener por simple diferencia, año con año, del balance oferta-demanda. De aquí, se deriva la fórmula siguiente, la cual fue utilizada en Excel para calcular la demanda potencial insatisfecha (DPI) actual y futura de cada gas de interés.

$$\text{Demanda Potencial Insatisfecha (DPI)} = \text{Demanda} - \text{Oferta} \quad \text{ec. 5}$$

Es importante mencionar que la demanda que se utilizó para estos cálculos fue la demanda aparente (o también, consumo aparente), cuyos resultados se presentan en las Tablas No. 35, 36 y 37. Las tablas a continuación resumen los resultados de la demanda potencial insatisfecha para los gases de interés de este estudio.

Algunos autores recomiendan satisfacer un porcentaje de la Demanda Potencial Insatisfecha. Baca Urbina, recomienda cubrir como máximo, el 10% de la Demanda insatisfecha, con la finalidad de minimizar los riesgos que corre el inversionista al incursionar en el mercado y poner a disposición un nuevo producto o servicio.

En este caso, el oxígeno constituye el producto principal y de mayor interés para este estudio. Por lo tanto, los cálculos se realizarán tomando como base que se

quiere satisfacer un 50% de la DPI de oxígeno. Sin embargo, en el proceso productivo se obtiene colateralmente, como productos secundarios, nitrógeno y argón, cuyas cantidades estarán determinadas por la producción anual del producto principal, oxígeno y se verán reflejadas posteriormente en los balances de materia que serán realizados en otra etapa de este documento.

La selección de este porcentaje se debe a que, a nivel mundial, solamente existen 2 empresas que ofertan plantas prefabricadas de esta índole: Air Liquide y Linde. Y las plantas que ponen a disposición son plantas de gran capacidad, es decir que, si solamente se quisiera satisfacer el 10% de la DPI, cualquiera de las plantas ofertadas estaría sobredimensionada. Por lo tanto, se determinó satisfacer el 50% de la DPI para que pudiera lograrse una producción acorde a las dimensiones de la planta ofertada.

En la tabla 38 se reportan los resultados del 50% de la DPI de Oxígeno, que al final determina la oferta o producción de oxígeno y, de igual forma, la de Nitrógeno y Argón proyectada para el horizonte de tiempo 2023-2044 (tablas 39, 40 y 41 del anexo 1).

5.7. Análisis de Precios del Producto en el Mercado de Interés

Para el análisis y la determinación del precio de venta de los productos que se quieren ofertar, se debe tomar en cuenta diversos aspectos que son muy importantes para posicionar a la empresa en el mercado y permanecer en él. Estos aspectos son:

- ✓ Los costos de producción, administración y ventas, más una ganancia.
- ✓ La demanda potencial del producto y las condiciones económicas del país.
- ✓ La reacción de la competencia ante una nueva empresa que oferte productos semejantes.
- ✓ La estrategia de mercadeo.
- ✓ La tasa de inflación.

Analizar los precios del producto en el mercado y proyectarlos es un procedimiento importante para poder realizar el estado de resultado de años futuros. Sin embargo, aunque se deben tomar en cuenta todos los aspectos anteriores, Baca Urbina, 2016, señala que no es correcto usar un método de ajuste para proyectar los precios, ya que este depende mucho de situaciones inesperadas en cada país. La única alternativa viable es hacer variar los precios conforme a la tasa de inflación esperada para los años de estudio; así, se logra un ajuste más a la realidad que lo que haría un método estadístico rígido de ajuste.

Por otro lado, en el caso de Nicaragua, los precios de los gases industriales y medicinales dependen de lo establecido por la empresa con mayor presencia en el sector; por lo tanto, a partir de estos dos aspectos, se realizó la determinación de los precios de venta para los productos de interés. (Calvo et al., 2023) Para el

año 2022, los precios promedio de venta a nivel nacional de los productos Oxígeno, Nitrógeno y Argón se presentan en la tabla 13. Dichos precios dependen de la presentación del producto (tamaño de cilindro o bien, despacho a granel).

Tabla 13: Precios de Venta de los Productos Envasados en Diferentes Presentaciones y a Granel para el año 2022-2023.

Tipo de Envase	Precio del Oxígeno, USD	Precio del Nitrógeno, USD	Precio del Argón*, USD
T-110	19.59	17.88	
T-220	30.52	27.67	113.82
T-80	11.25	12.31	
T-D	4.83	4.58	
T-E	6.49	5.97	
Líquido a granel, litro	3.93	3.19	15.21

Fuente: CETREX, 2023

*Los precios del cilindro T-220 de argón y el líquido a granel corresponden a precios del año 2023. Dicha información fue recolectada a través de cotización.

A partir de los precios de la tabla anterior, se calcularon los precios de venta aproximados para los años siguientes, utilizando la tasa de inflación de los años en estudio, así como también su proyección para años futuros a partir de datos del Banco Central de Nicaragua, del Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) o bien, del Fondo Monetario Internacional (FMI).

Tabla 14: Tasa de Inflación para Nicaragua durante los años 2019-2028.

Año	Inflación, %
2019	6.1
2020	2.9
2021	7.2
2022	11.6
2023	5.60
2024	5
2025	4
2026	4
2027	4

2028	4
------	---

Fuente: (Banco Central de Nicaragua, 2021, 2022; Forbes Staff, 2023; Instituto Nacional de Información de Desarrollo, 2023; Statista Research Department, 2023)

La proyección de la inflación para años futuros se realizó utilizando los datos correspondientes a partir del año 2023, para obtener una recta con mejor ajuste. Cabe resaltar que los datos del año 2024 al 2028 fueron tomados a partir de estimaciones realizadas por el FMI.

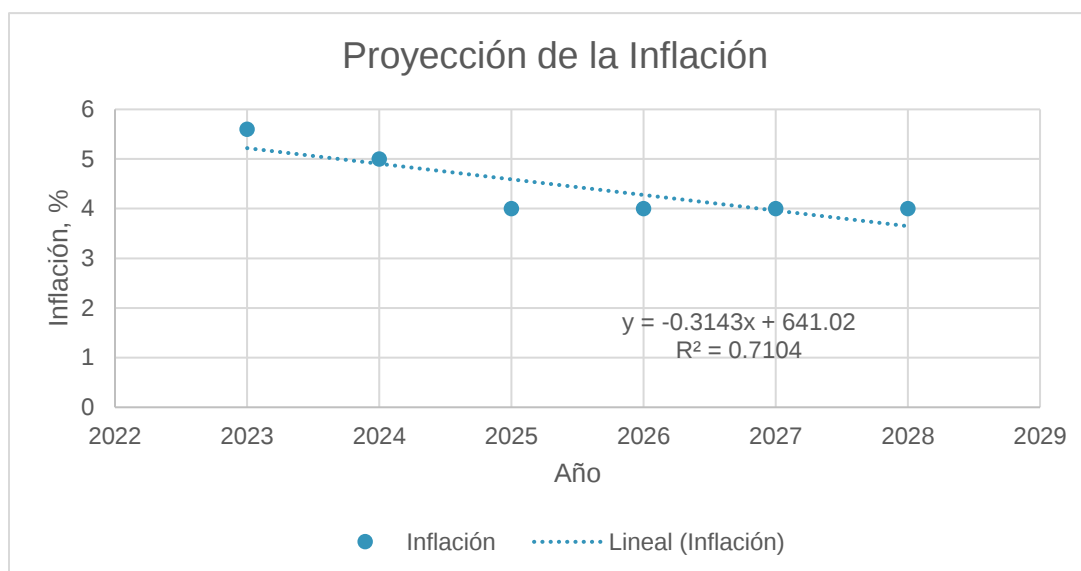


Figura 5: Recta de Ajuste de la Inflación en Nicaragua, correspondiente a datos entre 2019-2028.

Las proyecciones de la inflación a partir del año 2029 hasta el año 2044, se encuentran en la tabla 42.

La proyección de los precios de cada uno de los productos que se ofertarán se encuentra en la tabla 43 del anexo 1.

5.8. Canales de Comercialización

El plan estratégico de comercialización para gases industriales y medicinales se basa en una aproximación diversificada de canales, diseñada para satisfacer de manera precisa las demandas únicas de ambos sectores.

Según la definición y las características del producto que se va a comercializar, se selecciona la marca más apropiada para informar al comprador o consumidor final sobre la naturaleza del bien que se ofrece. El propósito es diferenciarlo de la competencia y establecer una posición destacada en la mente del consumidor.

La marca será registrada en el Registro de la Propiedad Intelectual de Nicaragua-MIFIC, con la previa verificación de su disponibilidad en la base de datos regional de marcas, de conformidad con el Convenio para la Protección de la Propiedad Industrial.

La etiqueta del Producto, de acuerdo con las normas de protección al consumidor, debe poseer toda la información obligatoria de etiquetado para efecto de informarle a las personas las características propias del producto a comercializar.

El envase del producto diferirá dependiendo de su naturaleza y aplicación:

- Cilindros y botellas: A como se especificó en el apartado de envases del producto, los gases de interés serán envasados en cilindros de acero o aluminio diseñados para soportar la presión del gas. Estos cilindros son seguros y portátiles, lo que facilita su manejo y transporte.
- Tubos criogénicos: El oxígeno, nitrógeno y argón, que se almacenan y transportan a temperaturas extremadamente bajas, se envasan en tubos criogénicos. Estos tubos están diseñados para mantener temperaturas extremadamente bajas y garantizar que el gas se mantenga en estado líquido.
- Tanques a granel: Para grandes volúmenes de gas, se utilizan tanques estacionarios o móviles. Estos tanques están diseñados para almacenar gases a alta presión y a menudo se utilizan en aplicaciones industriales a gran escala.

5.8.1. Canales de distribución:

En la comercialización de nitrógeno, oxígeno y argón destinados tanto a aplicaciones medicinales como industriales, se empleará diversos canales directos para garantizar un suministro eficiente y seguro. Estos gases, esenciales en procesos médicos y actividades industriales, pueden ser distribuidos directamente a instalaciones médicas, hospitales y clínicas para su uso terapéutico. Además, las ventas directas a empresas manufactureras y plantas industriales que requieren de estos gases en sus procesos productivos.

En el ámbito industrial, estableceremos relaciones directas con grandes empresas, desplegando un equipo de ventas especializado para ofrecer soluciones a medida que se alineen con los procesos de fabricación y requisitos específicos de gases industriales. Paralelamente, construiremos una red de distribuidores enfocados en

gases medicinales, dirigida a instituciones de atención médica y proveedores de servicios de salud.

Para facilitar la adquisición de gases medicinales, lanzaremos una plataforma de comercio electrónico que garantice transacciones seguras y entregas eficientes. Colaboraremos estrechamente con fabricantes de equipos médicos, asegurando el cumplimiento riguroso de regulaciones y especificaciones del sector salud. Esta colaboración estratégica permitirá proporcionar gases medicinales de alta calidad y confiabilidad.

Además, participaremos de manera activa en ferias y eventos específicos tanto del sector industrial como médico para fortalecer la visibilidad de nuestra marca y establecer conexiones sólidas en ambos ámbitos. Este enfoque multicanal garantizará una cobertura completa y adaptada a las necesidades particulares de los sectores de gases industriales y medicinales, posicionándonos como proveedores confiables y expertos en ambos mercados.

VI. Estudio Técnico para la instalación de la Planta Productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón

6.1. Determinación del Tamaño Óptimo de la Planta

Para el presente estudio, el factor determinante está en dependencia de la demanda potencial insatisfecha de oxígeno que se ha decidido cubrir, al contrario de muchos casos en donde la disponibilidad de materia prima es un aspecto importante para tomar en cuenta en la determinación del tamaño de la planta.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el balance de masa del proceso productivo y a la demanda potencial insatisfecha de los productos de interés, se ha establecido una planta de proceso continuo, con una capacidad de procesamiento de 188 ton/día (68,624.37 ton/ año) de aire para producir 39.40 ton/día de Oxígeno, 146.86 ton/día de Nitrógeno y 1.76 ton/día de Argón. Este valor ya considera el sobredimensionamiento que siempre debe tomarse en cuenta en el diseño de plantas industriales, en este caso, se tomó un valor del 15%.

La tabla No. 44 del anexo 3 resume la actividad productiva de la planta en los 20 años del horizonte de tiempo.

La planta está proyectada para laborar 3 turnos de 8 horas al día, los 365 días del año (salvo los días destinados a paros por mantenimientos preventivos y correctivos).

6.2. Localización de la Planta

Para poder establecer la localización óptima de la planta productora de nitrógeno, oxígeno y argón, se analizaron 2 alternativas, las cuales fueron evaluadas utilizando el método cualitativo por puntos. Estas alternativas fueron:

- Alternativa A: Municipio de Nagarote
- Alternativa B: Municipio de Diriamba

La calificación puede ser interpretada de acuerdo con los siguientes parámetros:

- ✓ 1-3; valores mínimos (malo, deficiente, no conveniente)
- ✓ 4-7; valores medios (aceptable)
- ✓ 8-10; valores máximos (muy bueno, muy conveniente)

Los parámetros que fueron tomados en cuenta para la anterior evaluación fueron los siguientes:

- *Calidad de Materia Prima:* en este parámetro, se tomó en cuenta la calidad del aire de la zona, particularmente, la cantidad de PM₁₀, PM_{2.5} y otros contaminantes (NO₂, CO₂ e hidrocarburos) registrados por las aplicaciones del clima. Cabe resaltar que este dato no es exacto; sin embargo, pudo tomarse como una base para cálculos y criterios de calidad del aire.
- *Mano de Obra disponible:* este es un condicionante muy influyente en la localización de la planta, pues el tipo de industria requiere de mano de obra calificada. De igual forma, se tomó en cuenta el costo de vida en la zona y las características de la educación. (Ávila, 2015; Urbina & Gámez, 2020)
- *Costos de Insumos y Suministros:* este se encontró determinado por el costo de la energía, agua y combustibles, así como la disponibilidad de ellos.
- *Impacto Ambiental:* Este factor es influyente pues toda actividad industrial genera impactos de diversa índole al ambiente que lo rodea. En el caso de la Planta en estudio, se tomaron en cuenta aspectos como estado del suelo, afectaciones a zonas de áreas protegidas o de cobertura boscosa, posibles impactos a cuerpos de agua cercanos y retiro o traslado de diversidad animal por las actividades de la planta a causa del ruido u otros aspectos que pueden afectarle.
- *Impacto Socioeconómico:* se tomaron en cuenta las oportunidades de crecimiento económico y la descentralización industrial, la afectación a otras actividades realizadas por los ciudadanos, las estrategias de desarrollo comunitario, etc.
- *Comunicaciones:* Las comunicaciones como carreteras o vías de tránsito determinan qué tan fácil se puede trasladar el producto hacia los puntos de demanda. Por lo tanto, la cercanía con carreteras y el estado de estas es de crucial importancia para la distribución del producto. Así mismo, el acceso a telecomunicaciones (redes móviles, internet) también facilita el intercambio de información entre clientes, proveedores y la empresa.
- *Características del Terreno:* Se tomó en cuenta el costo del terreno y la disponibilidad de espacio para la construcción, la estructura del suelo y la disposición del terreno, con el objetivo de promover el desarrollo sostenible, la cercanía con los mercados y la facilidad de los colaboradores, proveedores y clientes para trasladarse a la zona.

La Tabla 45 presenta los resultados de la evaluación, resultando como mejor alternativa la A, es decir, el municipio de Nagarote, ya que presenta un mayor

impacto socioeconómico, menor impacto ambiental y garantiza cercanía al mercado, a puertos internacionales, acceso a carreteras y a mano de obra calificada.

6.2.1. Macrolocalización

La planta se ubicará en el municipio de Nagarote, departamento de León, en una zona donde predominan las actividades agrícolas y ganaderas, y posee muy poco desarrollo industrial. Los límites del municipio son:

- Al Norte, con el municipio de La Paz Centro y el Lago Xolotlán.
- Al Sur, con el municipio de Villa El Carmen, Managua.
- Al Este, con el Municipio de Mateare.
- Al Oeste, con el Océano Pacífico.

El Departamento de León, ubicado en el occidente del país, es el sexto departamento más poblado de Nicaragua, según datos proyectados para el año 2022 del INIDE y el Banco Central de Nicaragua. (Banco Central de Nicaragua, 2022) Consta de 10 municipios, dentro de los cuales se encuentra Nagarote.

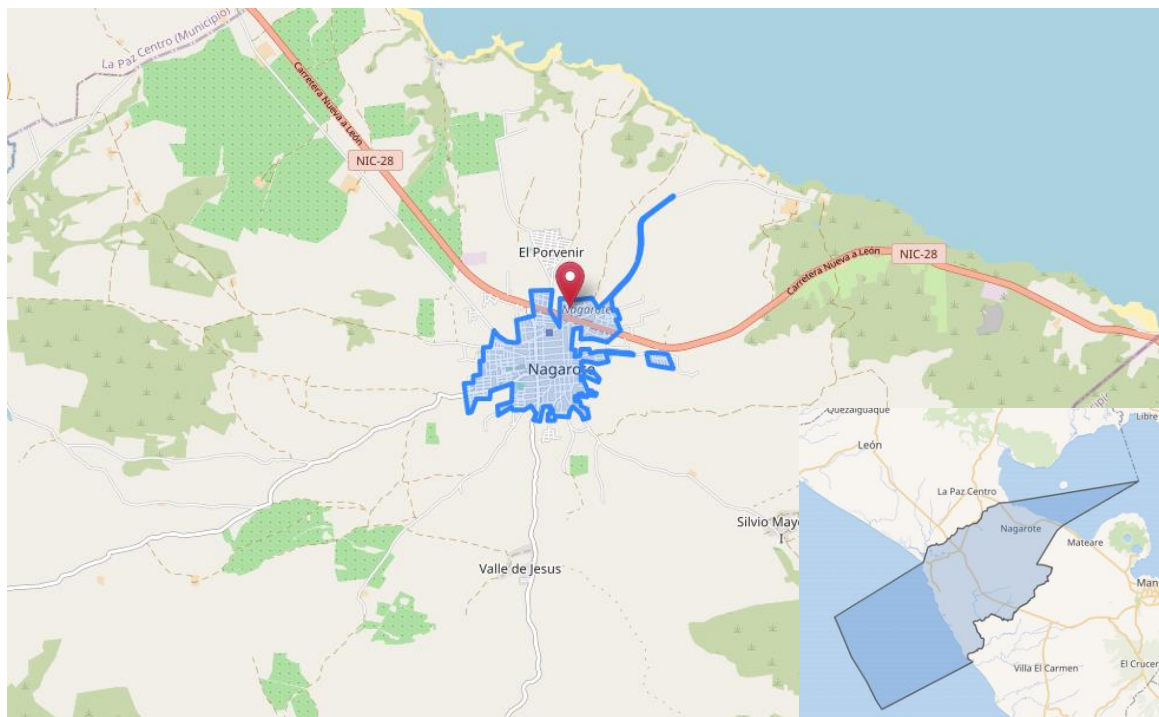


Figura 6: Municipio de Nagarote.

Las actividades económicas más importantes del municipio son la ganadería, la agricultura y el comercio, principalmente de quesillos. En las tierras fértiles se cultiva maní, soya, hortalizas, cítricos y granos básicos para autoconsumo.

También, en la zona de Puerto Sandino, predominan las pequeñas industrias de elaboración artesanal de sal, la cual abastece el mercado nacional. (Instituto Nicaraguense de Turismo, 2022)

6.2.2. Microlocalización

La planta se localiza en el municipio de Nagarote, siendo una zona ganadera y agrícola. El municipio se encuentra ubicado a unos 43 km de la ciudad de Managua, capital de Nicaragua, y a 54 km de León, la cabecera departamental del departamento del mismo nombre. Las coordenadas del terreno son:

- Latitud: 12°16'13.00"N
- Longitud: 86°31'41.24"O

El municipio tiene un clima tropical seco, el cual corresponde a toda la zona occidental del país. Presenta precipitaciones entre los 800 – 1600 mm anuales. La temperatura del municipio varía entre los 23-27 °C, dependiendo del mes del año y las condiciones de viento y lluvia.



Figura 7: Microlocalización de la Planta Productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón.

Según Obando y Sotelo, 2019, el municipio de Nagarote posee una topografía y relieve un tanto accidentado, dependiendo de la zona. Las pendientes más leves pueden ser menores al 2%, sin embargo, en otras zonas, las pendientes pueden rondar el 75%. En general, el 57.36% del área del municipio posee sectores con pendientes entre 2% y 4%, entre 4% y 8% y entre proyectos de urbanización o para uso industrial. (Obando & Sotelo, 2019)

6.3. Descripción del Proceso Productivo

El proceso que se ha seleccionado para producir Oxígeno, Nitrógeno y Argón es el proceso de Destilación Criogénica. Esta decisión está basada principalmente debido a que es el único proceso que garantiza un producto de la calidad deseada (porcentajes de pureza mayores a 99.5%), la cual es una variable muy importante según los requerimientos de los clientes.

El proceso de destilación criogénica consta de 6 etapas principales:

- ✓ Filtración Preliminar
- ✓ Compresión
- ✓ Adsorción
- ✓ Enfriamiento
- ✓ Expansión
- ✓ Destilación Criogénica

Para que el proceso se pueda llevar a cabo, es necesario licuar el aire, cuya temperatura de licuefacción es de $-194.35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (aprox. 78.8 K). Sin embargo, para poder conseguir temperaturas similares, es requerido basarse en el efecto Joule-Thompson. En el siguiente acápite, se detalla a fondo cada una de las etapas del proceso de producción del oxígeno, nitrógeno y argón.

6.3.1. Descripción del Proceso de Producción del Nitrógeno, Oxígeno y Argón.

6.3.1.1. Filtración Preliminar

El aire atmosférico tiene una gran cantidad de contaminantes: polvo, microorganismos y compuestos que lo hacen impuro. En este proceso, el aire extraído del ambiente se pasa por un proceso de limpieza que eliminan las impurezas y partículas gruesas contenidas en él, para evitar poner en riesgo la integridad de los compresores (Cerrada Martínez, 2017). Para este caso en particular, el proceso de filtración preliminar o pretratamiento se realiza pasando el aire por un lavador tipo Venturi Scrubber y, posteriormente, el aire llega a un ciclón, donde se separan las partículas de polvo y agua del aire, las cuales, por acción de la fuerza centrífuga y la gravedad, precipitan, dejando el aire con una cantidad mínima de partículas de polvo, principalmente.

6.3.1.2. Compresión

Al inicio del proceso, en la etapa de compresión primaria, el aire nuevo a 1 atm de presión y una temperatura de aproximadamente 300 K (aprox. 27°C), debe

comprimirse hasta una presión aproximadamente de 5 bar (4.93 atm, 500 KPa). De la compresión primaria, el aire sale a una temperatura aproximada de 70 °C y una humedad relativa muy alta (Palmay et al., 2015).

Es de gran importancia el rendimiento de la compresión, pues toda la energía necesaria en la instalación procede de esta operación. El compresor suministra la energía que exige la producción de frío, la separación de las especies y las pérdidas caloríficas y mecánicas. Como es el régimen isotérmico el más favorable, se tiende a que el compresor trabaje lo más próximo a esta condición. Las grandes presiones imponen compresores de émbolo-cilindro, que son multifásicos y de coste elevado. Para presiones bajas (<10-15 atm) se pueden emplear turbocompresores, más económicos y de mayor rendimiento tanto en la compresión como en la expansión isentrópica (Guardiola, 2012).

La compresión se realiza en tres etapas. En esta parte, deben existir 2 compresores montados en paralelo; mientras uno se encuentra a pleno rendimiento, el otro se destina a cubrir necesidades de repuestos o aumento del caudal de aire (Míguez, 2011).

Posterior al preenfriamiento, en la compresión principal, el aire debe llevarse hasta una presión de 40 bar y en este proceso, alcanza una temperatura de 70 °C (4000 KPa y 343.15 K) (Arandia Cassal, 2015). La compresión en las plantas de separación de aire es especialmente necesaria, debido a que, sin aumentar la presión del gas, la temperatura de ebullición no bajaría lo suficiente como para poder licuar una fracción del aire, ni se podría expandir el gas para enfriarlo gracias al coeficiente de Joule-Thompson, ya que no está comprimido; es por eso que la compresión es fundamental.

6.3.1.3. Preenfriamiento

El calor de la compresión se elimina en una torre de lavado, donde se pone en contracorriente el aire procedente de los compresores con agua. Hay dos corrientes de agua inyectadas en el enfriador de aire: agua de enfriamiento a temperatura normal en la sección inferior y agua enfriada del enfriador de evaporación y las unidades de refrigeración en la parte superior del enfriador de aire. El agua de refrigeración también elimina las impurezas químicas solubles presentes en el aire del proceso. Una malla de alambre encima del enfriador elimina la neblina en el aire de proceso. En el enfriador por evaporación, el nitrógeno seco y sin presión absorbe parte del agua fría inyectada. El calor necesario para la evaporación lo proporciona el agua que se enfría por este efecto. El agua que se pierde en esta etapa debido a la evaporación se recupera enfriando el agua del sistema de agua de refrigeración.

El aire saliente de la torre de lavado (a unos 10 °C), aún contiene humedad y anhídrido carbónico que, durante el proceso, debido a la temperatura de trabajo, pueden provocar problemas de congelación en las líneas, lo que se denomina en

este tipo de industrias, NUDOS, que no son más que bloques sólidos que impiden la circulación del fluido por las tuberías provocando averías y posibles paradas.

Para este estudio, el proceso de preenfriamiento se realizará en un intercambiador de calor de placas, debido a que no es posible alcanzar las temperaturas deseadas a través de torres de enfriamiento por las condiciones ambientales de la localización de la planta. Además, el implemento de intercambiadores de calor de placas genera una reducción de los costos de adquisición de equipos y permite el ahorro o uso más eficiente del agua.

6.3.1.4. Adsorción

La adsorción en una planta de separación de aire es llevada a cabo en dos filtros en paralelo. Mientras uno está operativo, el otro regenera su tamiz, y cuando el operativo se colmata, el regenerado actúa como operativo y el colmatado se regenera.

Los compuestos que deben ser eliminados en las plantas de separación de aire mediante adsorción son:

- Vapor de agua y CO₂: como se alcanzan temperaturas criogénicas de hasta -190 °C, el agua y el dióxido de carbono pueden solidificar y poner en riesgo la seguridad de la planta al impactar en los compresores y bombas.
- Hidrocarburos: en algunas de las corrientes de la planta se obtiene oxígeno de pureza extremadamente alta, el cual es un comburente perfecto. Una mezcla de oxígeno de esa pureza con algún hidrocarburo podría provocar una deflagración.

El aire entra en unas baterías de desecación – descarbonatación (regeneradores o acumuladores de Fränkl) cuya función principal es eliminar el agua y el CO₂. El primer lecho, que es de alúmina, retiene la humedad, y el segundo lecho, constituido por un tamiz molecular (puede ser de algún tamiz de carbón), retiene el anhídrido carbónico y finalmente, el tercer lecho es de gel de sílice, donde quedarán retenidos los hidrocarburos que pueda contener la corriente (Míguez, 2011). A este proceso de adsorción, se llama VPSA, por sus siglas en inglés, *Vacuum Pressure Swing Adsorption*, debido a las variaciones (*swing*) de presión (*pressure*) hasta el vacío (*vacuum*) del fenómeno físico de la adsorción (*adsorption*). De este proceso, la corriente de aire principal sale a una temperatura de unos 20 °C (Palmay et al., 2015).

Para favorecer la adsorción de las impurezas, la presión es variada, con el fin de trabajar en un régimen que sea más productivo para el sólido adsorbente. Juntando la operatividad y regeneración, y la subida y bajada de presión, el proceso de purificación mediante adsorción queda establecido en cuatro etapas, partiendo de un adsorbedor, limpio y despresurizado (ver figura 23 del anexo 4).

- a) Primeramente, se presuriza el adsorbedor hasta la presión de trabajo.

- b) Posteriormente, se pasa la corriente de aire a purificar a la presión de trabajo del adsorbedor. Este adsorbedor progresivamente se va saturando hasta que el contaminante alcanza el punto de ruptura y debe interrumpirse la circulación de aire. El tiempo de trabajo de un lecho es de aprox. 30 minutos.
- c) Una vez está totalmente saturado el lecho, se despresuriza.
- d) El lecho es regenerado mediante una purga. El ciclo de regeneración consiste principalmente en calentamiento, enfriamiento, presurización y despresurización. El gas de regeneración procedente de la unidad de rectificación como gas residual se calienta en el calentador eléctrico de gas de regeneración; con esto, el agua y el CO₂ son desorbidos del tamiz molecular. En el período de enfriamiento, se apaga el calentador y el adsorbente se enfría con gas nitrógeno residual frío y seco. Un indicador importante de una correcta regeneración es la temperatura máxima de regeneración que aparece durante el proceso de enfriamiento. Al final del proceso de regeneración, el adsorbedor regenerado es metido a operación y el otro empieza su proceso de regeneración. Este proceso debe ser controlado automáticamente (Kumar, 2014).

Las especies adsorbentes más utilizadas a la hora de limpiar el aire son:

- Alúmina activada: la alúmina es un óxido de aluminio, que se presenta hidratado, con fórmula química $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, siendo n igual a 1, 2 o 3. La activación consiste en la calcinación de dicha alúmina para eliminar prácticamente el agua de la molécula. Sus propiedades la hacen una gran especie desecante.
- Gel de sílice: el gel de sílice es un óxido de silicio, con fórmula química SiO_2 , no cristalino. Se presenta en esferas de 1 a 3 mm, gránulos y polvo. Sus propiedades le hacen un gran extractor de hidrocarburos.
- Zeolitas: son polímeros inorgánicos formados por sílice y alúmina y con cationes de sodio, potasio, magnesio y calcio. Las zeolitas son cristalinas con multitud de poros. Adsorbe con facilidad parafinas de compuestos aromáticos, hidrocarburos ramificados, etc.

En el proceso de adsorción, el aire sufre una pequeña pérdida de carga al pasar a través de estos equipos.

6.3.1.5. Enfriamiento / Intercambio de Calor

La corriente principal de aire purificado, totalmente seco, debe enfriarse en una serie de intercambiadores de calor. Estos se encuentran agrupados en línea en el interior de la denominada *caja fría* muy cerca de la temperatura de licuefacción

mientras se calientan las corrientes gaseosas frías de oxígeno y nitrógeno que se enfrían desde la columna. El aire que sale de la caja fría es alimentado a la sección inferior de la columna de alta presión.

Es importante resaltar que en este proceso se emplean dos intercambiadores de calor: el **intercambiador de calor de refuerzo (de 2 corrientes)**, donde se enfría la corriente de aire no comprimida (a 4.3 bar) con nitrógeno gaseoso proveniente del subenfriador, y el **intercambiador de calor principal**, donde se enfría el aire comprimido (a 40 bar) con las corrientes de nitrógeno y oxígeno que salen del tope de la torre de alta presión y el fondo de la torre de baja presión respectivamente.

A la salida del proceso de preenfriamiento, el aire es purificado en los tamices moleculares. Luego, la corriente se divide en dos: Una fracción (10% del caudal) se comprime aún más mediante un turbocompresor de refuerzo multietapas, hasta unos 40 bar aproximadamente, y posteriormente, una vez enfriada, pasa por una turbina que permite accionar el compresor anterior montado en el mismo eje; estos flujos de aire (de 40 bar y 4.3 bar) serán la alimentación de la columna de baja presión (0.5 - 1 atm) (Palmay et al., 2015). La corriente impulsada por la turbina sale del intercambiador de calor principal por la sección central y se expande en la turbina de expansión donde la corriente de aire disminuye su presión y su temperatura baja hasta 90 - 100 K. El aire gaseoso es alimentado a la sección media de la columna de baja presión. Una segunda turbina se encuentra en espera y puede usarse durante el arranque para acelerar el proceso de enfriamiento. La corriente de aire que pasa a través del intercambiador de calor de refuerzo alcanza una temperatura aproximada de 150 K, a la vez que la corriente comprimida se enfría en el intercambiador de calor principal, donde sirve como medio de calentamiento para evaporar y calentar el producto comprimido internamente (LOX). Después del intercambio de calor, esta corriente lateral se expande hacia la columna de alta presión mediante una válvula de expansión (Kumar, 2014).

El intercambio de calor en la destilación de aire es un proceso clave. Gracias a este proceso, se cede el calor necesario entre distintas corrientes para poder licuar gases cuyas temperaturas de licuefacción son criogénicas. Debido a que un mal diseño de los intercambiadores supondría un malgasto excesivo de energía, el estudio y el diseño de los intercambiadores de calor debe ser riguroso. Los intercambiadores de calor son equipos que permiten ceder el calor entre dos o más corrientes, pero a su vez, permite que las dos corrientes no se mezclen. La transferencia de calor en los intercambiadores de calor se produce por convección en cada fluido y por conducción a través de la pared que los separa. En este tipo de procesos, lo más común es encontrarse con sistemas de enfriamientos de flujos a contracorriente; sin embargo, también los hay en paralelo.

En esta etapa, la línea principal intercambia calor a contracorriente con las corrientes de salida de la columna principal, que se encuentra a temperaturas criogénicas para poder enfriar la corriente principal hasta prácticamente el punto de licuefacción (Cerrada Martínez, 2017).

6.3.1.6. Expansión

La expansión del aire comprimido sirve para disminuir la temperatura del aire, de tal forma que se puede licuar una fracción del caudal entrante. Además, la turbina tiene un componente de ahorro importante, ya que la energía generada en la expansión de un gas comprimido se puede usar para satisfacer parcialmente la demanda energética del resto del proceso y ayudar a reducir el coste energético operacional.

6.3.1.6.1. Efecto Joule-Thompson

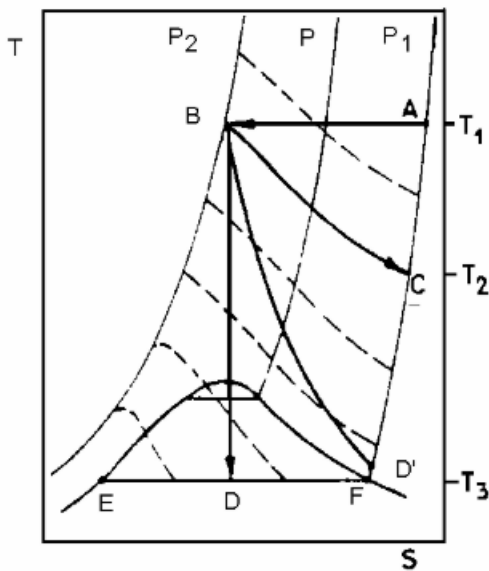


Figura 8: Diagrama T vs s simplificado.

La ausencia de azeótropos en las mezclas de los componentes del aire posibilita la separación de sus tres componentes más abundantes, N_2 , O_2 y Ar, mediante destilación fraccionada. Para licuar hay que enfriar primero, pero, para poder obtener la temperatura de trabajo que necesitamos, se ha de conjugar cambios de presión y expansiones. Como se puede observar en la figura No. 8, la curva en forma de campana es la curva de saturación y contiene en su parte más alta al punto crítico. La rama de la izquierda del punto crítico representa líquido, mientras que la rama de la derecha representa vapor. En la zona por debajo de la curva coexiste líquido-vapor.

Para obtener el aire líquido es necesario, si el aire normal está representado por el punto A, situarlo debajo de la curva de la campana. Esto es posible sometiéndolo a una compresión isotérmica desde el punto A (aire a p_1) a uno B. Alcanzado este punto, el enfriamiento se produce al dejar expandir el aire. Esto puede llevarse a cabo de dos formas, ambas utilizadas industrialmente, mediante expansión isentálpica o expansión isentrópica.

6.3.1.6.2. Expansión Isentálpica

Es la que se produce al dejar expandir el gas a través de una estrangulación, de una llave poco abierta, por ejemplo, sin producir trabajo exterior. El enfriamiento se produce a costa de la energía interna de las moléculas gaseosas, de acuerdo con el primer principio de la termodinámica. El punto B se desliza a lo largo de BC (línea isentálpica) hasta alcanzar el punto C, presión ordinaria p_1 .

El enfriamiento de la masa de aire, $\Delta T_H = T_1 - T_2$ vendría dado por la diferencia de ordenadas entre los puntos A y C.

6.3.1.6.3. Expansión Isentrópica

El aire comprimido se deja expandir en el interior de un sistema émbolo-cilindro, con producción de trabajo externo. El enfriamiento teóricamente sigue la línea BD hasta llegar a la presión final P_1 . En realidad, el punto final no será D, sino D' porque la expansión resulta pseudoisentrópica. El enfriamiento que se consigue $\Delta T_S = T_1 - T_3$, es mucho mayor que ΔT_H y además al poder recuperarse en parte el trabajo de expansión, se reduce el gasto de compresión previa.

En la práctica, el frío necesario no se consigue de una sola vez, sino repitiendo la compresión-expansión y aprovechando el frío de los productos resultantes para enfriar previamente el aire comprimido antes de su expansión ya que, como puede observarse en la Figura No. 26, a medida que el aire comprimido está más frío, la pendiente de las líneas isentálpicas es mayor que la correspondiente a las temperaturas ordinarias, con lo que el enfriamiento conseguido es mayor.

6.3.1.7. **Destilación Criogénica**

La destilación es un proceso físico que permite separar una mezcla de líquidos miscibles atendiendo a la diferencia en sus puntos de ebullición, es decir, a su volatilidad. Cuando la mezcla de líquidos entra en ebullición, se produce un equilibrio entre dos fases, una en estado líquido y la otra en estado vapor. La primera queda enriquecida en el compuesto menos volátil, mientras que la fase vapor queda enriquecida en el componente más volátil.

El primero en conseguir licuar el aire fue Carl von Linde, en el año 1895. Este hecho fue posible gracias a que Linde basó su trabajo en los estudios de Joule Thomson sobre la compresión y expansión de los gases. La conclusión de dicho trabajo fue que los gases ganaban calor al comprimirse y lo perdían con la operación contraria. Aplicando esta conclusión de manera práctica, si un gas comprimido se enfría y posteriormente se expande en una turbina, el gas puede alcanzar temperaturas realmente bajas, empezando a hablar entonces de temperaturas criogénicas. Más tarde, en 1905, Linde aplicaría estos conceptos para desarrollar el proceso de la doble columna de destilación de Linde, capaz de producir corrientes de oxígeno y nitrógeno de una elevada pureza.

En la actualidad, la mayoría de nitrógeno y oxígeno se obtiene mediante la destilación criogénica del aire, donde además de estos dos productos, se puede separar también el argón presente en el aire. En este proceso, la columna de destilación empleada es un poco especial, ya que en realidad son dos columnas, una de alta presión (AP) y otra de baja presión (BP), de 5 atm y 1 atm respectivamente, que funcionan una encima de la otra.

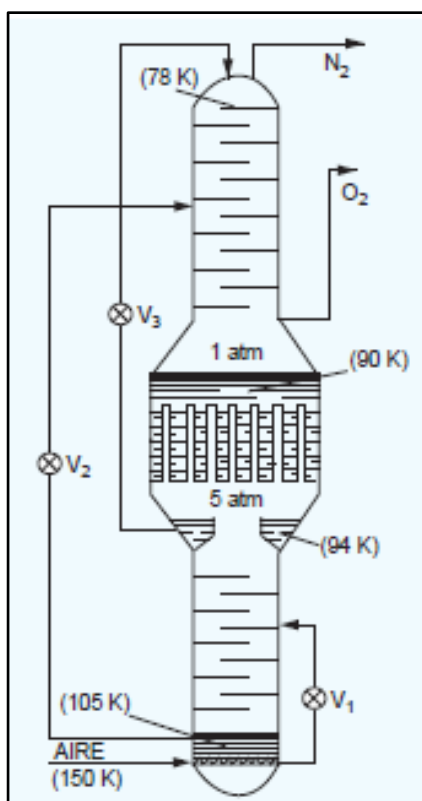


Figura 9: Doble Columna Linde para el Proceso de Destilación Criogénica.

Como en toda destilación, hay que calentar en la parte inferior y enfriar en la parte superior de cada una de las dos columnas presentes. La primera fase consiste en el acondicionamiento de la corriente de aire de entrada. Esta se comprime, enfría y filtra para obtener una corriente limpia y con una temperatura cercana a su punto de licuefacción. Esta corriente es enfriada aún más al circular a través de un serpentín que se encuentra en contacto con el líquido enriquecido en oxígeno (aproximadamente 40% O_2) que se encuentra hirviendo en el fondo de la columna AP. Esta corriente, que contiene ahora una elevada fracción licuada, se introduce en la columna AP como corriente de alimentación (parte inferior).

Con el enfriamiento en la cabeza de la columna AP se calienta el pie de la columna BP, todo ello por medio de un condensador/reboiler situado entre ambas columnas. Para favorecer el proceso de destilación se disponen en el interior de la columna de superficies de contacto adecuadas que pueden ser platos o relleno especial. Su cometido es favorecer el contacto entre el gas que sube por la columna y el líquido que baja por la misma.

Un plato está formado por una chapa ondulada perforada. Al atravesarla el gas se distribuye por los agujeros con cierta velocidad y facilidad formando burbujas con el líquido que multiplicarán los contactos liquido-gas hasta que se alcance el equilibrio.

Como el nitrógeno es más volátil que el oxígeno, el vapor ascendente cada vez se va enriqueciendo más en nitrógeno mientras que el líquido descendente adquiere mayor pureza de oxígeno. Dado que esta columna opera aproximadamente entre 6 – 0.25 atm, sufre una expansión y por tanto un enfriamiento. Debido a ello, la separación de los componentes es inmediata, subiendo el N_2 gas hacia la parte superior de la columna. A medida que sube, se va encontrando con el reflujo de N_2 líquido que baja desde la cúspide de la columna BP y que proviene de la parte superior de la columna AP donde se ha licuado debido a la aportación de frío de la base de la columna BP donde está el O_2 líquido. El líquido rico en oxígeno (aprox. 40% O_2) almacenado en el fondo de la torre AP alimenta a la torre BP tras expandirse en una válvula. El destilado obtenido en la cabeza de la columna AP es Nitrógeno gaseoso (**GAN**) de gran pureza que sirve como reflujo en el fondo de la columna BP, lugar donde el oxígeno líquido (**LOX**) en ebullición (99.5%) hace que el nitrógeno licúe y, a su vez, el oxígeno pase a

estado gaseoso. Por la cabeza de la columna BP se alimenta Nitrógeno Líquido (**LIN**) procedente del tanque de almacenaje. Esto permite obtener el frío necesario para licuar el oxígeno.

De la columna BP se obtienen tres productos como flujos gaseosos:

- El flujo de cabeza de la columna es **GAN** de gran pureza (superior al 99,9%),
- mientras que en el fondo de la columna se obtiene oxígeno gaseoso (**GOX**) de alta pureza.
- El tercer flujo se extrae a la mitad de la columna BP, y es una corriente rica en oxígeno de donde, posteriormente, se separa el argón. Del fondo de la columna BP también se obtiene **LOX**.

De la columna de baja presión se extrae una corriente formada por Nitrógeno/Oxígeno/Argón (mayoritariamente argón) que se envía hacia un sistema de columnas de separación y purificación destinadas a la obtención de argón líquido (**LAR**) de alta pureza. El proceso se inicia con la separación del oxígeno en una primera columna denominada **columna de argón bruto**, donde se obtiene argón con una concentración de oxígeno de 15 ppm O₂ (al menos 95% Ar, ya que contiene todo el argón que contenía el aire de entrada) y cierta concentración de nitrógeno residual (**GAN**), el mismo que se separa en una segunda columna, en la cual el nitrógeno se eliminara al vaporizarlo, eliminándolo por la cabeza de la columna. Por cabeza de esta columna de argón bruto se recogerá un argón con una concentración entre el 95% y el 98%, mientras que el producto de cola, que en su mayor parte es oxígeno, se recirculará formando parte del reflujo de la columna de BP (Tuleda, 1994).

El nitrógeno gaseoso que sale por la parte alta de la columna BP es de gran pureza y se envía a los intercambiadores de calor para enfriar el aire procedente de las baterías (filtros de adsorción). Finalmente se utiliza el nitrógeno saliente de la caja fría para enfriar el agua utilizada en el sistema de preenfriamiento antes de tirarlo directamente a la atmósfera.

A todo este conjunto de operaciones que trabajan a temperaturas criogénicas se le conoce como **Caja fría** de la cual se obtienen como productos los componentes del aire **GAN**, **GOX**, **LAR**, **LOX** y **GWN**. Como puede verse, en este proceso el nitrógeno solo se obtiene en estado gaseoso. Para obtener nitrógeno líquido es necesario bajar su temperatura mediante un proceso llamado licuefacción. Para ello se utilizan dos turbocompresores de 2 y 4 etapas, hasta alcanzar una presión de 28 bares. La refrigeración requerida se genera a dos niveles, expandiendo el nitrógeno de alta presión por debajo de la presión del compresor de reciclo y con un intercambiador de calor donde se aprovecha por un lado el frío criogénico y por otro lado se calienta cierta cantidad de gas. Se dispone de dos compresores asociados a sus correspondientes turbinas. La corriente resultante de los compresores es el punto donde se alcanza mayor presión en la planta, unos 54 bar abs (Palmay et al., 2015). El intercambiador acaba de enfriar el nitrógeno hasta una temperatura de -192°C para licuarlo y poder almacenarlo en el tanque.

En general, la destilación genera una importante pérdida de carga que se traduce en un gran consumo energético elevando los costes de fabricación. Para disminuir este consumo se ha desarrollado un relleno especial estructurado diseñado de tal forma que el contacto líquido-gas se produce en la zona ondulada, de esta manera el gas ascendente va “lamiendo” el líquido descendente. Estos rellenos son de aluminio y de forma ondulada, se colocan verticalmente unos contra otros constituyendo progresivamente una estructura con la que se llena completamente la columna.

Con este nuevo relleno hay mayor superficie de contacto debido a la ondulación de las bandas y al número importante de las mismas dentro de la columna, consiguiéndose una menor pérdida de carga y, por tanto, un considerable ahorro en el consumo de energía.

6.3.1.8. Almacenamiento del Líquido y Respaldo de Líquidos

El Oxígeno Líquido extraído de la caja fría se almacena en un tanque atmosférico de fondo plano. Este almacenamiento de líquido sirve como suministro de respaldo de oxígeno en caso de que se hagan paradas en la planta. El oxígeno líquido extraído del tanque se presuriza al valor requerido por medio de las bombas de respaldo, se evapora en el vaporizador de baño de agua caliente y se alimenta a los recipientes amortiguadores de oxígeno gaseoso de alta presión. Además, debe haber disponible una bomba de llenado de camión para llenar una pipa (furgoneta) de oxígeno líquido.

El Nitrógeno Líquido se almacena en un tanque atmosférico de fondo plano desde donde es presurizado con las bombas de respaldo y evaporado en el vaporizador de baño de agua caliente y se alimenta a la estación reductora de presión donde se pueden regular las cantidades requeridas de **GAN** de alta, media y baja presión. También debe estar disponible un tanque amortiguador para nitrógeno gaseoso a alta presión. El almacenamiento de líquido sirve para respaldar el requerimiento de nitrógeno presurizado en caso de que el compresor de nitrógeno se apague o tenga algún desperfecto. Adicionalmente, debe haber disponible una bomba de llenado para trasladar el nitrógeno líquido a las pipas.

El Argón Líquido es almacenado en un tanque presurizado desde donde se presuriza aún más con bombas de respaldo, se evapora en los evaporadores de respaldo de argón líquido y se alimenta a la estación reductora de presión. Igualmente, debe haber un tanque amortiguador para argón gaseoso presurizado. El almacenamiento de líquido con evaporadores sirve como suministro de argón gaseoso para los clientes. También debe haber una bomba de llenado para llenar de argón líquido las pipas. Adicionalmente, el argón líquido del tanque puede ser presurizado, evaporado y embotellado en cilindros en las estaciones disponibles (Kumar, 2014).

El diagrama del proceso productivo puede verse en la figura 29 del anexo 4.

6.4. Requerimiento de equipos, Maquinaria y Accesorios y Personal para el Proceso de Producción

6.4.1. Limpieza Preliminar

Para la limpieza preliminar se utilizará como primer equipo un Lavador Venturi Scrubber, el cual nos permite eliminar polvos de muy fina granulometría presentes en flujos gaseosos mediante la tecnología de lavado húmedo, de esta manera, el alto contacto aire-agua facilita la transmisión de contaminantes del aire al agua. Además, que es una tecnología muy versátil y que puede llegar hasta el 98% de contaminantes eliminados

En la siguiente tabla se detallan las especificaciones de diseño para el lavador Venturi:

Tabla 15: Dimensiones del Lavador Venturi.

Parámetro	Valor	Unidades
Vg	47.70405	m/s
G	1.8134	m ³ /s
QL	0.54403	m ³ /s
R	1.5	L agua/ m ³ aire
A1	0.15205	m ²
A2	0.03801	m ²
D1	0.44	m
D2	0.22	m
L2	0.22	m
Ld	0.88	m
Lc	0.50	m
ΔP	3347.29281	Pa
Dg	158.00000	μm
η_i	99.70%	%
P	6069.94	W
Qdr	3.03682E-07	m ³ /h

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran las especificaciones del Ciclón Stairmand que se requiere para este proceso. El funcionamiento de este se basa en el principio de la fuerza centrífuga para la separación de partículas; siendo el diseño específico el que optimiza la eficiencia de separación.

Tabla 16: Dimensiones del Ciclón Stairmand.

Parámetro	Valor	Unidades
Área del ducto de la entrada, D_c	0.09067	m^2
Diámetro del ciclón	0.9522	m
Ancho de la sección de entrada b	0.19	m
Altura de la sección de entrada, a	0.476	m
Altura de salida, S	0.476	m
Diámetro del cilindro de salida, D_s	0.476	m
Altura de la parte cilíndrica, h	1.428	m
Altura de la parte cónica, z	2.381	m
Altura Total del ciclón, H	3.809	m
Diámetro de la sección de salida del polvo	0.357	m
Relación entre la altura de entrada y el diámetro del ciclón, K_a	0.5	m
Relación entre la base de entrada y el diámetro del ciclón K_b	0.2	m
Factor de configuración, G	551.22	
Caída de Presión	1536	Pa
Eficiencia Total del ciclón	95.93%	

Fuente: Elaboración propia.

6.4.2. Compresión

La compresión del aire entrante se realiza mediante un sistema de compresión de 3 etapas. Entre medias de las etapas de compresión hay una fase de enfriamiento para que el aire comprimido no aumente en exceso su temperatura. Este aumento de presión puede provocar que parte de la humedad del aire sature y condense, pudiendo provocar graves daños en los compresores siguientes por lo que después de cada fase de compresión además de enfriar el fluido se retira el vapor condensado.

Posteriormente, para conseguir una fracción de aire licuado se divide la corriente en dos. Una de ellas tendrá una expansión isentálpica mientras que la otra tendrá una expansión en una turbina recuperando parte del trabajo.

Las especificaciones del compresor se muestran a continuación:

Tabla 17: Requerimientos de Diseño para la Selección del Compresor Primario.

Parámetros de Diseño del Compresor	
Flujo Másico de Aire m , kg/h	7,833.83
Número de Etapas, N	3
Temperatura inicial del aire T_a , K	298.15
Presión de entrada al compresor P_a , atm	1
Presión de salida del compresor P_b , atm	5

Fuente: Elaboración propia.

6.4.3. Preenfriamiento

Para el proceso de preenfriamiento se hará uso de un intercambiador de calor, las especificaciones de los parámetros de diseño calculados son:

Tabla 18: Parámetros para la Selección del Intercambiador Primario (Intercambiador de Placas con juntas).

Intercambiador de Calor de Placas con Juntas		
Fluido	Caliente	Frío
	Aire	Agua

Flujo másico, kg/h	7,833.83	2,462.7976
Flujo volumétrico, m³/s	1.813387098	
Temperatura de entrada T1, °C	70	6
Temperatura de Salida T2, °C	10	52
Potencia requerida, kW	131.48	
Área de Transferencia de Calor, m²	152.92	
Número de Placas necesarias Np	483	
Número de canales por donde circulan los fluidos Nc	241	
Coeficiente de Transferencia de Calor, W/m²*K	92.37	

Fuente: Elaboración Propia.

6.4.4. Adsorción

En el sistema de purificación de aire, se desarrolla especialmente el secado del aire, que se realiza mediante tamiz molecular. Estos están hechos de minerales de silicato de aluminio llamados zeolitas. Consiste en cristales que unen grandes cantidades de agua a su estructura molecular. Cuando se calienta la zeolita, el agua se evapora, mientras que las moléculas de silicato permanecen muy próximas y forman orificios porosos del mismo tamaño. La zeolita ya está lista para secar al aire. Las moléculas de agua están fuertemente unidas a la superficie de los poros. A esto se le llama adsorción. Debido a la estructura molecular especial con poros, los tamices moleculares acumulan otros contaminantes como el dióxido de carbono, el acetileno y la mayoría de los hidrocarburos. La mayoría de los tamices moleculares hechos de cristales de zeolita se adhieren a materiales cerámicos y forman perlas o esferas con un diámetro de aproximadamente 5 mm y se colocan en un recipiente cilíndrico como un lecho sobre un plato con pequeños orificios.

El llamado diseño estándar con vasijas verticales duales todavía se utiliza para plantas de oxígeno con una capacidad de hasta 300 t/d, o para un flujo de aire de proceso de 45,000–50,000 Nm³/h, asumiendo que la presión del aire está

aproximadamente en 5–6 bar absoluto, y que la temperatura de alimentación es alrededor de 283 K. Este diseño básico aún puede ser utilizado para capacidades más grandes de producción de oxígeno si la presión del aire de proceso se incrementa, por ejemplo, en la aplicación de oxígeno en plantas integradas de generación de gas. En este último caso, sin embargo, se debe tener en cuenta la velocidad crítica del aire de proceso que fluye a través de las camas de adsorbente (ver figura 24).

La adsorción de agua por tamices moleculares es exotérmica, por lo que a medida que aumenta la temperatura del lecho, disminuye la adsorción de CO₂. Inversamente, la desorción de agua es endotérmica, por lo que se requiere más calor para la desorción. También hay que tener en cuenta que, si demasiadas partículas de agua líquida se arrastran hacia el lecho, la adsorción se verá afectada y puede producirse fracturas en los gránulos. El polvo resultante puede ingresar al sistema de intercambio primario, donde será difícil, si no imposible, eliminarlo. En un caso, en una unidad de oxígeno (1200 t=d), después de 20 años de operación, el polvo aún está en los intercambiadores primarios.

Durante la fase de adsorción, es importante no solo asegurarse de que el aire de proceso se difunda uniformemente sobre toda la superficie del lecho, sino también que su velocidad de flujo a través del lecho sea inferior a 20 cm/s, preferiblemente más cerca de 10 cm/s. Según estudios empíricos en el campo, la cantidad mínima que debe utilizarse de tamiz molecular (Tipo 13X) es de 50 kg por cada 1000 Nm³/h de flujo de aire de proceso por 1 h de adsorción. En circunstancias donde la atmósfera está muy contaminada con propano, puede ser prudente aumentar la cantidad de adsorbente. Desafortunadamente, este aumento sugerido aún está en el ámbito de la especulación, pero un aumento del 10% es un mínimo razonable.

Las temperaturas de operación son características del adsorbente; los valores adecuados a presión atmosférica se muestran en la Tabla 46. La temperatura de salida del gas suele ser aproximadamente 50°F más alta que la del final del lecho. Se proporcionan tiempos de ciclo típicos para adsorción y regeneración y relaciones vapor/adsorbente en la Tabla 47. Se debe suministrar suficiente calor para calentar el adsorbente y el recipiente, proporcionar calor de desorción y absorción de entalpía del adsorbato, y para las pérdidas de calor al entorno. La Tabla 47 sugiere que los tiempos de regeneración sean aproximadamente la mitad de los tiempos de adsorción. Para recipientes grandes, puede valer la pena realizar el cálculo de calentamiento no estacionario mediante los métodos generales aplicables a los regeneradores, como se presenta, por ejemplo, en Hausen (1983).

6.4.5. Intercambio de Calor

De acuerdo con la clasificación elaborada por Kuppan, 2013, los intercambiadores cuyos tipos son aplicables para el proceso de separación del aire son:

- Intercambiador de Tubo en Espiral (CTHE)

- Intercambiador de Placas y Aletas (PFHE)
- Intercambiador de Placas Perforadas (PPHE)
- Intercambiador de Circuito Impreso (PCHE)

6.4.5.1. Criterios de Selección para el Intercambiador de Calor

La selección del tipo de intercambiador para el proceso de separación del aire se basó en seis criterios principales (Kuppan, 2013):

- Eficiencia térmica
- Nivel de compactación
- Caída de presión
- Facilidad de operaciones de mantenimiento
- Costos

A continuación, se detallan los aspectos antes mencionados.

6.4.5.1.1. Eficiencia térmica

Los intercambiadores con mayor eficiencia son los de Circuito Impreso (PCHE) ya que pueden alcanzar eficiencias del orden del 98% para una sola unidad y pueden incorporar más de dos corrientes del proceso. Seguidamente se encuentran los intercambiadores de Placa y Aletas (PFHE) que en aplicaciones criogénicas alcanzan eficiencias del orden del 95% por sus superficies extendidas. En tercer lugar, se encuentran los intercambiadores de Tubo en Espiral (CWHE) que tienen una eficiencia alta pero menor que los PCHE y PFHE, sin embargo, estos intercambiadores permiten rangos amplios de temperaturas y presiones. Por último, Los intercambiadores de placas perforadas (PPHE) a pesar de ser usados como cryocoolers y tener discos fabricados con metales muy conductivos, las resistencias al flujo del fluido son muy altas, lo que disminuye la eficiencia térmica del intercambiador.

6.4.5.1.2. Nivel de compactación

En términos de compactación los intercambiadores más compactos son los de circuito impreso (PCHE) y Placas y aletas (PFHE), ya que los primeros utilizan placas que pueden llegar a tener 1.6 mm de espesor, 600 mm de ancho y 1200 mm de largo sin reducir su alta eficiencia térmica. Por su parte, los PFHE se caracterizan por tener superficies extendidas, así como su estructura de capas de canales apilados, lo que les permiten tener mucha más área de transferencia en un espacio reducido.

En segundo lugar, se encuentran los intercambiadores de tubo en espiral (CWHE) y los de placas perforadas (PPHE), que son relativamente más compactos que un intercambiador tradicional de placa y coraza pero que, debido a la cantidad de tubos o geometría de los platos paralelos, así como demás accesorios (como espaciadores), les hacen idóneos para procesos de separación a gran escala.

6.4.5.1.3. Caída de presión

Los intercambiadores con menores caídas de presión son los de tipo PFHE y PCHE ya que el primero está diseñado para balancear la eficiencia térmica con las menores caídas de presión por sus platos y superficies extendidas, y el segundo, por su parte, su estructura compuesta por micro canales permite que sean optimizados para minimizar la resistencia al flujo. Seguido se encuentran los intercambiadores PPHE cuya estructura de platos perforados permiten caídas de presiones mayores que los PFHE y PCHE, pero menores que los de tipo CWHE.

Por último, los intercambiadores de tipo CWHE pueden presentar caídas de presión moderadas a bajas, en dependencia del diámetro de los tubos utilizados. Sin embargo, este tipo de intercambiadores pueden lograr soportar altas presiones para aplicaciones a gran escala.

6.4.5.1.4. Facilidad de operaciones de mantenimiento

En términos de facilidad de mantenimiento, los intercambiadores de tipo PFHE son relativamente más fáciles de brindar mantenimiento ya que si hay ensuciamiento en algunas de las capas o canales, es posible que se puedan remover las placas para limpieza o reemplazo. De forma similar, los intercambiadores de tipo PPHE requieren de operaciones de mantenimiento más frecuentes pero su diseño de placas les hace más fáciles que los otros tipos para su limpieza o reemplazo.

Sin embargo, los intercambiadores de tipo CWHE y PCHE son los que presentan mayor complejidad para su mantenimiento. Los intercambiadores CWHE no permiten una limpieza mecánica sino de tipo química por los tubos que componen su estructura. Por su parte, los intercambiadores de tipo PCHE contienen micro canales que son muy difíciles de limpiar en caso de ensuciamiento.

6.4.5.1.5. Costos

En términos de costos, los intercambiadores de tipo PFHE son más viables económicamente considerando su eficiencia térmica, nivel de compactación y versatilidad. Por su parte, los intercambiadores PPHE presentan costos iniciales menores que los de tipo CWHE o PFHE, pero el nivel de eficiencia alcanzado en conjunto con las altas caídas de presión que presentan puede incrementar los costos operacionales.

Por su parte, los intercambiadores de tipo CWHE son moderadamente más caros de construir por su complejo proceso de manufactura y gran tamaño. Sin embargo, tienen la mayor durabilidad y son los más idóneos para procesos a gran escala.

Por último, los intercambiadores de tipo PCHE son los más costosos debido al complejo proceso de manufactura de los micro canales y materiales utilizados para su construcción.

Tabla 19: Criterios a Tomar en cuenta para la Selección del Intercambiador de Calor Principal.

Criterio de selección	Tipo de intercambiador			
	CWHE	PFHE	PPHE	PCHE
Eficiencia Térmica	+	++	+-	++
Nivel de compactación	+-	+	+-	++
Caída de presión	+-	-	+	+-
Facilidad de operaciones de mantenimiento	+-	+-	+	--
Costos	+-	++	+-	--*

Nota. ++ = muy alto, + = alto, +- = moderado, - = bajo, -- = muy bajo. *En términos de costos, el PCHE presenta los mayores costos de todos los tipos de intercambiadores.

Tomando en cuenta los criterios antes mencionados y resumidos en la **tabla 19**, los intercambiadores más idóneos para la producción de oxígeno y nitrógeno son el intercambiador de tipo PFHE y PCHE. Sin embargo, debido a los altos costos asociados a la manufactura y dificultad de mantenimiento de un intercambiador de tipo PCHE, se determina que el intercambiador más apropiado para este proceso es el de tipo PFHE.

6.4.5.2. Datos Preliminares para el diseño del Intercambiador

En la figura 10 se muestran las corrientes que entran y salen del intercambiador, así como sus especificaciones de temperatura y presión.

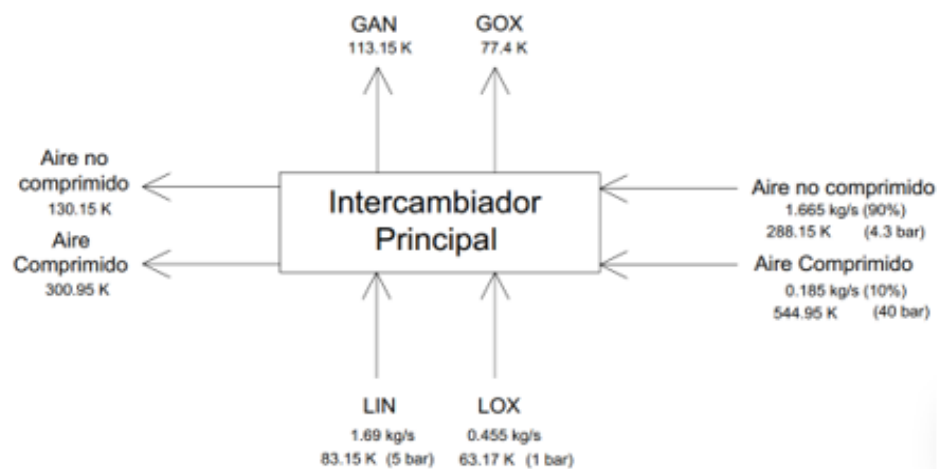


Figura 10: Corrientes que Intervienen en el Intercambiador de Calor Principal.

Las temperaturas utilizadas para el Nitrógeno líquido (LIN) y Oxígeno Líquido (LOX) se basan en el punto de ebullición de ambas sustancias. Así también, los

flujos másicos utilizados son los necesarios para lograr una producción de 39,398.14 kg/día (0.455 kg/s) de LOX y 146,857.20 kg/día (1.69 kg/s) de LIN al cabo de 20 años con un porcentaje de sobrediseño.

En la tabla 20 se muestran las propiedades de las corrientes necesarias para el dimensionamiento del intercambiador PFHE.

Tabla 20: Datos del Proceso para el Dimensionamiento del Intercambiador.

	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4
	Aire no comprimido	Aire comprimido	Oxígeno Líquido (LOX)	Nitrógeno Líquido (LIN)
Flujo másico entrante = Flujo másico de salida, $\dot{m}$ (kg/s)	1.665	0.185	0.455	1.69
Temperatura entrante, t_e (K)	288.15	544.95	63.17	83.15
Temperatura de salida, t_s (K)	130.15	300.95	77.4	113.15
Presión de entrada, p_e (bar)	4.3	40	1	5
Presión de salida, p_s (bar)	4.157	39.5	0.89	4.85

Fuente: Elaboración propia, a partir de simulación en Aspen.

6.4.5.3. Selección de Materiales y Componentes

Las aletas utilizadas para el diseño del intercambiador son de tipo dentados y perforados cuyas especificaciones se resumen en la figura 11.

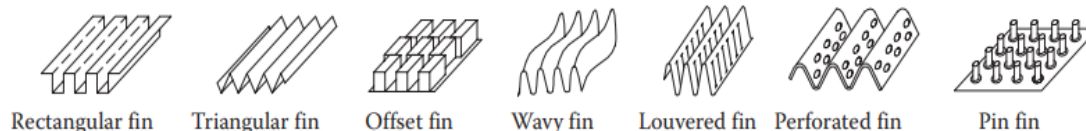


Figura 11: Detalles de las aletas utilizadas en intercambiadores de calor de placas y aletas.

La tabla 49 contiene las especificaciones sobre las aletas para realizar el diseño del Intercambiador de Calor Principal.

De acuerdo con lo recomendado por Kuppan, 2013, para procesos criogénicos se utilizará una aleación de aluminio 3003 tanto para las placas, aletas, barras de las esquinas y cabezales (Kuppan, 2013. P. 222).

6.4.5.4. Resultados de la Simulación con Aspen

La tabla 50 presenta los resultados de la simulación que se llevó a cabo para poder determinar los parámetros óptimos de operación del intercambiador de calor principal. En base a ella se pudo obtener parámetros como la temperatura de salida de las corrientes, caídas de presión, calor cedido o calor absorbido, así como las dimensiones del equipo como tal y el perfil de las temperaturas (ver figura 25 del anexo 4).

6.4.5.5. Dimensiones del Intercambiador

Las dimensiones del intercambiador pueden observarse en la figura 27 del anexo 4.

6.4.6. Expansión

Para la elección del equipo del proceso de expansión se hizo uso del dato obtenido en el procedimiento de cálculo del compresor, ya que en este apartado se calcula el trabajo realizado por la turbina, y solamente debemos seleccionar un equipo que satisfaga la potencia requerida:

Tabla 21: Parámetros Requeridos para la Selección de la Turbina.

Trabajo realizado (extraído) por la Turbina W_t , kJ/h
245,006.2375

Trabajo a suministrar al Sistema, kJ/h
2,718,697.399
Potencia que debe aportarse al sistema, kW
755.193722

Fuente: Elaboración propia.

6.4.7. Destilación

6.4.7.1. Torre AP a 5 bar

Las especificaciones de la torre de Alta Presión a 5 bar son los siguientes:

Tabla 22: Especificaciones de la Torre de Destilación de Alta Presión.

Variable	Magnitud	Unidades
Presión	5	bar
NTU	12	-
HTU	0.61	m
Altura de la Torre	7.32	m
Diámetro de la torre	0.7081	m
Destilado D	128.9020	kmol/h
$x_{N_2}^D$	0.98	-
Producto de fondo B	141.5566	kmol/h
$x_{N_2}^B$	0.6	-
Temperatura del Destilado	-174	°C
Temperatura del Fondo	-170	°C
Calor del Rehervidor	548,427.7731	kJ/h

Calor del Condensador	705,120.9448	kJ/h
-----------------------	--------------	------

Fuente: Elaboración propia.

6.4.7.2. Torre BP a 1 bar

Los parámetros de diseño calculados para la Torre BP a 1 bar son los siguientes:

Tabla 23: Especificaciones Técnicas de la Torre de Baja Presión.

Variable	Magnitud	Unidades
Presión	1	bar
NTU	20	-
HTU	0.61	m
Altura de la Torre	12.2	m
Diámetro de la torre	0.6168	m
Destilado D	85.2228	kmol/h
x_{N2}^D	0.99	-
Producto de fondo B	56.3337	kmol/h
x_{N2}^B	0.01	-
Temperatura del Destilado	-195	°C
Temperatura del Fondo	-184	°C
Calor del Rehervidor	514,222.1769	kJ/h
Calor del Condensador	194,788.4612	kJ/h

Fuente: Elaboración propia.

6.4.7.3. Torre de Argón Bruto:

Los valores requeridos que se obtuvieron de las ecuaciones de diseño para la torre de argón bruto son los siguientes:

Tabla 24: Especificaciones Técnicas para la Torre de Argón Bruto.

Variable	Magnitud	Unidades
Presión	1	bar
NTU	80	-
HTU	0.61	m
Altura de la Torre	48.8	m
Diámetro de la torre	0.3128	m
Destilado D	1.8647	kmol/h
x_{Ar}^D	0.98	-
Producto de fondo B	8.3107	kmol/h
x_{Ar}^B	0.0005	-
Temperatura del Destilado	-186	°C
Temperatura del Fondo	-183	°C
Calor del Rehervidor	165,448.0858	kJ/h
Calor del Condensador	254,657.0827	kJ/h
Plato de Alimentación	34	-

Fuente: Elaboración propia.

6.4.8. Selección de la Tecnología de la Planta

Aunque se realizaron los cálculos necesarios para el diseño de cada uno de los equipos necesarios para la planta, se decidió adquirir una planta prefabricada, ya que las plantas prefabricadas para la obtención de oxígeno, nitrógeno y argón se venden por su eficiencia y conveniencia, ya que se construyen en condiciones controladas, reduciendo tiempo y costos. La producción en serie disminuye los costos unitarios y elimina gastos asociados con la construcción personalizada. Estas plantas permiten una implementación rápida y pueden ser modulares, facilitando la expansión de la capacidad de producción. Además, incorporan tecnología avanzada y cumplen con normativas internacionales, lo que simplifica la obtención de permisos. También ofrecen soporte y mantenimiento, asegurando un funcionamiento continuo y eficiente.

El parámetro clave para la selección de la planta fue la capacidad de procesamiento de aire. A partir de la determinación de la capacidad de producción, se estableció que el aire a procesar, incluyendo el sobrediseño, es de 188.01 toneladas por día.

Nuestro proveedor será la empresa multinacional Air Liquide Global Engineering & Construction, ya que construye las unidades de producción (principalmente unidades de separación de aire-gas y unidades de producción de hidrógeno) y ofrece a los clientes externos su cartera de tecnologías. Sus tecnologías de gases industriales, de conversión de energía y de purificación de gas les permiten a los clientes optimizar el uso de recursos naturales.

Dentro de su extenso catálogo de plantas prefabricadas, optamos por una planta del tipo Sigma – Unidad Estándar de Separación de Aire, la cual posee la capacidad requerida para procesar el aire necesario y producir las cantidades específicas de oxígeno, nitrógeno y argón establecidas.

Los detalles de la Planta Sigma se muestran en la figura 28. Como se puede apreciar, la capacidad de aire a procesar en este tipo de planta es de 110 a 380 toneladas por día, lo cual cubrirá nuestra capacidad estimada, y cuenta con cada una de las etapas del proceso de producción descritas.

6.4.9. Requerimiento de Insumos, Suministros y Otros Materiales

Las tablas 51 y 52 resumen los requerimientos de insumos (zeolita 13X) y suministros (agua, energía eléctrica) y envases necesarios para el correcto funcionamiento de la planta productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón.

6.5. Infraestructura y Distribución de la Planta

La planta productora de interés en este estudio se organizará y se distribuirá en los departamentos o áreas que se mencionan en la tabla 53. Cabe resaltar que se utilizó el método de la matriz SLP para determinar la distribución óptima de las áreas de la planta (ver tabla 57, 58 y 59 del Anexo 3).

- **Área de Recepción y Pretratamiento de Materia Prima:** Donde se capta y se limpia el aire atmosférico para prepararlo para el proceso. Aquí se eliminan principalmente partículas de polvo de hasta 2.5 micras. En la realidad, el lavador Venturi es capaz de remover parcialmente gases contaminantes, sin embargo, por simplicidad, en este estudio se asume que solamente se remueven sólidos en la etapa de pretratamiento.
- **Área de Compresión Primaria e Intercambio de Calor Primario:** En este punto, el aire se comprime isotérmicamente (con ayuda del intercambiador de calor primario) hasta una presión aproximada de 5 bar, entregando el aire a la presión requerida en el tamiz molecular.

- **Área de Purificación y Compresión Principal:** En esta sección, se eliminan las impurezas más críticas de la corriente de aire (como restos de hidrocarburos, CO₂ y humedad) para garantizar la calidad del aire requerida en la caja fría y evitar problemas en los equipos posteriores.
- **Área de Caja Fría:** En esta etapa, la fracción del aire comprimido a 40 bar entra al intercambiador de calor principal y luego, acciona el eje de una turbina en donde se expande y alcanza temperaturas criogénicas, gracias al efecto Joule-Thompson. La otra fracción del aire es enfriada aprovechando el frío de los productos salientes de las torres de destilación.
- **Área de Destilación:** Aquí se lleva a cabo la separación de gases mediante destilación fraccionada, donde se obtienen nitrógeno, oxígeno y argón.
- **Área de Envase y Almacén de Producto Terminado:** Espacio dedicado al almacenamiento seguro de los gases separados en tanques a distintas presiones y temperaturas.
- **Área de Distribución y Logística:** Maneja la distribución de los gases a los clientes y la logística de transporte y entrega.
- **Área de Mantenimiento:** Responsable del mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos y maquinarias de la planta.
- **Laboratorio de Calidad:** Controla y supervisa el funcionamiento de la planta, asegurando que los productos cumplan los estándares de calidad establecidos.
- **Oficinas Administrativas:** Espacio de trabajo para el personal no operativo de la planta (recursos humanos, finanzas, etc.)
- **Baños:** Facilidades para el personal, incluyendo baños y vestuarios para cumplir con normativas de higiene y comodidad.
- **Casetas de Seguridad:** Diseñada para gestionar la seguridad patrimonial y los protocolos de emergencia en caso de incidentes.
- **Salas de Reuniones y Capacitación:** Espacios para reuniones y formación del personal, fomentando el aprendizaje y la comunicación.
- **Comedor:** Espacio donde los trabajadores ingerirán sus alimentos.
- **Clínica:** Diseñada para la atención a los trabajadores en caso de incidentes que atenten contra la integridad física de los mismos.

- **Gimnasio:** Diseñado para garantizar la salud y el bienestar a los trabajadores.
- **Recepción:** Lugar de atención a proveedores, clientes, visitantes, etc.
- **Áreas Verdes:** Espacios destinados a la vegetación y áreas recreativas, que contribuyen al bienestar del personal y al entorno ecológico.
- **Áreas de Expansión:** Espacios reservados para futuras ampliaciones de la planta o la incorporación de nuevos equipos y tecnologías.

6.5.1. Plano de Distribución de la Planta

El plano de distribución de todas las áreas que conforman la Planta productora se puede observar en la figura 30 del anexo 4.

6.6. Determinación de la Organización del Talento Humano

La organización del Talento Humano depende del tamaño de la planta, la capacidad de producción, la tecnología utilizada y otros factores. Para una planta como la que estamos diseñando, la organización del personal sería de la siguiente manera:

Gerencia General

Responsabilidades:

- Supervisar todas las operaciones de la planta.
- Tomar decisiones estratégicas.
- Coordinar con los diferentes departamentos.
- Asegurar el cumplimiento de las normativas y estándares.

Gerencia de Producción

- Departamento de Producción

Responsabilidades:

- Operación de los equipos de producción.
- Control de calidad de los gases producidos.
- Planificación de la producción.

- Cumplimiento del plan de producción semanal, mensual y anual.
- Realizar y dar seguimiento a los análisis de control y aseguramiento de la calidad de materia prima, productos de proceso y producto terminado.

Posiciones:

- Gerente de Producción
 - Jefe de Producción
 - Supervisores de Producción
 - Técnicos de Proceso
 - Auxiliares de Producción
- **Departamento de Ingeniería y Proyectos**

Responsabilidades:

- Diseño y optimización de procesos.
- Implementación de nuevos proyectos y tecnologías.
- Solución de problemas técnicos.
- Mejora continua.

Posiciones:

- Jefe de Ingeniería y Proyectos
 - Ingeniero de Procesos
 - Ingeniero de Proyectos
 - Analistas de Mejora Continua
- **Departamento de Mantenimiento**

Responsabilidades:

- Elaborar y efectuar el plan de mantenimiento preventivo y predictivo programado a equipos, maquinaria auxiliar y accesorios del sistema de control de la planta.
- Realizar mantenimiento correctivo a los componentes de la planta en caso de ser necesario.
- Dar mantenimiento a la flota vehicular.
- Asegurarse del funcionamiento óptimo de todos los componentes de planta.

Posiciones:

- Jefe de Mantenimiento
- Supervisor de Mantenimiento Eléctrico y de Automatización
- Supervisor de Mantenimiento Mecánico
- Supervisor de Mantenimiento Automotriz
- Técnico de Mantenimiento Eléctrico y de Automatización
- Técnico de Mantenimiento Mecánico
- Técnico de Mantenimiento Automotriz

- Planeador de Mantenimiento

Gerencia de Calidad, Higiene, Salud Ocupacional, Seguridad, Medio Ambiente y Responsabilidad Social

- Gerente de Calidad, Higiene, Salud Ocupacional, Seguridad, Medio Ambiente y Responsabilidad Social

Responsabilidades:

- Garantizar el cumplimiento de las leyes, normativas y estándares de calidad, higiene, salud ocupacional, seguridad y medio ambiente.
- Monitorear la seguridad industrial de la planta.
- Realizar auditorías internas.
- Gestionar las certificaciones necesarias.
- Dar seguimiento a la salud de los trabajadores de la planta.
- Dar seguimiento a los programas de responsabilidad social de la empresa.
- Gestionar alianzas con organizaciones y otras empresas.
- Coordinación de planes de emergencia y evacuación.

Posiciones:

- Jefe de Calidad e Inocuidad
- Jefe de Higiene, Salud Ocupacional y Seguridad
- Jefe de Medio Ambiente y Responsabilidad Social
- Jefe de Laboratorio
- Supervisor de Calidad e Inocuidad
- Especialista de Medio Ambiente
- Analista de Medio Ambiente
- Especialista de Higiene y Seguridad
- Analistas de Higiene y Seguridad
- Analista de Calidad e Inocuidad
- Médico Ocupacional
- Especialista de Responsabilidad Social
- Técnico de Laboratorio
- Regente Farmacéutico

Gerencia de Logística

Responsabilidades:

- Gestión de inventarios de materias primas y productos terminados.
- Coordinación del transporte y distribución.
- Gestión de proveedores y compras.

Posiciones:

- Gerente de Logística
- Jefe de Logística
- Jefe de Suministros
- Ingenieros de Procesos Logísticos
- Coordinador de almacenes
- Especialista de Compras
- Técnicos de Almacén
- Conductores

Gerencia de Recursos Humanos

- Gerente de Recursos Humanos
- **Departamento de Recursos Humanos**

Responsabilidades:

- Selección y contratación de personal.
- Capacitación y desarrollo profesional.
- Gestión de nóminas y beneficios.
- Resolución de conflictos laborales.

Posiciones:

- Jefe de Recursos Humanos
- Especialista de Reclutamiento
- Especialista de Desarrollo del Talento Humano
- Especialista de Nóminas

○ **Departamento de IT y Soporte Técnico**

Responsabilidades:

- Mantenimiento de sistemas informáticos.
- Soporte técnico a los empleados.
- Implementación de software y hardware.

Posiciones:

- Jefe de IT
- Técnicos de Soporte
- Administradores de Sistemas

○ **Departamento de Servicios Generales**

Responsabilidades:

✓ **Seguridad:**

- Monitoreo y control de acceso a las instalaciones.

- Implementación y supervisión de medidas de seguridad.
- Formación y capacitación en seguridad para el personal.

Posiciones:

- Supervisores de Seguridad
- Guardas de Seguridad

✓ **Aseo y Limpieza:**

- Mantenimiento de la limpieza en todas las áreas de la planta, incluidas oficinas, áreas de producción, y áreas comunes.

Posiciones:

- Supervisor de Limpieza
- Personal de Limpieza

✓ **Mantenimiento de Instalaciones:**

- Mantenimiento preventivo y correctivo de edificios e infraestructuras.
- Reparaciones menores y mantenimiento de sistemas eléctricos, de fontanería y HVAC (ventilación y aire acondicionado).

Posiciones:

- Técnicos de Mantenimiento general

✓ **Jardinería:**

- Cuidado y mantenimiento de áreas verdes y jardines.
- Podas, riego, y control de plagas en áreas exteriores.

Posiciones:

- Jardineros.

✓ **Gestión de Servicios Auxiliares:**

- Coordinación de servicios de cafetería o comedores para el personal.
- Administración de transporte interno, si aplica.
- Gestión de servicios de mensajería y correspondencia.

Posiciones:

- Técnico de Servicios Auxiliares.

 Gerencia Financiera

- Gerente Financiero
- Departamento de Finanzas

Responsabilidades:

- Gestión financiera y contable.
- Control de presupuestos.
- Análisis financiero.
- Relación con entidades financieras.

Posiciones:

- Jefe de Finanzas
- Contadores
- Analistas Financieros

- **Departamento de Marketing y Comunicaciones**

Responsabilidades:

- Realizar proyecciones de ventas en base a la demanda del mercado.
- Crear y dar seguimiento a campañas publicitarias de los productos ofertados.
- Comunicar interna y externamente todo lo relacionado con la empresa.
- Cumplir con las ventas proyectadas mensualmente.

Posiciones:

- Jefe de Marketing y Comunicaciones
- Coordinador de Marketing
- Oficial de Marketing
- Especialista de Comunicaciones
- Coordinador de Ventas
- Especialistas de Ventas
- Vendedores

6.6.1. Requerimiento de Personal:**Gerencia General**

- ✓ Gerente General: 1

 Gerencia de Producción: 30 colaboradores

Gerente de Producción: 1

- **Departamento de Producción**

- ✓ Jefe de Producción: 1
- ✓ Supervisores de Producción: 2 (asumiendo 2 turnos de 12 horas al día).
- ✓ Técnicos de Proceso: 4 (asumiendo 3 turnos al día más un técnico adicional).

- ✓ Auxiliares de Producción (operarios de equipos): 4 (asumiendo 3 turnos al día más un auxiliar adicional).
- **Departamento de Ingeniería y Proyectos**
 - ✓ Jefe de Ingeniería y proyectos: 1
 - ✓ Ingenieros de Procesos: 1
 - ✓ Analistas de Mejora Continua: 1
- **Departamento de Mantenimiento**
 - ✓ Jefe de Mantenimiento: 1
 - ✓ Supervisor de Mantenimiento Eléctrico y de Automatización: 1
 - ✓ Supervisor de Mantenimiento Mecánico: 1
 - ✓ Supervisor de Mantenimiento Automotriz: 1
 - ✓ Técnico de Mantenimiento Eléctrico y de Automatización: 4
 - ✓ Técnico de Mantenimiento Mecánico: 4
 - ✓ Técnico de Mantenimiento Automotriz: 2
 - ✓ Planeador de Mantenimiento: 1

Gerencia de Logística: 16 colaboradores

Gerente de Logística: 1

- **Departamento de Logística**
 - ✓ Jefe de Logística: 1
 - ✓ Ingenieros de Procesos Logísticos: 2
 - ✓ Conductores: 4
- **Departamento de Suministros**
 - ✓ Jefe de Suministros: 1
 - ✓ Especialista de Compras: 2
 - ✓ Coordinador de Almacenes: 1
 - ✓ Técnicos de Almacén: 4

Gerencia de Recursos Humanos: 24 colaboradores

Gerente de Recursos Humanos: 1

- **Departamento de Recursos Humanos**
 - ✓ Jefe de Recursos Humanos: 1
 - ✓ Especialista de Reclutamiento: 1
 - ✓ Especialista de Desarrollo del Talento Humano: 1
 - ✓ Especialista de Nóminas: 1
- **Departamento de IT y Soporte Técnico**
 - ✓ Jefe de IT: 1
 - ✓ Técnicos de Soporte: 1

✓ Administrador de Sistemas: 1

○ **Departamento de Servicios Generales**

- ✓ Jefe de Servicios Generales: 1
- ✓ Supervisores de Seguridad Física: 2
- ✓ Guardas de Seguridad: 4
- ✓ Supervisor de Limpieza: 1
- ✓ Personal de Limpieza: 3
- ✓ Técnicos de Mantenimiento general: 2
- ✓ Jardineros: 1
- ✓ Personal de Servicios Auxiliares: 2

 Gerencia de Calidad, Inocuidad, Higiene, Salud Ocupacional, Seguridad, Medio Ambiente y Responsabilidad Social: 18 colaboradores

Gerente de Calidad, Inocuidad, Higiene, Salud Ocupacional, Seguridad, Medio Ambiente y Responsabilidad Social: 1

○ **Departamento de Calidad e Inocuidad**

- ✓ Jefe de Calidad e Inocuidad: 1
- ✓ Supervisores de Calidad e Inocuidad: 1
- ✓ Analistas de Calidad e Inocuidad: 1

○ **Departamento de Higiene, Salud Ocupacional y Seguridad**

- ✓ Jefe de Higiene, Salud Ocupacional y Seguridad: 1
- ✓ Especialistas en Higiene y Seguridad: 2
- ✓ Analistas de Higiene y Seguridad: 3 (asumiendo 2 turnos al día más un analista adicional).
- ✓ Médico Ocupacional: 1

○ **Departamento de Medio Ambiente y Responsabilidad Social**

- ✓ Jefe de Medio Ambiente y Responsabilidad Social: 1
- ✓ Especialistas de Medio Ambiente y Responsabilidad Social: 1
- ✓ Analista de Medio Ambiente: 1

○ **Laboratorio de Calidad**

- ✓ Jefe de Laboratorio de Calidad: 1
- ✓ Técnicos de Laboratorio: 2 (asumiendo 2 turnos al día).
- ✓ Regente Farmacéutico: 1

 Gerencia de Finanzas: 14 colaboradores

Gerente de Finanzas: 1

○ **Departamento de Administración y Finanzas**

- ✓ Jefe de Administración y Finanzas: 1

- ✓ Contadores: 2
- ✓ Analistas Financieros: 1
- **Departamento de Marketing y Comunicaciones**
 - ✓ Jefe de Marketing y Comunicaciones: 1
 - ✓ Coordinador de Marketing: 1
 - ✓ Oficial de Marketing: 1
 - ✓ Especialista de Comunicaciones: 1
 - ✓ Coordinador de Ventas: 1
 - ✓ Especialistas de Ventas: 1
 - ✓ Vendedores: 3

Sumando todos los roles, la estimación sería:

- Gerencia General: 1
- Gerencia de Producción: 30
- Gerencia de Logística: 16
- Gerencia de Recursos Humanos: 24
- Gerencia de Finanzas: 14
- Gerencia de Calidad, Inocuidad, Higiene, Salud Ocupacional, Seguridad, Medio Ambiente y Responsabilidad Social: 18

Total: 103 personas

6.6.2. Organigrama

Las figuras 31 y 32 muestran la representación gráfica de la jerarquía organizacional del talento humano de la empresa.

6.7. Programación de Actividades

La programación de las actividades de preparación de suelo, construcción y arranque de la planta se detalla en las tablas 25 y 54. En ellas se incluyen todas las actividades y el tiempo de duración para la ejecución del proyecto hasta su puesta en marcha para iniciar la producción.

Tabla 25: Establecimiento de la Ruta Crítica en la Programación de Actividades.

Actividad	Tiempo (meses)	ES	LS	EF	LF	Holgura Total (HT)
A	1	0	0	1	1	0

B	1.5	1	1	2.5	2.5	0
C	1	0	2.5	1	3.5	2.5
D	1.5	2.5	2.5	4	4	0
E	6	4	4	10	10	0
F	3	0	7	3	10	7
G	4	10	10	14	14	0
H	3	14	14	17	17	0
I	2	0	15	2	17	15
J	1.5	0	15.5	1.5	17	15.5
K	1.5	17	17	18.5	18.5	0

Fuente: Elaboración propia.

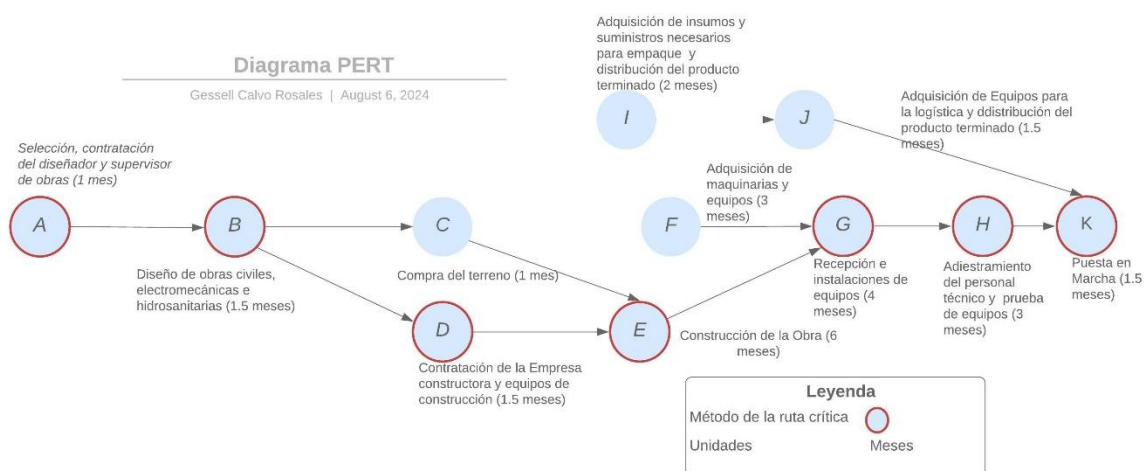


Figura 12: Ruta Crítica de las Actividades para la Construcción, Montaje y Puesta en Marcha de la Planta.

La etapa desde la formulación de los estudios y la ejecución del presente proyecto, hasta su puesta en marcha, tiene una duración de 18.5 meses, conforme lo establecido en la ruta crítica de tal forma que la asignación de recursos humanos, materiales, económicos y financieros deben realizarse conforme esta programación para evitar atrasos innecesarios y cumplir en tiempo y forma con el calendario de desembolsos y la asignación de recursos.

6.8. Evaluación de Impactos Ambientales asociados al proyecto

Un Estudio de Evaluación de Impactos Ambientales describe cómo un proyecto puede afectar al medio ambiente, la población y los valores culturales. Este es necesario para tomar decisiones sobre la viabilidad técnica de un proyecto, puesto

que son en sí las actividades antes, durante y después del funcionamiento de la planta las que generan los impactos, ya sean positivos o negativos. Esta es la razón por la cual no se definió un objetivo específico para el estudio de impacto ambiental, y a su vez, por el hecho de que un estudio mejor elaborado de este ámbito puede ser perfectamente un tema para una tesis completamente diferente.

6.8.1. Caracterización del Proyecto

El proyecto de instalación de la planta procesadora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón, en el municipio de Nagarote, es un proyecto que entra dentro de la clasificación de Categoría II, según artículo 15 del Decreto Ejecutivo No. 20-2017, el cual incluye aquellos que pueden causar altos impactos ambientales potenciales y están sujetos a la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental. Dentro de esta clasificación, el proyecto de interés está dictado según el numeral 44 (industrias que producen y procesan gases comprimidos como cloro, amoníaco, acetileno, hidrógeno, nitrógeno, óxido nitroso y gases licuados y similares). Cabe resaltar que este decreto es el que describe el sistema de evaluación ambiental de permisos y autorizaciones para el uso sostenible de los recursos naturales.

La ubicación exacta del proyecto es Latitud 12°16'4.96"N y Longitud 86°31'37.62"O, con una elevación de 133 m. Dicha zona es apta para el montaje de una planta, ubicándose cerca de una de las carreteras más importantes del país, la cual es necesaria para el transporte de materia prima, insumos y el producto terminado hasta los clientes.

6.8.1.1. Descripción del Proyecto

Las operaciones que integran el proceso productivo de la planta productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón son las siguientes:

- 1) Extracción y Pretratamiento de la materia prima (aire),
- 2) Compresión Primaria,
- 3) Preenfriamiento,
- 4) Purificación (con tamices moleculares),
- 5) Compresión Principal,
- 6) Intercambio de Calor principal,
- 7) Destilación,
- 8) Subenfriamiento,
- 9) Almacenamiento del producto final.

Durante la operación se generarán los siguientes residuos:

- Material inerte y basura orgánica.
- Residuos sólidos reciclables como cartón, plásticos, vidrio, papel, madera, etc.

- Desechos sólidos peligrosos (como hilazas, tierra u otro material inerte contaminados con hidrocarburos, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, aerosoles, latas de pinturas, recipientes plásticos contaminados con hidrocarburos) y desechos líquidos peligrosos (aceites usados, lubricantes, aguas oleosas, etc.).
- Aguas residuales domésticas procedentes del uso de baños y el aseo personal de los colaboradores.
- Aguas residuales industriales, como la generada en el proceso de lavado en el venturi scrubber, y en el ciclón.

Se produce, de manera alterna, ruido, principalmente durante la operación de los equipos y maquinarias de compresión y expansión.

La planta tendrá la capacidad de procesar 188 ton/día (68,624.37 ton/ año) de aire para producir 39.40 ton/día de Oxígeno, 146.86 ton/día de Nitrógeno y 1.76 ton/día de Argón, trabajando 3 turnos de 8 horas, durante 365 días al año.

6.8.2. Marco Institucional, Legal y Normativo aplicable al proyecto

El marco de regulación ambiental en Nicaragua inicia con la Constitución Política, que establece en el arto. 60 textualmente: “Los nicaragüenses tienen derecho de habitar en un ambiente saludable, así como la obligación de su preservación y conservación...” En la tabla 55 se puede observar el marco legal aplicable al proyecto en cuestión.

Las normas para la conservación, protección, mejoramiento y restauración del medio ambiente y los recursos naturales están establecidas en la ley 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. En ella, se establecen los instrumentos para la gestión ambiental, conformados por el conjunto de políticas, directrices, normas técnicas, programas e instituciones que permiten la aplicación de los principios generales ambientales y la correcta ejecución de los planes y los objetivos ambientales del país.

6.8.3. Línea base ambiental del área de influencia del proyecto

6.8.3.1. Área de influencia del proyecto

El área de influencia directa del proyecto es un espacio de 7.58 ha (75,758 m²). El área indirecta incluye al municipio de Nagarote y todas las comunidades cercanas a la operación de la planta y, las zonas de comercialización del producto terminado.

El área antes mencionada, actualmente está cubierta con arbustos y árboles de pequeño tamaño distribuidos en toda la zona. Ocasionalmente se utilizaba como

área de siembra de granos como maní. Los árboles que se pueden encontrar mayormente en la zona son: Guácimo de ternero (*Guazuma ulmifolia*), Jícaro (*Crescentia alata*), Tigüilote (*Cordia alba*), madero negro o madriado (*Gliricidia sepium*) y neem (*Azadirachta indica*). Estas especies son aprovechadas en el país por sus propiedades conocidas desde antiguo, como el neem, del cual se puede fabricar repelente para insectos, o el madero negro, que aparte de su uso maderable, sus hojas tienen propiedades medicinales, y sus semillas y corteza se pueden mezclar con granos para obtener veneno para roedores. El fruto del tigüilote antiguamente se utilizaba como pegamento, aunque hoy en día ese uso ha venido cesando, usándose solo las ramas como leña. Del fruto del jícaro se pueden elaborar artesanías como guacales, vasos de jícaro, cucharas, etc. Representa un árbol de mucho valor histórico y cultural en nuestro país, al ser empleado por nuestros antepasados para los fines mencionados anteriormente. La semilla de jícaro es utilizada en la alimentación del nicaragüense, de la cual se puede hacer bebidas o pozoles.

6.8.3.2. Factores Abióticos

6.8.3.2.1. Calidad de la Atmósfera

De acuerdo con la información adquirida sobre el área del proyecto, las actividades económicas que se llevan a cabo no son muy desarrolladas, quedando a nivel de pequeña industria. Cercano al área está la Planta generadora de energía Che Guevara, pero que no incide de manera directa en la calidad del aire, dado que se encuentra un tanto distante del área del proyecto, la Planta de fabricación de Cemento de Holcim, ubicada a unos 5 km de la zona y, frente a Holcim, la empresa Nicalapia, que se encarga del aprovechamiento de recursos biológicos acuáticos como camarones, pescados, etc.

Por su parte las áreas de cultivos intensivos de caña de azúcar circundante a la urbe se encuentran generalmente en dirección opuesta del viento, contando además con área periurbanas compuestas por áreas de cultivo en desuso (con cierta cobertura vegetal) lo cual favorece a la no afectación por polvaredas, típicas en la zona de occidente. A pesar de la relativa cercanía de la ciudad, con el volcán Momotombo, no se reportan hasta la fecha, afectaciones por humo o cenizas en el aire en sus procesos de actividad, favoreciendo para esto la dirección del viento. En toda el área urbana no se observó algún tipo de emisión al aire ni se percibieron malos olores. Existiendo algunas fuentes de contaminación puntuales al aire que generan mal olor, como el caso de dos pequeñas industrias de tenerías, el Vertedero Municipal, el Rastro Municipal, además de las dos PTAR de la ciudad que producto de su proceso normal la descomposición de sus vertidos, se generan malos olores por la emisión de gases de efecto invernadero como el metano, y muy probablemente tóxicos como el sulfuro que hidrógeno (como resultado de la descomposición de materia orgánica, en medios pobres en oxígeno) que no solamente emiten malos olores sino también, el riesgo de enfermedades y hasta

la muerte de operarios o población residentes en las cercanías de dichas obras. No obstante en todos los casos, el mal olor es perceptible de forma inmediata a una distancia que no supera los 30 m de distancia. De manera general, exceptuando sitios de las fuentes antes mencionadas, se puede plantear que la calidad del aire del área urbana de Nagarote es buena. Los vientos predominantes son los del Norte, con dirección Noreste a Oeste.

6.8.3.2.2. Clima

El clima en Nicaragua es tropical y se vuelve subtropical dependiendo de la altitud del relieve. En las zonas bajas es cálido o tropical y en las zonas altas predomina un clima fresco o subtropical. El municipio de Nagarote se encuentra dentro de la región climática del trópico seco, región baja del Pacífico de Nicaragua.

De acuerdo con el mapa climático elaborado por INETER basados en el sistema de Koppen modificado, Nagarote presenta un clima caliente y subhúmedo con lluvia en verano, se caracterizan por ser zonas de transición hacia otros tipos de climas. Se establece en una zona considerada Sabana Tropical, presentándose altas temperaturas. Se caracteriza por tener una estación seca (noviembre a abril), y otra lluviosa (de mayo a octubre) con precipitaciones considerables en invierno.

6.8.3.2.3. Precipitaciones

Las precipitaciones del municipio de Nagarote, se dividen en 2 zonas de lluvias. La mayor precipitación es el rango de (1200-1600mm) en la (ZP-II) con una extensión aproximada de 413.60 Km², el 68.38% del territorio municipal. Esta zona de precipitación comprende las zonas territoriales III, IV, V, VI y VII, donde se localizan (173) asentamientos de la parte Este, Noreste y Oeste del Territorio.

El segundo rango de precipitación de (800-1200mm) es la (ZP-I) con una extensión aproximada de 192.31 Km², el 31.73% del territorio municipal. Esta zona de Precipitación comprende las Zonas Territoriales I, II y VIII, donde se localizan (134) asentamientos de la parte Este, Sur, Sureste y Suroeste del Territorio.

6.8.3.2.4. Temperatura

El municipio de Nagarote, se divide en 4 zonas de Temperaturas. La mayor área es el rango de temperatura de (27°C-24°C) con 390.06 Km², con el 64.38% del territorio municipal. El segundo rango de temperatura es de 24°C-22°C con 18.94 Km², con el 32.38% del territorio municipal. El tercer rango de temperatura es de 22°C-20°C con 18.94 Km² correspondiente al 03.12% del territorio municipal. La cuarta zona posee un rango de temperaturas menores a 20°C equivalente a un 0.74% del municipio.

6.8.3.2.5. Geología

El municipio de Nagarote (según INETER), está ubicado entre 2 provincias geoestructurales: La Costa del Pacífico y Grupo Las Sierras, alineadas a las Costas del Océano Pacífico. Las características territoriales indican que su origen geológico data del Cenozoico-Cuaternario de Rocas Volcánicas (Ignimbritas, Tobas, Aglomerados y Escorias Basálticas). Las propiedades de estas rocas indican una resistencia menor a los 350 Kg/cm², siendo terrenos cuya estructura física son adecuadas para las edificaciones de servicio y habitacionales para proyectos en Asentamientos Urbanos. Las áreas litológicas del municipio de Nagarote se divide en 10 formaciones geológicas. La mayor área es el grupo Las Sierras con 202.31 Km², con el 33.39% del territorio municipal. En el siguiente cuadro se muestra las áreas litológicas del municipio de Nagarote.

Tabla 26: Áreas Litológicas del Municipio de Nagarote.

Nº	Áreas Litológicas	Área Km ²	Porcentaje %
1	Grupo Las Sierras	202.31	33.39
2	Formación Tamarindo Medio Ignimbritas y Toba	123.14	20.32
3	Formación El Fraile	118.83	19.61
4	Indiferenciado	57.63	9.51
5	Formación Tamarindo Inferior Andesita y Aglomerados	34.38	5.67
6	Formación Masachapa	24.07	3.97
7	Coluvial	19.97	3.29
8	Aluvial	18.95	3.13
9	Intrusivo Básico	5.48	0.9
10	Formación Tamarindo Superior	1.15	0.19

Fuente: Elaboración propia.

El municipio de Nagarote, se ve afectado por varias fallas de origen volcánico. Estas están diseminadas en la mayor parte de la extensión territorial, principalmente en las Formaciones geológicas de El Tamarindo y El Fraile al Sur y Suroeste. Estas se alinean a la Faja Costera del Pacífico afectando a varios asentamientos localizados en estos territorios. La costa del pacífico del municipio

de Nagarote es afectada por un sin números de eventos sísmicos en los distintos meses del año.

6.8.3.2.6. Geomorfología

Partiendo de la revisión documental teniendo como fuente el INETER con su mapa de provincias geomorfológicas, hidrogeológico, así como lo reflejado en las caracterizaciones de las cuencas # 66 río Tamarindo y # 69 Río San Juan, se conoce que el territorio del municipio de Nagarote se enclava en la Provincia Fisiográfica Costera del Pacífico subprovincia Planicie Nagrandanos, colindante al sur con la subprovincia Cuesta de Diriamba y al noreste con la Cordillera volcánica de los Maribios.

La Planicie Nagrandanos se considera una llanura volcánica adjunta al Océano Pacífico. Se caracteriza por estar formadas por angostas planicies costeras de relieve bajo y desarrolladas principalmente sobre piroclásticos del Cuaternario.

El patrón de drenaje más común en gran parte del territorio municipal al oeste es dendrítico, drenando hacia el océano Pacífico, siendo su río principal el río Tamarindo. Los esteros de inundación y una línea costera irregular justifican que la parte occidental de esta subprovincia sea clasificada como una costa de inmersión. De acuerdo con la caracterización de la cuenca el # 69, el territorio municipal está influenciado morfológicamente por la Planicie Nagrandanos, Limita al norte con la zona de Calderas, conos y cráteres volcánicos y Lago Xolotlán, al oeste con las Serranías del Pacífico. La superficie varía de plana a semi-ondulada, compuesta de material altamente erosionable sobre basamento sedimentario y volcánico.



Figura 13: Caracterización de la Cuenca del Litoral Pacífico.

6.8.3.2.7. Hidrología

El Sistema Hidrológico del Municipio de NAGAROTE, se dividen en (4) Cuencas Hidrográficas. La mayor Área la forma el Río Tamarindo y tributarios, al Oeste con 268.48 km², con el 44.31% del territorio municipal. El Área segunda en extensión es la que se forma por el Río Soledad y tributarios, al Sureste con 186.26 km², el 30.74% del territorio municipal. El Área tercera se forma en la Línea Costera con el Océano Pacífico, al Sur con 107.06 km², el 17.67% del territorio municipal. El Área cuarta se forma en la Línea Costera con el Lago Xolotlán, al Norte con 44.11 km², el 7.28% del territorio municipal.

6.8.3.2.8. Suelos

Los suelos del municipio son calcáreos, poco adecuados para la explotación agrícola intensiva, pero favorecedores de la ganadería extensiva. Cabe resaltar que en la zona predominan los suelos inceptisoles, molisoles y entisoles. La mayor parte de los suelos son ocupados por cultivos anuales como caña de azúcar y maní (30.82%), seguido de la vegetación arbustiva (28.79%) y pastizales destinados a la ganadería intensiva y los reductos de bosques latifoliados ocupan un área mínima en cuanto al uso actual global del sitio. (Cruz, 2019)

El uso de suelo en el municipio, según el INIFOM, debe basarse en la implementación de sistemas agroforestales, silbo-pastoriles y zonas de protección de vida silvestre, cuya principal función es la recuperación de los ecosistemas degradados y el aprovechamiento de la tierra; tomando en cuenta la capacidad de uso del suelo, condiciones climáticas y especies adaptables a esas condiciones. (Reyes, 2010)

6.8.3.3. **Factores Bióticos**

6.8.3.3.1. Ecosistemas existentes

Ecosistema de Bosque Seco: La vegetación dominante corresponde a la de un bosque tropical seco, con un dosel muy abierto producto de una fuerte intervención, ya sea por corte de leña y árboles enteros, o por la frecuencia de incendios intencionales en el área. Sucesiones de vegetación pionera se desarrollan sobre las coladas de lava más antiguas. Los bosques más densos apenas representan el 2% del área.

6.8.3.3.2. Flora

El municipio de Nagarote se encuentra dentro de la zona de vegetación: Sabana, Matorral y Bosque Seco (Atlas básico de Nicaragua), la cual, históricamente ha estado afectada por actividades económicas basadas en actividades agropecuarias, utilizando amplias extensiones para áreas de pastoreo y cultivos anuales extensivo e industrial, siendo generalmente áreas desprovistas de

cobertura vegetal, a presencia de flora y vegetación está limitada a los cursos de cauces, caminos, ocasionalmente en cercas vivas, aceras, áreas de patio de viviendas.

Según ficha municipal de Nagarote, INIFOM, el casco urbano, se enclava dentro de la Formación Vegetal Zonal del Trópico: 2 Bosques medianos o bajos subcaducifolios de zonas cálidas y semihúmedas, no obstante, la sobreexplotación histórica de los suelos de los alrededores ha provocado casi la extinción de esta formación vegetal. El uso del suelo para el desarrollo urbano restringe aún más la cobertura vegetal en la zona, limitándose a bosque de ripario, deteriorado por la continua presión del recurso maderable energético, por parte de la población para la consecución de leña para la cocción de alimentos.

6.8.3.3.3. Fauna

La existencia de fauna se encuentra íntimamente relacionada con la zona de vida, la vegetación y el estado de esta, siendo que el área de influencia del proyecto es una zona con poca cobertura vegetal, y sobreexplotada, sumado a la cacería furtiva, la fauna es escasa, tanto en especie como en cantidad, restringiéndose a áreas de concentración de vegetación, principalmente sobre el cauce del río Obraje, y tacotales.

En base a observaciones de campo y la revisión de documentación existente, se constató que el municipio cuenta con pocas especies de fauna, limitándose a aves asociadas a la vegetación riparia en el que se incluyen garzas, aves zancudas, así como algunas especies de reptiles (lagartijas, garrobos, serpientes y tortugas), en menor porcentaje mamíferos pequeños como conejos, fauna que, por falta de hábitat y presión sobre ellos, se encuentra en franco deterioro.

Durante el proceso de observación el lugar en el que dieron avistamiento y escucha de fauna tanto de aves como reptiles fueron las PTAR, identificándose como área de anidación de garrobos negros, tortugas, así como de alimentación para zancudas y garzas. Los operarios de las actuales plantas de tratamiento reportan la existencia de al menos un individuo lagarto en la PTAR El Patriarca y otro en la PTAR Santa Elena. El lagarto que habitaba en la PTAR Santa Elena fue reubicado por el MARENA. De las especies faunísticas identificadas, 3 se encuentra protegidas por la convención CITES desde 1917, dentro del apéndice II, siendo éstas: la serpiente Boa, *Boidae spp.* la Tortuga de río *Podocnemis spp.* Por su parte, mencionado en el apéndice III la serpiente coral verdadero Coral *Micrurus nigrocinctus* (Honduras). A nivel local el Zanate, *Quiscalus nicaraguensis*, en veda Nacional indefinida según la resolución ministerial No 02. 01.2013 (Actualizar el Sistema de Vedas Periodo 2013), emitida por el MARENA. Las especies reflejadas en los apéndices CITES, se ubican en el perímetro del área urbana, antiguas áreas de cultivo intensivo hoy en desuso, colindantes al cauce del río obraje.

6.8.3.3.4. Especies Migratorias

El área de interés no cuenta con estudios donde se determinen las especies migratorias presentes en la zona.

6.8.3.3.5. Rutas Migratorias

No se identifican rutas migratorias en un radio de 5 km de la zona de intervención. Las rutas migratorias más cercanas que están identificadas son las zonas de esteros de la costa del Pacífico del municipio, las cuales se encuentran a unos 50 o 60 km de la zona de ubicación de la planta.

6.8.3.3.6. Áreas de Anidación y Cría

No se tiene registro de sitios particularmente importantes para anidación y cría de especies silvestres en las zonas aledañas a la localización de la planta, en un radio de 1 km. Los sitios que son considerados como áreas de anidación son, principalmente, la zona costera del océano pacífico que corresponde al territorio del departamento de León, donde destaca la Reserva Natural Isla Juan Venado, la cual es rica en biodiversidad, y conocida por la población de manglares nativos, la presencia de zonas de anidación de moluscos y crustáceos, tortugas marinas, lagartos y es una importante ruta para aves migratorias (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, 2018) y el Estero del Río Tamarindo. Esta área se encuentra ubicada a unos 50 o 60 km de la zona de ubicación de la planta. También puede considerarse la zona colindante con el lago Xolotlán, ubicada a unos 4 km de la planta, y la Reserva Natural Complejo Volcánico Momotombo – Momotombito, en el municipio vecino de La Paz Centro.

6.8.3.4. Paisaje Natural

El municipio de Nagarote está asentado en una llanura costera lindante con el océano Pacífico. Cuenta con 28 kilómetros de costa y está a orillas del lago Xolotlán. Entre los sitios referentes para la observación de la naturaleza se encuentran: el río Sayulapa, que aún conserva vegetación nativa en sus alrededores, lo que permite que tenga corriente de agua una buena parte del año. Se realizan caminatas de excursión para la observación de flora y fauna, en especial de aves.

En el recorrido del río se encuentra un arco natural de tierra que cruza la parte alta del río de lado a lado, y en las cercanías se localizan dos enormes rocas de casi cuatro metros de diámetro, sostenidas entre las raíces de un inmenso árbol de chilamate.

También se puede conocer la Poza Azul con sus aguas color de cielo, idónea para la recreación en el agua. En las cercanías se encuentra la “Cueva de los Duendes”,

de una altura de tres metros y cinco de ancho, la que se presume sirvió de refugio a los indígenas durante las lluvias y que también es hogar de las historias míticas de los duendes. También se localiza un conjunto de petroglifos cuya interpretación es un poco incierta.

Desde el Mirador La Concordia, ubicado en el casco urbano, se puede observar la belleza escénica de la planicie que se extiende hasta el lago Xolotlán, la cordillera de los Maribios y el imponente volcán Momotombo y su acompañante el Momotombito.

A orillas del lago Xolotlán se localiza la playa El Recreo, donde se muestran más cercanos el Momotombo y el Momotombito. También se muestra la belleza de la flora y fauna del sector, la que se puede descubrir a través de caminatas y cabalgatas. Otra opción que existe es disfrutar de un paseo en lancha y conocer las costumbres de los pobladores, así como también participar de la pesca artesanal.

En la costa del Océano Pacífico se encuentran cinco playas, donde se puede disfrutar del paisaje y de la naturaleza. La playa Miramar, playa Azul o Puerto Sandino, playa El Tránsito, playa Tecolote y playa Hermosa. En algunas de ellas aún se pueden observar esteros cubiertos por vegetación nativa de manglar, un ecosistema rico en biodiversidad.

Se destacan la desembocadura del río Tamarindo, en la playa de Puerto Sandino. La Isla Juan Venado, también aledaña a este sector, la que se encuentra cubierta por el ecosistema de manglar y es reconocida por el hábitat de especies de aves acuáticas y una considerable población de lagartos, los que podrás ver realizando un paseo en lancha.

El lago Xolotlán y río Tamarindo son ecosistemas de agua dulce, algunos propensos a inundaciones, y sí conservan rasgos naturales importantes como la conservación de la vegetación y la fauna asociada.

El manglar limoso del Pacífico se ubica en las entradas de los ríos, como El Tamarindo. Las especies representativas son el mangle rojo y el palo de sal. Es un ecosistema rico en diversidad, pero fuertemente amenazado.

6.8.3.5. Factores Socioeconómicos de la Localidad

6.8.3.5.1. Población

Este municipio cubre el 11.65% de la superficie del Departamento de León, posee una población municipal de 36,098 habitantes (Censos 2005, proyección 2017), el 09.54% del total, siendo el segundo municipio más poblado después de León. La distribución de la población municipal se estima del 60.72% es urbana y

39.28% es rural (Censo 2005). En la tabla a continuación se observa la distribución de la población del municipio de Nagarote.

Tabla 27: Municipio de Nagarote y Población Total 1971-2017.

N.	Categoría	Censo 1971	Censo 1995	TAC	Censo 1995	Censo 2005	TAC	Proyección 2017
1	Municipio	12,699	29,200	8.68%	29,200	32,303	1.02%	36,465
2	Urbana	7,250	19,646	10.48%	19,646	19,614	-0.02%	19,576
3	Rural	5,449	9,554	5.78%	9,554	12,689	2.88%	17,837

Según los datos Censales 1971-1995 con una TAC de (10.48%), el municipio de NAGAROTE experimento un crecimiento acelerado de la población urbana, duplicando a la cantidad de población rural. Es posible que los eventos históricos de este periodo hayan impulsado este fenómeno. En el periodo 1995-2005 con una TAC negativa (-0.02%) indican una reversión en el ritmo de crecimiento urbano. Esta tendencia indica (Ver Figura 40) que la población rural del Municipio tiende a un ritmo de crecimiento mayor con una TAC promedio entre 1971-2005 de 04.33% anual en 34 años.

El Sistema de Asentamientos Urbanos en el Municipio de NAGAROTE, se distribuye territorial y administrativamente en 35 Comarcas y se compone de 29 Asentamientos Urbanos. La mayor parte de la población urbana se concentra en la cabecera municipal.

6.8.3.5.2. Actividades Económicas

La actividad económica del municipio está basada principalmente en lo agricultura, generalmente tecnificadas, así como la ganadería, destacándose la caña de azúcar, maní, ajonjolí, y la ganadería extensiva.

A nivel urbano no se cuentan con fuentes de empleo significativos por lo cual sus residentes teniendo accesibilidad a áreas de mayor y mejores fuentes de empleo (como el caso de Managua) se trasladan hacia éstos. De acuerdo con el resultado de la aplicación de la encuesta socioeconómica el 95% del total de viviendas son utilizadas como casas de habitación, pero en algunas de ellas sus habitantes solo llegan por las noches, ya que trabajan fuera del municipio.

En tal sentido a pesar de que el área urbana de Nagarote tiene una función de proveedora para el desarrollo de las actividades del área rural y de mercado para la producción de las mismas, como centro intermedio de servicios e integrador, el sector terciario como proveedor de bienes y servicios tiene un nivel de desarrollo muy discreto, quedándose en lo elemental por su característica arraigada de pueblo, con limitada prestación o venta de servicios, observándose servicios tales

como tiendas de diferentes artículos, productos básicos, negocios de alimentos, talleres pero con poco movimiento.

6.8.3.5.3. Infraestructura Social Existente

Se registran 6 establecimientos de la administración pública: instituciones dedicadas al orden público y seguridad nacional, que incluyen a la policía y a los bomberos (3), otros de la administración pública (2) y reguladores de servicios sociales (1). Además, la ciudad cuenta con 302 pulperías y abarroterías, 17 ferreterías, y 15 salones de belleza. Existen además 3 funerarias y 2 establecimientos que brindan servicios legales o jurídicos. La ciudad cuenta con talleres de reparación de vehículos (20), talleres de costura y/o sastrería (11), talleres de carpintería y/o mueblería (9) y talleres que trabajan el cuero (3). El sector de instituciones financieras cuenta con 5 bancos e instituciones financieras, seguidos por las microfinancieras y otros oferentes de crédito (2), y otros servicios financieros (1).

6.8.3.5.4. Viviendas

Partiendo de los resultados y análisis realizados por el INIDE del IV censo de vivienda del 2005, el régimen de la propiedad sobre el área urbana prevalece la propiedad privada, representando el 86% del total de viviendas. De acuerdo a la categorización consignada en el Mapa de Pobreza de INIDE/INEC - 2005, la población en el área de influencia del Proyecto se cataloga como población mayoritariamente en condiciones de pobreza baja y media. A pesar de esto en el rápido proceso de crecimiento de la población y desarrollo físico de la ciudad, ha dado pie al surgimiento de una serie de asentamientos humanos alrededor de lo que se puede denominar el centro histórico de Nagarote, quedando así, en menor porcentaje y en algunas zonas periféricas niveles de pobreza alta y severa, generalmente con alta concentración de viviendas. Partiendo del estado de opinión, levantada en la encuesta socioeconómica y datos del conteo de viviendas por parte de PROCON, se puede inferir que estos asentamientos urbanos periféricos, se perfilan con un cinturón de pobreza en el cual, los niveles de vida de su población disminuyen, observado desde el material de construcción de las viviendas, así como la limitación en la cobertura de los servicios básicos como el saneamiento. No obstante, el nivel de prestación del resto de servicio es aceptable.

6.8.3.5.5. Salud

De acuerdo con la caracterización municipal elaborada por la municipalidad e INIFOM, a nivel del sistema Local de Atención Integral en Salud (SILAIS) como parte del sistema público para la atención de la población, a nivel de municipio se organiza en 7 sectores de los cuales 4 son urbanos. Sector #1 Centro de Salud Dr. Raúl Vargas, sector #2 Modulo de Adolescente, Sector #3 Bo. Fernando Salazar y Sector # 4 Bo. San Martín, atendidos desde las estructuras existentes, consistente en un (1) Centro de Salud, tres (3) Puestos de Salud, disgregados uno

en el sector norte, uno en la zona céntrica y otro en el sector sur del área urbana; además de una Casa Materna.

Las estructuras del sistema público de salud son:

- Centro de Salud, con camas Dr. Raúl Vargas.
- Puestos de Salud disgregados en los diferentes barrios del área urbana, se encuentran el Miriam Palacios, entre otros.

A nivel privado se presentan en poca cantidad, una oferta de consultorios, laboratorios clínicos, clínicas odontológicas y farmacias.

6.8.3.5.6. Educación

Sobre el área de influencia directa del proyecto se cuenta con el servicio de educación pública, para los niveles de preescolar, primaria, secundaria, con estructuras educativas distribuidas sobre los diferentes barrios de la ciudad de Nagarote. De acuerdo con los datos de la caracterización municipal, así como la entrevista institucional y resultados del conteo de vivienda realizado por PROCON desde el componente social, se conoce que, a nivel de municipio la población estudiantil total dentro del sistema educativo público del municipio, contando con una población estudiantil sin incluir el nivel preescolar, de 10,250 alumnos atendidos por un total de 447 docentes en 195 aulas de clases. La población estudiantil del área urbana de Nagarote es atendida en 14 estructuras educacionales de las cuales 5 son exclusivas para la atención preescolar, 8 de primaria que incluyen además preescolar y 1 para el nivel secundaria.

6.8.3.5.7. Servicios Básicos

- Energía Eléctrica:

El área de influencia del proyecto cuenta con el servicio de energía eléctrica suministrado por medio del interconectado nacional bajo la responsabilidad de ENATREL y Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), así como la Distribuidora DISSUR, facilitando a la población la conexión a servicios de energía de alta, media y baja tensión además de alumbrado público.

La energía eléctrica consumida en la ciudad de Nagarote es generada en la planta Ernesto Che Guevara ubicada en las cercanías del área urbana al noroeste de ésta. La cual interconecta con Puerto Sandino abasteciendo parte del municipio de La Paz Centro y el proyecto geotérmico Momotombo. De acuerdo a la observación y datos proporcionados por funcionarios municipales, el área de influencia del proyecto cuenta con una amplia cobertura del servicio. Según se refleja en documento de plan estratégico municipal proporcionado por la municipalidad, existen 3,136 viviendas

servidas, 136 abonados comerciales, 17 industrias, 43 de irrigación, 7 en el área privada y 9 abonados gubernamentales.

- Agua Potable:

Los resultados del conteo de viviendas realizados por PROCON, arrojan que El 82.7% de las viviendas entrevistadas se abastecen del servicio de agua potable suministrada por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados ENACAL, el 14.81% se abastece por otros medios; el 1.72% se abastece del vecino; 0.72% dispone de pozo propio; 0.04% acarrea el agua de puesto público; y el 0.02% de camión cisterna.

- Telecomunicaciones:

Sobre toda el área de influencia del proyecto se cuenta con el servicio de telefonía convencional, además de una cobertura del 100% de la telefonía celular de dos de las empresas prestadoras de este servicio en el país.

- Infraestructura:

El sistema vial del municipio de Nagarote se estima de 810.71 kilómetros de longitud. Este se clasifica según el tipo de revestimiento en: Carreteras pavimentadas correspondiente al 8.15%, caminos revestidos equivalente a 12.83%, caminos de todo tiempo representando un 34% y caminos de verano con un 44.30%.

En el área urbana se desarrolla un sistema de transporte fluido tanto de personas como de carga nacional e internacional. Nagarote es un sitio de tránsito de transporte pesado proveniente de los departamentos de Chinandega, León, y Managua, interconectando Puerto Corinto, Puesto Fronterizo el Guasaule, y Puerto Sandino.

El transporte colectivo interurbano solo transcurre fluidamente cada 20 minutos por el trecho de carretera que atraviesa la urbe. En la urbe no se cuenta con terminal de transporte colectivo. A lo interno del área urbana se cuenta con el servicio selectivo en la modalidad de bici y mototaxis que dan cobertura en un 100% de la población del área urbana.

El municipio de Nagarote cuenta con dos cooperativas de buses legalmente constituidas las cuales son COTRAHAMAR y Transporte Expreso el Jenízaro (interlocales) los que brindan servicios de transporte ordinarios y expreso que cubren la ruta Nagarote – Managua - Nagarote, y Nagarote – León – Nagarote. Cabe mencionar que tanto en las costas del litoral Pacífico como en las costas del Lago Xolotlán también se cuenta con medios de transporte acuático, tanto para labores de pesca como de recreación.

En cuanto a los medios de transporte, dentro del municipio se cuenta con 2 unidades (de carácter privado) que hacen un recorrido diariamente del sector de la Costa Sur del municipio hacia la cabecera municipal, facilitando de esa manera la movilización de los pobladores de las diferentes comunidades que recorren en su itinerario.

- Alcantarillado Sanitario:

El Sistema Sanitario Urbano de Nagarote, cuenta con una Red Sanitaria Principal que posee de 8.87km de longitud, la cual otorga una adecuada conectividad entre todas las Zonas Urbanas de la Ciudad. En la Cabecera Municipal, se proyecta la localización de una Pila de Tratamiento, la cual se localiza al Oeste de la ciudad a una distancia de 500m de Perímetro Urbano. A su vez, se proyecta la ubicación de un Vertedero Local, como punto de transferencia de los desechos sólidos hacia su deposición final, el basureo municipal. El punto de transferencia estará en la misma dirección de las Pilas de Tratamiento, con una separación de más de 500 m de Perímetro Urbano y con una distancia aproximada de 200 m de las Pilas de Tratamiento.

6.8.4. Identificación y Evaluación de los Impactos Ambientales generados por el proyecto

6.8.4.1. *Identificación de las actividades del proyecto en sus diferentes etapas*

En promedio, una planta de producción del tipo de nuestro interés y del tamaño ya calculado, puede ser construida entre 15 a 20 meses, incluyendo la instalación de equipos, maquinarias y accesorios requeridos, capacitación inicial del personal operativo y de mantenimiento y puesta a punto y arranque de la planta.

Se identificaron las siguientes actividades a realizar para la construcción, puesta en marcha y cierre de la planta.

6.8.4.1.1. Etapas de Construcción

- Instalación del plantel de los contratistas en la zona de establecimiento de la planta.
- Limpieza general y preparación de los sitios de la obra.
- Movimientos de tierra y nivelación del Terreno.

- Excavación de zanjas para los cimientos de edificios, tanques de almacenamiento del producto terminado y tanques de almacenamiento de insumos.
- Construcción de la infraestructura o edificios de la planta.

6.8.4.1.2. Etapas de Operación y Mantenimiento

- Recepción y pretratamiento de materias primas e insumos.
- Compresión primaria de la corriente de aire.
- Preenfriamiento en Intercambiadores de Calor de Placas.
- Compresión Principal.
- Intercambio de Calor Principal.
- Destilación principal.
- Rectificación del Argón.
- Almacenamiento en Tanques Criogénicos.
- Envasado según las especificaciones de los clientes.
- Distribución del producto terminado.
- Mantenimiento de Equipos, maquinarias auxiliares y accesorios, y de la planta en general.
- Manejo y Gestión integral de los residuos sólidos, líquidos y desechos producidos durante el tiempo de operación de la planta.

6.8.4.1.3. Etapas de Cierre

- Cierre de la planta.
- Gestión de desechos generados debido al cierre de la planta.
- Rehabilitación de áreas posiblemente afectadas por la actividad de la planta.

6.8.4.2. ***Identificación de los impactos ambientales del proyecto***

6.8.4.2.1. Etapas de Construcción

- a) Modificación de estructura de suelo por movimiento y compactación del terreno.
- b) Modificación de la potencialidad de erosión del suelo por cambios en la topografía del terreno y remoción de la capa vegetal por las actividades de construcción.
- c) Contaminación del aire por las emisiones de gases y partículas suspendidas totales de los motores de combustión interna debido a los trabajos de construcción e instalación de equipos y planteles.
- d) Contaminación acústica debido al uso de maquinaria de excavación y vehículos pesados que transporten materiales.
- e) Contaminación de suelo por generación de desechos sólidos durante la construcción de la infraestructura.

- f) Aumento del nivel de riesgo de accidentes en las obras en construcción y durante el transporte de materiales y equipos.
- g) Aumento del consumo de agua por riego del terreno.
- h) Reducción de la cobertura vegetal del sitio.
- i) Generación de fuentes de empleo durante la construcción de la planta.
- j) Disminución de la fauna por destrucción del hábitat.
- k) Alteraciones del paisaje.
- l) Proliferación de vectores transmisores de enfermedades por posibles malas prácticas higiénicas sanitarias o acumulación de agua en el sitio de la obra.
- m) Aumento de accidentes laborales.
- n) Afectaciones a la salud de la población de sectores aledaños por la generación de polvo y material particulado durante el manejo de materiales para la construcción de todas las obras.
- o) Aumento del comercio informal en la zona por la presencia de trabajadores de los planteles.

6.8.4.2.2. Etapas de Operación y Mantenimiento

- p) Contaminación del agua en la etapa de pretratamiento del aire.
- q) Contaminación por ruido generado por la maquinaria y equipos durante la operación y funcionamiento de la planta.
- r) Afectaciones a la fauna sensible al ruido generado por la maquinaria y equipos durante la operación y funcionamiento de la planta.
- s) Generación de fuentes de empleo durante la operación de la planta.
- t) Contaminación del agua o del suelo por posibles derrames de hidrocarburos, aceites lubricantes, químicos, etc.
- u) Contaminación del aire por emisiones de carbono provenientes de la quema de combustibles fósiles en maquinaria amarilla, energía eléctrica, adquisición de insumos, suministros y distribución de producto terminado.
- v) Generación de residuos sólidos peligrosos y no peligrosos provenientes de la actividad diaria de la planta y temporadas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.

6.8.4.2.3. Etapas de Cierre

- w) Contaminación del suelo por la generación de residuos metálicos procedentes de maquinarias y equipos de la planta.

6.8.4.3. Valoración de Impactos Ambientales

Mediante la relación entre las actividades del proyecto se obtuvieron los posibles impactos ambientales que pudieran ocurrir. Dichos impactos fueron analizados en la matriz de causa-efectos (matriz de Leopold) para correlacionar las actividades y factores ambientales, los cuales se presentan en la figura 33 del anexo 4. De acuerdo con Dellavedova, 2016, la matriz de Leopold consiste en un cuadro de

doble entrada en el que se dispone como *filas* los factores ambientales que pueden ser afectados y como *columnas* las acciones propuestas que tienen lugar y que pueden causar posibles impactos.

Cada celda se divide en diagonal, haciendo constar en la parte superior la *magnitud del impacto* (M) y en la parte inferior la *intensidad o grado de incidencia del impacto* (I).

La valoración que se usa es la siguiente:

- **M magnitud** del impacto medido en una escala de 1 al 10, precedido del signo + ó -, si el impacto es positivo o negativo respectivamente.
- **I incidencia** del impacto medido en una escala ascendente de 1 al 10.

La suma de los valores que arrojen las filas indicará las incidencias del conjunto sobre cada factor ambiental, mientras que la suma de los valores de las columnas arrojará una valoración relativa del efecto que cada acción producirá en el medio.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la matriz de Leopold, los factores impactados positivamente por la actividad de la planta se refieren principalmente a la generación de empleos formales para la población local o de regiones cercanas. Por otra parte, se generan impactos positivos a causa de la implementación de una política de gestión empresarial y de responsabilidad social y ambiental sólida que permita devolver al planeta lo que extraemos de ella; esto puede lograrse a través de programas ambientales de reforestación, gestión de la biodiversidad, programas de reciclaje, entre otros.

Los impactos negativos de mayor importancia se dan en el aire, debido a la dispersión de contaminantes, a la generación de partículas suspendidas en la etapa de construcción y operación y a la generación de ruido, y en el suelo, principalmente por la alteración de la cobertura vegetal por trabajos de cimentación, compactación, construcción de edificios, pavimentación y construcción de líneas de transmisión y ductos. Aun así, la acción que genera mayor impacto negativo al ambiente, aunque no dependa directamente de la actividad de la planta, son los incendios forestales, los cuales son muy común en la zona, principalmente en la estación seca. Le siguen los impactos a la biodiversidad, debido a la modificación del hábitat.

Los impactos al aire pueden afectar directamente a los trabajadores y a la población cercana, Estos impactos son mitigables, por lo que se requiere establecer controles sobre el uso de maquinaria, los horarios de trabajo, uso de equipo de protección personal, entre otras medidas de precaución y prevención. Los impactos al suelo y a la biodiversidad son reversibles a mediano y largo plazo, si se implementan medidas de mitigación y corrección que permitan recuperar poco a poco el sitio al estado previo a la intervención.

6.8.5. Plan de Gestión Ambiental orientado a prevenir, mitigar, corregir, compensar y restaurar los impactos ambientales generados por el proyecto

6.8.5.1. Medidas Ambientales

De acuerdo con los resultados de la evaluación cualitativa de los impactos generados por este proyecto, se deben establecer las medidas que compensarán dichos impactos, o bien, aquellas que serán un instrumento preventivo ante otros efectos que pudieran producirse de no poner en marcha las recomendaciones estipuladas para la protección del medio ambiente de la zona. Las medidas fueron dispuestas para garantizar la protección del medio, teniendo como principal objetivo la prevención del impacto, seguido de la mitigación del impacto, siendo la reposición del bien la última alternativa a tomar.

En la Tabla No. 56 se muestran las medidas propuestas para la prevención, mitigación y corrección de los impactos ambientales negativos.

6.8.6. Pronóstico de la Calidad Ambiental del área de influencia del proyecto

En los siguientes 3 numerales, se analiza el pronóstico de la calidad ambiental en el área de influencia del proyecto. Se consideran los escenarios: a) el área de influencia sin proyecto, b) el área de influencia con proyecto, pero sin medidas ambientales y c) el área de influencia con proyecto y con medidas ambientales, destacando los beneficios y desventajas de la ejecución de las etapas de construcción, operación y cierre.

6.8.6.1. Calidad Ambiental sin proyecto

Desde el punto de vista de los factores **Atmósfera** y **Tierra**, de forma general, se mantendrían las actividades actuales del área. Es decir, se continuaría realizando labores agrícolas tradicionales (siembra de maíz, trigo, sorgo) y el proceso de degradación del suelo se seguiría viendo afectado por este motivo. En paralelo a la degradación del suelo, el aumento del potencial de erosión y las condiciones de sequía, el aire se vería afectado por mayor presencia de partículas suspendidas (polvo).

Desde el punto de vista de la **Flora** y la **Fauna**, las actividades agrícolas seguirían impactando negativamente en las reducidas zonas boscosas, impactando también en la población de aves y mamíferos debido a la modificación del hábitat,

de mano de productores locales para generar productos de consumo local o meramente familiar.

Finalmente, en cuanto las **repercusiones socioeconómicas**, se continuaría con las actividades agrícolas que no generan grandes ingresos a los pequeños productores.

6.8.6.2. Calidad Ambiental con proyecto y sin medidas ambientales

Desde el punto de vista de los factores **Atmósfera** y **Tierra**, la instalación de la planta generaría muchos impactos negativos moderados e importantes, principalmente en la etapa de construcción. Sin embargo, el hecho de no tomar medidas ambientales generaría un efecto acumulativo que incrementaría la significancia del impacto sobre el área y sus componentes ambientales identificados.

La construcción de la planta involucra la adquisición de terrenos que actualmente son privados, por lo tanto, se debe realizar la compra legalmente adecuada del mismo. De no hacerse de dicha manera, y sin las negociaciones adecuadas con los propietarios, esta acción podría conllevar a un conflicto de propiedad que afectaría la credibilidad y la sostenibilidad del proyecto.

En la etapa de construcción, los movimientos de tierra y excavaciones propiciarían impactos significativos en el suelo, principalmente a causa de la remoción de la cobertura vegetal. La no aplicación de medidas compensatorias representaría el aumento de la contaminación del aire por partículas suspendidas, gases de efecto invernadero y por ruido, así como el aumento de casos de enfermedades respiratorias. Igualmente, se generaría un efecto acumulativo de los impactos en el tiempo generando afectaciones mayores.

Desde el punto de vista de la **Flora y Fauna**, la construcción de obras del proyecto sin tomar en cuenta las medidas ambientales pertinentes traería consigo la disminución de especies de animales y plantas en la zona de intervención a causa de la destrucción del hábitat original. También se pueden generar afectaciones en las zonas aledañas, principalmente por el ruido.

Desde el punto de vista **socioeconómico**, veríamos afectaciones a la salud de los trabajadores y población aledaña, principalmente por enfermedades respiratorias. Así mismo, se aumentarían los riesgos de accidentes de tránsito. Por otra parte, el ruido producido tanto en la etapa de construcción, como en la etapa de operación afectaría directamente la salud de los trabajadores a corto, mediano y largo plazo.

El proyecto generaría plazas de empleo directo, e incidiría en una mejora de la actividad económica de la zona, desde un enfoque de desarrollo económico y social. No obstante, también debemos tomar en cuenta que el no tomar medidas de mitigación, generaría conflictos y descontentos en la población, y el deterioro del medio, peligrando la reputación de la empresa y la sostenibilidad del negocio.

Englobando todo lo anterior, en caso de no tomar medidas ambientales, se generarían conflictos legales con las instituciones y ministerios del estado, las cuales tienen la potestad para determinar la continuidad del negocio, en base al incumplimiento de las obligaciones dictadas en permisos de usos de suelo, operación, aprovechamiento de recursos, etc.

6.8.6.3. *Calidad Ambiental con proyecto y con medidas ambientales*

Desde el punto de vista de los factores **Atmósfera y Tierra**, la implantación de medidas ambientales para las diferentes fases del proyecto, resultaría en un control, prevención y mitigación de la totalidad de los impactos que son directamente generados por las actividades de la planta. Las medidas propuestas abarcan los distintos componentes y sus fases, incluyendo obligaciones para contratistas, y que el propietario del proyecto está obligado a garantizar su cumplimiento.

Desde el punto de vista de la **Flora y Fauna**, se ejecutarán los trabajos de construcción y posteriormente, de operación de la planta considerando todos los aspectos técnicos, de higiene, seguridad y medio ambiente a fin de garantizar la estabilidad del proceso y la seguridad de la inversión realizada. Además, con las medidas ambientales, se garantizará la mitigación de los impactos negativos derivados de todas las etapas para la sostenibilidad ambiental del proyecto y su entorno.

Desde el punto de vista **socioeconómico**, la planta generará diferentes plazas de empleo directo, lo que contribuirá a dinamizar las actividades económicas de la zona de influencia directa y de la región. El cumplimiento de las obligaciones ambientales y de las iniciativas que tome la empresa de índole ambiental, creará una sólida reputación e influirá en una mayor confiabilidad y un mejor posicionamiento de la organización a nivel nacional.

VII. Estudio Financiero

El estudio financiero se realizó en cuatro etapas, que fueron:

- a) Estimación de las inversiones del Proyecto,
- b) Establecimiento de las fuentes y determinación de los montos de financiamiento del proyecto,
- c) Determinación de los ingresos y egresos del proyecto,
- d) Determinación de los estados financieros.

Estas cuatro fases permiten analizar y determinar la factibilidad económica o financiera del proyecto, estableciendo:

- ✓ El monto total de la inversión del proyecto.
- ✓ Los ingresos y gastos totales de operación.
- ✓ Las fuentes y esquemas de financiamiento que requerirá el mismo proyecto,
- ✓ La estimación económica de la situación futura del proyecto.

La evaluación financiera también permitió analizar y establecer la rentabilidad del proyecto tanto sin financiamiento, como con financiamiento; para lo cual se utilizarán cinco indicadores básicos.

- Valor Presente Neto.
- Relación Beneficio-Costo.
- Tasa Interna de Retorno.
- Período de Recuperación de la Inversión.

Sobre la base de los resultados obtenidos en los escenarios de análisis:

- a. Sin financiamiento
- b. Con financiamiento

Concluyendo sobre la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

7.1. Presupuesto de Operación

La operación o puesta en marcha del proyecto implica la generación de ingresos y egresos, por lo que se debe pronosticar el volumen y comportamiento que tendrán estos dos grandes rubros durante la vida del proyecto, retomando la información estadística de los capítulos anteriores del presente análisis.

7.1.1. Presupuesto de Egreso

7.1.1.1. Determinación de los Costos de Producción

La planta está proyectada para laborar 3 turnos de 8 horas al día, los 365 días del año (salvo los días destinados a paros por mantenimientos preventivos y correctivos).

Los costos de producción están conformados por todas aquellas partidas que intervienen en las actividades del día a día de la empresa y que están asociadas con el proceso de transformación de la materia prima y otros materiales necesarios de manera directa e indirecta para la transformación en un producto o servicio con valor agregado. En las tablas de los acápites siguientes se muestran el desglose de los costos asociados a los costos totales de producción.

En la tabla 78 del anexo 6, se resumen los costos de producción para los 20 años del horizonte de tiempo.

7.1.1.1.1. Costos de Materia Prima

Ciertamente, la materia prima (aire) requerida para este proceso no tiene costo alguno, sin embargo, para su adecuación es requerido que este pase por un proceso de pretratamiento, en el cual intervienen equipos que consumen recursos (agua y energía), requieren de mantenimiento y ciertos insumos. Por lo tanto, el costo asociado a materia prima incluye lo antes descrito. La tabla 77 muestra los costos asociados a pretratamiento de materia prima e insumos requeridos.

Los costos por consumo de zeolita (para la batería de Adsorbedores) se calcularon multiplicando el precio por kg por el consumo anual de zeolita. En el caso de los costos de energía eléctrica, solamente se toma en cuenta los costos por consumo energético del compresor primario, que debe comprimir el aire hasta aproximadamente 5 bar. El costo por consumo de agua incluye el agua consumida por el sistema de pretratamiento Venturi Scrubber – Ciclón.

Los costos de mantenimiento de equipos de pretratamiento se asumen que son el 6% de la suma de los costos de adquisición, fletes y seguros e instalación de equipos de pretratamiento (Venturi Scrubber, Ciclón, bombas auxiliares de agua). (Ulrich, G., 1992; Timmerhaus, K., 1991)

7.1.1.1.2. Costos totales por Consumo de Agua

De acuerdo con la NTON 09 007-19 Diseño de Sistemas de Abastecimiento. Agua Potable, la dotación de agua por persona para consumo doméstico es de 100 lpd (para población rural concentrada).

El reglamento de tarifas de ENACAL establece el costo del m³ de agua de 34.69 córdobas para el sector industrial, equivalente a 0.9472 USD. El consumo de agua y los costos asociados se presentan en la tabla 78.

7.1.1.1.3. Costos de Mano de Obra

Los costos de mano de obra están constituidos por los salarios que se pagan al personal que trabaja directamente en la producción. En la tabla 78 se infieren los costos derivados del pago de salarios de los trabajadores que son la mano de obra directa de la planta (técnicos y auxiliares de producción. Para más información, referirse al acápite 7.6.1 de este documento), así como las prestaciones sociales y beneficios adicionales.

Por temas de inflación, en la tabla también se hace un ajuste del 0.5% a los salarios de forma anual.

7.1.1.1.4. Costos de Control de Calidad

Los costos de control de calidad representan el 10 al 20% de la mano de obra de operación o mano de obra directa. Los costos asociados al control de calidad se presentan en la tabla 78.

7.1.1.1.5. Costos de Mantenimiento

El mantenimiento de equipos y accesorios involucra una revisión periódica de estos. Se realizan tres tipos de mantenimiento: preventivo-predictivo, correctivo y el mantenimiento general de toda la planta.

El costo por aplicar mantenimiento preventivo/correctivo a equipos y maquinarias, se puede asumir que es el 6% de su valor de adquisición por año (Ulrich, G. 1992). Esto es:

$$\text{Costos Mtto} = 0.06 * \text{Costos de adquisición de los equipos} \quad \text{ec. 6}$$

Estos costos, de igual forma, pueden apreciarse en la tabla 78.

7.1.1.1.6. Costos Medioambientales

Se asume que los costos ambientales representan el 5% del subtotal de los costos de producción. Estos costos se infieren en la tabla 78.

7.1.1.1.7. Costos de Otros Materiales

En la siguiente tabla se presentan los costos de otros materiales, donde se incluyen aquellos que son necesarios para el correcto funcionamiento de la planta, para garantizar el aseo y limpieza de las instalaciones y equipos del proceso. De igual forma, en la tabla 78 se muestra el monto asociado a estos costos.

7.1.1.1.8. Costos de Envases

Puesto que se trata de un producto de primera necesidad para la salud y la industria, existe una compra periódica del mismo. Los costos de envase se calcularon en base al requerimiento de envase del primer año del horizonte de tiempo, asumiendo que el 100% de la producción mensual se vende en cilindros o termos, más los envases correspondientes para envasar un excedente del 33.33%, aun si se vende parte de la producción a granel (todo esto distribuido en envases de diferentes tipos). Debido a que la vida útil de estos es de 20-25 años aproximadamente (con el debido mantenimiento), para los años siguientes, solamente se cargan los costos de adquisición de envases para satisfacer el criterio mencionado anteriormente, según el porcentaje de aprovechamiento de la capacidad de la planta (según la producción anual). El único gasto que se incluye anualmente es el de las etiquetas, y a este se agrega un porcentaje del 15% de los costos asociados a envases para mantenimiento de estos y sustitución de aquellos que puedan averiarse a lo largo del horizonte de tiempo del proyecto (Ver tabla 79).

7.1.1.2. *Determinación de los Costos de Administración*

Estos costos provienen de realizar las funciones administrativas en la empresa. Incluye los salarios de la mano de obra indirecta, así como los gastos de otros departamentos (excluyendo producción y ventas), equipos de oficina, materiales de oficina, etc. En la siguiente tabla se muestran los costos de Administración.

Los costos mostrados en la tabla 83, se derivan de:

- **Sueldos Personal No Operativo:** Estos sueldos son los correspondientes a todo el personal no operativo o mano de obra indirecta de la planta, es decir que en este acápite también se incluyen los salarios del personal de ventas. Por lo tanto, no se incluyen dentro de costos de ventas. A partir del año 2, estos costos incrementan un 0.5% con el fin de ajustar los salarios debido a la inflación.
- **Materiales de Oficina:** Se asume un gasto al año 0 de 10,000 dólares. A partir del año 1, se asume un incremento del 0.5% para este gasto.
- **Energía Eléctrica:** Este gasto es debido a aquellos equipos de oficina ajenos al proceso de producción. Se realizó el cálculo para el año 1, determinándose un costo de USD 59.580.41 y luego, para los años siguientes, se asume un incremento del 0.5% anual.

7.1.1.3. *Costos de Ventas*

Los costos asociados a las actividades de ventas, promoción y distribución del producto, así como las actividades de investigación y desarrollo de nuevos

mercados o de nuevos productos adaptados a las necesidades del mercado se engloban en estos determinados *costos de ventas*. Ulrich, 1999, sugiere que los costos de ventas pueden representar un 15% de los costos totales (10% para ventas y distribución y 5% para investigación y desarrollo I&D), por lo cual se entiende que los demás costos representan un 85% de los costos totales (Peters et al., 2003; Ulrich, 1992). La tabla 81 infiere los costos de ventas para cada año del horizonte de tiempo.

7.1.1.4. Costos Totales de Operación

La tabla 82 contiene detalles sobre los costos totales de operación de la planta productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón a lo largo de todo el Horizonte de tiempo.

7.1.2. Costo Unitario de Producción

Tomando como base los costos de producción del cada uno de los años del horizonte de tiempo, se determinaron los costos para procesar 1 m³ de aire o bien, 1 ton de aire. La tabla 83 del anexo 6 presenta dichos resultados.

7.2. Ingresos por Ventas

Los ingresos anuales para la planta proceden de la venta de los productos finales del proceso (nitrógeno, oxígeno y argón). Se establece el precio de venta un 50% más al costo unitario obtenido en el acápite anterior (Ver tabla 83). Este margen de ganancia se determina debido a que Nicaragua es un país considerado inestable por muchos inversionistas, por lo tanto, se deben asegurar márgenes de ganancias que aseguren a los inversionistas el retorno de su inversión en el menor tiempo posible.

Los precios e ingresos por venta se presentan en la tabla 84, la cual contiene los datos para los 20 años del horizonte del tiempo.

7.3. Inversión Inicial en Activos Fijos y Diferidos

Dentro de este acápite se presenta el análisis de las inversiones necesarias para llevar a cabo este proyecto, a través de la siguiente clasificación, según la naturaleza de la inversión: Inversión fija, diferida y Capital de Trabajo.

Todos los datos relacionados a la inversión inicial se presentan en la tabla 85 del anexo 6.

7.3.1. Inversión Fija

En esta clasificación se integran los gastos que se efectuarán para la adquisición o compra de: Terreno, Obra Civil, Maquinaria y equipo de proceso, materiales diversos y refacciones, equipos inmobiliarios y de oficina, entre otros.

7.3.1.1. Terrenos y Obras Civiles

Para la capacidad de procesamiento prevista de hasta 68,623.65 ton/año y, laborando tres turnos de 8 horas al día, se considera un terreno de una superficie aproximada de 1.5 manzanas, 11,200 m², y del conjunto de edificaciones de 3,375 m². El precio de un terreno según los requerimientos se presenta en la Tabla 85.

7.3.1.2. Maquinaria y Equipos del Proceso

La tabla 85 muestra los costos asociados a la adquisición de equipos y maquinaria necesarias para el proceso productivo.

7.3.1.3. Mobiliario y Equipos de Oficina

La tabla No. 85 presenta los costos generados por la adquisición de mobiliario y equipos de oficina.

7.3.2. Inversión Diferida

En esta clasificación quedan comprendidos todos los gastos que se efectúan para la constitución de la empresa, elaboración de estudios de suelo, de mercado, instalación, arranque, capacitación del personal.

7.3.2.1. Constitución Legal de la Empresa, Permisos y Registros Correspondientes

Dentro de estos se incluyen el pago de honorarios del Abogado y Notario Público, la inscripción del negocio en el registro mercantil, DGI, Alcaldía del municipio e INSS, así como los permisos, autorizaciones y avales en materia de Higiene, Seguridad y Medio Ambiente.

Se asume un gasto aproximado de **150,000 USD** para esta categoría.

7.3.2.2. *Elaboración de Estudios y Supervisión y Admón. Del Proyecto*

Cae en esta clasificación el estudio de prefactibilidad de mercado, técnico y económico, estudios legales, estudios de suelo, estudios de impactos ambientales, de calidad de agua, suelos, supervisión del proyecto en fase de construcción, supervisión desde el diseño de este, etc.

El total correspondiente a este rubro asciende a **40,000 USD** respectivamente.

7.3.2.3. *Instalación, Arranque y Capacitación del Personal*

Dentro de esta categoría se incluyen las pruebas previas al arranque formal de la planta; así como las capacitaciones del personal que será proporcionada tanto por la proveedora de la maquinaria y equipos, así como por especialistas de procesos de destilación criogénica.

El total para la Instalación, Puesta en marcha y Capacitación del personal asciende a **30,000 USD**.

El total correspondiente a la Inversión Diferida **220,000 USD**.

7.4. Depreciación y Amortización de Activos Fijos y Diferidos

La depreciación y amortización se derivan del valor de los activos fijos y diferidos respectivamente, así como de su vida útil. Se ha aplicado una depreciación anual de acuerdo con la clasificación brindada en la tabla 5, tal y como se establece en la Ley 822: Ley de Concertación Tributaria y sus reformas, a través del método de línea recta. Cabe aclarar que los activos fijos se deprecian y los activos diferidos se amortizan ante la imposibilidad de que disminuyan de precio por el uso o por el paso del tiempo.

Para la amortización de activos diferidos, se utiliza el período de tiempo indicado según la ley 822 Ley de Concertación Tributaria, en el numeral 7 del art. 45, la cual sostiene:

“Los gastos de instalación, organización y preoperativos, serán amortizables en un período de 3 años, a partir que la empresa inicie sus operaciones mercantiles...”

Las tablas 87 a la 90 infieren la depreciación aplicada a equipos de proceso y de oficina. La tabla 91 muestra los montos consolidados correspondientes a depreciación y amortización de activos fijos y diferidos para cada año del horizonte de tiempo.

7.5. Capital de Trabajo

Para proyectos nuevos, el capital de trabajo es el monto de dinero que se necesita para iniciar labores de producción y venta de la empresa, hasta el momento en

que ésta es capaz de generar una cantidad de ingresos suficientes para poder cubrir el total de costos y gastos. En términos contables, este sería equivalente a la resta del *activo circulante menos el pasivo circulante*.

El activo circulante se conforma de los rubros de *valores e inversiones, inventario y cuentas por cobrar*. Por su lado, el pasivo circulante se conforma de los rubros *sueldos y salarios, proveedores, impuestos e intereses*. (Baca Urbina, 2012)

Peters et. al., 2003, sostiene que el capital de trabajo representa entre el 10 y 20% de la inversión total. Por lo tanto, el capital de trabajo sería igual a:

$$CT = \frac{15\% * Inv.Fija y Diferida}{85\%} \quad \text{ec. 7}$$

$$CT = \frac{15\% * (\$13,216,100.18)}{85\%} = \$2,332,252.97$$

7.5.1. Inversión Total y Resumen de Inversiones

La tabla a continuación muestra la Inversión Total requerida para este proyecto, en donde se incluyen tanto la inversión fija, como la inversión diferida y el capital de trabajo. De esta inversión inicial requerida, un 85% corresponde a la Inversión fija, inversión diferida e imprevistos, y un 15% al capital de trabajo.

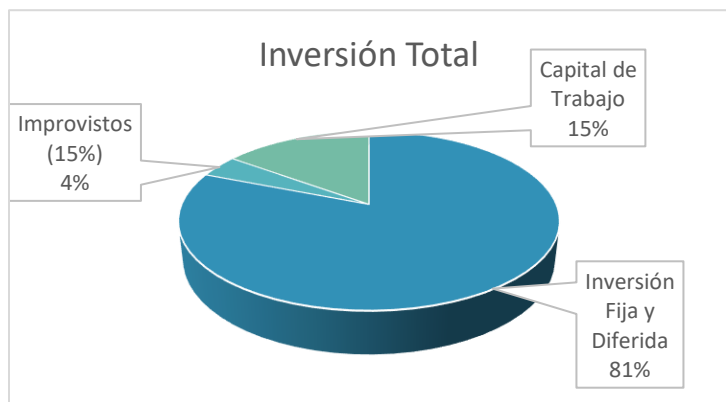


Figura 14: Inversión Total.

Tabla 28: Inversión Total.

Concepto	Costo, USD
Inversión Fija y Diferida	\$12,586,762.08
Imprevistos (15%)	\$629,338.10
Capital de Trabajo	\$2,332,252.97
Total	\$15,548,353.16

7.6. Financiamiento

Este financiamiento debe indicar las fuentes de recursos financieros necesarios para la ejecución y funcionamiento de la planta y describir los mecanismos a través de los cuales fluirán esos recursos. Así mismo, se analizan las condiciones financieras en las que se encontrarán los créditos, así como los gastos financieros en que incurrirá la empresa.

7.6.1. Estructura Financiera del Proyecto

Se consideran los siguientes escenarios para el financiamiento del proyecto:

- a) Inversión pura: El/los inversionistas disponen del capital para la inversión total, por lo tanto, no se requerirá financiamiento externo.
- b) Inversión con financiamiento: De la inversión total requerida para el inicio de las actividades de la planta, se pretende solicitar un préstamo por la mitad de la cantidad total requerida (ver tabla 86), el cual se liquidará en anualidades iguales, a lo largo de los primeros 10 años del horizonte de tiempo, pagando la primera anualidad al final del primer año. La tasa de interés anual será del 25%.

7.6.2. Gastos Financieros

Estos gastos comprenden el pago de intereses por el préstamo a otorgarse por la banca nacional, el cual asciende a \$7,774,176.58. La tabla 86 presenta los egresos anuales derivados al pago de las anualidades para saldar la deuda, según las condiciones descritas en el acápite 8.6.1.

Primeramente, el cálculo de la anualidad corresponde a:

$$A = VP * \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad \text{ec. 8}$$

$$A = (\$7,774,176.58) * \left[\frac{0.25 * (1 + 0.25)^{10}}{(1 + 0.25)^{10} - 1} \right]$$

$$A = \$2,177,333.55$$

7.7. Tasa Mínima Aceptable de Retorno

Asumiendo un valor de premio al riesgo del 20%, y una tasa de inflación promedio del 10% en los años del horizonte de tiempo, entonces, la TMAR para este proyecto es igual a:

$$TMAR = \text{tasa de inflación} + \text{premio al riesgo} \quad \text{ec. 9}$$

$$TMAR = 30\%$$

7.8. Evaluación Económica

Para la evaluación económico-financiera de este proyecto, se crearon las tablas de estado de resultado para ambos casos puntuales: a) Proyecto sin financiamiento. y b) Proyecto con financiamiento del 50% de la inversión requerida. Las tablas 92 a la 95 muestran los resultados obtenidos para ambos casos.

El resumen de la evaluación económica como tal, utilizando los indicadores Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), relación Beneficio Costo (B/C) y Período de Recuperación se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 29: Resumen de Evaluación Económica de la Planta Productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón.

Indicador Financiero	Caso I (Sin Financiamiento)	Caso II (Financiamiento del 50% de la Inversión Requerida)
VPN	-\$5,731,404.68	\$9,108,202.34
TIR	17%	72%
B/C	0.88	1.08
Período de Recuperación	4.21	1.15

Según los resultados obtenidos en la evaluación económica de ambos casos propuestos, se recomienda implementar el proyecto con el escenario II, pues es donde se obtienen valores de indicadores financieros que nos garanticen la rentabilidad del proyecto. En este caso, se obtiene una VPN de \$9,108,202.34, la $TIR > TMAR$ ($72\% > 30\%$), la relación B/C es mayor que 1 ($1.08 > 1$).

7.9. Análisis de Sensibilidad

Para el análisis de sensibilidad de este proyecto, se han considerado 2 escenarios que pueden tener efecto negativo en la rentabilidad de éste.

- Aumento de los Costos de Producción.
- Disminución de los ingresos.

Las tablas de datos de los estados de resultado que se generaron al evaluar estas condiciones se encuentran en el anexo 6.

7.9.1. Aumento de Costos de Producción

Para la situación en que los costos de producción aumentan, el proyecto resulta ser rentable, al menos hasta un aumento de los costos de producción del 30%. Más allá de este porcentaje, la relación B/C se hace menor a 1, lo que significa que el proyecto dejaría de ser factible.

Tabla 30: Análisis de Sensibilidad: Aumento de Costos de Producción.

Criterio de Evaluación	Aumento de los Costos Totales		
	10%	20%	30%
VPN	\$8,089,486.08	\$7,070,769.82	\$6,052,053.56
TIR	67%	63%	58%
C/B	1.12	1.06	1.02
Período de Recuperación	1.19	1.24	1.30

7.9.2. Disminución de los Ingresos

El proyecto muestra mayor sensibilidad a la disminución de los ingresos en comparación al caso anterior. La factibilidad se mantiene si la disminución de ingresos no supera el 10%; esto debido a que la relación B/C se hace menor a 1 si la disminución de los ingresos fuera del 20%. En la tabla 31 se puede observar más a detalle esta declaración.

Tabla 31: Análisis de Sensibilidad: Disminución de Ingresos.

Criterio de Evaluación	Disminución de Ingresos		
	10%	20%	30%
VPN	\$6,805,106.71	\$4,502,011.08	\$2,198,915.44
TIR	62%	52%	41%
B/C	1.06	0.94	0.82
PR	1.25	1.39	2.07

VIII. Conclusiones

Con el desarrollo del Estudio de Mercado se confirmó la existencia de una demanda potencial insatisfecha de los productos Oxígeno, Nitrógeno y Argón en el presente y a lo largo del horizonte de tiempo previsto para este proyecto, la cual constituye una oportunidad para que el producto pueda competir en el mercado en búsqueda de la satisfacción de esa demanda.

Mediante el desarrollo del Estudio Técnico se demostró la viabilidad técnica del proyecto, no existiendo limitantes o impedimentos de tipo tecnológico (materia prima, insumos, equipos, ubicación, impactos ambientales) que puedan restringir la implementación de este. Así mismo, se demuestra la viabilidad de tipo socioambiental asociada principalmente a la generación de empleos formales y la industrialización de la zona de operación de la planta. Cabe resaltar que cada uno de los potenciales impactos al ambiente se mitigarán con la implementación del correspondiente plan de gestión ambiental

A través del estudio económico se determinó la rentabilidad del proyecto de la planta productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón para el horizonte de tiempo de 20 años, haciendo uso de los indicadores financieros VPN, TIR, Relación Beneficio / Costo y Período de Recuperación de la Inversión. Se estableció una TMAR = 30% para la etapa de evaluación financiera del proyecto, y se analizaron dos escenarios: a) inversión sin financiamiento, y b) 50% de financiamiento de la inversión total inicial a una tasa de interés de 25% anual, a un plazo de 10 años, resultando rentable la alternativa b. Los parámetros financieros de esta alternativa fueron: VPN = \$ 9,108,202.34, TIR = 72%, relación B/C = 1.08 y período de recuperación de la inversión de 1.15 años.

Finalmente, con el desarrollo de este estudio de prefactibilidad, haciendo uso de cada uno de los criterios técnicos, comerciales, económicos y ambientales utilizados, se confirma la viabilidad o rentabilidad de este en todos los aspectos antes mencionados.

IX. Recomendaciones

1. Para reducir los costos de producción, se pueden implementar iniciativas de ahorro o métodos alternativos para suplir al proceso de los suministros requeridos a un menor precio. Por ejemplo, se sabe que gran parte de los costos de producción provienen del consumo de energía eléctrica de la red nacional; por lo tanto, podría estudiarse la posibilidad de obtener energía para el proyecto a través de paneles solares y comparar la viabilidad del proyecto con o sin la parte de generación interna de energía.
2. Para generar resultados más certeros, se recomienda utilizar softwares de simulación para dimensionar y calcular parámetros óptimos de diseño de todos los equipos del proceso. El proceso de producción de gases medicinales e industriales por el método de destilación criogénica es muy complejo, por lo que el apoyo de softwares garantiza una mayor confiabilidad de los resultados.
3. Se puede realizar el análisis de sensibilidad tomando en cuenta otras condiciones a las escritas en este estudio, para determinar con mayor precisión qué tan sensible es el proyecto a diferentes escenarios fuera de las condiciones estipuladas en este estudio.

X. Bibliografía

- Arandia Cassal, M. (2015). *Estudio de Factibilidad para la Implementación de una Fábrica de Oxígeno Criogénico*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Asana. (2024). *Método de la Ruta Crítica*. ¿Cómo Utilizar El Método de La Ruta Crítica En La Gestión de Proyectos? <https://asana.com/es/resources/critical-path-method#qué-es-el-método-de-la-ruta-crítica>
- Ávila, E. (2015). *Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno por Destilación Fraccionada del Aire*. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.
- Baca Urbina, G. (2016). *Evaluación de Proyectos* (8th ed.). McGrawHill Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Banco Central de Nicaragua. (2021). Estado de la Economía y Perspectivas. In *Syria Studies* (Vol. 7, Issue 1). https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625
- Banco Central de Nicaragua. (2022). *Nicaragua en cifras*. http://www.bcn.gob.ni/publicaciones/periodicidad/anual/nicaragua_cifras/nicaragua_cifras.pdf
- Calvo, G., López, D., & Torrez, B. (2023). *Precios y Canales de Comercialización de Gases Industriales y Medicinales*.
- Cerrada Martínez, P. (2017). *Diseño Y Análisis De Una Planta De Separación De Aire* [Univerddidad Politécnica de Madrid]. http://oa.upm.es/48874/1/TFG_PABLO_CERRADA_MARTINEZ.pdf
- Compressed Gas Association. (2021). *Air*. Gas Monograph - Compressed Gases: Properties, Uses, Safety, Emergency Response, and Special Handling Information. <https://handbook.cganet.com/monographs/Air>
- Compressed Gas Association. (2022, November 13). *Argon*. Gas Monograph - Compressed Gases: Properties, Uses, Safety, Emergency Response, and Special Handling Information. <https://handbook.cganet.com/monographs/Argon>
- Cruz, J. A. (2019). *Caracterización de la vulnerabilidad global a contaminación del acuífero de la microcuenca del municipio de Nagarote, Departamento de León, 2017-2019*. Universidad Nacional Agraria.
- De Nevers, N. (1998). *Tecnología de control de la contaminación del aire* (1st ed.). McGraw-Hill Interamericana. <https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/fcyclons.pdf>
- Echeverri, C. (2006) *Diseño óptimo de ciclones*. [Revista Ingenierías Universidad

de Medellín]

Flottweg S.A. (2023). *Viscosidad Dinámica del Aire*. Viscosidad Dinámica. <https://www.flottweg.com/es/wiki/tecnica-de-separacion/viscosidad-dinamica/>

Forbes Staff. (2023). *Nicaragua aumenta a un máximo de 5% su proyección de crecimiento en 2023 y de 4,5% en 2024*. Forbes Centroamérica Web Oficial. <https://forbescentroamerica.com/2023/12/01/nicaragua-aumenta-a-un-maximo-de-5-su-proyeccion-de-crecimiento-en-2023-y-de-45-en-2024>

Gaspro Latinoamérica S.A. (2015). *Manual Básico de Seguridad para Gases Comprimidos*.

Hernández, L. (2018). *Diseño de un sistema de tratamiento de gases residuales para una fábrica de fertilizantes ubicada en Sarrión (teruel)* [Universidad Politécnica de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/110621>

INETER-DGOT. (2021). *Primer Atlas Nacional de Suelos de la República de Nicaragua*. <https://www.ineter.gob.ni/flipatlassuelo-Ord/publicacionflip/atlassuelo.html>

INSS. (2021). *Anuario Estadístico 2021*. <https://inss-princ.inss.gob.ni/index.php/estadisticas-38/413-anuario-estadistico-2021>

Instituto Nacional de Información de Desarrollo. (2023). *Inflación Acumulada Nacional*. Banco Central de Nicaragua Web Oficial. <https://bcn.gob.ni/IRR/graficos/inflacion.php>

Instituto Nicaraguense de Turismo. (2022). *Municipio de Nagarote*. Mapa Nacional de Turismo. <https://www.mapanicaragua.com/municipio-de-nagarote/>

Kumar, L. (2014). *Analysis of steady state Cryogenic Air Separation unit of Rourkela Steel Plant and simulation of Fixed Bed Adsorption Separation of Air*. National Institute of Technology Rourkela.

Kuppan, T. (2013). *Heat Exchanger Design Handbook* (2nd ed.). Marcel Dekker, Inc.

Lucas, R. (2012). *Diseño y Modelado Virtual de un Colector de Partículas Tipo “Scrubber” para la Industria de Acero* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/21252>

Messer Ibérica de Gases SA. (2021). *Colores de las Botellas de Gases según la Norma UNE-EN 1089-3*. <https://www.messer.es/documents/742554/5279256/Colores+botellas+de+gas.pdf/9a2753dc-737b-6417-8a18-bc0b7fdf6bd1?t=1653384516990>

Míguez, S. (2011). *Aplicación de la norma UNE EN ISO 9001:2008 al proceso de Destilación Criogénica del Aire para obtención de Oxígeno del 99,5% de riqueza* - *Producción*. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30159/fichero/ANEXOS%252FANEX>

- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2018). *Plan de Manejo Reserva Natural Isla Juan Venado*.
- Obando, S., & Sotelo, R. (2019). *Esquema de Ordenamiento Urbano para el Municipio de Nagarote, Departamento de León, Período 2017-2032*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Palmay, P., Montoro, J., Bruno, J., & Coronas, A. (2015). Análisis energético de una planta de separación de aire y caracterización del proceso de separación. *Eficiencia Energética y Sostenibilidad*, 1, 414–421.
- Peters, M., Timmerhaus, K., & West, R. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Productos del Aire. (n.d.). *Quiénes Somos*.
- Productos del Aire. (2012). *Guía para el Manejo Seguro de Cilindros de Alta Presión*.
- Reyes, O. (2010). *Caracterización del estado actual de los suelos del departamento de León, en base a sus características físicas y sistemas de producción. En el período abril 2009 a junio 2010* [Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua - León]. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/caracterizacion-fisica-suelos/caracterizacion-fisica-suelos.pdf>
- Statista Research Department. (2023). *Evolución Anual de la Tasa de Inflación en Nicaragua desde 2015 hasta 2028*. Statista Web Oficial. <https://es.statista.com/estadisticas/1190096/tasa-de-inflacion-nicaragua/>
- Stsepanets, A. (2023). *Ruta Crítica. ¿Cómo Ayuda El Método de La Ruta Crítica En La Administración de Proyectos?* <https://blog.ganttpro.com/es/metodo-de-la-ruta-critica-en-la-administracion-de-proyectos/>
- Tuleda, M. (1994). *Obtención de oxígeno a partir del aire atmosférico para su uso comercial. Estudio de viabilidad técnica y económica*. [https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/15463/Obtención de oxígeno a partir de aire atmosférico para su uso comercial. Estudio de viabilidad técnica y económica..pdf?sequence=1](https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/15463/Obtencion%20de%20oxigeno%20a%20partir%20de%20aire%20atmosferico%20para%20su%20uso%20comercial.%20Estudio%20de%20viabilidad%20tecnicay%20economica..pdf?sequence=1)
- Ulrich, G. (1992). *Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química* (1st ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Urbina, M., & Gámez, R. (2020). *Estudio de Prefactibilidad para la Instalación de una Planta Procesadora de Semilla de Chía en el Municipio El Tuma - La Dalia, Matagalpa*. Universidad Nacional de Ingeniería.

XI. Anexos

Anexo 1: Tablas del Estudio de Mercado

Tabla 29: Propiedades fisicoquímicas del Nitrógeno.

	Sistema Internacional	Sistema Inglés
Peso Molecular	28.01	28.01
Densidad del Líquido (en el punto de ebullición y a 1 atm)	808.5 kg/m³	50.47 lb/ft³
Densidad del Gas (a 70 °F - 21.1 °C, 1 atm)	1.153 kg/m³	0.072 lb/ft³
Punto de Fusión (1 atm)	-218.8 °C	-345.8 °F
Punto de Ebullición (1 atm)	-195.8 °C	-320.4 °F
Presión Crítica	3399 kPa, abs	493 PSia
Temperatura Crítica	-146.9 °C	- 232.4 °F
Gravedad específica (a 70° F – 21.1 °C, 1 atm)	0.967	0.967
Punto triple (a 1.81 PSia o 12.5 kPa, abs)	-210.0 °C	-346.0 °F
Calor Específico Cp (a 70 °F - 21.1 °C y 1 atm)	1.04 kJ/kg °C	0.249 BTU/lb °F
Calor Específico Cv (a 70 °F – 21.1 °C y 1 atm)	0.741 kJ/kg °C	0.177 BTU/lb °F
Calor latente de Vaporización	199.1 kJ/kg	85.6 BTU/lb
Calor latente de Fusión	25.1 kJ/kg	11.1 BTU/lb

Fuente: Gaspro, 2017; Compressed Gas Association, 2022

Tabla 30: Propiedades fisicoquímicas del Oxígeno.

	Sistema Internacional	Sistema Inglés
Peso Molecular	31.9988	31.9988
Densidad del Líquido (en el punto de ebullición y a 1 atm)	1141 kg/m³	71.23 lb/ft³
Densidad del Gas (a 70 °F - 21.1 °C, 1 atm)	1.329 kg/m³	0.08279 lb/ft³
Punto de Congelación (1 atm)	-218.4 °C	-361.1 °F
Punto de Ebullición (1 atm)	-182.9 °C	-297.3 °F
Presión Crítica	5043 kPa, abs	731.4 PSia
Temperatura Crítica	-118.6 °C	- 181.4 °F

Gravedad específica (a 70° F – 21.1 °C, 1 atm)	1.105	1.105
Punto triple (a 0.0216 PSia o 0.1489 kPa, abs)	-218.8 °C	-361.82 °F
Calor Específico Cp (a 70 °F - 21.1 °C y 1 atm)	0.9192 kJ/kg °C	0.2197 BTU/lb °F
Calor Específico Cv (a 70 °F – 21.1 °C y 1 atm)	0.6577 kJ/kg °C	0.1572 BTU/lb °F
Calor latente de vaporización	213 kJ/kg	91.7 BTU/lb
Calor latente de fusión (a -361.1 °F o -218.4 °C)	13.9 kJ/kg	5.98 BTU/lb

Fuente: (Compressed Gas Association, 2022b)

Tabla 31: Propiedades fisicoquímicas del Argón.

	Sistema Internacional	Sistema Inglés
Peso Molecular	39.95	39.95
Densidad del Líquido (en el punto de ebullición y a 1 atm)	1394 kg/m³	87.02 lb/ft³
Densidad del Gas (a 70 °F - 21.1 °C, 1 atm)	1.650 kg/m³	0.103 lb/ft³
Punto de Ebullición (1 atm)	-185.9 °C	-302.6 °F
Punto de Fusión (1 atm)	-189.2 °C	-308.6 °F
Presión Crítica	4906 kPa, abs	711.5 PSia
Temperatura Crítica	-122.3 °C	- 188.1 °F
Gravedad específica (a 70° F – 21.1 °C, 1 atm)	1.38	1.38
Punto triple (a 9.99 PSia o 68.9 kPa, abs)	-189.3 °C	-308.8 °F
Calor Específico Cp (a 70 °F - 21.1 °C y 1 atm)	0.523 kJ/kg °C	0.125 BTU/lb °F
Calor Específico Cv (a 70 °F – 21.1 °C y 1 atm)	0.314 kJ/kg °C	0.075 BTU/lb °F
Calor latente de vaporización en el punto de ebullición	162.3 kJ/kg	69.8 BTU/lb
Calor latente de fusión en el punto triple	29.6 kJ/kg	12.8 BTU/lb

Fuente: (Compressed Gas Association, 2022)

Tabla 32: Cilindros utilizados para el Embalaje de Gases Industriales y Medicinales en Nicaragua.

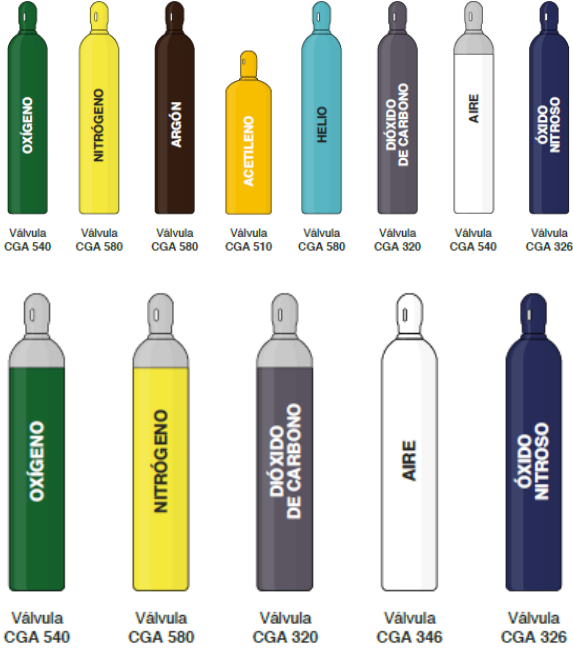
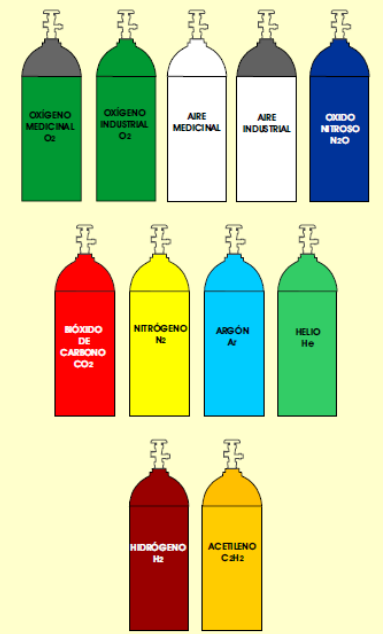
Empresa	Cilindro Utilizado
GASPRO	
	

Tabla 33: Especificaciones de Gases Medicinales según la Real Farmacopea Española.

Impureza/ Gas	Oxígeno	Nitrógeno	Óxido Nitroso	Aire Medicinal Sintético	Aire Medicinal Comprimidos	Método Analítico
O ₂	Identificación > 99.5% V/V			21.00<%O ₂ < 22.5	20.4<%O ₂ < 21.4	Analizador Paramagnético
N ₂		Identificación > 99.5%				Cromatografía de gases
N ₂ O			Identificación > 98% V/V			Absorción infrarrojos
H ₂ O	< 67 ppm	< 67 ppm	< 67 ppm	< 67 ppm	< 67 ppm	Higrómetro electrolítico
CO	< 5 ppm	< 5 ppm	< 5 ppm		< 5 ppm	Absorción infrarrojos
CO ₂	< 300 ppm	< 300 ppm	< 300 ppm		<500 ppm	Absorción infrarrojos
NO			< 2 ppm		< 2 ppm	Quimioluminiscencia
NO ₂			< 2 ppm		< 2 ppm	Quimioluminiscencia
SO ₂					< 1 ppm	Fluorescencia ultravioleta
Aceite					< 0.1 mg/m ³	Analítica Farmacopea

Tabla 34: Proyección de la Oferta de Oxígeno Medicinal a nivel Nacional.

Año	Producción estimada de O ₂ Medicinal, m ³ /año
2024	6,301,360.00
2025	7,199,260.00
2026	8,097,160.00
2027	8,995,060.00
2028	9,892,960.00
2029	10,790,860.00
2030	11,688,760.00
2031	12,586,660.00
2032	13,484,560.00
2033	14,382,460.00

Fuente: (Gaspro Latinoamérica S.A., 2015; Productos del Aire, 2012)

2034	15,280,360.00
2035	16,178,260.00
2036	17,076,160.00
2037	17,974,060.00
2038	18,871,960.00
2039	19,769,860.00
2040	20,667,760.00
2041	21,565,660.00
2042	22,463,560.00
2043	23,361,460.00

Tabla 35: Proyección de la Demanda de Oxígeno al año 2043.

Año	Demanda, m ³
2023	11605346.68
2024	13235304.19
2025	14865261.7
2026	16495219.21
2027	18125176.72
2028	19755134.22
2029	21385091.73
2030	23015049.24
2031	24645006.75
2032	26274964.26
2033	27904921.76
2034	29534879.27
2035	31164836.78
2036	32794794.29
2037	34424751.8
2038	36054709.3
2039	37684666.81
2040	39314624.32
2041	40944581.83
2042	42574539.34
2043	44204496.84

Tabla 36: Proyección de la Demanda de Nitrógeno hasta el año 2043.

Año	Demanda, m ³
2023	547788.5379

2024	605402.7117
2025	663016.8855
2026	720631.0593
2027	778245.2331
2028	835859.407
2029	893473.5808
2030	951087.7546
2031	1008701.928
2032	1066316.102
2033	1123930.276
2034	1181544.45
2035	1239158.624
2036	1296772.798
2037	1354386.971
2038	1412001.145
2039	1469615.319
2040	1527229.493
2041	1584843.667
2042	1642457.84
2043	1700072.014

Tabla 37: Proyección de la Demanda de Argón hasta el año 2043.

Año	Demanda, m ³
2023	34080.94808
2024	37445.19548
2025	40809.44287
2026	44173.69027
2027	47537.93766
2028	50902.18506
2029	54266.43246
2030	57630.67985
2031	60994.92725
2032	64359.17464
2033	67723.42204
2034	71087.66943
2035	74451.91683
2036	77816.16422
2037	81180.41162
2038	84544.65901

2039	87908.90641
2040	91273.1538
2041	94637.40119
2042	98001.64859
2043	101365.896

Tabla 38: Proyección de la Demanda Potencial Insatisfecha de Oxígeno a Nivel Nacional.

Año	Demanda, m³	Oferta, m3	Demanda Potencial Insatisfecha, m³
2019	4,948,388.62	2,410,460.00	2,537,928.62
2020	6,311,297.23	2,410,460.00	3,900,837.23
2021	9,565,167.53	2,410,460.00	7,154,707.53
2022	9,296,956.88	5,403,460.00	3,893,496.88
2023	11,605,346.68	5,403,460.00	6,201,886.68
2024	13,235,304.19	6,301,360.00	6,933,944.19
2025	14,865,261.70	7,199,260.00	7,666,001.70
2026	16,495,219.21	8,097,160.00	8,398,059.21
2027	18,125,176.72	8,995,060.00	9,130,116.72
2028	19,755,134.22	9,892,960.00	9,862,174.22
2029	21,385,091.73	10,790,860.00	10,594,231.73
2030	23,015,049.24	11,688,760.00	11,326,289.24
2031	24,645,006.75	12,586,660.00	12,058,346.75
2032	26,274,964.26	13,484,560.00	12,790,404.26
2033	27,904,921.76	14,382,460.00	13,522,461.76
2034	29,534,879.27	15,280,360.00	14,254,519.27
2035	31,164,836.78	16,178,260.00	14,986,576.78
2036	32,794,794.29	17,076,160.00	15,718,634.29
2037	34,424,751.80	17,974,060.00	16,450,691.80
2038	36,054,709.30	18,871,960.00	17,182,749.30
2039	37,684,666.81	19,769,860.00	17,914,806.81
2040	39,314,624.32	20,667,760.00	18,646,864.32
2041	40,944,581.83	21,565,660.00	19,378,921.83
2042	42,574,539.34	22,463,560.00	20,110,979.34
2043	44,204,496.84	23,361,460.00	20,843,036.84

Tabla 39: Proyección de la Demanda Potencial Insatisfecha de Nitrógeno a Nivel Nacional.

Año	Demanda, m3	Oferta, m3	Demanda Potencial Insatisfecha, m³
2019	340,648.04	0.00	340,648.04
2020	339,971.86	0.00	339,971.86

2021	294,401.35	0.00	294,401.35
2022	501,832.49	0.00	501,832.49
2023	547,788.54	0.00	547,788.54
2024	605,402.71	0.00	605,402.71
2025	663,016.89	0.00	663,016.89
2026	720,631.06	0.00	720,631.06
2027	778,245.23	0.00	778,245.23
2028	835,859.41	0.00	835,859.41
2029	893,473.58	0.00	893,473.58
2030	951,087.75	0.00	951,087.75
2031	1,008,701.93	0.00	1,008,701.93
2032	1,066,316.10	0.00	1,066,316.10
2033	1,123,930.28	0.00	1,123,930.28
2034	1,181,544.45	0.00	1,181,544.45
2035	1,239,158.62	0.00	1,239,158.62
2036	1,296,772.80	0.00	1,296,772.80
2037	1,354,386.97	0.00	1,354,386.97
2038	1,412,001.15	0.00	1,412,001.15
2039	1,469,615.32	0.00	1,469,615.32
2040	1,527,229.49	0.00	1,527,229.49
2041	1,584,843.67	0.00	1,584,843.67
2042	1,642,457.84	0.00	1,642,457.84
2043	1,700,072.01	0.00	1,700,072.01

Tabla 40: Proyección de la Demanda Potencial Insatisfecha de Argón a Nivel Nacional.

Año	Demanda, m3	Oferta, m3	Demanda Potencial Insatisfecha, m³
2019	60,187.47	0.00	60,187.47
2020	24,519.74	0.00	24,519.74
2021	26,289.39	0.00	26,289.39
2022	31,248.23	0.00	31,248.23
2023	34,080.95	0.00	34,080.95
2024	37,445.20	0.00	37,445.20
2025	40,809.44	0.00	40,809.44
2026	44,173.69	0.00	44,173.69
2027	47,537.94	0.00	47,537.94
2028	50,902.19	0.00	50,902.19
2029	54,266.43	0.00	54,266.43
2030	57,630.68	0.00	57,630.68
2031	60,994.93	0.00	60,994.93
2032	64,359.17	0.00	64,359.17

2033	67,723.42	0.00	67,723.42
2034	71,087.67	0.00	71,087.67
2035	74,451.92	0.00	74,451.92
2036	77,816.16	0.00	77,816.16
2037	81,180.41	0.00	81,180.41
2038	84,544.66	0.00	84,544.66
2039	87,908.91	0.00	87,908.91
2040	91,273.15	0.00	91,273.15
2041	94,637.40	0.00	94,637.40
2042	98,001.65	0.00	98,001.65
2043	101,365.90	0.00	101,365.90

Tabla 41: Demanda Potencial Insatisfecha de Oxígeno, Nitrógeno y Argón a Satisfacer en el Horizonte de tiempo.

Año	DPI de Oxígeno a Satisfacer	DPI de Nitrógeno a Satisfacer	DPI de Argón a Satisfacer
2024	3,466,972.10	302,701.36	18,722.60
2025	3,833,000.85	331,508.44	20,404.72
2026	4,199,029.61	360,315.53	22,086.85
2027	4,565,058.36	389,122.62	23,768.97
2028	4,931,087.11	417,929.70	25,451.09
2029	5,297,115.87	446,736.79	27,133.22
2030	5,663,144.62	475,543.88	28,815.34
2031	6,029,173.38	504,350.96	30,497.46
2032	6,395,202.13	533,158.05	32,179.59
2033	6,761,230.88	561,965.14	33,861.71
2034	7,127,259.64	590,772.23	35,543.83
2035	7,493,288.39	619,579.31	37,225.96

2036	7,859,317.15	648,386.40	38,908.08
2037	8,225,345.90	677,193.49	40,590.21
2038	8,591,374.65	706,000.57	42,272.33
2039	8,957,403.41	734,807.66	43,954.45
2040	9,323,432.16	763,614.75	45,636.58
2041	9,689,460.92	792,421.83	47,318.70
2042	10,055,489.67	821,228.92	49,000.82
2043	10,421,518.42	850,036.01	50,682.95

Tabla 42: Proyección de la Inflación en Nicaragua para el Período 2029-2044.

Año	Inflación
2029	3.3053
2030	2.991
2031	2.6767
2032	2.3624
2033	2.0481
2034	1.7338
2035	1.4195
2036	1.1052
2037	0.7909
2038	0.4766
2039	0.1623
2040	-0.152
2041	-0.4663
2042	-0.7806
2043	-1.0949

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 43: Proyección de los Precios, para el Horizonte de tiempo 2024-2043.

	Año	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
	Inflación	5.00%	4.00%	4.00%	4.00%	4.00%	3.31%	2.99%	2.68%	2.36%	2.05%	1.73%	1.42%	1.11%	0.79%	0.48%	0.16%	-0.15%	-0.47%	-0.78%	-1.09%
Precios O ₂ proyectados	T-110	21.39	22.24	23.13	24.06	25.02	25.85	26.62	27.33	27.98	28.55	29.05	29.46	29.79	30.02	30.16	30.21	30.17	30.03	29.79	29.47
	T-220	33.32	22.24	23.13	24.06	25.02	25.85	26.62	27.33	27.98	28.55	29.05	29.46	29.79	30.02	30.16	30.21	30.17	30.03	29.79	29.47
	T-80	12.28	12.77	13.28	13.81	14.36	14.84	15.28	15.69	16.06	16.39	16.67	16.91	17.10	17.23	17.31	17.34	17.32	17.24	17.10	16.91
	T-D	5.27	5.49	5.71	5.93	6.17	6.37	6.57	6.74	6.90	7.04	7.16	7.27	7.35	7.40	7.44	7.45	7.44	7.41	7.35	7.27
	T-E	7.09	7.37	7.67	7.98	8.30	8.57	8.83	9.06	9.28	9.47	9.63	9.77	9.88	9.95	10.00	10.02	10.00	9.96	9.88	9.77
	Líquido a granel, l	4.29	4.46	4.64	4.83	5.02	5.19	5.34	5.48	5.61	5.73	5.83	5.91	5.98	6.02	6.05	6.06	6.05	6.02	5.98	5.91
Precios N ₂ proyectados	T-110	19.52	20.30	21.11	21.96	22.84	23.59	24.30	24.95	25.54	26.06	26.51	26.89	27.19	27.40	27.53	27.58	27.53	27.41	27.19	26.89
	T-220	30.21	31.42	32.67	33.98	35.34	36.51	37.60	38.61	39.52	40.33	41.03	41.61	42.07	42.40	42.60	42.67	42.61	42.41	42.08	41.62
	T-80	13.44	13.98	14.54	15.12	15.73	16.25	16.73	17.18	17.59	17.95	18.26	18.52	18.72	18.87	18.96	18.99	18.96	18.87	18.73	18.52
	T-D	4.99	5.19	5.40	5.62	5.84	6.04	6.22	6.38	6.53	6.67	6.78	6.88	6.96	7.01	7.04	7.06	7.05	7.01	6.96	6.88
	T-E	6.52	6.78	7.05	7.34	7.63	7.88	8.12	8.33	8.53	8.71	8.86	8.98	9.08	9.15	9.20	9.21	9.20	9.16	9.08	8.98
	Líquido a granel, l	3.48	3.62	3.77	3.92	4.07	4.21	4.33	4.45	4.56	4.65	4.73	4.80	4.85	4.89	4.91	4.92	4.91	4.89	4.85	4.80
Precios Ar Proyectados	T-220	119.51	124.29	129.26	134.43	139.81	144.43	148.75	152.73	156.34	159.54	162.31	164.61	166.43	167.75	168.55	168.82	168.57	167.78	166.47	164.65
	Líquido a granel, l	15.97	16.61	17.27	17.96	18.68	19.30	19.88	20.41	20.89	21.32	21.69	22.00	22.24	22.42	22.52	22.56	22.53	22.42	22.25	22.00

Anexo 2: Figuras del Estudio de Mercado

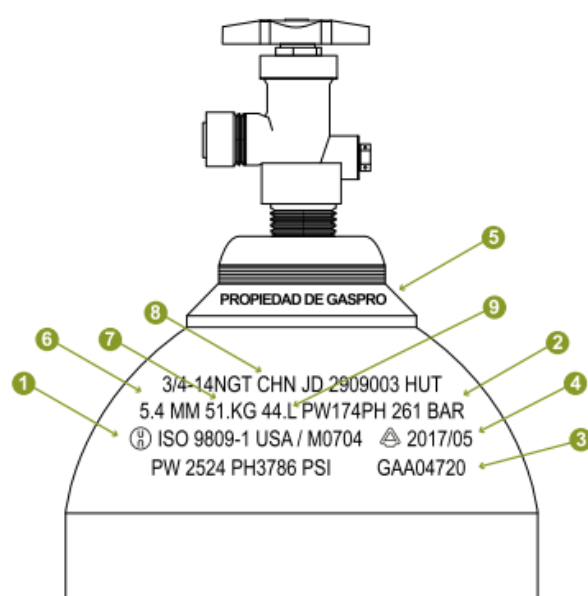


Figura 16: Estampado del Cilindro.

La información por verificar es: 1. Norma de Fabricación Internacional, 2. Presión Máxima de Trabajo, 3. Número de Serie (GAA), 4. Vigencia de Prueba Hidrostática 5/10 años de acuerdo con la regulación del país, año y mes en que se realiza la prueba, 5. Marca del Fabricante del Cilindro, 6. Espesor Mínimo de Pared del Cilindro, 7. Peso del Cilindro Vacío, 8. País de Fabricación, 9. Capacidad Nominal en Litros de Agua



Figura 17: Diagrama de un Cilindro de Alta Presión.

Color de la ojiva: Verde oscuro (RAL 6001)	Color de la ojiva: Marrón (RAL 8008)	Color de la ojiva: Gris (RAL 7037)	Color de la ojiva: Negro (RAL 9005)
Argón Argón	Helio Helio	Dióxido de carbono Dióxido de carbono Gourmet C (alimentación)	Nitrógeno Nitrógeno Gourmet N (alimentación)

Figura 15: Código especial de color para los Gases Industriales más Importantes (a).

Color de la ojiva: Blanco (RAL 9010)	Color de la ojiva: Rojo óxido (RAL 3009)	Color de la ojiva: Azul (RAL 5010)
Oxígeno Oxígeno Gourmet O (alimentación)	Acetileno Acetileno	Óxido nítrico Óxido nítrico

Figura 18: Código especial de color para los Gases Industriales más Importantes (b).

			
Color de la ojiva: Amarillo (RAL 1018)	Color de la ojiva: Rojo (RAL 3000)	Color de la ojiva: Azul (RAL 5012)	Color de la ojiva: Verde claro (RAL 6018)
Color del cuerpo de la botella: el color de nuestras botellas			
Gases tóxicos y/o corrosivos Amoníaco Dióxido de azufre Cloro Óxido nítrico Monóxido de carbono	Gases inflamables Hidrógeno Etano Metano Propano Mezclas de gases inflamables Formiergas H10 / H20 / H75 Inoxline H5, H7, H10	Mezclas con gases oxidantes Gourmet 070	Gases inertes Gases nobles Criptón Xenón Neón Mezclas de gases de protección inertes con argón Ferrolíne Inoxline Alulíne

Figura 21: Color de Cilindros / Ojivas según las propiedades del gas.

				
Color de la ojiva: Blanco (RAL 9010)	Color de la ojiva: Azul (RAL 5010)	Color de la ojiva: Gris (RAL 7037)	Color de la ojiva: Negro (RAL 9005)	Color de la ojiva: Verde (RAL 6001)
Color del cuerpo de la botella: es obligatorio que el cuerpo de las botellas d				
Oxígeno medicinal	Óxido nitroso medicinal	Dióxido de carbono medicinal	Nitrógeno medicinal	Argón medicinal
				
Color de la ojiva: Azul turquesa (RAL 5018)	Color de la ojiva (a bandas o cuartos): Blanco + negro (RAL 9010 + 9005)	Color de la ojiva (a bandas o cuartos): Blanco + azul (RAL 9010 + 5010)	Color de la ojiva (a bandas o cuartos): Blanco + gris (RAL 9010 + 7037)	
a gases medicinales y mezclas sea blanco (RAL 9010).				
Mezclas con óxido nítrico medicinal / nitrógeno medicinal (con <= 1000 ppm NO)	Aire comprimido medicinal Aire sintético medicinal	Mezclas con óxido nitroso medicinal / oxígeno medicinal	Mezclas de dióxido de carbono medicinal y oxígeno medicinal	

Figura 20: Código de Colores para gases Medicinales.



Figura 19: Ejemplo de Etiqueta utilizada en Cilindros de Gases Comprimidos.

Los detalles son los siguientes: 1. Fabricante del Gas, 2. Denominación o Nombre de la Sustancia o Gas, 3. Clase y Número UN, 4. Rombo de Clasificación de Riesgo, 5. Recomendaciones de Riesgo, 6. Recomendaciones de Atención Médica, 7. Nombre, Teléfono y Dirección del Responsable de la Comercialización.



Figura 22: Ejemplo de Etiqueta para Termos Criogénicos.

Anexo 3: Tablas del Estudio Técnico

Tabla 44: Tamaño Óptimo de la Planta a Diseñar.

Año	PRODUCCIÓN				% Aprovechamiento de la Planta
	Oxígeno	Nitrógeno	Argón	AIRE PROCESADO TOTAL	
	ton/día	ton/día	ton/día	ton/día	
1	17.12	63.83	0.76	81.74	50
2	17.12	63.83	0.76	81.74	50
3	17.12	63.83	0.76	81.74	50
4	18.84	70.21	0.84	89.92	55
5	18.84	70.21	0.84	89.92	55
6	18.84	70.21	0.84	89.92	55
7	20.55	76.60	0.92	98.09	60
8	20.55	76.60	0.92	98.09	60
9	20.55	76.60	0.92	98.09	60
10	22.26	82.98	0.99	106.27	65
11	22.26	82.98	0.99	106.27	65
12	22.26	82.98	0.99	106.27	65
13	23.97	89.36	1.07	114.44	70
14	23.97	89.36	1.07	114.44	70
15	23.97	89.36	1.07	114.44	70
16	27.40	102.13	1.22	130.79	80
17	27.40	102.13	1.22	130.79	80
18	30.82	114.89	1.37	147.14	90
19	30.82	114.89	1.37	147.14	90
20	34.26	127.70	1.53	163.49	100
Sobrediseño	39.40	146.86	1.76	188.01	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 45: Evaluación de Alternativas para Localización Óptima por el Método Cualitativo por Puntos.

Alternativas de Localización		Alternativa A		Alternativa B	
Factor Relevante	Peso Asignado	Nagarote		Diriamba	
		Calificación	Calificación Ponderada	Calificación	Calificación Ponderada

Calidad de Materia Prima	0.10	6.5	0.65	7	0.7
Disponibilidad de Mano de Obra	0.15	8	1.2	8	1.2
Costo de insumos y suministros (agua, energía, envases, etc)	0.2	7	1.4	7	1.4
Impactos Ambientales	0.15	8	1.2	7	1.05
Impacto socioeconómico	0.15	8	1.2	7.5	1.125
Comunicaciones (acceso a carreteras, sistemas de comunicación)	0.15	8.5	1.275	7.5	1.125
Disponibilidad y Costo del Terreno	0.1	6	0.6	5	0.5
Suma	1		7.525		7.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46:Parámetros Típicos de Operación para Adsorción en Fase Gaseosa.

	Rango	Diseño
Velocidad superficial del gas	20 a 50 cm/s	40 cm/s
Profundidad del lecho adsorbente	3 a 10 MTZ	5 MTZ
Tiempo de adsorción	0.5 a 8 h	4 h
Temperatura	-200 a 50 °C	
Concentración de la corriente de entrada		
Base de adsorción	100 a 5000 vppm	
Base LEL	40%	
Tamaño de la partícula adsorbente	0.5 a 10 mm	4 a 8 mm
Carga de trabajo	5 a 20% wt	10%
Ratio de vapor y solvente	2:1 a 8:1	4:1

Volumen libre del adsorbente	38% a 50%	45%
Temperatura del vapor de regeneración	105 a 110 °C	
Temperatura del vapor inerte de regeneración	100 a 300 °C	
Tiempo de regeneración	½ tiempo de adsorción	
Número de adsorbedores	1 a 6	2 a 3

Tabla 47: Tiempos de Ciclos Típicos para Operación de Adsorbedores en Fase Gaseosa (horas).

	Secador de Gas de Alta Presión		Unidad de Recuperación de Solventes Orgánicos	
	A	B	A	B
En funcionamiento	24	24	2.00	1.00
Purga/Despresurizado	2	1	--	--
Gas Caliente	10	13	--	--
Vapor	--	--	0.75	0.67
Gas caliente	--	--	0.33	--
Gas Frío	5	8	0.42	0.33
Presión/en espera	7	2	0.50	--
	24	24	2.00	1.00

Tabla 48: Datos del Proceso para el Dimensionamiento del Intercambiador.

	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4
	Aire no comprimido	Aire comprimido	Oxígeno Líquido (LOX)	Nitrógeno Líquido (LIN)
Flujo másico entrante = Flujo másico de salida, $\dot{m}$ (kg/s)	1.665	0.185	0.455	1.69
Temperatura entrante, t_e (K)	288.15	544.95	63.17	83.15
Temperatura de salida, t_s (K)	130.15	300.95	77.4	113.15

Presión de entrada, p_e (bar)	4.3	40	1	5
Presión de salida, p_s (bar)	4.157	39.5	0.89	4.85

Tabla 49: Especificaciones de las Aletas para el Intercambiador de Calor Principal.

	Stream 1	Stream 2	Stream 3	Stream 4
Stream type	Hot	Hot	Cold	Cold
Flow direction	End A to B(down)	End A to B(down)	End B to A (up)	End B to A (up)
Number of layers per exchanger	13	13	7	7
Main fin surface area (total)	m ² 14	1.4	0.4	8.8
Main primary surface area (total)	m ²			
Main secondary surface area (total)	m ²			
Length - before stream	mm 174.85	11.5	572.76	11.5
Length - end A distributor	mm 113.63	98.92	29.62	98.92
Length - main fin	mm 333.34	34.81	19.44	416.59
Length - end B distributor	mm 98.92	29.62	98.92	45.75
Length - after stream	mm 11.5	557.39	11.5	159.48
Inlet distributor: Type	Indirect (side)	End (corner)	End (corner)	Indirect (side)
Outlet distributor: Type	End (corner)	Indirect (side)	Indirect (side)	End (corner)
Inlet header location	Left	Left	Left	Left
Outlet header location	Right	Right	Right	Right
Number of layers (redistributed)				
Main fin number	1	2	1	3
Main layer internals				
Main fin type	Serrated (offset)	Serrated (offset)	Serrated (offset)	Perforated
Main fin height	mm 6.4	6.4	6.4	6.4
Main fin thickness	mm 0.2	0.3	0.2	0.3
Main fin frequency	#/m 787	787	787	787
Hold-up (total)	m ³ 0.0115	0.0026	0.0016	0.0083

Tabla 50: Resumen del Desempeño Térmico de las Corrientes del Intercambiador de Calor Principal.

		Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4
Main stream number		Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4
Stream name		Uncompressed air	Compressed air	LOX	LIN
Flow direction		End A to B (down)	End A to B (down)	End B to A (up)	End B to A (up)
Total mass flow rate	kg/s	1.665	0.185	0.455	1.69
Heat load	kW	-268.4	-47.1	10	372.7
Heat load per layer	kW	-20.6	-3.6	1.4	53.2
Inlet temperature	°C	15	271.8	-209.98	-190
Outlet temperature	°C	-143	27.8	-195.75	-160
Bubble point	°C			-183.36	-179.11
Dew point	°C			-183.36	-179.22
Inlet quality(vapor mass fraction)		1	1	0	0
Outlet quality(vapor mass fraction)		1	1	0	1
Inlet specific enthalpy	kJ/kg	-11.3	248.1	-444.6	-419.6
Outlet specific enthalpy	kJ/kg	-172.5	-6.6	-422.6	-199.1
Fouling resistance	m ² -K/W	0	0	0	0
Minimum [T-Twall]	°C	13.41	183	34.21	13.74
Mean [T-Twall]	°C	90.3	200.02	-38.78	-40.08
Mean heat transfer coefficient	W/(m ² -K)	715.5	248.4	930	2498.5
Mean fin efficiency		0.66	0.89	0.82	0.64
Solution method		Design	Design	Design	Design
Heat load as fraction of maximum					
Theoretical maximum heat load	kW				

Tabla 51: Requerimiento de Materia Prima e Insumos (Parte 1).

Requerimientos:		Insumo		Energía Eléctrica, kWh/año	
Año	Materia Prima, ton/día	Zeolita, ton/año	Envases, unidades	Planta Sigma	Alumbrado
1	81.74	1.21	19,150	11,038,987.00	110,389.87
2	81.74	1.21	0	11,038,987.00	110,389.87
3	81.74	1.21	0	11,038,987.00	110,389.87
4	89.92	1.33	1,915	12,143,696.00	121,436.96
5	89.92	1.33	0	12,143,696.00	121,436.96
6	89.92	1.33	0	12,143,696.00	121,436.96
7	98.09	1.45	1,915	13,247,054.50	132,470.55
8	98.09	1.45	0	13,247,054.50	132,470.55
9	98.09	1.45	0	13,247,054.50	132,470.55
10	106.27	1.57	1,915	14,351,763.50	143,517.64
11	106.27	1.57	0	14,351,763.50	143,517.64
12	106.27	1.57	0	14,351,763.50	143,517.64
13	114.44	1.69	1,915	15,455,122.00	154,551.22
14	114.44	1.69	0	15,455,122.00	154,551.22

15	114.44	1.69	0	15,455,122.00	154,551.22
16	130.79	1.93	3,830	17,663,189.50	176,631.90
17	130.79	1.93	0	17,663,189.50	176,631.90
18	147.14	2.18	3,830	19,871,257.00	198,712.57
19	147.14	2.18	0	19,871,257.00	198,712.57
20	163.49	2.42	3,830	22,079,324.50	220,793.25

Tabla 52: Requerimiento de Materia Prima e Insumos (Parte 2).

Agua para Proceso, L/año					
Venturi Scrubber	IdQ Primario	Consumo Doméstico	Riego de Áreas Verdes	Limpieza Gral. de Planta	Imprevistos, 10%
37,293,875.00	9,417,217.76	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	59,512,577.04
37,293,875.00	9,417,217.76	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	59,512,577.04
37,293,875.00	9,417,217.76	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	59,512,577.04
41,026,000.00	10,359,630.79	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	64,654,568.87
41,026,000.00	10,359,630.79	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	64,654,568.87
41,026,000.00	10,359,630.79	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	64,654,568.87
44,753,562.50	11,300,891.73	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	69,790,274.65
44,753,562.50	11,300,891.73	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	69,790,274.65
44,753,562.50	11,300,891.73	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	69,790,274.65
48,485,687.50	12,243,304.76	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	74,932,266.49
48,485,687.50	12,243,304.76	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	74,932,266.49
48,485,687.50	12,243,304.76	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	74,932,266.49
52,213,250.00	13,184,565.70	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	80,067,972.27
52,213,250.00	13,184,565.70	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	80,067,972.27
52,213,250.00	13,184,565.70	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	80,067,972.27
59,672,937.50	15,068,239.67	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	90,345,669.89
59,672,937.50	15,068,239.67	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	90,345,669.89
67,132,625.00	16,951,913.64	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	100,623,367.51
67,132,625.00	16,951,913.64	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	100,623,367.51
74,592,312.50	18,835,587.62	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	110,901,065.13
85,779,562.50	21,660,522.52	4,927,500.00	1,231,875.00	1,231,875.00	126,314,468.53

Tabla 53: Distribución de la Planta Productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón.

Departamento/Área	Área Promedio (m²)
Sala de Control	100
Área de Recepción y Pretratamiento de Materia Prima	70

Área de Compresión Primaria e Intercambio de Calor Primario	50
Área de Purificación y Compresión Principal	160
Área de Caja Fría (IdQ principal, Turbina y Subenfriador)	100
Área de Destilación (Torre de Alta Presión, Torre de Baja Presión y Torre de Argón Bruto)	120
Área de Almacenamiento de Producto Terminado en Tanques Criogénicos	400
Área de Envasado y Almacén de Producto Terminado	300
Área de Despacho y Logística	100
Área de Almacén de Insumos y Otros Materiales	200
Área de Laboratorio de Calidad	80
Baños Producción	50
Área de Talleres de Mantenimiento	300
Oficinas de Mantenimiento	100
Oficinas de Proyectos	60
Oficinas de Gerencia CIHSOSMA	150
Clínica	60
Oficinas de Gerencia de Recursos Humanos	150
Oficinas de Gerencia de Finanzas	140
Baños Admón..	50
Gimnasio	50
Comedor	250
Baños Comedor	40
Oficinas de Gerencia General	40
Baños Gerencia General	15
Casetas de Seguridad	80
Salas de Reuniones y Capacitación	120
Recepción	40
Parqueo	300
Total, Áreas Operativas	3,375
Áreas Verdes	500
Áreas de Expansión	2,000

Tabla 54: Programación de Actividades para la Construcción, Montaje y Puesta en Marcha de la Planta.

Actividad	Identificación	Duración (meses)	Precedencia
Selección, contratación del diseñador y supervisor de obras	A	1	-
Diseño de Obras Civiles, Electromecánicas e Hidrosanitarias	B	1.5	A
Compra del Terreno	C	1	-
Contratación de la Empresa Constructora y Equipos de Construcción	D	1.5	A, B
Construcción de la Obra	E	6	A, B, C, D
Adquisición de Maquinarias y Equipos	F	3	-
Recepción e Instalación de Equipos	G	4	E, F
Adiestramiento del Personal Técnico y Prueba de Equipos	H	3	G
Adquisición de Insumos y Suministros necesarios para Empaque y Distribución del Producto Terminado	I	2	-
Adquisición de Equipos para la Logística y Distribución del Producto Terminado	J	1.5	-
Puesta en Marcha	K	1.5	H, I, J

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55: Marco Legal Aplicable a la Planta Productora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón.

Normativa Aplicable	¿Qué aplica?	Actividad Regulada
Ley No. 217: Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y su reglamento (Decreto Ejecutivo No. 9-96)	Todos los componentes	Todas las etapas del proyecto, desde la construcción hasta la etapa operativa.
Decreto Ejecutivo No. 20-2017: Sistema de Evaluación Ambiental de Permisos y Autorizaciones para el Uso Sostenible de los Recursos Naturales	Todos los componentes, en especial, el numeral 44 del capítulo 15, donde se determina la categoría II al proyecto en estudio.	Clasificación del proyecto / permiso ambiental requerido. Implementación de medidas ambientales.
Ley No. 620: Ley General de Aguas Nacionales y su reglamento (Decreto Ejecutivo No. 44-2010)	Todos los componentes	Permiso para apertura y operación de pozos, disposición y reúso de aguas residuales.
Decreto Ejecutivo No. 21-2017: Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales	Parámetros fisicoquímicos que deben cumplirse para el vertido de las aguas residuales al alcantarillado sanitario.	Condiciones para el vertido de aguas residuales al sistema de tratamiento de aguas residuales municipal.
NTON 05 027-05 Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para regular los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y su Reúso	Todos los componentes	Indicaciones para el diseño, operación y mantenimiento de las STAR. Parámetros de calidad del agua residual para poder reutilizarla en el proceso productivo o para otros fines.
NTON 05 014-02 Norma Técnica Ambiental para el Manejo, Tratamiento y Disposición Final de los desechos sólidos No Peligrosos	Especificaciones de bodegas de almacenamiento temporal de residuos.	Manejo adecuado de los desechos sólidos no peligrosos, parámetros para los depósitos temporales.
NTON 05 015-02 Norma Técnica para el Manejo y Eliminación de Residuos Sólidos Peligrosos	Especificaciones de bodegas de almacenamiento temporal de residuos.	Manejo de Residuos Peligrosos.
NTON 05 012-01 Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Calidad del Aire.	Todos los componentes	Parámetros para la inmisión de contaminantes del aire desde la etapa de construcción hasta la etapa de funcionamiento de la planta.
Ley No. 641: Código Penal.	Título XV, capítulo II, III y IV (delitos contra el medio ambiente y los recursos naturales)	Delitos contra la Naturaleza y el Medio Ambiente.
Ley No. 40: Ley de Municipios	Todos los componentes	Conservar y controlar el uso racional del medio ambiente y los recursos naturales en coordinación con los entes nacionales correspondientes, en las personas naturales o jurídicas que se encuentren dentro de su circunscripción. Ordenanza municipal.
NTON 05 032-10: Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para el Manejo Ambiental de Aceites Lubricantes Usados	Todos los componentes	Manejo de aceites lubricantes usados generados en las actividades diarias desde la etapa de construcción de la planta hasta su operación.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56: Medidas para Mitigar los Impactos Ambientales en las diferentes Fases del Proyecto.

Factor Ambiental	Impacto Ambiental	Medidas Ambientales	Etapas	Responsable
ATMÓSFERA Calidad del Aire	Contaminación del aire debido a las partículas suspendidas por el tráfico de vehículos pesados y maquinaria de construcción	✓ Hacer un chequeo adecuado de todos los vehículos automotores y asegurar que cuenten con el certificado vigente de emisiones según el Decreto No. 32-97. ✓ Establecer un plan de mantenimiento preventivo y predictivo de equipos y maquinaria en general. ✓ Dotar y exigir el uso de Equipo de Protección Personal (EPP) adecuado para limitar la exposición a las partículas suspendidas en el aire. ✓ Establecer límites de velocidad para mitigar el levantamiento de polvo. ✓ Realizar riegos del terreno con el fin de disminuir el levantamiento de polvo a causa del tránsito vehicular.	Construcción	Contratista
	Aumento de Nivel de Ruido durante la etapa de construcción de la planta debido al uso de vehículos de transporte de carga y maquinarias de construcción.	✓ Establecer horarios de trabajo de la maquinaria pesada de tal forma que no interfiera con el descanso de las personas de comunidades aledañas. ✓ Dotar de EPP a todo el personal que realiza sus trabajos en la zona. ✓ Garantizar una ubicación adecuada de la planta de al menos de 500 m de distancia de sitios poblados.	Construcción	Contratista
	Aumento de Nivel de Ruido durante la etapa de operación de la planta debido a motores y equipos.	✓ Instalar aislamiento sonoro y paneles absorbentes de ruido en las zonas de los equipos de mayor generación. ✓ Facilitar el EPP adecuado a todo el personal de la planta.	Operación	
TIERRA Suelos	Modificación de la estructura y la cobertura vegetal del suelo por movimientos y compactación del terreno, construcción de carreteras alternas y pavimentación	✓ Aprovechar caminos existentes para el transporte de materiales y equipos y el tráfico de maquinarias. ✓ Delimitar, mediante señalizaciones, las áreas donde se estacionarán los equipos, la zona de almacenamiento de materiales, el plantel del personal y las áreas de construcción, para evitar la alteración de áreas no destinadas al proyecto.	Construcción y Operación	Contratista y Personal de Planta
	Contaminación del Suelo por generación de desechos sólidos peligrosos y no peligrosos	✓ Mantener al alcance recipientes para la clasificación y almacenamiento temporal de los residuos. ✓ Delimitar y señalizar el área de disposición temporal de los residuos en la zona de intervención. ✓ Garantizar el cumplimiento de los requerimientos establecidos en las NTON de gestión de residuos para los sitios de almacenamiento temporal. ✓ Realizar una separación adecuada de los residuos en peligrosos y no peligrosos, y en su debida subclasificación. ○ R. Peligrosos: hilazas, aceites usados, baterías, grasas y lubricantes, lámparas, recipientes contaminados con hidrocarburos, filtros, etc. ○ R. no peligrosos: plástico, papel y cartón, madera, aluminio y otros metales limpios, basura orgánica, etc. ✓ Implementación de principios de economía circular para reducir, reutilizar o reciclar aquellos residuos de los cuales se puede	Construcción y Operación	Contratista y Personal de Planta

		obtener provecho o bien, gestionar la disposición de los residuos con gestores y recicladoras autorizadas.		
	Contaminación del suelo por generación de aguas residuales domésticas	✓ Contar con un sistema de tratamiento sencillo para las aguas residuales domésticas generadas en todas las instalaciones de la planta (al menos pilas o tanques sépticos) y gestionar los retiros por gestores autorizados. ✓ Para la etapa de construcción, emplear uso de sanitarios portátiles para uso de los trabajadores.	Construcción y Operación	Contratista y Personal de Planta
	Contaminación de suelo a causa de vertidos o fugas de sustancias peligrosas	✓ Contar con brigadas de emergencias bien capacitadas para atender derrames y fugas de sustancias peligrosas. ✓ Proveer las zonas de posibles afectaciones de kits antiderrames para su uso inmediato en caso de un incidente.	Construcción y Operación	Contratista y Personal de Planta
CONDICIONES BIOLÓGICAS Flora	Disminución de la población forestal en la zona de construcción de la planta	✓ Establecer programas de reforestación con especies nativas como medida de compensación. ✓ Establecer planes de revegetación en el terreno donde se ubicará la planta, para restaurar las áreas desprovistas de la capa vegetal durante la construcción. ✓ Señalar debidamente los árboles que deberán talarse o reubicarse debido a la construcción de la planta. ✓ Cumplir con lo estipulado en los permisos obtenidos de las instituciones y ministerios (MARENA, INAFOR) pertinentes para la ejecución de obras de construcción y operación.	Construcción	Contratista
CONDICIONES BIOLÓGICAS Fauna	Disminución de la población de animales en general (aves, mamíferos, insectos) a causa del ruido	✓ Instalar aislamiento sonoro y paneles absorbedores de ruido en las zonas de los equipos de mayor generación.	Operación	Personal de Planta
	Disminución de la calidad de vida silvestre debido a la modificación del hábitat	✓ Elaborar planes de gestión de la vida silvestre para mitigar los diversos impactos de las operaciones de la planta a la biodiversidad. ✓ Realizar estudios de biodiversidad antes del inicio de actividades en la zona y durante el período de operación para medir los efectos en la biodiversidad de todos los impactos generados durante la construcción y operación de la planta.	Construcción y Operación	Contratista y Personal de Planta
DESASTRES ANTRÓPICOS Incendios Forestales	Contaminación del aire por partículas suspendidas y humo a causa de los incendios forestales	✓ Contar con una brigada de emergencias capacitada para atender esos eventos. ✓ Dotar a la brigada de equipos y herramientas necesarias para atender dichas emergencias. ✓ Establecer planes de rescate de la biodiversidad en caso de un incendio de gran magnitud. ✓ Contar con un plan de emergencias corporativo ante los diferentes desastres naturales o antrópicos que puedan ocurrir. ✓ Contar con planes de rehabilitación de las zonas afectadas posterior a los eventos de desastres.	Todas las etapas	Contratista y Personal de Planta
	Pérdida de biodiversidad existente			
	Daño a la cobertura vegetal del suelo			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57: Matriz SLP (Parte 1).

		Área de Recepción y Pretratamiento de Materia Prima	Área de Compresión Primaria e Intercambio de Calor Primario	Área de Purificación y Compresión Principal	Área de Caja Fría (IdQ principal, Turbina y Subenfriador)	Área de Destilación (Torre de Alta Presión, Torre de Baja Presión y Torre de Argón Bruto)	Área de Almacenamiento de Producto Terminado en Tanques Criogénicos	Área de Envasado y Almacén de Producto Terminado	Área de Despacho y Logística	Área de Almacén de Insumos y Otros Materiales	Área de Laboratorio de Calidad
	-	5	5	5	5	5	3	1	1	3	3
Área de Recepción y Pretratamiento de Materia Prima	5	-	5	5	5	5	1	1	1	3	3
Área de Compresión Primaria e Intercambio de Calor Primario	5	5	-	5	5	5	1	1	1	3	1
Área de Purificación y Compresión Principal	5	5	5	-	5	5	1	1	1	3	3
Área de Caja Fría (IdQ principal, Turbina y Subenfriador)	5	5	5	5	-	5	3	1	1	3	3
Área de Destilación (Torre de Alta Presión, Torre de Baja Presión y Torre de Argón Bruto)	5	5	5	5	5	-	5	3	1	3	5
Área de Almacenamiento de Producto Terminado en Tanques Criogénicos	3	1	1	1	3	5	-	5	3	1	5
Área de Envasado y Almacén de Producto Terminado	1	1	1	1	1	3	5	-	5	3	3
Área de Despacho y Logística	1	1	1	1	1	1	3	5	-	5	1
Área de Almacén de Insumos y Otros Materiales	3	3	3	3	3	3	1	3	5	-	3
Área de Laboratorio de Calidad	3	3	1	3	3	5	5	3	1	3	-
Baños Producción	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Área de Talleres de Mantenimiento	3	5	5	5	5	5	3	3	1	1	1
Oficinas de Mantenimiento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Oficinas de Proyectos	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Oficinas de Gerencia CIHSOSMA	3	5	5	5	5	5	5	5	3	3	1
Clínica	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Oficinas de Gerencia de Recursos Humanos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Oficinas de Gerencia de Finanzas	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1
Baños Admón..	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1
Gimnasio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Comedor	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Baños Comedor	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Oficinas de Gerencia General	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Baños Gerencia General	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Casetas de Seguridad	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1
Salas de Reuniones y Capacitación	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Recepción	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Parqueo	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1
Áreas Verdes	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SUMA	66	66	64	66	68	74	58	54	54	64	56

Tabla 58: Matriz SLP (Parte 2).

Baños Producción	Área de Talleres de Mantenimiento	Oficinas de Mantenimiento	Oficinas de Proyectos	Oficinas de Gerencia CIHSOSMA	Clínica	Oficinas de Gerencia de Recursos Humanos	Oficinas de Gerencia de Finanzas	Baños Admón..	Gimnasio	Comedor
3	3	1	3	3	3	1	0	0	1	3
3	5	1	1	5	3	1	0	0	1	3
3	5	1	1	5	3	1	0	0	1	3
3	5	1	1	5	3	1	0	0	1	3
3	5	1	1	5	3	1	0	0	1	3

3	5	1	1	5	3	1	0	0	1	3
3	3	1	1	5	3	1	0	0	1	3
3	3	1	1	5	3	1	0	0	1	3
3	1	1	1	3	3	1	3	1	1	3
3	1	1	1	3	3	1	3	3	1	3
3	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3
-	3	3	1	1	0	1	0	0	0	0
3	-	5	1	3	3	1	1	1	1	3
3	5	-	1	3	3	1	0	3	1	3
1	1	1	-	1	3	1	3	3	1	3
1	3	3	1	-	3	1	1	3	1	3
0	3	3	3	3	3	3	3	0	0	1
1	1	1	1	1	3	-	3	3	1	3
0	1	0	3	1	3	3	-	3	1	3
0	1	3	3	3	0	3	3	-	0	0
0	1	1	1	1	0	1	1	0	-	1
0	3	3	3	3	1	3	3	0	1	-
0	1	1	1	1	0	1	1	0	3	5
0	1	1	3	1	3	3	3	0	1	3
0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1
0	1	1	3	1	1	3	3	1	0	1
0	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3
0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
0	3	3	3	3	1	3	3	0	1	1
42	68	43	45	74	67	43	39	24	26	68

Tabla 59: Matriz SLP (Parte 3).

Baños Comedor	Oficinas de Gerencia General	Baños Gerencia General	Casetas de Seguridad	Salas de Reuniones y Capacitación	Recepción	Parqueo	Áreas Verdes
1	1	0	1	1	1	1	3
1	1	0	1	1	1	1	3
1	1	0	1	1	1	1	3
1	1	0	1	1	1	1	3
1	1	0	1	1	1	1	3
1	1	0	1	1	1	1	3
1	1	0	1	1	1	1	3
1	1	0	1	1	1	1	3
1	1	0	1	1	1	1	3
1	1	0	3	1	1	3	3
1	1	0	3	1	1	1	3
1	1	0	1	1	1	1	3
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	1	1	1	3
1	1	0	1	1	1	1	3
1	3	1	1	3	1	1	3
1	1	0	1	1	1	1	3
0	3	0	3	1	3	1	1
1	3	1	1	3	1	1	3
1	3	1	1	3	1	1	3

0	0	0	1	1	1	0	0
3	1	0	1	0	1	1	1
5	3	0	1	1	3	1	1
-	1	5	3	1	1	1	3
1	-	5	1	3	3	1	3
5	5	-	1	3	3	3	3
3	1	1	-	1	1	3	3
1	3	3	1	-	3	3	3
1	3	3	1	3	-	3	3
1	1	3	3	3	3	-	3
3	3	3	3	3	3	3	-
40	47	26	40	43	42	39	75

Anexo 4: Figuras del Estudio Técnico

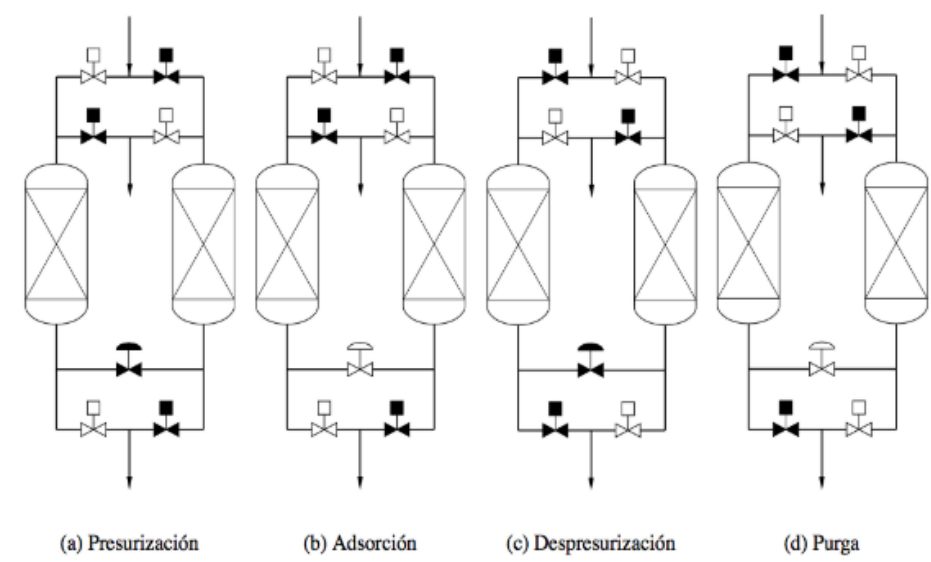


Figura 23: Proceso de cuatro etapas del VPSA.

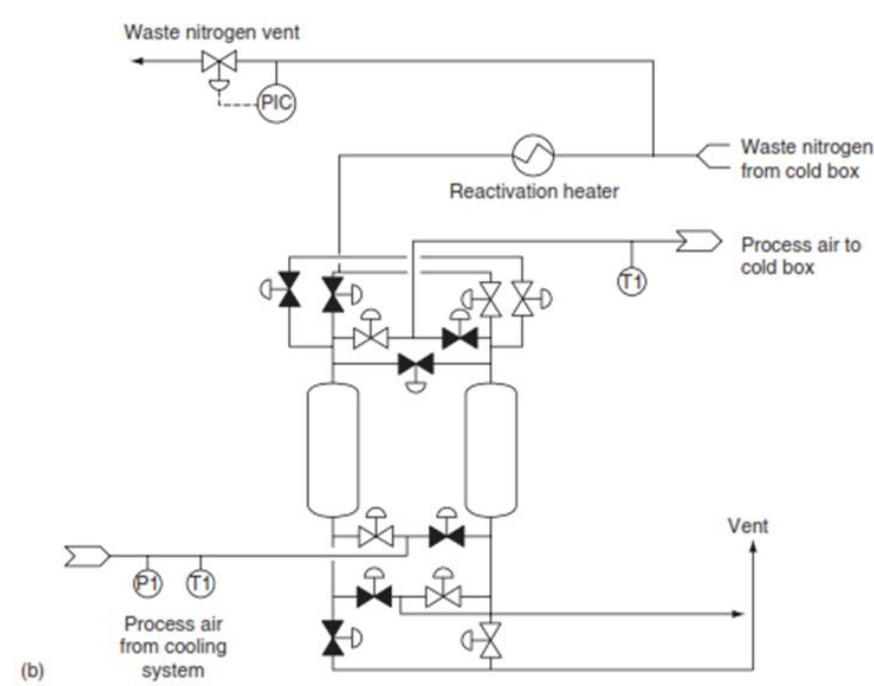


Figura 25: Proceso de Purificación del Aire en los Lechos de Adsorción.

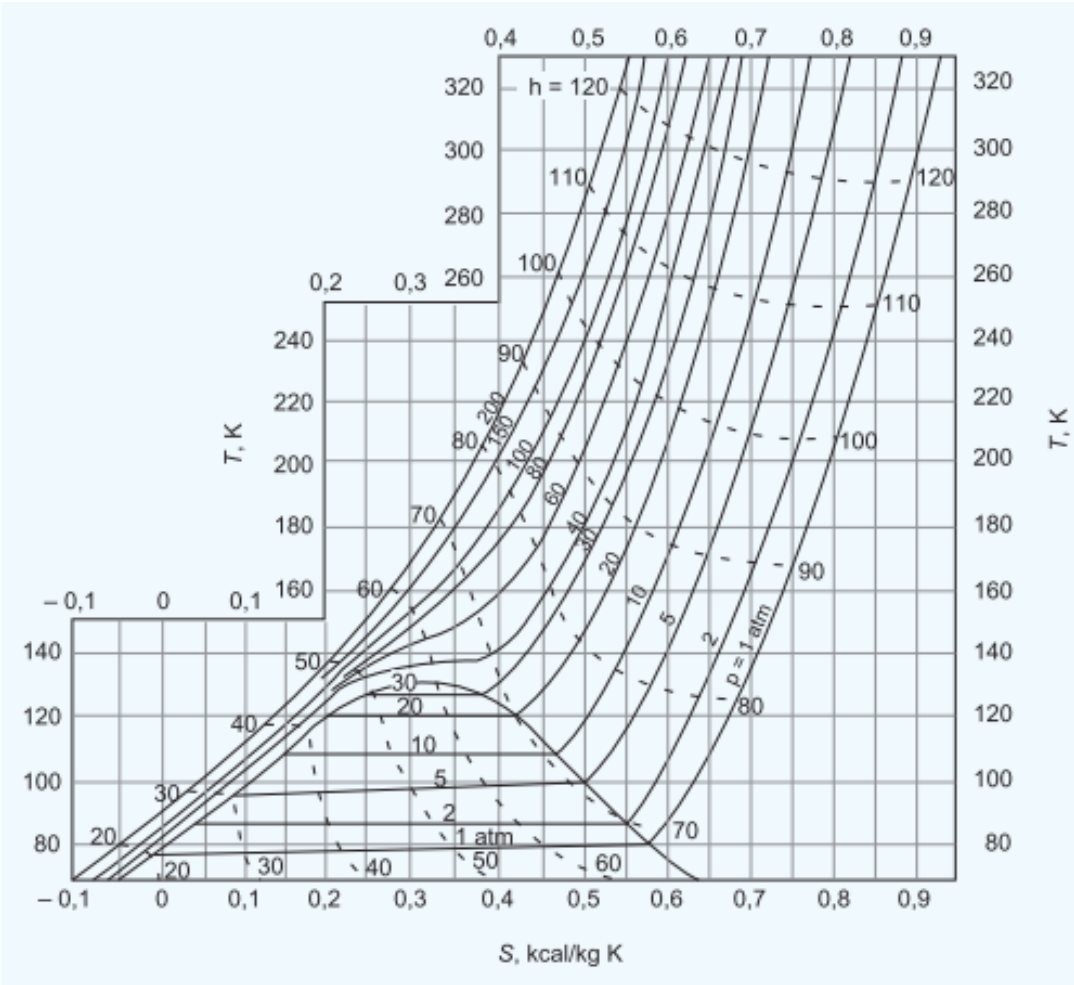


Figura 24: Diagrama T - s del Aire (Hausen).

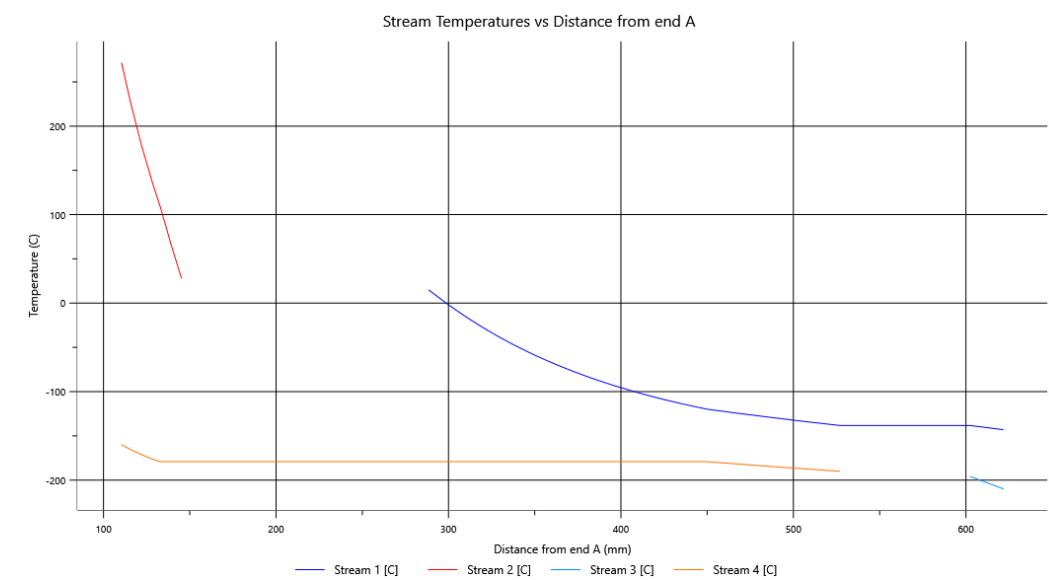


Figura 26: Perfil de Temperatura de las Corrientes Involucradas en el Intercambiador de Calor Principal.

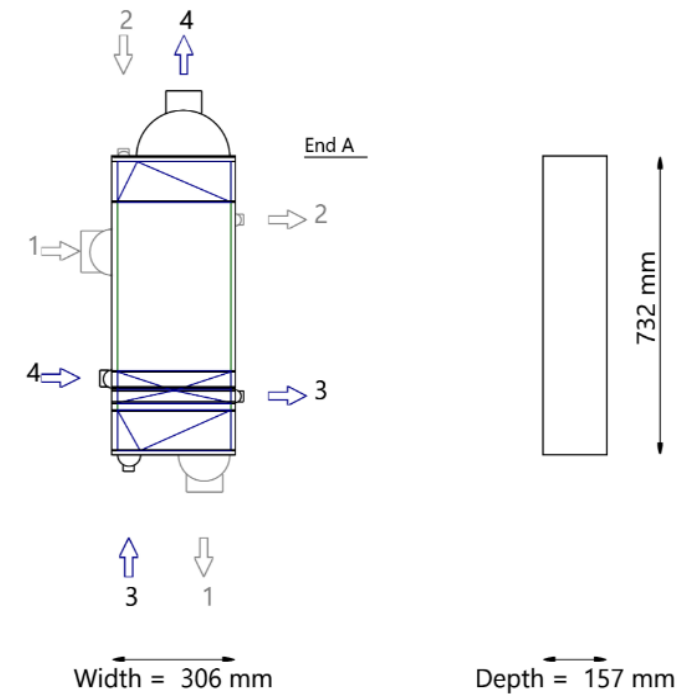
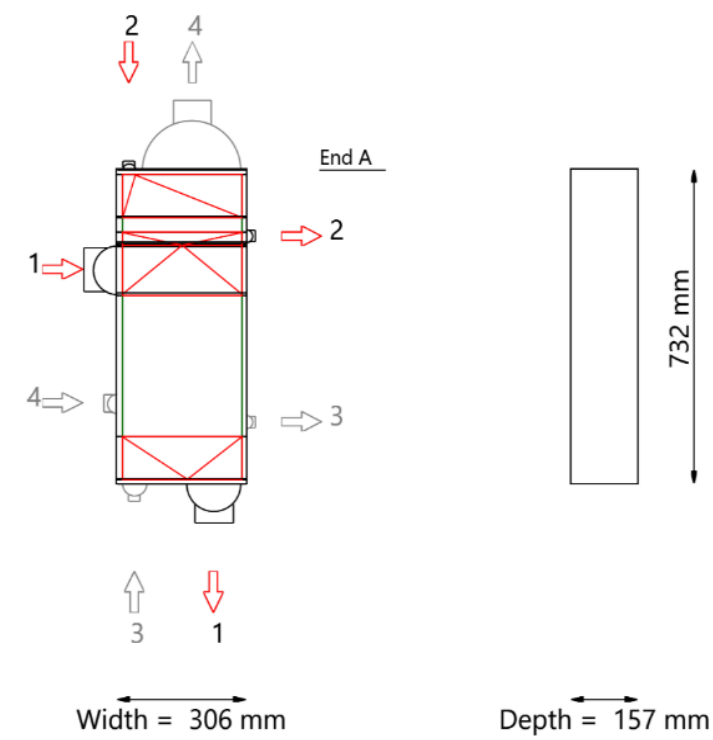
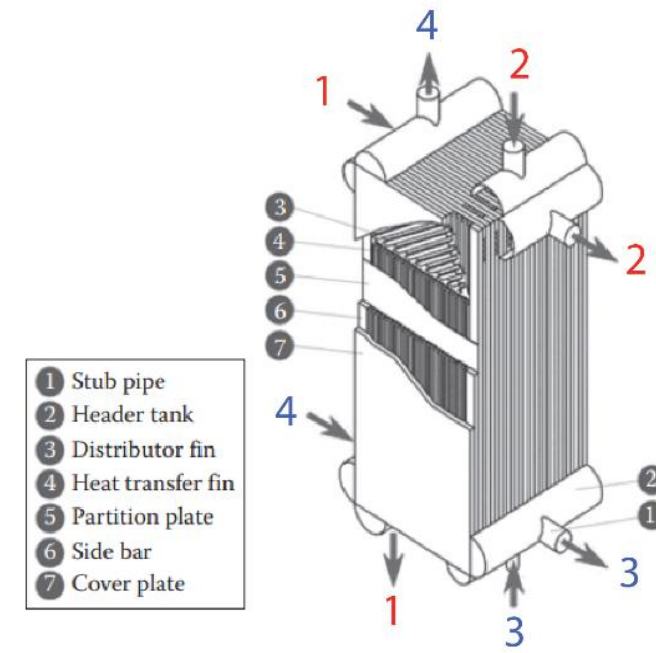
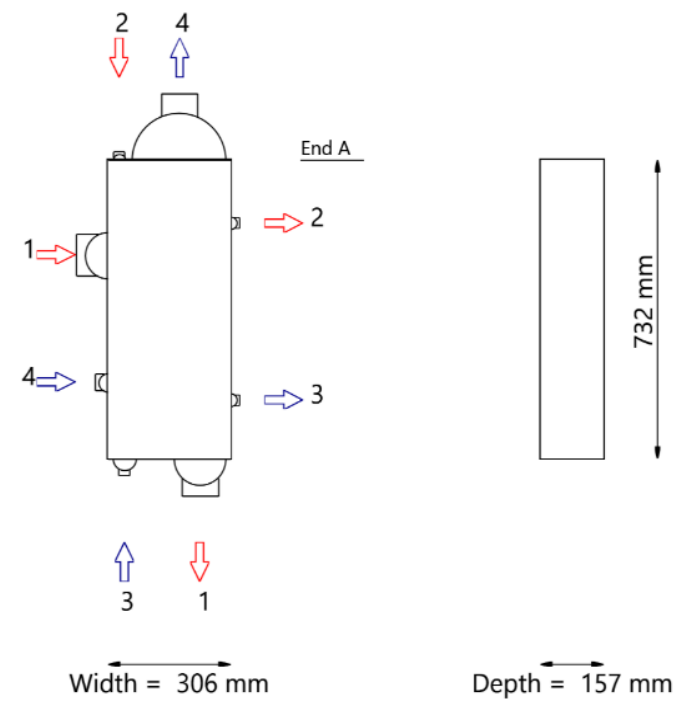


Figura 27: Dimensiones del Intercambiador de Calor Principal.

Sigma – Unidad de separación de aire estándar

Aplicación

Fabricación de acero (refuerzo de oxígeno, horno de arco eléctrico), productos químicos (óxido de etileno, etc.), vidrio, metales no ferrosos, tratamiento de aguas residuales, pulpa y papel

Materias primas

Aire + Energía (electricidad)

Producto

Oxígeno con una pureza máxima del 99,8%

Coproducto

Nitrógeno, oxígeno líquido, nitrógeno líquido, argón líquido, aire seco comprimido

Capacidad

110 a 380 tpd

Economía

Energía específica: 280 a 460 kWh/t

Capex: 5 a 9 mm USD

Descripción

Las unidades Sigma se basan en la separación de aire con los siguientes pasos: compresión de aire, adsorción, purificación, destilación criogénica de los componentes principales, compresión interna.

Se ofrecen varios esquemas de proceso para optimizar los Capex y Opex, dependiendo de los requisitos de producto del cliente.

Las unidades Sigma están diseñadas para reducir la construcción y el tiempo hasta la producción con una arquitectura muy independiente.

Cierta coproducción de líquido podría estar disponible para rellenar los almacenajes de líquido de reserva.

Referencias

> 40

Contacto

airgases@airliquide.com

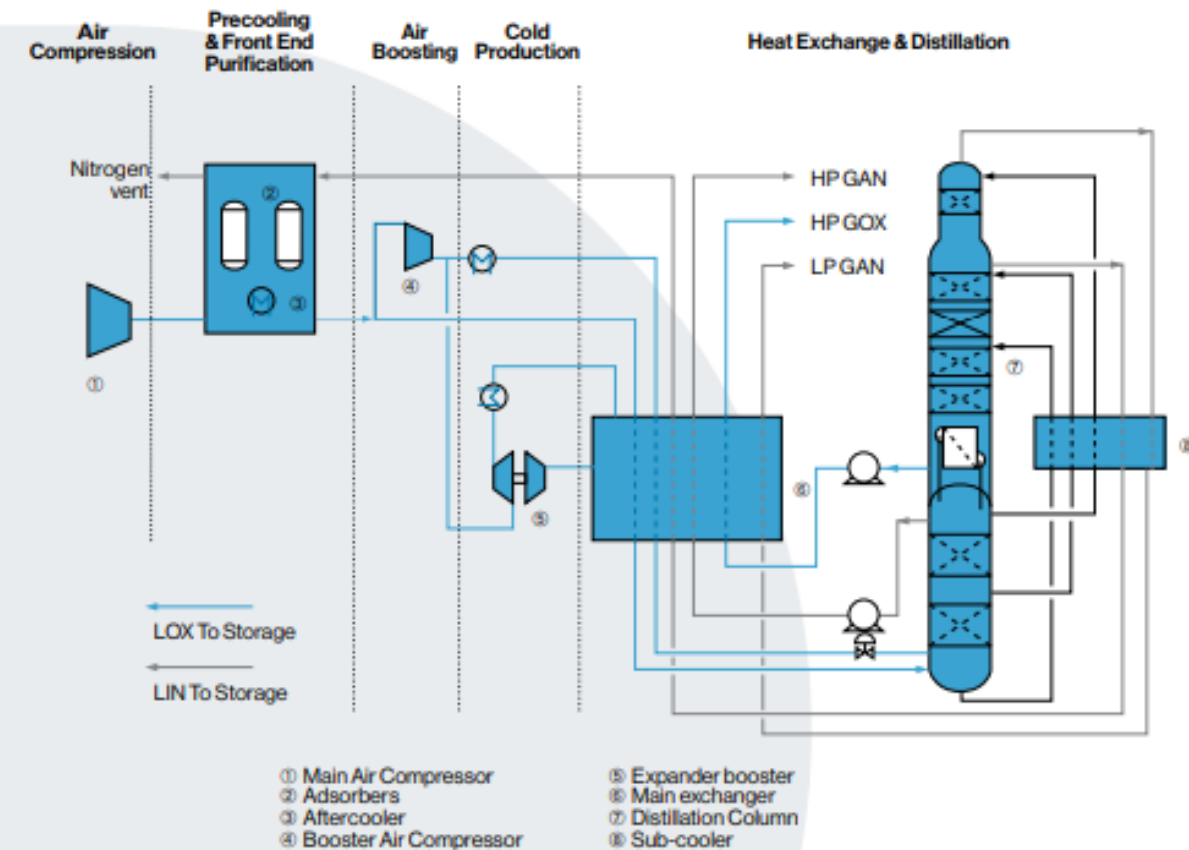


Figura 28: Unidad de Separación de Aire Estándar Seleccionada para este Trabajo.

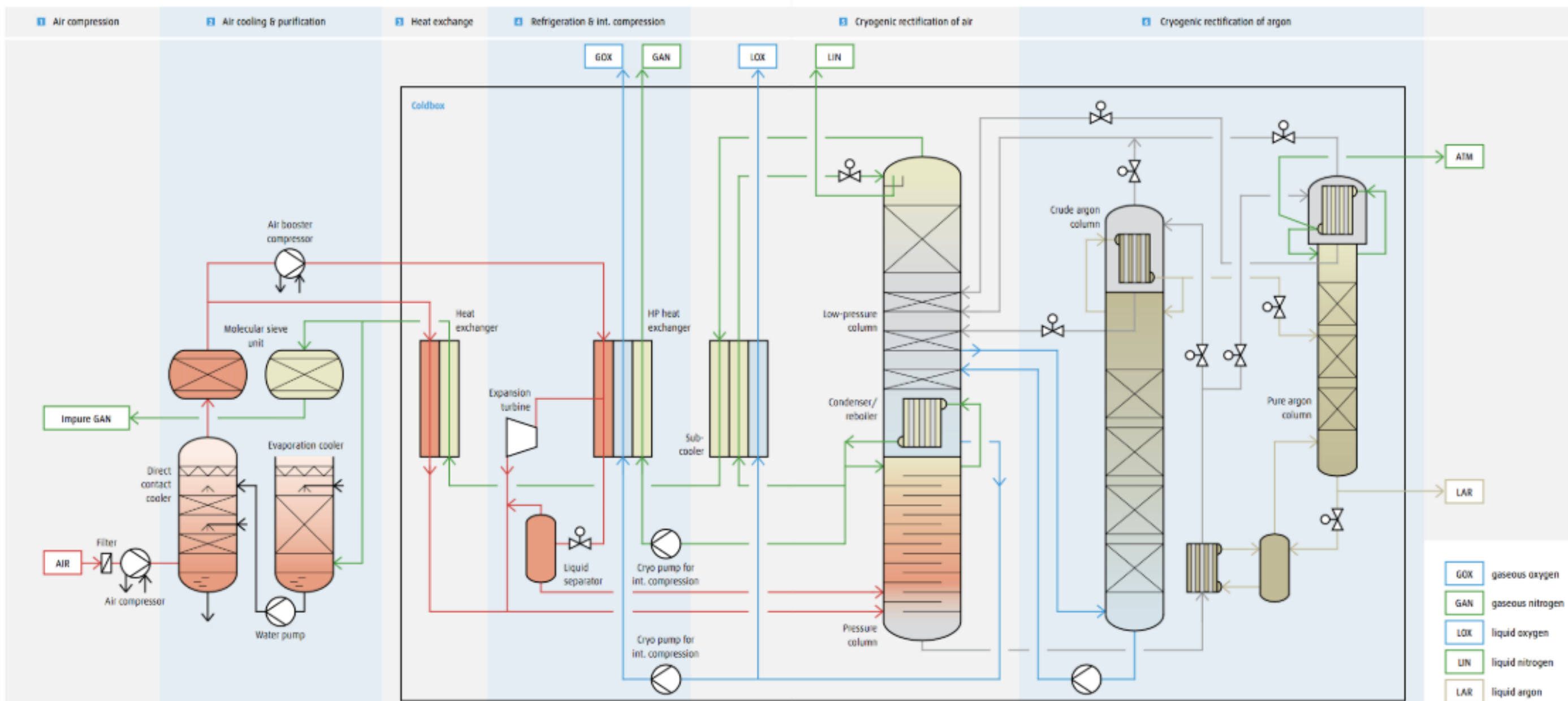


Figura 29: Diagrama de Flujo del Proceso Productivo de Oxígeno, Nitrógeno y Argón a partir del Aire Atmosférico por el Método de Destilación Criogénica.

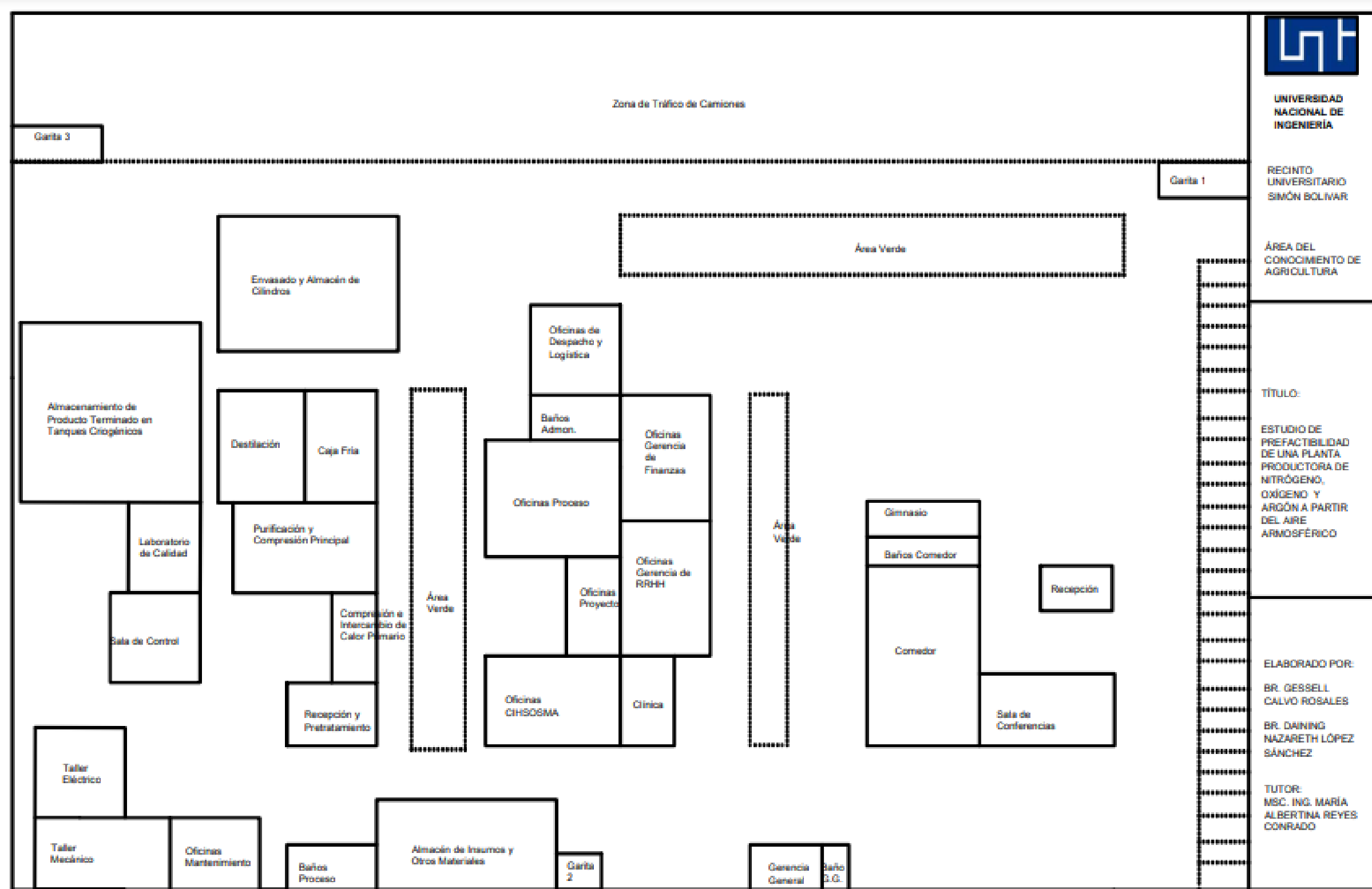


Figura 30: Distribución de la Planta Procesadora de Nitrógeno, Oxígeno y Argón.

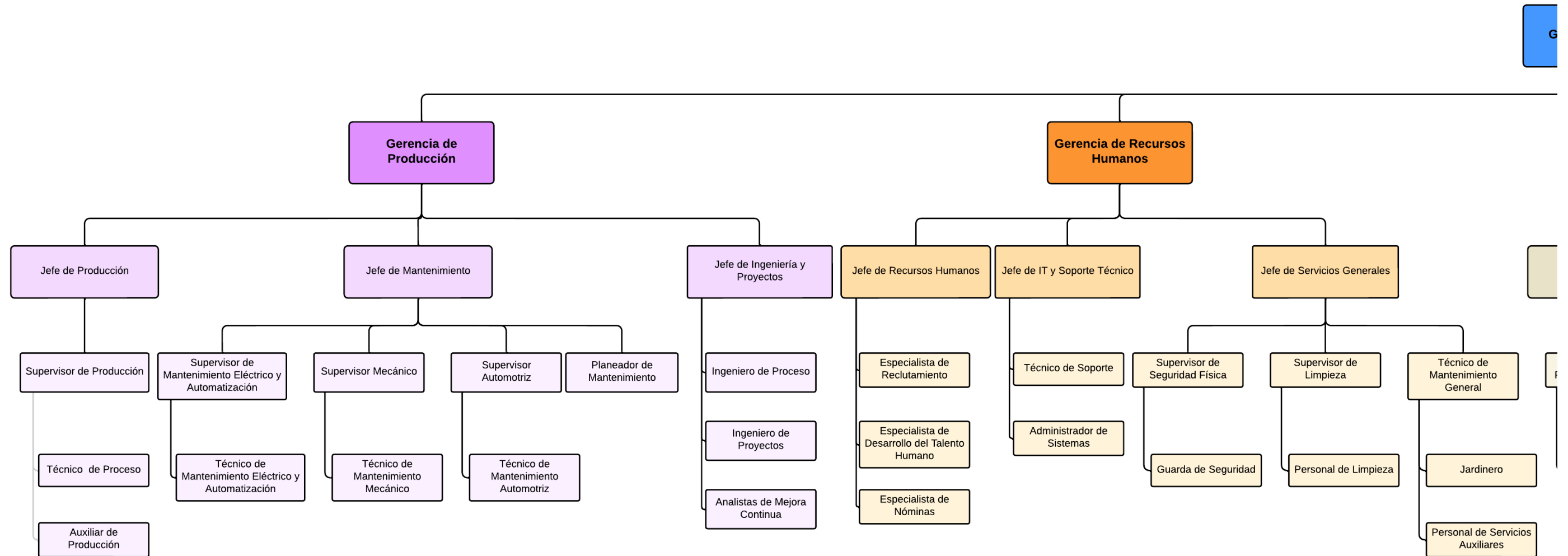


Figura 31: Organigrama de la empresa (parte 1).

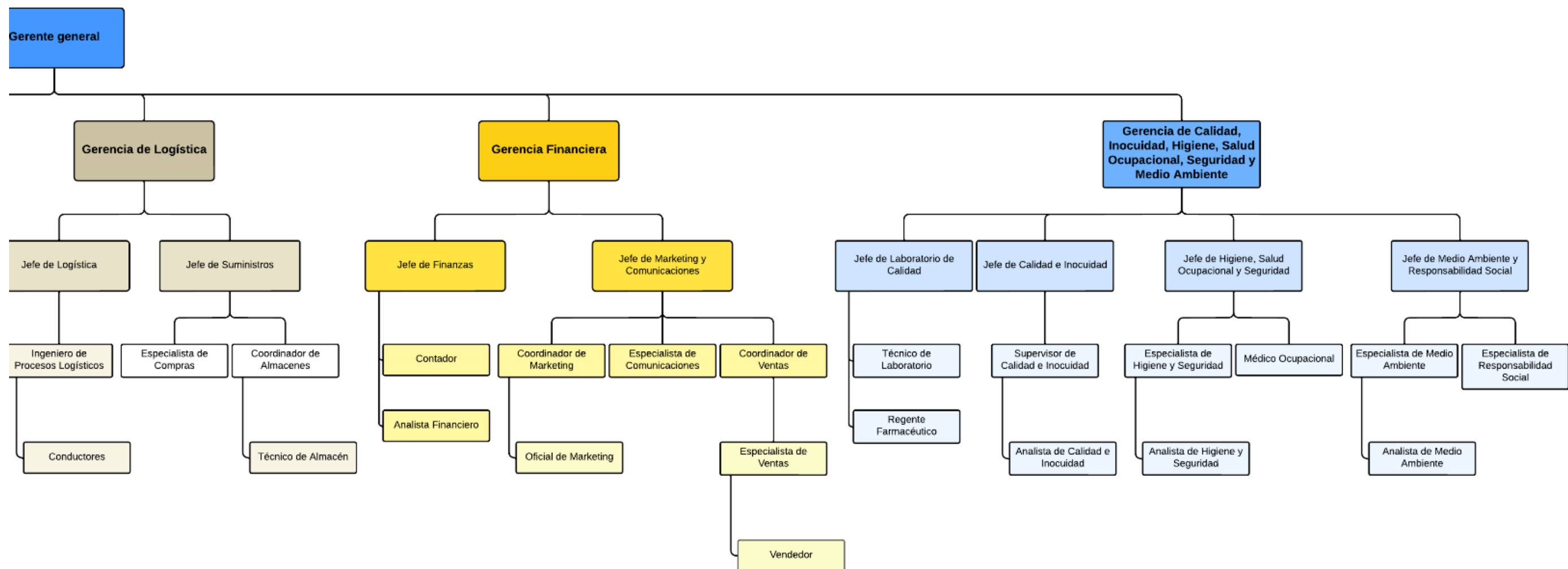


Figura 32: Organigrama de la empresa (parte 2).

MATRIZ DE LEOPOLD

FACTORES			ACCIONES	MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN						TRANSFORMACIÓN DEL TERRENO Y CONSTRUCCIÓN				EXTRACCIÓN DE RECURSOS			PROCESOS			RENOVACIÓN DE RECURSOS				CAMBIOS EN EL TRÁFICO						EMPLAZAMIENTO Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS				OTROS				AFECTACIONES MAGNITUD ¿Cuántas acciones afectan en el aspecto ambiental correspondiente? Total=33			IMPACTO DEL AGREGADO
				Modificación del hábitad	Alteración de la cobertura vegetal del suelo	Alteración del flujo de agua	Pavimentación	Ruido y vibraciones	Incendios	Urbanización	Emplazamientos industriales y edificios	Carreteras y caminos	Líneas de transmisión, oleoductos, gasoductos y corredores	Perforación de pozos y transporte de fluidos	Excavación de superficies	Excavación de subsuelo	Industria química	Almacenamiento de producto	Generación de Energía Eléctrica	Repoblación forestal	Gestión y control de vida natural	Recarga de aguas subterráneas	Reciclado de residuos	Automóviles	Camiones	Transporte de carga	Comunicación	Tuberías y conductos forzados	Eliminación de basura	Agua de enfriamiento industrial	Tanques sépticos, comerciales y domésticos	Generación de residuos peligrosos y no peligrosos	Estabilización de suelos	Vertidos y filtraciones	Explosiones	Falla operacional	+	-			
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS	TIERRA	Recursos minerales	-2/3	0/3	0/2	-1/7	0/1	0/2	-3/8	-3/7	-3/5	-3/5	0/2	0/3	0/5	-2/3	-1/3	-2/5	3/5	2/5	0/3	3/9	0/7	0/7	0/7	-2/5	-2/3	0/4	0/3	0/3	0/3	0/5	0/2	-2/0	0/3	3	12	-77			
		Materiales de Construcción	0/4	0/3	0/3	0/5	0/2	0/1	-3/7	-3/6	-3/5	-2/5	-1/4	2/3	3/2	-2/3	0/1	-1/3	0/0	0/1	0/3	5/2	0/2	0/2	0/3	-2/5	-2/5	0/0	0/0	0/4	0/4	0/2	0/3	-3/6	0/2	3	10	-88			
		Suelos	-3/8	-4/9	-2/5	-1/9	0/2	-5/5	-3/8	-2/8	-3/9	-3/10	-1/7	3/7	-3/8	0/5	0/3	-3/5	5/10	3/10	3/5	3/8	0/5	0/5	0/5	0/4	-2/5	-3/9	0/5	3/5	-3/10	-3/6	-3/10	-1/8	0/3	6	18	-215			
		Geomorfología	-3/3	-1/5	0/7	-2/8	0/3	0/0	-1/6	-1/6	-1/8	-1/7	-2/8	-2/9	0/3	0/2	-1/3	0/5	0/8	0/8	0/5	0/5	0/5	0/5	0/3	-1/2	0/5	0/0	0/2	0/0	-2/7	0/2	0/10	0/0	0	13	-117				
	AGUA	Calidad del agua	-3/10	-3/10	-3/5	-1/7	0/0	-2/0	-1/7	-2/8	0/0	0/5	0/2	0/0	0/5	-1/3	0/0	0/0	5/10	3/10	4/5	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	-1/8	-1/5	0/3	-1/8	0/2	-4/10	0/0	0/0	3	12	-69			
		Temperatura	0/8	-1/9	0/7	0/8	0/0	0/3	-1/4	-1/3	0/5	0/2	0/0	0/0	0/0	0/3	0/0	0/3	2/10	0/8	0/7	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/2	0/0	0/0	0/3	0/3	0/0	0/0	1	4	0			
		Recarga	-3/7	-2/9	-3/10	-1/10	0/0	0/3	-1/8	-2/8	-1/7	0/5	0/2	0/3	0/5	0/2	0/0	0/0	5/10	3/7	5/10	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/4	0/2	0/0	0/0	2/5	0/7	0/0	0/0	4	7	21			
		Agua Subterránea	-3/9	-2/10	-4/10	-1/8	0/0	0/5	-1/7	-2/7	-1/7	0/8	-5/9	0/0	0/3	-3/5	0/0	0/0	5/10	3/10	5/10	0/3	0/0	0/0	0/0	0/0	0/3	0/5	-2/2	0/3	0/5	0/4	-3/9	0/0	0/0	3	11	-84			
	ATMÓSFERA	Calidad (gases, partículas)	-2/7	-3/9	0/2	0/9	-1/3	-5/10	-4/10	-5/8	-3/3	0/0	0/2	-3/10	-3/10	-2/7	0/0	0/10	5/10	3/8	2/0	0/3	-5/8	-5/8	-5/8	0/7	0/0	-1/5	0/0	0/2	-2/5	-3/5	-2/0	-3/6	0/0	3	19	-351			
		Clima (micro, macro)	-3/10	-1/8	-1/5	-1/8	0/0	-3/9	-3/9	-3/9	-1/7	0/3	0/2	0/0	0/0	0/6	0/0	-2/9	3/10	2/10	0/3	0/5	0/9	0/9	0/9	0/5	0/0	0/3	0/0	0/3	0/7	0/2	0/5	0/3	0/0	2	9	-107			
		Temperatura	-2/7	-1/7	-2/8	-2/9	0/0	-3/10	-1/8	-2/8	-3/8	0/2	0/0	0/2	0/3	0/5	0/3	-1/8	3/10	0/10	0/6	0/3	0/7	0/7	0/7	0/2	0/0	0/5	0/3	0/3	0/4	0/0	0/0	0/0	0/0	1	9	-111			
	PROCESOS	Inundaciones	-1/8	-3/10	-2/8	-1/7	0/0	0/0	0/5	0/3	0/3	0/0	0/0	0/3	0/3	0/0	0/0	0/0	4/8	2/8	4/3	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/5	0/0	0/0	0/0	0/5	0/1	0/0	0/0	3	4	-1			
		Erosión	-2/8	-4/10	-2/5	-1/5	0/0	-2/3	-1/6	-2/5	-3/5	0/0	0/0	-4/8	-2/7	0/2	0/0	-4/3	5/10	3/7	3/6	0/0	0/2	0/2	0/2	0/3	0/0	0/5	0/0	0/0	0/5	0/6	0/5	0/5	0/0	3	11	-77			
		Adsorción (int. iónico)	-1/5	-2/8	-1/2	-2/2	0/0	-3/3	-2/3	-2/3	-2/3	0/0	0/0	0/5	0/5	0/2	0/0	0/0	0/8	0/8	0/5	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/3	0/0	0/0	0/0	0/1	0/7	0/0	0/0	0	8	-54				
		Compactación y asentamientos	0/5	-2/5	0/3	2/3	0/5	0/0	4/7	4/7	3/7	-1/5	0/5	-2/7	2/8	0/2	0/7	2/5	3/7	0/7	0/5	0/0	0/5	-3/5	-3/5	0/5	0/0	0/3	0/0	0/0	0/3	0/9	0/2	0/3	0/0	9	5	102			
		Estabilidad de taludes	-2/5	-2/5	0/5	0/3	0/3	0/0	3/5	3/5	2/5	-1/5	0/6	3/9	3/10	0/2	0/0	2/0	4/8	0/8	0/7	0/0	0/3	0/3	0/5	0/2	0/0	0/0	0/0	0/10	0/0	-2/9	0/0	7	4	86					
		Sismología	0/2	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/5	0/0	0/0	0/0	0	0	0			
		Movimientos de masas de aire	0/5	0/2	0/0	0/0	0/0	0/5	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/7	0/5	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0	0	0			
CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS	FLORA	Árboles	-2/9	-3/8	-2/9	-3/10	0/0	-4/10	-3/7	-4/10	-2/8	-2/8	0/7	-2/3	-3/7	-1/5	-2/5	-5/0	5/10	3/8	3/10	3/5	0/0	0/0	0/0	0/3	0/0	0/7	0/0	0/2	0/5	-2/7	0/5	0/7	0/0	4	15	-160			
		Arbustos	-2/10	-3/10	-2/8	-2/10	0/0	-3/10	-1/7	-2/7	-2/8	-2/8	0/3	-3/5	-3/7	-1/2	0/2	-2/0	3/10	2/10	2/8	0/0	0/0	0/0	0/0	0/3	0/0	0/3	0/0	0/2	0/3	-2/5	0/2	0/0	0/0	3	14	-151			
		Pastos/Hierbas	-2/10	-3/10	-1/7	-1/10	0/0	-3/10	-1/7	-2/7	-2/8	-2/8	0/3	-3/5	-3/7	-1/2	0/2	-2/0	3/10	2/10	2/9	0/0	0/0	0/0	0/0	0/3	0/0	0/2	0/0	0/2	0/3	-2/5	0/2	0/0	0/0	3	14	-130			
		Productos agrícolas	-1/8	-2/8	-3/10	-2/8	0/0	-2/9	-3/9	-3/9	-3/5	-2/2	4/2	2/5	-3/5	-1/4	0/2	-5/0	0/8	0/8	2/10	0/6	0/0	0/5	0/6	0/3	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/5	-3/7	0/0	0/0	3	13	-163			
		Microflora	-3/10	-1/10	-2/10	-1/10	0/0	-1/10	-2/8	-2/7	-1/5	0/7	0/3	-1/8	-3/8	-1/5	0/3	-1/0	4/10	2/10	2/10	0/0	0/3	0/3	0/3	0/0	0/3	0/5	0/0	0/3	0/0	0/10	-3/8	0/5	0/0	3	13	-96			
		Especies en peligro	-3/10	-2/10	-1/10	-1/9	0/0	-1/10	-2/9	-3/10	-2/5	0/2	0/0	0/9	0/9	0/3	0/0	0/3	3/10	2/10	2/10	0/3	0/3	0/3	0/3	0/5	0/0	0/5	0/0	0/3	0/3	-1/8	0/5	0/5	0/0	3	9	-72			

Anexo 5: Memoria de Cálculo para el Diseño de los Equipos Requeridos para el Proceso Productivo

Para el dimensionamiento de los equipos requeridos para la producción de oxígeno, nitrógeno y argón, se utilizó las siguientes consideraciones y condiciones de la materia prima (aire) a la entrada del proceso:

Tabla 60: Condiciones iniciales para el Dimensionamiento de los Equipos.

Flujo de Aire a la Entrada del Proceso:	7833.83 Kg/h	17255.14 Lb/h
Caudal Entrante:	6528.19 m³/h	1.8134 m³/s
Flujo de Entrada a Operación:	270.46	
Peso Molecular del Aire:	28.97	
Temperatura de Entrada:	25 °C	298.15 K
Presión de Entrada:	14.696 PSI	101.325 kPa
Humedad Absoluta:	0.024 Kg/m³	
Humedad Relativa:	60%	

Fuente: Elaboración propia.

11.5.1. Limpieza Preliminar

Para el Diseño del Lavador de Flujo Coordinado tipo Venturi, se toman en consideración los siguientes parámetros para el diseño de este. (De Nevers, 1998; Hernández, 2018; Lucas, 2012)

Varios autores han desarrollados fórmulas para el diseño de un Venturi scrubber. La siguiente tabla muestra los valores más adecuados a elegir al momento de diseñar un lavador de partículas tipo Venturi.

Tabla 61: Valores Recomendados para el Diseño del Lavador Venturi.

Velocidad del gas en la garganta	
$V_G > 4575 \text{ cm/s}$	Alta eficiencia de remoción de PM
$2000 < V_G < 2300 \text{ cm/s}$	Absorción y remoción de PM simultaneas
Relación Líquido – Gas	
$0.26 < L/G < 2.7 \text{ l/m}^3$	Remoción de PM
$5.5 < L/G < 11 \text{ l/m}^3$	Absorción de gases y remoción de PM
Caída de Presión	
$10 < \Delta P < 150 \text{ in H}_2\text{O}$	Inferior en aplicaciones de absorción

Los ángulos de convergencia y divergencias han sido aumentados para disminuir la longitud total del Venturi, por factores de influencias de espacio y estética. Primeramente, se debe establecer la velocidad en la garganta, y el caudal de gases.

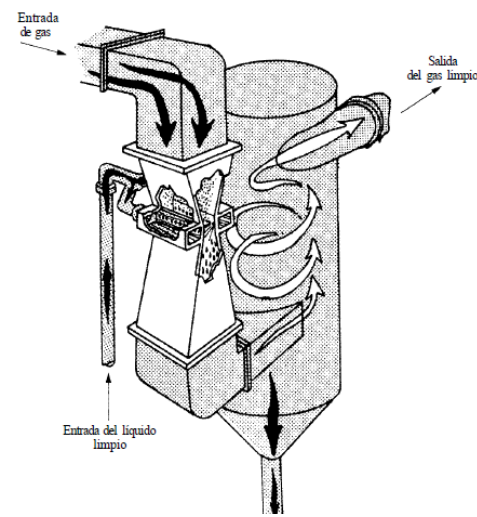


Figura 34: Esquema de un Lavador Venturi.

Caudal de Gases = $G = 1.8134 \text{ m}^3/\text{s}$
Velocidad del Gas en la Garganta. $V_G = 50 \text{ m/s}$.
De manera que el diámetro de la garganta D_2 se encuentra de la manera siguiente:

$$G = V_G * A_2 \tag{ec. 10}$$

Despejando A_2 de la ecuación anterior:

$$A_2 = \frac{G}{V_G} \tag{ec. 11}$$

$$A_{garganta} = \frac{1.8134 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{50 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A_{garganta} = 0.03627 \text{ m}^2$$

El diámetro del lavador a la entrada se calcula de la siguiente manera:

$$A_{garganta} = \frac{\pi * D_2^2}{4} \therefore D_2 = \sqrt{\frac{4 * A_2}{\pi}} \tag{ec. 12}$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 * 0.03627 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_2 = 0.21489 \text{ m}$$

El diámetro del ducto a la entrada del lavador será 0.21489 m, por lo que el lavador de partículas tendrá dos veces el diámetro de la entrada a la zona convergente, entonces, $D_1 = 2 D_2 = 2 * 0.21489 \text{ m} = 0.42978 \text{ m}$

El ángulo de convergencia (β_1) es de 12.5° , entonces la longitud de la zona convergente se encuentra con ayuda de la siguiente figura:

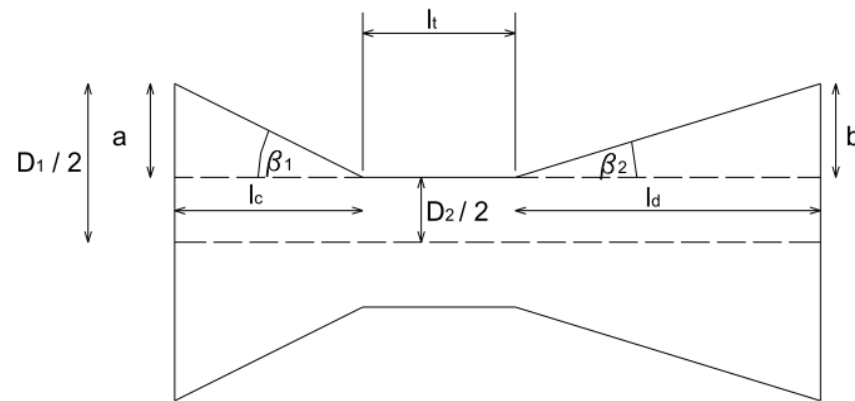


Figura 35: Esquema Transversal de un Lavador Venturi.

Por lo que, el valor de a se determina con:

$$a = \frac{D_2}{2} - \frac{D_1}{2} \quad \text{ec. 13}$$

$$a = \frac{0.4297 \text{ m}}{2} - \frac{0.21489 \text{ m}}{2}$$

$$a = 0.10744 \text{ m}$$

Por lo tanto, la longitud de la zona convergente l_c se calcula como:

$$l_c = \frac{a}{\tan(\beta_1)} \quad \text{ec. 14}$$

$$l_c = \frac{0.10744}{\tan(12.5)}$$

$$l_c = 0.48465 \text{ m}$$

El diámetro del ducto en la zona divergente será el mismo que en la zona convergente con este diámetro se obtiene aproximadamente una relación de área 4:1 como sugiere los textos de Diseño de Venturi scrubber.

Área del Ducto a la Salida

$$A_{salida} = \frac{\pi * D_1^2}{4} \quad \text{ec. 15}$$

$$A_{salida} = \frac{\pi * (0.42978 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_{salida} = 0.1451 \text{ m}^2$$

Conociendo el diámetro a la salida, la longitud de la zona divergente se calcula de manera similar a la de la zona convergente:

$$l_d = 4 * D_2 \quad \text{ec. 16}$$

$$l_d = 4 * 0.21489 \text{ m}$$

$$l_d = 0.8595 \text{ m}$$

La longitud de la garganta l_t es aproximadamente al diámetro de la garganta, por lo que las dimensiones finales del lavador Venturi son:

Longitud de la zona convergente: 0.48465 m

Longitud de la garganta: 0.21489 m

Longitud de la zona divergente: 0.8595 m

Diámetro de la garganta: 0.21489 m

Diámetro en la entrada: 0.42978 m

Diámetro en la salida: 0.42978 m

Diámetro promedio de las gotas del líquido de lavado

En este trabajo se considera la atomización tipo gota; aunque se producirá un amplio rango de tamaño de las gotas, es posible predecir un diámetro promedio utilizando la ecuación de Nukiyama-Tanasawa. A este, se le conoce como diámetro de Sauter y se calcula por medio de:

$$d_d = \frac{58600}{V_G} \times \left(\frac{\sigma}{\rho_L} \right)^{0.5} + 597 \times \left(\frac{\mu_L}{(\rho_L \times \sigma)^{0.5}} \right)^{0.45} \times \left(1000 \times \frac{Q_L}{Q_G} \right)^{1.5} \quad \text{ec. 17}$$

Donde:

d_d = diámetro medio de Sauter para las gotas, μm

V_G = velocidad del gas, cm/s

σ = tensión superficial del líquido, dinas/cm

ρ_L = densidad del líquido, g/cm^3

μ_L = viscosidad del líquido, poise

Q_L = flujo volumétrico del líquido, m^3/s

Q_G = flujo volumétrico del gas, m³/s

De la relación L/G mostrada en la tabla 11, se establece que L/G = 2.7 L/m³, entonces se tiene lo siguiente:

Si $Q_G = 1.8134$ m³/s y $V_G =$

Entonces Q_L se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_L = \frac{L}{G} \times Q_G \quad \text{ec. 18}$$

Por lo que $d_d =$

Caída de presión en un lavador Venturi

Es importante conocer la caída de presión a través del dispositivo, pues de ello dependerá la demanda de energía requerida para mover el gas a través del dispositivo. Para hallar la caída de presión a través del dispositivo, primero se evalúa el número de Reynolds en función del diámetro promedio de las gotas del líquido de lavado.

Ahora mediante Reynolds:

$$Re_D = \frac{\rho_G V_G d_d}{\mu_G} \quad \text{ec. 19}$$

Por lo tanto, el coeficiente de arrastre para las gotas es

$$C_D = \frac{24}{282} + \frac{4}{282^{1/3}} \quad \text{ec. 20}$$

Con el valor anterior, es posible calcular la longitud óptima de la garganta de la manera siguiente:

$$l_t = \frac{2 \times d_d \times \rho_L}{C_D \times \rho_G} \quad \text{ec. 21}$$

Para calcular la caída de presión se utilizará la siguiente relación:

$$\Delta P = 2 \rho_L V_G^2 \left(\frac{Q_L}{Q_G} \right) (1 - X^2 + \sqrt{X^4 - X^2}) \quad \text{ec. 22}$$

Donde ΔP es la caída de presión en dinas/cm², y los demás factores y sus unidades son los mismos que en las ecuaciones anteriores. El valor de X debe ser calculado por medio de:

$$X = \frac{3 l_t C_D \rho_G}{16 d_d \rho_L} + 1 \quad \text{ec. 23}$$

Donde:

X = Longitud adimensional de la garganta

l_t = longitud de la garganta, cm

C_D = Coeficiente de arrastre para las gotas en función del diámetro

Otra forma de calcular la Caída de Presión

La caída de presión a través de una torre de limpieza por Venturi se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$\Delta P = 0.1 \times V_G^2 \times R(mmH_2O) \quad \text{ec. 24}$$

Factor Inercial de Impacto

El factor de impacto presenta la proporción de captación de partículas que se produce mediante impacto por inercia. Si el valor de este factor es elevado, entonces un mayor número de gotas impactarán contra las partículas. Si por lo contrario es un factor bajo, una gran cantidad de partículas y gotas tenderán a seguir las líneas del flujo sin impactar entre ellas.

El cálculo del factor inercial de impacto se realiza con la siguiente ecuación:

$$\psi_i = \frac{d_p^2 \times \rho_p \times V_G}{9 \times \mu \times d_g} \quad \text{ec. 25}$$

Donde:

ψ_i = factor inercial de impacto (adimensional)

d_p = tamaño de la partícula (m)

ρ_p = densidad de la partícula (kg/m³)

μ = viscosidad dinámica del gas (Kg/(m*s))

d_g = diámetro de gota medio (m)

Eficiencia de recolección de partículas

La eficacia de captación para un determinado tamaño de partícula se calcula con la siguiente ecuación:

$$\eta_i = 1 - e^{-k \cdot R \psi_i^{0.5}} (\%) \quad \text{ec. 26}$$

Donde k es un coeficiente dependiente de la geometría del Venturi que oscila entre 0.75 y 1.5 m³/l.

Eficacia global del lavador de Venturi

El rendimiento global del ciclón puede calcularse mediante las eficiencias unitarias en función del tamaño de partícula y el porcentaje en peso de estas, o teniendo en cuenta las concentraciones del contaminante en el gas de entrada (X) y en la salida (Y).

$$\eta = \sum \frac{\eta_i}{100} \times w_i (\%) \quad \text{ec. 27}$$

Donde:

η_i = eficiencia de recolección en función del tamaño de partícula

w_i = porcentaje en peso de un determinado tamaño de partícula

$$\eta = \frac{X-Y}{X} * 100$$

ec. 28

Tabla 62: Eficiencia Global del Lavador Venturi.

Diámetro de Partícula Dp, m	Factor Inercial ψi	Eficiencia de Remoción ηi, %
0.0000001	0.00323	0.08172
0.000001	0.32300	0.57365
0.0000025	2.01873	0.88131
0.000005	8.07494	0.98591
0.00001	32.29974	0.99980
0.00005	807.49354	1.00000
0.0001	3229.97416	1.00000
		98.76%

Debido a que en el mercado no se comercializan equipos con medidas tan específicas, se deben recalcular todas las dimensiones en base al valor de D2 más próximo al segundo decimal, el cual sería D2= 0.22 m. Las dimensiones ajustadas del equipo se presentan a continuación.

Tabla 63: Dimensiones ajustadas del Lavador Venturi.

Parámetro	Valor	Unidades
Vg	47.70405	m/s
G	1.8134	m3/s
QL	0.54403	m3/s
R	1.5	L agua/ m3 aire
A1	0.15205	m2
A2	0.03801	m2
D1	0.44	m
D2	0.22	m
L2	0.22	m
Ld	0.88	m
Lc	0.50	m

ΔP	3347.29281	Pa
Dg	158.00000	μm
ηi	99.70%	%
P	6069.94	W
Qdr	3.03682E-07	m3/h

La eficiencia global del equipo sería:

Tabla 64: Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Partículas del Venturi (parte 1).

Diámetro de Partícula Dp, m	[partículas] a la entrada, mg/m3	% en peso wi (%)	Factor Inercial ψi
0.0000001	0.001	0.41%	0.05598
0.000001	0.001	0.41%	5.59769
0.0000025	0.012725	5.24%	34.98559
0.000005	0.01	4.12%	139.94234
0.00001	0.017905	7.38%	559.76937
0.00005	0.1	41.22%	13994.23429
0.0001	0.1	41.22%	55976.93715
	0.24263		

Tabla 65: Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Partículas del Venturi (parte 2).

Eficiencia de Remoción ηi, %	[partículas] a la salida, mg/m3	Porcentaje acumulado global
29.88%	0.000701249	0.12%
97.12%	2.87558E-05	0.40%
99.99%	1.78431E-06	5.24%
100.00%	1.96619E-10	4.12%
100.00%	0	7.38%
100.00%	0	41.22%
100.00%	0	41.22%
0.00%	0.00073179	99.70%

11.5.2. Diseño del Ciclón tipo Stairmand

El dimensionamiento del ciclón se hizo en base a la metodología descrita por Echeverri, C. (2006).

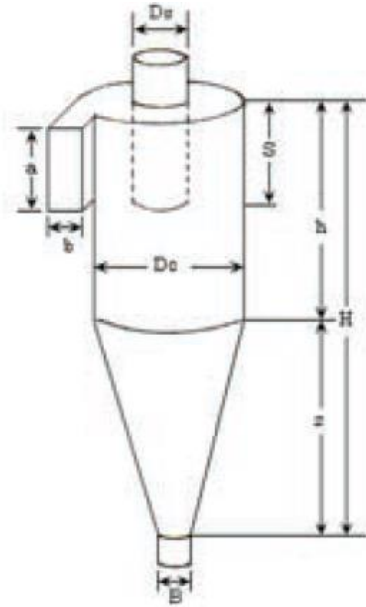


Figura 36: Esquema de un Ciclón tipo Stairmand.

Asumiendo una velocidad de entrada de 20 m/s,

$$v_i = 20 \frac{m}{s}$$

Cálculo de las dimensiones del ducto de entrada:

$$A_i = \frac{Q_G}{v_i} \tag{ec. 29}$$

$$A_i = \frac{1.8134 \frac{m^3}{s}}{20 \frac{m}{s}} = 0.09067 \, m^2$$

$$a \times b = 0.5 \, D_c \times 0.2 \, D_c \tag{ec. 30}$$

$$A_i = 0.1 D_c^2 \tag{ec. 31}$$

$$D_c = \sqrt{\frac{A_i}{0.1}} \tag{ec. 32}$$

$$D_c = \sqrt{\frac{0.09067 \, m^2}{0.1}}$$

$$D_c = 0.95220 \, m$$

Tabla 66: Características de Ciclones de Alta Eficiencia.

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.44	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.2	0.21	0.2
Altura de salida	S/Dc	0.5	0.5	0.625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.4	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.4	1.5
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.5	2.5
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.9	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4	0.375
Factor de configuración	G	551.22	698.65	585.71
Número cabezas de velocidad	NH	6.4	9.24	6.4
Número de vórtices	N	5.5	6.0	5.5

Otras Dimensiones:

$$a = 0.5 D_c = 0.5 \times 0.95220 = 0.476 \, m$$

$$b = 0.2 D_c = 0.2 \times 0.95220 = 0.190 \, m$$

$$S = 0.5 D_c = 0.5 \times 0.95220 = 0.476 \, m$$

$$D_s = 0.5 D_c = 0.5 \times 0.95220 = 0.476 \, m$$

$$h = 1.5 D_c = 1.5 \times 0.95220 = 1.428 \, m$$

$$H_{tot} = 4 D_c = 4 \times 0.95220 = 3.809 \, m$$

$$Z = 2.5 D_c = 2.5 \times 0.95220 = 12.381 \, m$$

$$B = 0.375 D_c = 0.375 \times 0.95220 = 0.357 \, m$$

Cálculo de la Velocidad Equivalente:

$$w = \sqrt{\frac{4 g \mu_g (\rho_p - \rho_g)}{3 \rho_g^2}} \tag{ec. 33}$$

$$w = 0.7653 \frac{m}{s}$$

Cálculo de la velocidad de saltación:

$$v_s = \frac{4.913 w k_b^{0.4} D_C^{0.067} \sqrt[3]{v_i^2}}{\sqrt[3]{1-k_b}} \quad \text{ec. 34}$$

Si $k_b = 0.2$, entonces;

$$v_s = 15.62482 \frac{m}{s}$$

Relación entre v_i y v_s :

$$\frac{v_i}{v_s} = \frac{20 \frac{m}{s}}{15.62 \frac{m}{s}} = 1.28$$

$$\frac{v_i}{v_s} < 1.35;$$

$1.28 < 1.35$; No hay resuspensión de partículas

De la tabla 91 para un ciclón Stairmand:

$G = 551.22$

$N_H = 6.4$

$N = 5.5$

Cálculo del volumen del ciclón sobre la salida:

$$V_{sc} = \frac{\pi}{4} \left(s - \frac{a}{2} \right) (D_c^2 - D_s^2) \quad \text{ec. 35}$$

$$V_{sc} = \frac{\pi}{4} \left(0.476 \, m - \frac{0.476 \, m}{2} \right) ((0.952 \, m)^2 - (0.476 \, m)^2)$$

$$V_{sc} = 0.127 \, m^3$$

Longitud natural del ciclón:

$$L = 2.3 D_s \sqrt[3]{\frac{D_c^2}{a \cdot b}} \quad \text{ec. 36}$$

$$L = 2.359 \, m$$

Condición $L < H - S$

$$2.359 \, m < 3.809 \, m - 0.476 \, m$$

$$2.359 \, m < 3.333 \, m$$

Por lo que se cumple la condición requerida.

Cálculo de los factores de dimensionamiento lineales

$$K_L = D_C - (D_C - B) \left(\frac{S+L-h}{z} \right) \quad \text{ec. 37}$$

$$K_L = 0.952 \, m - ((0.952 \, m - 0.357 \, m) \left(\frac{0.476 \, m + 2.359 \, m - 1.428 \, m}{2.381 \, m} \right))$$

$$K_L = 0.60046 \, m$$

Cálculo del volumen del ciclón evaluado con L

$$V_R = \frac{\pi}{4} D_C^2 (h - S) + \frac{\pi}{12} D_C^2 (L + S - h) \left(1 + \frac{k_L}{D_C} + \left(\frac{k_L}{D_C} \right)^2 \right) - \frac{\pi}{4} D_S^2 L \quad \text{ec. 38}$$

$$V_R = 0.935 \, m^3$$

Cálculo del Factor dimensional de las proporciones volumétricas:

$$K_C = \frac{V_{SC} + \frac{V_R}{2}}{D_C^3} \quad \text{ec. 39}$$

$$K_C = 0.689$$

Relación entre altura de entrada y Φ del ciclón:

$$k_a = \frac{a}{D_C} = 0.5 \quad \text{ec. 40}$$

Relación entre base de entrada y Φ del ciclón:

$$k_b = \frac{b}{D_C} = 0.2 \quad \text{ec. 41}$$

Factor de configuración

$$G = \frac{8 K_C}{(k_a k_b)^2} \quad \text{ec. 42}$$

$$G = 551.22$$

Exponente del vértice

$$n = 1 - (1 - 0.67 D_C^{0.14}) \left(\frac{T}{283} \right)^{0.3} \quad \text{ec. 43}$$

$$n = 0.66015$$

Cálculo del Tiempo de Relajación

$$T_i = \frac{\rho_p \cdot D p_i^2}{18 \mu g} \quad \text{ec. 44}$$

Eficiencia Fraccional:

$$n_i = 1 - e^{[-2 * \left(\frac{G T_i Q (n+1)}{D_c^3} \right)^{\frac{0.5}{n+1}}]} \quad \text{ec. 45}$$

Eficiencia Total:

$$n_T = \sum n_i m_i \quad \text{ec. 46}$$

Tabla 67: Cálculo de Eficiencia Total del Ciclón.

Diámetro de Partícula Dp, m	% en peso wi (%)	Ti (s)	ηi	ηi*[part]
0.0000001	0.412%	9.27E-08	0.15442	0.00063646
0.000001	0.412%	9.27E-06	0.51080	0.00210528
0.0000025	5.245%	5.7938E-05	0.72005	0.037763605
0.000005	4.122%	0.00023175	0.86052	0.03546616
0.00001	7.380%	0.000927	0.95253	0.07029257
0.00005	41.215%	0.02317506	0.99977	0.412057175
0.0001	41.215%	0.09270026	1.00000	0.412149248
Eficiencia Total				97.05%

Número de cabezas de velocidad

$$N_H = K * \frac{ab}{D_S^2}$$
 ec. 47

$$N_H = 6.4$$

Cálculo de la caída de presión

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho v_i^2 N_H$$
 ec. 48

$$\Delta P = 1536.00 \text{ Pa}$$

11.5.3. Datos para elección del Compresor

Antes de entrar en los cálculos es necesario añadir los datos de equilibrio de la mezcla de Nitrógeno y Oxígeno a 5 y 1 bar y de Oxígeno y Argón a 1 bar. Acá se representan las composiciones molares en equilibrio a diferentes temperaturas en la zona bifásica, líquido y vapor.

Tabla 68: Composiciones Molares de Equilibrio para el Nitrógeno-Oxígeno a 5 bar.

Presión, bar	Fracción Mezcla O ₂	T, °C	Y _{N2}	Y _{O2}	X _{N2}	X _{O2}
5	0	-159.49	0	1	0	1
5	0.05	-160.77	0.11	0.89	0.05	0.95
5	0.1	-161.95	0.21	0.79	0.1	0.9

5	0.15	-163.05	0.3	0.7	0.15	0.85
5	0.2	-164.06	0.38	0.62	0.2	0.8
5	0.25	-165	0.45	0.55	0.25	0.75
5	0.3	-165.89	0.51	0.49	0.3	0.7
5	0.35	-166.71	0.57	0.43	0.35	0.65
5	0.4	-167.49	0.62	0.38	0.4	0.6
5	0.45	-168.23	0.66	0.34	0.45	0.55
5	0.5	-168.93	0.7	0.3	0.5	0.5
5	0.55	-169.59	0.74	0.26	0.55	0.45
5	0.6	-170.23	0.78	0.22	0.6	0.4
5	0.65	-170.84	0.81	0.19	0.65	0.35
5	0.7	-171.42	0.84	0.16	0.7	0.3
5	0.75	-171.99	0.87	0.13	0.75	0.25
5	0.8	-172.53	0.9	0.1	0.8	0.2
5	0.85	-173.06	0.93	0.07	0.85	0.15
5	0.9	-173.57	0.95	0.05	0.9	0.1
5	0.95	-174.07	0.98	0.02	0.95	0.05
5	1	-174.56	1	0	1	0

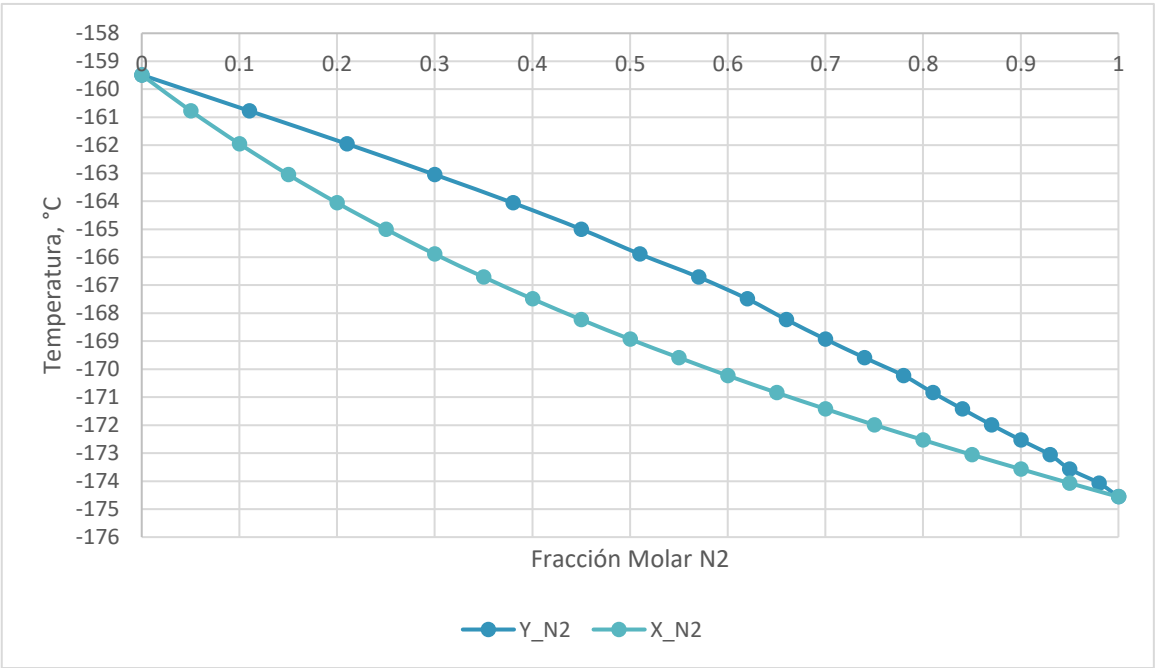


Figura 37: Diagrama de Equilibrio del Nitrógeno a 5 bar.

Tabla 69: Composiciones Molares de Equilibrio para el Nitrógeno-Oxígeno a 1.01 bar.

Presión, bar	Fracción Mezcla N ₂	T, °C	Y _{N2}	Y _{O2}	X _{N2}	X _{O2}
1.01	0	-183.18	0	1	0	1
1.01	0.05	-184.55	0.17	0.83	0.05	0.95
1.01	0.1	-185.73	0.31	0.69	0.1	0.9
1.01	0.15	-186.78	0.41	0.59	0.15	0.85
1.01	0.2	-187.7	0.5	0.5	0.2	0.8
1.01	0.25	-188.53	0.57	0.43	0.25	0.75
1.01	0.3	-189.27	0.63	0.37	0.3	0.7
1.01	0.35	-189.95	0.68	0.32	0.35	0.65
1.01	0.4	-190.57	0.73	0.27	0.4	0.6
1.01	0.45	-191.15	0.76	0.24	0.45	0.55
1.01	0.5	-191.68	0.8	0.2	0.5	0.5
1.01	0.55	-192.18	0.83	0.17	0.55	0.45
1.01	0.6	-192.64	0.85	0.15	0.6	0.4
1.01	0.65	-193.09	0.88	0.12	0.65	0.35
1.01	0.7	-193.5	0.9	0.1	0.7	0.3
1.01	0.75	-193.9	0.92	0.08	0.75	0.25
1.01	0.8	-194.28	0.94	0.06	0.8	0.2
1.01	0.85	-194.65	0.96	0.04	0.85	0.15
1.01	0.9	-195	0.97	0.03	0.9	0.1
1.01	0.95	-195.34	0.99	0.01	0.95	0.05
1.01	1	-195.67	1	0	1	0

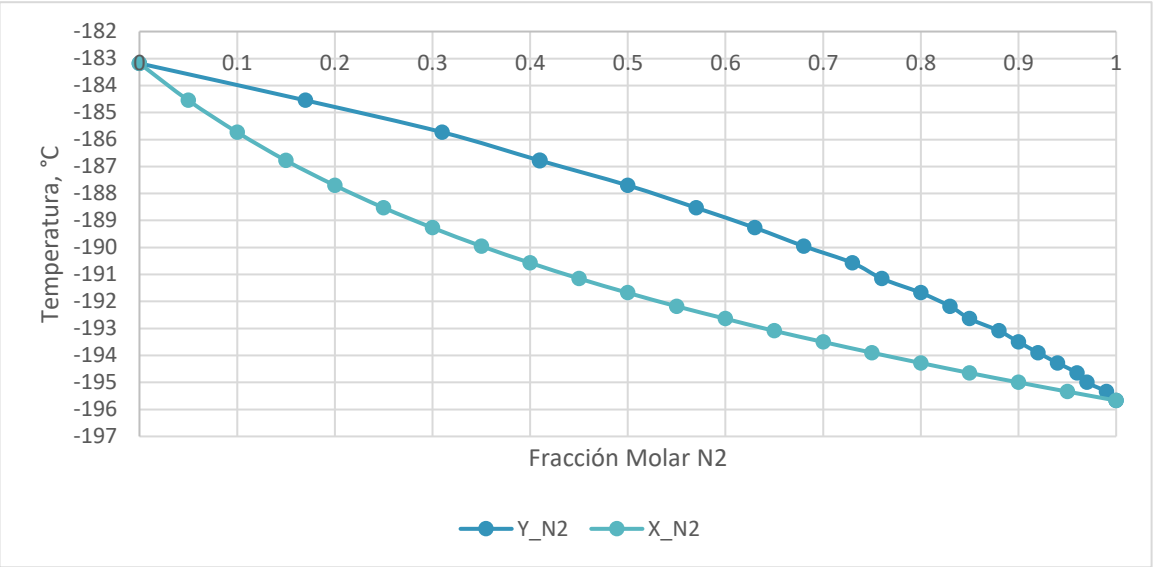


Figura 38: Diagrama de Equilibrio del Nitrógeno a 1.01 bar.

Tabla 70: Composiciones Molares de Equilibrio para la mezcla de Oxígeno-Argón a 1.01 bar

Presión, bar	Fracción Mezcla O ₂	T, °C	Y _{Ar}	Y _{O2}	X _{Ar}	X _{O2}
1	0	-186.04	1	0	1	0
1	0.05	-185.97	0.96	0.04	0.95	0.05
1	0.1	-185.9	0.91	0.09	0.9	0.1
1	0.15	-185.82	0.87	0.13	0.85	0.15
1	0.2	-185.73	0.83	0.17	0.8	0.2
1	0.25	-185.64	0.79	0.21	0.75	0.25
1	0.3	-185.54	0.75	0.25	0.7	0.3
1	0.35	-185.44	0.7	0.3	0.65	0.35
1	0.4	-185.33	0.66	0.34	0.6	0.4
1	0.45	-185.22	0.61	0.39	0.55	0.45
1	0.5	-185.09	0.57	0.43	0.5	0.5
1	0.55	-184.96	0.52	0.48	0.45	0.55
1	0.6	-184.82	0.47	0.53	0.4	0.6
1	0.65	-184.68	0.43	0.57	0.35	0.65
1	0.7	-184.52	0.37	0.63	0.3	0.7
1	0.75	-184.35	0.32	0.68	0.25	0.75
1	0.8	-184.17	0.26	0.76	0.2	0.8
1	0.85	-183.98	0.2	0.8	0.15	0.85

1	0.9	-183.77	0.14	0.86	0.1	0.9
1	0.95	-183.55	0.07	0.93	0.05	0.95
1	1	-183.31	0	1	0	1

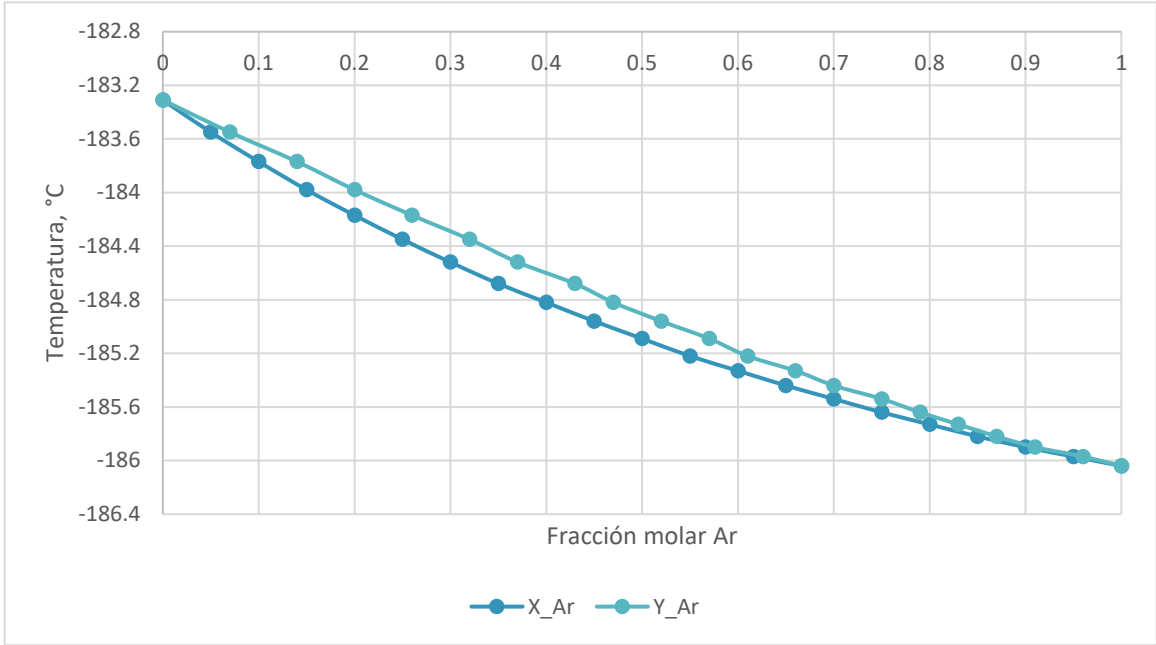


Figura 39: Diagrama de Equilibrio del Argón a 1.01 bar.

La compresión del aire entrante se realiza mediante un sistema de compresión de 3 etapas. Entre medias de las etapas de compresión hay una fase de enfriamiento para que el aire comprimido no aumente en exceso su temperatura. Este aumento de presión puede provocar que parte de la humedad del aire sature y condense, pudiendo provocar graves daños en los compresores siguientes por lo que después de cada fase de compresión además de enfriar el fluido se retira el vapor condensado. Posteriormente, para conseguir una fracción de aire licuado se divide la corriente en dos. Una de ellas tendrá una expansión isoentálpica mientras que la otra tendrá una expansión en una turbina recuperando parte del trabajo.

Un proceso politrópico es aquel en el que hay una transferencia de energía tanto hacia el interior del sistema como hacia el exterior del sistema, es decir, por ejemplo, un sistema de compresión-expansión mediante compresor y turbina con eje solidario.

El caudal masico de aire entrante es el caudal volumétrico por la densidad en esas condiciones. Los datos que se pueden extraer del diagrama T-s se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 71: Datos tomados del Diagrama T vs. s para la etapa de Compresión.

Datos tomados del diagrama T vs. s

Puntos	B	C'	C''	D'''	D'	D''	L	V	E	A
Entalpía h, kcal/kg	119	98	60	60	75	78	31	71	120	123
Temperatura T, K	298	220	138	100	120	118	99	100	290	298
Entropía s, kcal/kg °C	0.65	0.56	0.33	0.4	0.51	0.66	0.1	0.53	0.81	0.91
Presión P, atm abs	40	40	40	5	5	5	5	5	5	1

Para poder hacer el proceso abarcable, se divide en dos subprocesos:

- El compresor, que se tomará como único compresor, aunque se dividirá en tres etapas.
- El resto del proceso, es decir, los intercambiadores de calor y la turbina.

Para calcular la exigencia energética del proceso global, se tendrá en cuenta la energía consumida por el trabajo del compresor y la energía devuelta por el trabajo de la turbina.

Para calcular el trabajo aportado por el compresor al sistema, con 3 etapas de compresión:

$$W_c = \frac{\dot{m} \cdot N \cdot R \cdot T_a}{PM \cdot \frac{n-1}{n}} * \left[\left(\frac{p_b}{p_a} \right)^{\frac{n-1}{n \cdot N}} - 1 \right] * \frac{1}{\eta_m}$$

ec. 49

Donde:

- $\dot{m}$: es el flujo másico de aire que entra al compresor.
- N: es número de etapas iguales.
- R: es la constante de los gases ideales.
- T_a : es la temperatura inicia del aire, con la que entra al compresor.
- p_b : es la presión de salida del compresor
- p_a : es la presión de entrada al compresor
- n: es el factor politrópico.
- PM: es el peso molecular del aire.
- η_m : es el rendimiento mecánico del compresor.

Para un proceso isentrópico y adiabático, el factor politrópico es igual al cociente de los calores específicos a presión y volumen constante, es decir, el factor de expansión adiabático:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

ec. 50

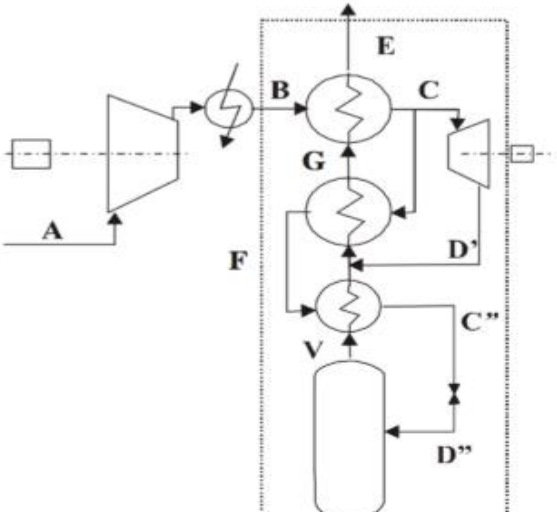


Figura 40: Proceso de Compresión del Aire.

Es decir que $n = \gamma$, para el aire tiene un valor de 1.4, por lo que la ecuación 49 quedaría:

$$W_c = \frac{\dot{m} * N * R * T_a}{P M * \frac{\gamma-1}{\gamma}} * \left[\left(\frac{p_b}{p_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma * N}} - 1 \right] * \frac{1}{\eta_m} \quad \text{ec. 51}$$

Pero al no ser un proceso ideal, sino tener un rendimiento del 70%, la expresión termina quedando de esta forma:

$$W_c = \frac{\dot{m} * N * R * T_a}{P M * \frac{\gamma-1}{\gamma * \eta_p}} * \left[\left(\frac{p_b}{p_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma * N}} - 1 \right] * \frac{1}{\eta_m} = 2,963,703.63 \text{ kJ/h} \quad \text{ec. 52}$$

El valor del trabajo compresor es:

El balance entálpico del proceso de la turbina es:

- Q_B : es el calor que entra al sistema con la corriente en el punto B.
- Q_L : es el calor que se retira de la corriente líquida.
- Q_E : es el calor que se retira de la corriente de vapor.
- W_t : es el trabajo que produce la turbina que expande el gas.

Como se puede observar en el diagrama y en el proceso, al ser un ciclo cerrado, todo el calor aportado por la corriente B tiene que ser extraído por L, E y el trabajo de la turbina.

$$Q_B = Q_E + Q_L + W_t \quad \text{ec. 53}$$

El trabajo realizado por la turbina es la diferencia de entalpías (1er principio de la termodinámica aplicado a turbinas adiabáticas), suponiendo que es una turbina ideal, isentrópica:

$$W_t = \eta_t (h_c - h_D) = (h_c - h_D) = 14.95 \text{ kcal/kg} \quad \text{ec. 54}$$

Aplicando el rendimiento isentrópico del 65% y el rendimiento mecánico del 100%

Para conocer el balance, es necesario conocer los caudales de cada corriente. Para obtener las corrientes V y L, se puede realizar gráficamente mediante la regla de la palanca o de los segmentos inversos. Tomando la escala de la entropía y suponiendo que no hay perdidas de masa por ningún lado, sino que todo el caudal másico que entra sale por las corrientes V y L.

$$L = \frac{s_v - s_D'''}{s_v - s_L} (C_E) = \frac{0.53 - 0.40}{0.53 - 0.10} * \left(3916.92 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = 1,184.18 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad \text{ec. 55}$$

$$V = \frac{s_D''' - s_L}{s_v - s_L} (C_E) = \frac{0.40 - 0.10}{0.53 - 0.10} * \left(3916.92 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = 2,732.73 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad \text{ec. 56}$$

Una vez se han calculado todos los caudales, como se considera un proceso ideal y adiabático, se comprueba mediante el balance de energía que todos los caudales de entrada son igual a todos los caudales de salida.

Esto se hace sabiendo la entalpía de cada corriente.

$$\begin{aligned} & \left(119 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \right) * \left(7833.83 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \\ &= \left(31 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} * 1184.18 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) + \left(\left(120 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \right) * \left(2,732.73 + 3,916.92 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \right) \\ &+ \left(14.95 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} * 3,916.92 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \end{aligned}$$

$$932,225.77 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 36,709.70 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} + 797,957.79 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} + 58,557.90 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$932,225.77 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 893,225.40 \text{ kcal/h}$$

El calor que entra no es exactamente el mismo debido a que existe una pérdida de calor por el aislamiento, es decir, el aislamiento no es perfecto y se producen pérdidas.

En este caso las pérdidas son:

Entra – Sale = Pérdidas

$$\frac{\text{Pérdidas}}{\text{Entra}} * 100 = \text{porcentaje de pérdidas} \quad \text{ec. 57}$$

$$\frac{\text{Pérdidas}}{\text{Entra}} * 100 = \frac{932,226.04 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} - 893,225.40 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{932,226.04 \text{ kcal/h}} * 100 = 4.18\%$$

El valor de trabajo de la turbina, en kcal/h, es igual a 58,557.90 kcal/h, equivalente a 245,006.24 kJ/h.

El balance energético del proceso de compresión y enfriamiento es:

- Aportado: 2,963,703.64 kJ/h
- Extraído: 245,006.24 kJ/h

Suponiendo que el trabajo realizado por la turbina se suministra al compresor mediante un eje solidario, el trabajo que habría que aportar al sistema para su correcto funcionamiento sería $W = W_c - W_t$.

$$W = W_c - W_t = 2,963,703.64 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} - 245,006.24 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 2,718,697.39 \text{ kJ/h} \quad \text{ec. 58}$$

La potencia que debe aportarse al sistema sería igual a 755.19 kW.

Tabla 72: Resumen de las Corrientes de Salida de las etapas de Compresión.

	L	E
Flujo Másico (kg/h)	1184.18	6649.65
Presión (atm)	5	5
Temperatura (K)	99	290
Temperatura (°C)	-174.15	16.85

Ahora es necesario conocer el número de moles de oxígeno y nitrógeno de cada corriente.

A partir de los datos de la tabla 68 se puede saber la composición molar de un líquido saturado en equilibrio con vapor. Esto es necesario para saber que fracción de la corriente es vapor, para el cálculo de las columnas de destilación.

En la tabla 68 y la gráfica 37 se puede observar que para un líquido a -174 °C la composición molar de nitrógeno es $x = 0.95$.

Si se llama X al número de moles de nitrógeno en el líquido e Y al número de moles de oxígeno en el líquido:

$$\frac{x}{x+y} = 0.95 \quad \text{ec. 59}$$

$$1,184.18 \text{ kg/h} = 28X + 32Y \quad \text{ec. 60}$$

Resolviendo se obtiene que:

- $X = 39.89 \text{ kmol/h N}_2$
- $Y = 2.09 \text{ kmol/h O}_2$

Procediendo de la misma manera para la corriente de vapor que sale del equipo de compresión, sabiendo que es un vapor de aire normal, tendrá una composición de 79% nitrógeno y 21% oxígeno.

$$\frac{x}{x+y} = 0.7808 \quad \text{ec. 61}$$

$$6,649.65 \text{ kg/h} = 28X + 32Y \quad \text{ec. 62}$$

Resolviendo, se obtiene:

- $X = 182.15 \text{ kmol/h N}_2$
- $Y = 48.42 \text{ kmol/h O}_2$

Por tanto, el caudal total que sale del equipo de compresión es:

- $F = 272.56 \text{ kmol/h}$ de aire
- La fracción de vapor es de 0.8459
- Como no ha habido pérdidas de caudal, la composición molar de nitrógeno en la corriente final es igual a la composición de nitrógeno en la corriente de entrada, es decir 0.79.

Posteriormente la corriente de aire vapor que procede del equipo de compresión es introducida en un intercambiador de calor, para intercambiar calor con la corriente de nitrógeno puro procedente de la cabeza de la columna de alta presión, disminuyendo la temperatura de esta corriente hasta una temperatura criogénica.

Es por eso que la columna de destilación de alta presión entra una corriente líquida de aire a -174 °C y un corriente vapor de aire a una temperatura criogénica cercana a los -130 °C.

11.5.4. Diseño de las Torres de Destilación

A como se ha establecido en las condiciones previas, se va a suponer que, en las dos columnas principales, en la de alta y baja presión, solo hay una mezcla oxígeno y nitrógeno. Además, no se van a contabilizar ni los sangrados ni las realimentaciones que tengan que ver con la columna de argón.

McCabe-Thiele es un método de cálculo numérico-gráfico y por tanto no es un cálculo riguroso. Requiere de correcciones matemáticas para una aproximación real, pero para el estudio que aquí concierne es suficiente.

Para poder desarrollar este método de cálculo, y recogiendo los datos de la tabla 68, se dibuja el diagrama x-y a 5 bares.

Todo el método de McCabe-Thiele está estructurado sobre la gráfica siguiente, por lo que es importante tenerlo presente en todo momento.

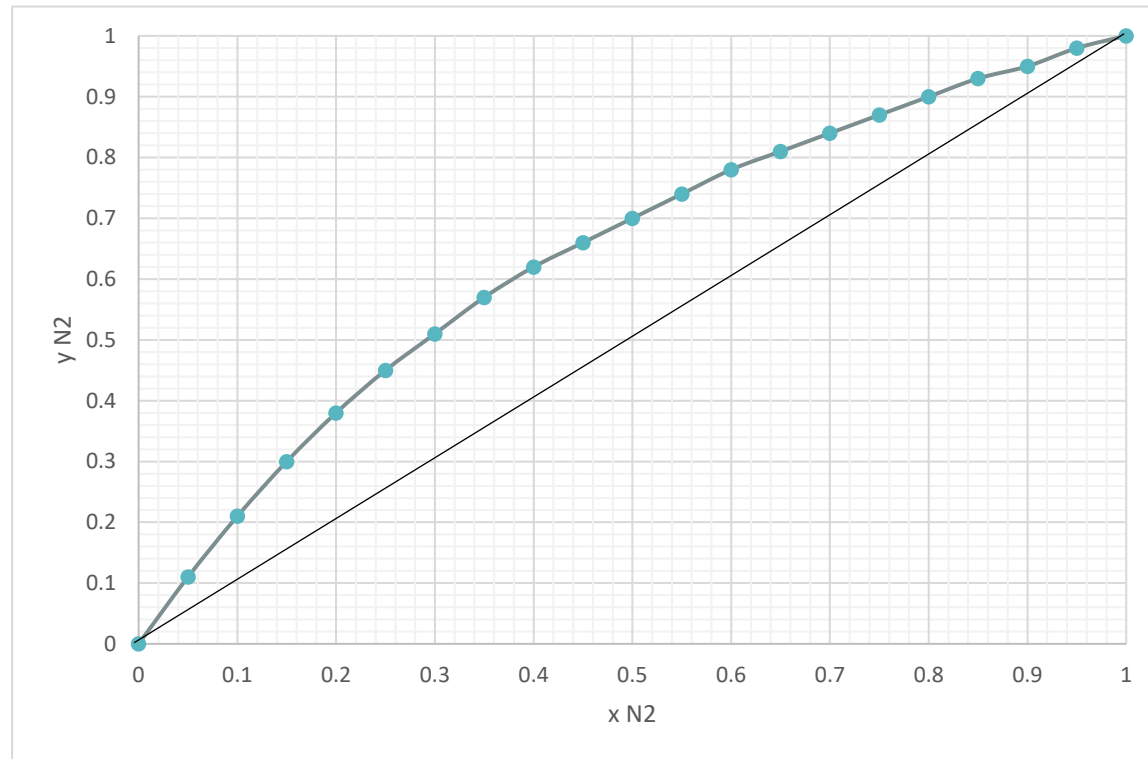


Figura 41: Diagrama de Equilibrio del N₂ a 5 bar.

Algunas consideraciones generales del diagrama x-y deben ser hechas:

- La curva representa el equilibrio de una mezcla de nitrógeno y oxígeno para las distintas concentraciones de nitrógeno.
- El diagrama es una representación de la columna de destilación y sus platos teóricos se asemejarán a etapas de equilibrio.
- La recta $x = y$ es una recta de apoyo que ayudará a realizar el diagrama.
- El diagrama de McCabe-Thiele se basa en los balances de materia y energía y tiene varias hipótesis:
 - ✓ Reflujo molar constante.
 - ✓ Presión constante
 - ✓ La alimentación es una mezcla perfecta

Para la primera columna se hará paso a paso para que no haya dudas del proceso, pero para las demás columnas se hará directamente.

La base de una columna es que, haciendo un balance global de materia, todo lo que entra en la alimentación F , sale como destilado D o como producto de fondo B .

$$F = D + B \quad \text{ec. 63}$$

Además, si se hace el balance para una de las especies de la mezcla, también se tiene que cumplir. Por ejemplo, todo lo que entra de nitrógeno por la alimentación, debe salir por el destilado o por el fondo, y siendo la concentración de estas corrientes x_F , para la alimentación, x_D para el destilado y x_B para el producto de fondo.

$$F x_F = D x_D + B x_B \quad \text{ec. 64}$$

Ahora aplicando estos mismos balances a la cabeza de la columna y al fondo de la columna y llamando a las concentraciones de los vapores y , y las concentraciones de los líquidos x , para asemejarlos a una recta:

- En la cabeza de la columna se llama V al vapor que sube de los platos inferiores y entra en el condensador, D al producto destilado y L al producto que retorna a la columna como reflujo tenemos que:

$$V = D + L \quad \text{ec. 65}$$

$$V y = D x_D + L x \quad \text{ec. 66}$$

A la relación entre lo que sale de la columna y lo que retorna a la columna se llama relación de reflujo externo y es $R = L/D$;

Despejando y sustituyendo en las dos primeras ecuaciones e incorporando la relación del reflujo se obtiene una recta:

$$y = \frac{R}{1+R} x + \frac{1}{1+R} x_D \quad \text{ec. 67}$$

- Si se pone ahora el foco de atención en el fondo de la columna, y se llama L al líquido que baja de los platos superiores, B al producto que sale del hervidor y $\bar{V}$ al producto que vuelve a la columna en fase vapor del hervidor, tenemos que:

$$L = \bar{V} + B \quad \text{ec. 68}$$

$$L x = \bar{V} y + B x_B \quad \text{ec. 69}$$

Despejando y sustituyendo en las dos ecuaciones anteriores se obtiene:

$$y = \frac{\bar{L}}{\bar{V}} x - \frac{B}{\bar{V}} x_B \quad \text{ec. 70}$$

- La recta de alimentación se calcula con la sustitución de las ecuaciones de cabeza y fondo en la ecn. 63:

La relación entre la fracción líquida que entra a la columna y las corrientes de líquido dentro de la columna es:

$$l = \frac{L - \bar{L}}{F} \quad \text{ec. 71}$$

Sustituyendo queda como:

$$y = \frac{l}{l-1} x - \frac{x_F}{l-1} \quad \text{ec. 72}$$

Con las tres rectas de cabeza, fondo y alimentación, se puede realizar el método de cálculo de McCabe-Thiele.

Después de calcular el número de etapas teóricas de la columna, los calores del condensador y del hervidor, conviene calcular el diámetro de los platos y la altura de cada plato.

La separación de los platos más habitual es la de 24" (unos 61 cm)

El porcentaje de inundación de los platos i para los líquidos que no forman espumas es de un 80%.

Se debe calcular también la relación entre el área total del plato y el área de la bajante del vertedero.

Para ellos se debe conocer, puesto que es dependiente, el parámetro de flujo, siendo:

$$F_{LV} = \frac{(PM_L * L)}{(PM_V * V)} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} \quad \text{ec. 73}$$

Donde:

- ✓ PM_L : el peso molecular del líquido en la columna.
- ✓ L : el caudal del líquido.
- ✓ PM_V : el peso molecular del vapor en la columna.
- ✓ V : el caudal del vapor.
- ✓ ρ_V : la densidad del vapor.
- ✓ ρ_L : la densidad del líquido

Conociendo este valor, la relación entre el área total y el área de vertedero, A_d / A_t puede ser:

$$0.1 + \frac{F_{LV} - 0.1}{9} \quad \text{si } 0.1 < F_{LV} < 1$$

$$0.1 \quad \text{si } F_{LV} < 0.1$$

$$0.2 \quad \text{si } F_{LV} > 1$$

Otro parámetro necesario calcular es la velocidad de inundación, en ft/s:

$$U_f^N = C_{SB} \left(\frac{\sigma}{20} \right)^{0.2} \left(\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right)^{1/2} F_F F_{HA} \quad \text{ec. 74}$$

Siendo:

- C_{SB} el coeficiente de Souders y Brown, también llamado parámetro de capacidad en ft/s.
- σ la tensión superficial en los platos en dinas/cm.
- F_F el facto de espuma, que es 1 para mezcla que no forman espumas.
- F_{HA} que es el factor de fracción perforada que se torá como 1.

Para calcular el coeficiente de Souders y Brown, se utiliza una correlación grafica entre el C_{SB} y el parámetro de flujo F_{LV} .

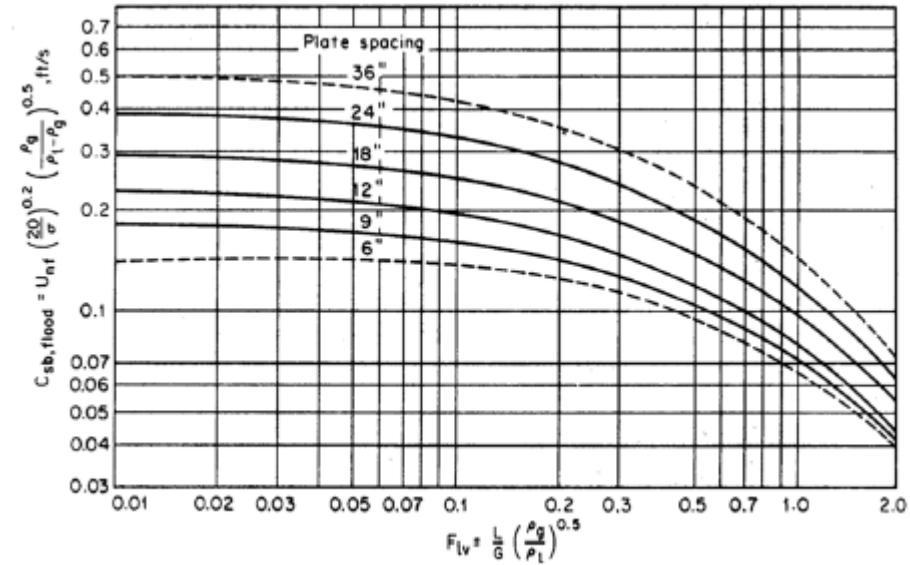


Figura 42: Correlación de Fair.

Una vez calculado todos los parámetros, se tiene la posibilidad de calcular el diámetro total de los platos de la columna:

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * V * PM_V}{i * U_f^N * \pi * \left(1 - \left(\frac{A_d}{A_T} \right) \right) * \rho_V}} \quad \text{ec. 75}$$

Que permite conocer todas las dimensiones de la columna.

Conocido el número de platos, la altura por plato, el diámetro, los calores de los equipos, la presión de trabajo de la columna y todos los caudales y purezas de las corrientes se puede considerar la columna estimada y realizar un análisis económico.

11.5.4.1. Columna de Alta Presión

En la columna de alta presión, según los datos establecidos trabaja a una presión de 5 bar. En ella se supone una entrada de caudal de solo nitrógeno y oxígeno.

El hervidor es la propia corriente de aire entrante que intercambia calor con el producto de fondo y el condensador es el equipo hervidor-condensador que trabaja tanto para la columna de alta presión como para la columna de baja presión.

Tabla 73: Datos preliminares para la torre de Alta Presión.

Variable	Magnitud	Unidad
Corriente Líquida L	1184.18	kg/h
	40.88	kmol/h
Corriente Vapor V	6649.65	kg/h
	229.58	kmol/h
Fracción de vapor γ	0.8459	-
Fracción Líquida L	0.1541	-
Fracción Molar de O2 a la entrada	0.20955	kmol/h
Fracción Molar de N2 en la alimentación x_F	0.78111	kmol/h
Fracción Molar de Ar a la entrada	0.0093432	kmol/h
Temperatura de la corriente Líquida T_L	-174.15	°C
Temperatura de la corriente Vapor T_v	-130	°C
Fracción Molar de N2 en el destilado x_D	0.98	-
Fracción Molar de N2 en el fondo x_B	0.6	-
Caudal de entrada a la torre, kmol/h	270.46	kmol/h

A la primera columna de destilación llega una corriente de aire en dos fases, como se aprecia en el apartado.

- Una corriente de aire gaseoso de 6,649.65 kg/h = 229.58 kmol/h
- Una corriente de aire líquido de 1,184.18 kg/h = 40.88 kmol/h.

Esto da una fracción de vapor (γ):

$$\gamma = \frac{\text{corriente de aire gas}}{(\text{corriente de aire gas} + \text{corriente de aire liquido})} = 0.8459$$

ec. 76

Este dato tiene repercusión a la hora de hacer el diagrama de McCabe-Thiele de la primera columna.

El método de McCabe-Thiele se realizó para la primera columna, paso a paso, con el objetivo de que sea lo más ilustrativo posible y no se generen dudas a la hora de realizar los diagramas de las siguientes columnas.

1. Se sitúan los puntos x_F , x_D y x_B , en respectivamente.
2. La fracción de líquido de la corriente entrante es 1- γ .
La pendiente de la recta de alimentación será:

$$m = \frac{\gamma}{\gamma - 1} = 0.18217$$

ec. 77

La recta de alimentación quedará como:

$$y = -0.18217x + 0.934$$

ec. 78

3. Una vez se ha construido la recta de alimentación se debe calcular la relación de reflujo. Para ello se calcula primero la relación de reflujo mínima, que provoca un pinzamiento en la columna, aumentando el número de etapas de la columna de forma infinita. Esta relación de reflujo mínimo se calcula realizando una recta desde el punto x_D hasta el corte de la recta de alimentación con la curva de equilibrio y extendiéndola hasta el eje y. Como se sabe, si ese fuese la hipotética recta de rectificación, la ecuación de la recta sería:

$$y = \frac{R_{min}}{1 + R_{min}}x + \frac{1}{1 + R_{min}}x_D$$

ec. 79

Para $x=0$, $y=0.465$

$$R_{min} = \frac{x_D}{0.425} - 1 = 1.31$$

4. Suponiendo que el reflujo real es 1.5 veces el reflujo mínimo, el reflujo real quedaría:
 $R = 1.5 * R_{min} = 1.96$

Recalculando la recta de rectificación quedaría:

$$y = 0.66216x + 0.33108$$

5. Para calcular la recta de agotamiento, se puede calcular matemáticamente o se puede dibujar gráficamente. Por su definición, la recta de agotamiento es la recta que corta desde el punto x_B con la intersección de la recta de alimentación y la recta de rectificación.
6. Una vez se han calculado todas las rectas de trabajo, si dibujan los escalones característicos de un diagrama McCabe-Thiele. El primer escalón empieza en el punto x_D , y sigue paralelo al eje x hasta que toca con la curva de equilibrio. Entonces, el escalón descende, esta vez perpendicular al eje x, hasta tocar la recta de rectificación.

El proceso continúa, hasta que la recta de rectificación queda por encima de la recta de agotamiento. Entonces los escalones se apoyan en la recta de agotamiento. Los escalones siguen hasta que el último escalón cae exactamente sobre el punto x_B .

Cada punto de corte de los escalones con la curva de equilibrio será una etapa de equilibrio. Y como una de las suposiciones de McCabe-Thiele, es que cada etapa de equilibrio corresponde un plato teórico, cada corte será un plato teórico de la columna.

En este caso la columna tendrá 7 platos teóricos. El plato teórico de alimentación es aquel donde se produce el salto de la recta de rectificación a la recta de agotamiento, en este caso el plato 6.

Un valor común para la eficacia de los platos es 0.6. Por tanto, el valor real de la columna de destilación de alta presión será de 12 platos.

Una vez calculados los platos teóricos, se debe calcular:

- Calores de hervidor y condensador.
- Números de etapas reales.
- Altura de la columna.

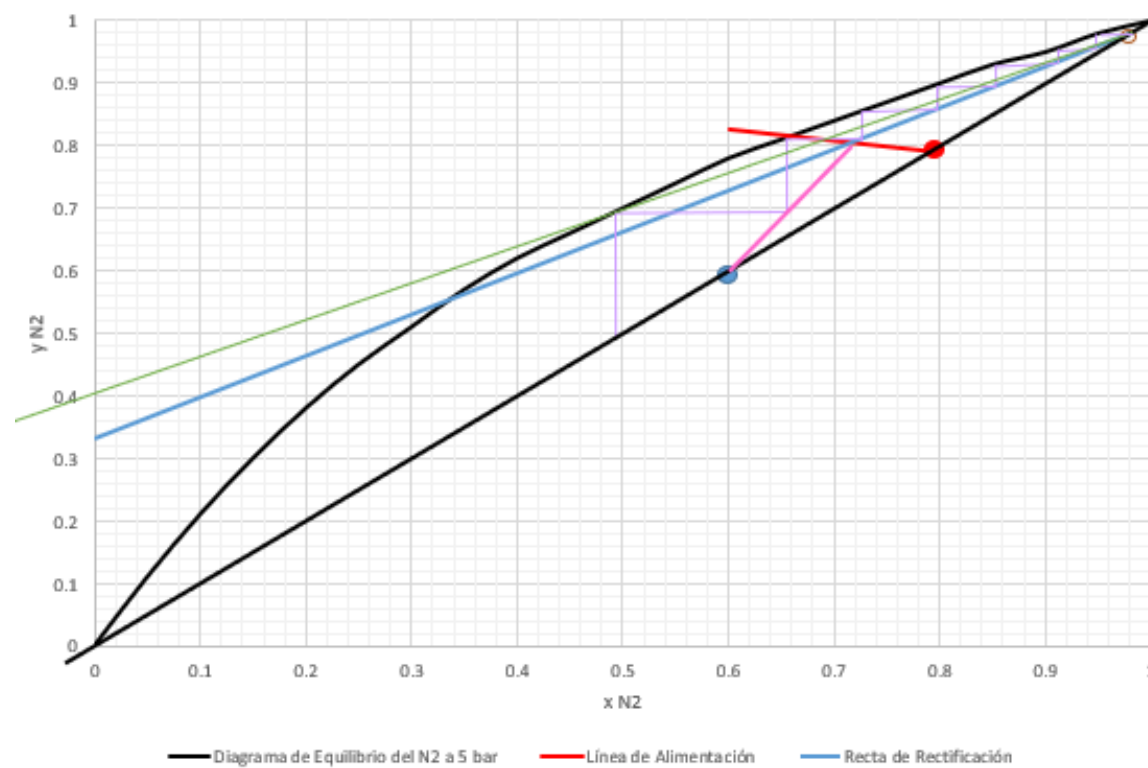


Figura 43: Diagrama de Equilibrio del Nitrógeno a 5 bar para el Diseño de la Torre de Alta Presión.

En este caso se tiene una mezcla del 60% N₂ y 40% O₂. Para calcular la entalpía de vaporización de esta mezcla, se puede hacer una proporción según las cantidades aportadas a la mezcla.

Las entalpías de vaporización están en el apartado, por tanto, para una mezcla de las condiciones del hervidor:

$$\Delta H^{vap} = \%N_2 * \Delta H_{N_2}^{vap} + \%O_2 * \Delta H_{O_2}^{vap} \quad \text{ec. 80}$$

Aplicando los balances de materia, ec. 63 y 64.

Se tienen dos ecuaciones y dos incógnitas, D y B, ya que el resto es conocido:

- $F = 270.46$
- $x_f = 0.79$
- $x_B = 0.60$
- $x_D = 0.98$

Haciendo uso de las funciones de Excel MDETERM para el método de los determinantes, se obtiene:

$$D = 128.902 \text{ kmol/h}$$

$$B = 141.556 \text{ kmol/h}$$

Para conocer el vapor que vaporiza el hervidor, es necesario conocer cuál es la recta de agotamiento. Se conocen dos puntos:

- El punto en la diagonal (0,6:0,6)
- El punto de corte con la recta de alimentación y de rectificado (0,715:0,805)

Recordando la recta de agotamiento, ecn. 70:

Con estos datos se puede conocer la pendiente de la recta:

$$\frac{\bar{L}}{\bar{V}} = \frac{0.805 - 0.6}{0.715 - 0.6}$$

Por otro lado, mediante el balance en el hervidor (ec. 68) se sabe que:

$$\bar{L} = \bar{V} + B$$

$$\bar{V} = 180.87 \text{ kmol/h}$$

$$\bar{L} = 322.44 \text{ kmol/h}$$

$$L = 252.49 \text{ kmol/h}$$

$$V = 381.39 \text{ kmol/h}$$

El calor del hervidor se calcula conociendo la cantidad de vapor que vaporiza y conociendo la entalpía de vaporización del producto.

$$Q_H = \bar{V} * \Delta H^{vap} = 548,427.77 \text{ kJ/h} \quad \text{ec. 81}$$

Una vez calculado el calor del hervidor, se debe calcular el calor del condensador.

El condensador es parcial, debido a que el nitrógeno puro que sale por la cabeza, que será realimentado a la columna de baja presión es gas, pero el reflujo es líquido.

$$Q_C = D * R * \Delta H^{vap} = 705,120.94 \text{ kJ/h} \quad \text{ec. 82}$$

Una vez calculados los calores y caudales de la columna +, es necesario calcular el diámetro y altura.

La altura de la columna será la altura de cada etapa multiplicado por el número de etapas reales.

Una altura de etapa estandarizada son 24", que a su paso a centímetros es de unos 61 cm por etapa. Aplicando esta altura a las 12 etapas reales de la columna, se obtiene una altura de unos 7.32 metros.

Para calcular el parámetro de flujo, se utiliza la ec. 73. Siendo L el líquido que cae por los platos en la sección de rectificación y V el vapor que asciende por los platos en la sección de rectificación. Para V se toma una composición molar media en nitrógeno de 0.9 mientras que para L se toma una composición molar media de 0.7.

$$PM_V = 0.9 * 28 + 0.1 * 32 = 28.4 \text{ g/mol}$$

$$PM_L = 0.7 * 28 + 0.3 * 32 = 29.2 \text{ g/mol}$$

La densidad del vapor será la que se obtenga de la ley de los gases ideales a las condiciones en las que se encuentre el vapor, P = 5 bar y T = -174 °C.

$$\rho_{vap} = \frac{P * PM}{R * T} = 17.486 \quad \text{ec. 83}$$

La densidad del líquido será la densidad proporcional de cada uno de los componentes:

$$\rho_{liq} = 0.7 * 808.5 + 0.3 * 1141 = 908.25 \quad \text{ec. 84}$$

Por lo que el F_{LV} es de:

$$F_{LV} = \frac{(PM_L * L)}{(PM_V * V)} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} = 0.094$$

Como F_{LV} está entre 0.1 y 1; la relación A_d/A_t será igual a:

$$\frac{A_d}{A_t} = 0.1$$

El siguiente paso es el cálculo del coeficiente de Souders y Brown, ya que conociendo la altura de platos y la relación de flujo se puede obtener la intersección.

El C_{SB} toma un valor de 0.33 ft/s para 24" de altura de platos y una relación de flujo de 0.08.

La velocidad de inundación de los platos se calcula con la ec. 74. Asumiendo una tensión superficial de $\sigma = 8.06$ dinas/cm, la velocidad de inundación quedaría como:

$$U_f^N = 0.33 * \left(\frac{8.648}{20}\right)^{0.2} \left(\frac{(908.25 - 17.486)}{17.486}\right)^{0.5} * 1 * 1 = 0.6071 \frac{ft}{s}$$

$$U_f^N = 0.63 \text{ m/s}$$

Por último, el diámetro de la columna es (calculada con ec. 75):

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * 381.39 * 28.409}{0.8 * 0.63 * \pi * (1 - 0.1) * 17.486 * 3600}} = 0.7081 \text{ m}$$

Tabla 74: Resumen de la Columna de Alta Presión.

Variable	Magnitud	Unidades
Presión	5	bar
NTU	12	-
HTU	0.61	m
Altura de la Torre	7.32	m
Diámetro de la torre	0.7081	m
Destilado D	128.9020	kmol/h
$x_{N_2}^D$	0.98	-
Producto de fondo B	141.5566	kmol/h
$x_{N_2}^B$	0.6	-
Temperatura del Destilado	-174	°C
Temperatura del Fondo	-170	°C
Calor del Rehevador	548,427.7731	kJ/h
Calor del Condensador	705,120.9448	kJ/h

11.5.4.2. Columna de Baja Presión

La columna de baja presión es una columna que tiene una alimentación, la cual es el producto de fondo de la columna de alta presión, es decir 141.56 kmol/h de una corriente líquida saturada, con un 60% de nitrógeno y 40% de oxígeno.

Las composiciones exigidas de fondo y de cabeza en la columna de baja presión son 0.01 y 0.99 respectivamente.

Partiendo de esta base, se calculan las rectas de alimentación, rectificación y agotamiento y el diagrama de McCabe-Thiele.

$$F = D + B$$

$$F x_F = D x_D + B x_B;$$

$$F = 141.56 \text{ kmol/h}$$

$$D = 85.22 \text{ kmol/h}$$

$$B = 56.33 \text{ kmol/h}$$

La recta de alimentación es una perpendicular con pendiente infinita debido a que es un líquido saturado:

$$m = \frac{1}{1-1} = \infty$$

- La recta de rectificación tiene una $y_{\min} = 0.64$. Esto quiere decir que la $R_{\min} = 0.547$. Para $x=0$, $y= 0.465$

$$R_{\min} = \frac{x_D}{0.465} - 1 = 0.547$$

Aplicando la relación $R = 1.5 \cdot R_{\min}$, $R = 0.82$.

La recta de rectificación sería:

$$y = 0.45064x + 0.54386$$

- De la recta de agotamiento solo se puede conocer fielmente la pendiente, debido a que la ordenada en el origen sería una extensión al eje y negativo, el cual no está representando.

$$\frac{\bar{L}}{\bar{V}} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0.01 - 0.82}{0.01 - 0.6} = 1.37$$

La ecuación de la recta de agotamiento sería:

$$y = 1.37288x - 0.01 \frac{B}{\bar{V}}$$

El número de etapas de equilibrio teóricas es de 12. Aplicando un factor de eficiencia de platos de 0.6 el número de platos reales es de 20 platos. Con una separación de 24" o 61 cm, la columna tiene una altura de 12.2 metros.

La alimentación se lleva a cabo en el plato número 6.

Se necesitan conocer el resto de caudales importantes en la columna.

En la sección de rectificación se tiene:

$$R_{\text{real}} = \frac{L}{D} \quad \text{ec. 85}$$

$$R_{\text{real}} = 0.82$$

$$L = 69.91 \text{ kmol/h}$$

$$V = L + D \quad \text{ec. 86}$$

$$V = 155.13 \text{ kmol/h}$$

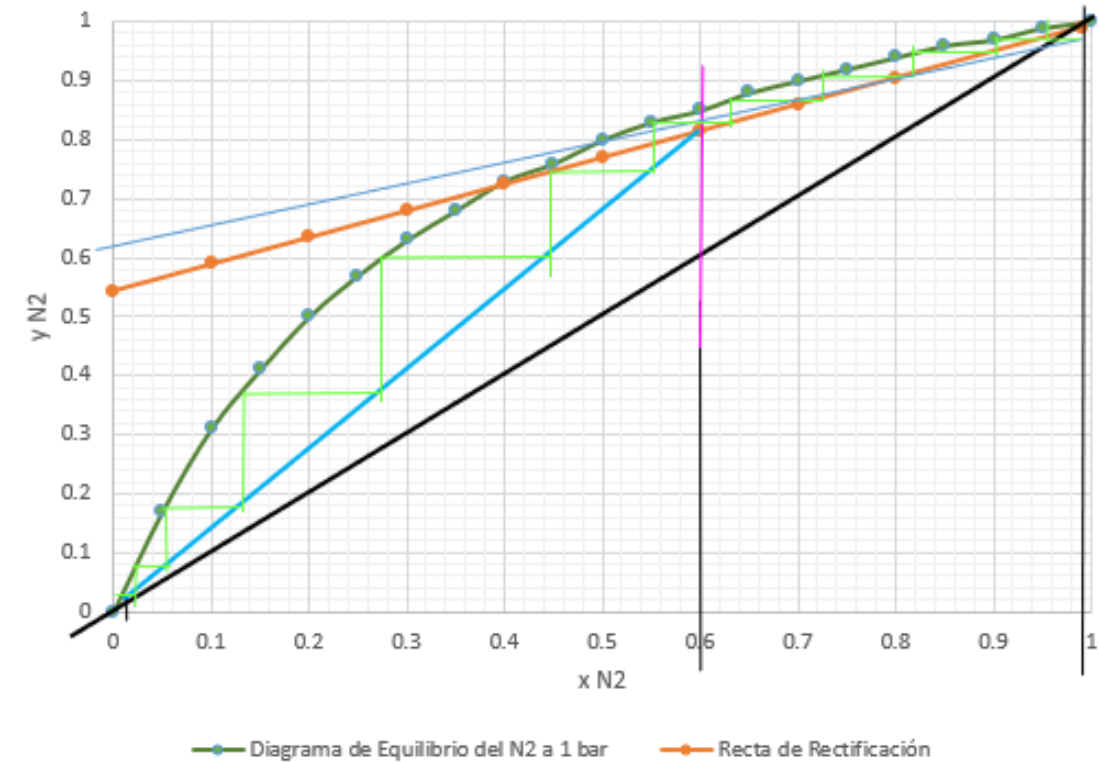


Figura 44: Diagrama de Equilibrio del Nitrógeno a 1 bar para el Diseño de la Torre de Baja Presión.

En la sección de agotamiento se tiene:

$$\frac{\bar{L}}{\bar{V}} = 1.38 \quad \text{ec. 87}$$

$$B + \bar{V} = \bar{L}$$

$$\bar{V} = 151.08 \text{ kmol/h}$$

$$\bar{L} = 207.41 \text{ kmol/h}$$

Una vez calculado todos los caudales de la columna se procede al cálculo de los calores de hervidor y condensador (ec. 81 y 82):

$$Q_R = 151.08 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} * 3403.7 \text{ kJ/kmol} = 514,222.18 \text{ kJ/h}$$

El calor en el condensador es:

$$Q_C = \left(85.22 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \right) * (0.82) * \left(2786.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) = 194,788.46 \text{ kJ/h}$$

El cálculo del diámetro se va a realizar para los caudales más desfavorables, es decir, para el mayor vapor que hay en la columna y el mayor líquido que hay en la columna. Esto es:

- V = 155.13 kmol/h
- L = 207.41 kmol/h

Para la composición de dichos caudales se van a tomar representativo de toda la columna las composiciones a la entrada de la columna. Es decir, la composición del líquido será 0.6 mientras que la del vapor, será la composición en equilibrio con dicho líquido, es decir 0.86.

$$PM_V = 0.86 * 28.57 + 0.14 * 31.99 = 28.57 \text{ kg/kmol}$$

$$PM_L = 0.6 * 28.57 + 0.4 * 31.99 = 29.61 \text{ kg/kmol}$$

La densidad del líquido será la correspondiente a la proporción de la composición del líquido, mientras que la del vapor será la propia de un gas ideal con ese peso molecular a esas condiciones de presión y temperatura. La densidad del vapor se determina con la ley de los gases ideales.

$$\rho = \frac{P * PM}{R * T}$$

$$\rho_{liq} = 0.6 * 808.5 + 0.4 * 1141 = 941.50 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{vap} = \frac{P * PM}{R * T} = \frac{101.325 * 28.56}{8.314 * 79} = 4.41 \text{ kg/m}^3$$

$$F_{LV} = \frac{(PM_L * L)}{(PM_V * V)} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} = \frac{(29.61 * 207.41)}{(28.57 * 155.13)} \sqrt{\frac{4.41}{941.50}} = 0.095$$

Como el parámetro de flujo es menor a 0.1; el valor de la relación sería $\frac{A_d}{A_t} = 0.1$.

$$C_{SB} = 0.34 \text{ ft/s}$$

$$U_f^N = 0.34 * \left(\frac{9.364}{20}\right)^{0.2} \left(\frac{(941.50 - 4.41)}{4.41}\right)^{\frac{1}{2}} * 1 * 1 = 4.14 \frac{ft}{s}$$

$$U_f^N = 1.298 \text{ m/s}$$

El diámetro de la columna sería:

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * 155.13 * 28.57}{0.8 * 1.298 * \pi * (1 - 0.1) * 4.41 * 3600}}$$

$$D_T = 0.62 \text{ m}$$

Tabla 75: Resumen de la Columna de Baja Presión.

Variable	Magnitud	Unidades
Presión	1	bar
NTU	20	-
HTU	0.61	m
Altura de la Torre	12.2	m
Diámetro de la torre	0.62	m
Destilado D	85.2228	kmol/h
$x_{N_2}^D$	0.99	-
Producto de fondo B	56.3337	kmol/h
$x_{N_2}^B$	0.01	-
Temperatura del Destilado	-195	°C
Temperatura del Fondo	-184	°C
Calor del Rehervidor	514,222.1769	kJ/h
Calor del Condensador	194,788.4612	kJ/h

11.5.4.3. Columna de Argón Bruto

Para la columna de argón bruto, se va a suponer que en la columna de baja presión hay un sangrado, a una altura determinada en la que no hay nitrógeno y solo hay oxígeno y argón. Suponiendo que todo el argón que entra al proceso entra a la columna de argón y que este argón es un 18% en composición molar de la corriente:

- El caudal de argón que entra al proceso es de 1.83 kmol/h.
- Si este argón es un 18% de la corriente, la corriente total debe ser de 10.18 kmol/h.
- De esos 10.18 kmol/h, 8.35 kmol/h deben ser de oxígeno.
- El destilado, argón puro, tendrá un 98% de pureza, mientras que el producto de fondo tendrá una pureza en argón de 0.0005%.

Como esta corriente de sangrado no tiene nitrógeno, está muy cerca del producto de fondo. Entonces, se puede suponer que la fracción vapor es muy baja, entorno a un 10%.

Con estos datos previos, se calcula la columna de argón bruto.

$$F = D + B$$

$$Fx_F = Dx_D + Bx_B;$$

$$F = 10.18 \text{ kmol/h}$$

$$D = 1.86 \text{ kmol/h}$$

$$B = 8.31 \text{ kmol/h}$$

- La recta de alimentación tiene una pendiente de:

$$m = \frac{l}{l-1} = \frac{0.9}{0.9-1} = -9$$

- A $x=0$, $y=0.065$. Esto quiere decir que la $R_{\min}=14.08$.
Aplicando la relación $R=1.5 \cdot R_{\min}$, $R=21.12$, y por tanto, la recta de rectificación (LOSE) sería:

$$y = 0.95478x + 0.04431$$

- La recta de agotamiento (LOSA) tiene una pendiente de:

$$\frac{\bar{L}}{\bar{V}} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0.0005 - 0.21}{0.0005 - 0.175} = 1.20$$

La recta de agotamiento quedaría:

$$y = 1.20057x - 0.0005 \frac{B}{\bar{V}}$$

El número de etapas de equilibrio teóricas es de 50. Aplicando un factor de eficiencia de platos de 0.6 el número de platos reales es de 79 platos. Con una separación de 24" o 61 cm, la columna tiene una altura de 47.82 metros.

La alimentación se lleva a cabo en el plato número 34.

Se necesita conocer el resto de los caudales importantes en la columna.

En la sección de rectificación se tiene:

$$R_{real} = \frac{L}{D}$$

$$R_{real} = 21.12$$

$$D = 1.86 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$L = 39.37 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$V = L + D$$

Figura 45: Diagrama de Equilibrio del Argón a 1 bar para el Diseño de la Torre de Argón Bruto.

$$V = 41.24 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

En la sección de agotamiento se tiene que:

$$\frac{\bar{L}}{\bar{V}} = 1.20$$

$$B + \bar{V} = \bar{L}$$

$$\bar{V} = 41.66 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$\bar{L} = 49.97 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

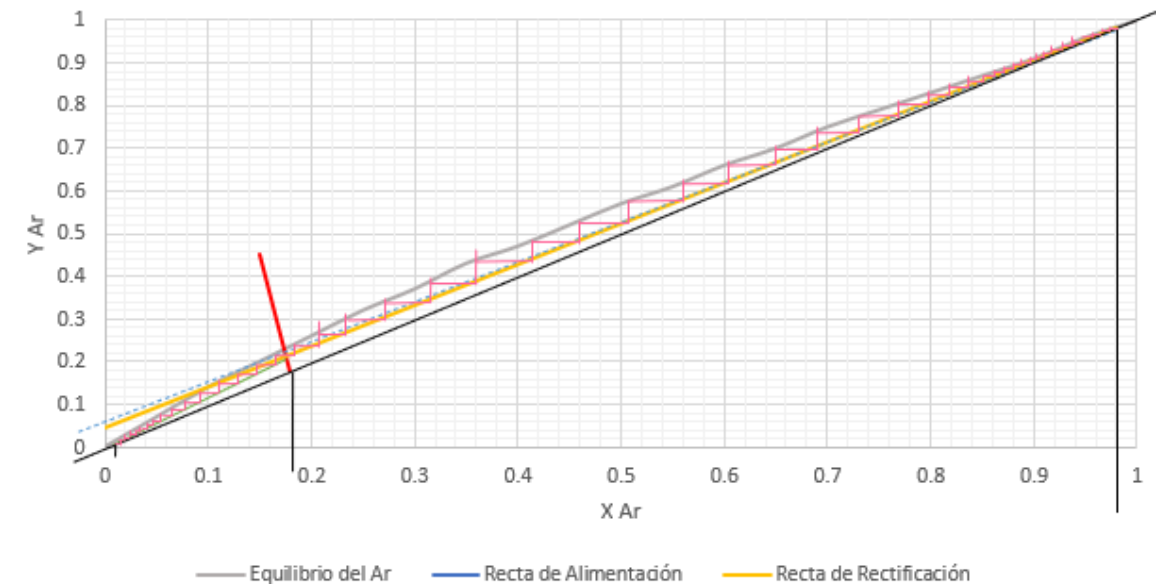
Una vez calculado todos los caudales de la columna se procede al cálculo de los calores de rehervidor y condensador:

$$Q_R = 41.66 * 3971.6 = 165,448.09 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_C = 21.11 * 1.86 * 6,467.6 = 254,657.08 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

El cálculo del diámetro se va a realizar para los caudales más desfavorables, es decir, para el mayor vapor que hay en la columna y el mayor líquido que hay en la columna. Esto es:

Diagrama de Equilibrio del Ar a 1 bar



$$\bar{V} = 41.66 \frac{kmol}{h}$$

$$\bar{L} = 49.97 \frac{kmol}{h}$$

Para la composición de dichos caudales se van a tomar representativo de toda la columna las composiciones a la entrada de la columna. Es decir, la composición del líquido será 0.18 de argón mientras que la de vapor, será la composición en equilibrio con dicho líquido, es decir, 0.236.

$$PM_V = 0.18 * 40 + 0.82 * 32 = 33.87 \frac{g}{mol}$$

$$PM_L = 0.22 * 40 + 0.78 * 32 = 33.43 \frac{g}{mol}$$

La densidad del líquido será la correspondiente a la proporción de la composición del líquido, mientras que la del vapor será la propia de un gas ideal con ese peso molecular a esas condiciones de presión y temperatura.

$$\rho_{liq} = 0.18 * 1394 + 0.82 * 1141 = 1186.54 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{vap} = \frac{P * PM}{R * T} = \frac{101325 * 33.87}{8.314 * 89} = 4.64 \frac{kg}{m^3}$$

$$F_{LV} = \frac{(PM_L * L)}{(PM_V * V)} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} = \frac{(33.43 * 39.37)}{(33.87 * 41.24)} \sqrt{\frac{4.64}{1186.54}} = 0.07$$

Como el parámetro de flujo es menor o igual a 0.1; el valor de la relación:

$$\frac{A_d}{A_t} = 0.01$$

$$C_{SB} = 0.34 \text{ ft/s}$$

$$U_f^N = 0.34 * \left(\frac{13.42}{20}\right)^{0.2} \left(\frac{(1186.54 - 4.64)}{4.64}\right)^{\frac{1}{2}} * 1 * 1 = 1.53 \frac{ft}{s}$$

$$U_f^N = 1.57 \text{ m/s}$$

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * 41.24 * 33.87}{0.8 * 1.53 * \pi * (1 - 0.01) * 4.64 * 3600}} = 0.31 \text{ m}$$

$$D_T = 0.31 \text{ m}$$

Tabla 76: Resumen de la Columna de Argón Bruto.

Variable	Magnitud	Unidades
Presión	1	bar
NTU	78.4	-
HTU	0.61	m
Altura de la Torre	47.824	m
Diámetro de la torre	0.3128	m
Destilado D	1.8647	kmol/h
x_{Ar}^D	0.98	-
Producto de fondo B	8.3107	kmol/h
x_{Ar}^B	0.0005	-
Temperatura del Destilado	-186	°C
Temperatura del Fondo	-183	°C
Calor del Rehervidor	165,448.0858	kJ/h
Calor del Condensador	254,657.0827	kJ/h
Plato de Alimentación	34	-

Anexo 6: Tablas del Estudio Económico – Financiero

Tabla 77: Costos de Materia Prima.

Año	Costo por Consumo de Zeolita, USD/año	Costo por Energía Eléctrica, USD/año	Costos por Consumo de Agua, USD/año	Costos Mto. Equipos de Pretratamiento	Total Costos, USD/año
1	2,417.63	260,904.72	35,317.30	1,637.04	300,276.68
2	2,417.63	260,904.72	35,317.30	1,637.04	300,276.68
3	2,417.63	260,904.72	35,317.30	1,637.04	300,276.68
4	2,659.57	286,995.18	38,851.62	1,637.04	330,143.41
5	2,659.57	286,995.18	38,851.62	1,637.04	330,143.41
6	2,659.57	286,995.18	38,851.62	1,637.04	330,143.41
7	2,901.21	313,085.64	42,381.62	1,637.04	360,005.51
8	2,901.21	313,085.64	42,381.62	1,637.04	360,005.51
9	2,901.21	313,085.64	42,381.62	1,637.04	360,005.51
10	3,143.15	339,176.13	45,915.95	1,637.04	389,872.26
11	3,143.15	339,176.13	45,915.95	1,637.04	389,872.26
12	3,143.15	339,176.13	45,915.95	1,637.04	389,872.26
13	3,384.80	365,266.59	49,445.95	1,637.04	419,734.37
14	3,384.80	365,266.59	49,445.95	1,637.04	419,734.37
15	3,384.80	365,266.59	49,445.95	1,637.04	419,734.37
16	3,868.38	417,447.54	56,510.27	1,637.04	479,463.23
17	3,868.38	417,447.54	56,510.27	1,637.04	479,463.23
18	4,351.97	469,628.49	63,574.60	1,637.04	539,192.09
19	4,351.97	469,628.49	63,574.60	1,637.04	539,192.09
20	4,835.55	521,809.41	70,638.92	1,637.04	598,920.92

Tabla 78: Costos de Producción.

COSTOS DE PRODUCCIÓN												
AÑO	Costos de Materia Prima	Costos de Mano de Obra	Costos de Envases	Costos de Energía Eléctrica	Costos por Consumo de Agua	Costo de Otros Materiales	Depreciación y Amortización	Subtotal	Costos de Mantenimiento	Costos de Control de Calidad	Costos Medioambientales	GRAN TOTAL
1	\$300,276.68	\$33,190.98	\$1,918,565.00	\$1,650,261.09	\$133,757.93	\$64,998.44	\$1,350,515.06	\$5,451,565.19	\$663,704.31	\$4,978.65	\$27,257.83	\$6,147,505.97
2	\$300,276.68	\$33,356.94	\$21,065.00	\$1,650,261.09	\$133,757.93	\$65,648.43	\$1,350,515.06	\$3,554,881.13	\$663,704.31	\$5,003.54	\$17,774.41	\$4,241,363.38
3	\$300,276.68	\$33,523.72	\$21,065.00	\$1,650,261.09	\$133,757.93	\$66,304.91	\$1,350,515.06	\$3,555,704.40	\$663,704.31	\$5,028.56	\$17,778.52	\$4,242,215.78
4	\$330,143.41	\$33,691.34	\$210,815.00	\$1,815,408.33	\$144,832.01	\$66,967.96	\$1,206,173.84	\$3,808,031.89	\$663,704.31	\$5,053.70	\$19,040.16	\$4,495,830.05
5	\$330,143.41	\$33,859.80	\$21,065.00	\$1,815,408.33	\$144,832.01	\$67,637.64	\$1,206,173.84	\$3,619,120.02	\$663,704.31	\$5,078.97	\$18,095.60	\$4,305,998.90
6	\$330,143.41	\$34,029.10	\$21,065.00	\$1,815,408.33	\$144,832.01	\$68,314.02	\$1,206,173.84	\$3,619,965.70	\$663,704.31	\$5,104.36	\$18,099.83	\$4,306,874.20
7	\$360,005.51	\$34,199.24	\$210,815.00	\$1,980,353.68	\$155,892.55	\$68,997.16	\$1,206,173.84	\$4,016,436.98	\$663,704.31	\$5,129.89	\$20,082.18	\$4,705,353.36

8	\$360,005.51	\$34,370.24	\$21,065.00	\$1,980,353.68	\$155,892.55	\$69,687.13	\$1,206,173.84	\$3,827,547.95	\$663,704.31	\$5,155.54	\$19,137.74	\$4,515,545.53
9	\$360,005.51	\$34,542.09	\$21,065.00	\$1,980,353.68	\$155,892.55	\$70,384.00	\$1,206,173.84	\$3,828,416.67	\$663,704.31	\$5,181.31	\$19,142.08	\$4,516,444.37
10	\$389,872.26	\$34,714.80	\$210,815.00	\$2,145,500.92	\$166,966.62	\$71,087.84	\$1,206,173.84	\$4,225,131.30	\$663,704.31	\$5,207.22	\$21,125.66	\$4,915,168.48
11	\$389,872.26	\$34,888.38	\$21,065.00	\$2,145,500.92	\$166,966.62	\$71,798.72	\$0.00	\$2,830,091.91	\$663,704.31	\$5,233.26	\$14,150.46	\$3,513,179.93
12	\$389,872.26	\$35,062.82	\$21,065.00	\$2,145,500.92	\$166,966.62	\$72,516.71	\$0.00	\$2,830,984.34	\$663,704.31	\$5,259.42	\$14,154.92	\$3,514,102.99
13	\$419,734.37	\$35,238.13	\$210,815.00	\$2,310,446.28	\$178,027.16	\$73,241.87	\$0.00	\$3,227,502.81	\$663,704.31	\$5,285.72	\$16,137.51	\$3,912,630.35
14	\$419,734.37	\$35,414.32	\$21,065.00	\$2,310,446.28	\$178,027.16	\$73,974.29	\$0.00	\$3,038,661.42	\$663,704.31	\$5,312.15	\$15,193.31	\$3,722,871.18
15	\$419,734.37	\$35,591.39	\$21,065.00	\$2,310,446.28	\$178,027.16	\$74,714.03	\$0.00	\$3,039,578.24	\$663,704.31	\$5,338.71	\$15,197.89	\$3,723,819.14
16	\$479,463.23	\$35,769.35	\$400,565.00	\$2,640,538.87	\$200,161.78	\$75,461.17	\$0.00	\$3,831,959.40	\$663,704.31	\$5,365.40	\$19,159.80	\$4,520,188.91
17	\$479,463.23	\$35,948.20	\$21,065.00	\$2,640,538.87	\$200,161.78	\$76,215.79	\$0.00	\$3,453,392.86	\$663,704.31	\$5,392.23	\$17,266.96	\$4,139,756.36
18	\$539,192.09	\$36,127.94	\$400,565.00	\$2,970,631.47	\$222,296.39	\$76,977.94	\$0.00	\$4,245,790.83	\$663,704.31	\$5,419.19	\$21,228.95	\$4,936,143.28
19	\$539,192.09	\$36,308.58	\$21,065.00	\$2,970,631.47	\$222,296.39	\$77,747.72	\$0.00	\$3,867,241.25	\$663,704.31	\$5,446.29	\$19,336.21	\$4,555,728.05
20	\$598,920.92	\$36,490.12	\$400,565.00	\$3,300,724.06	\$244,431.01	\$78,525.20	\$0.00	\$4,659,656.31	\$663,704.31	\$5,473.52	\$23,298.28	\$5,352,132.41

Tabla 80: Costos de Administración.

Tabla 79: Costos asociados a Envases y Etiquetas.

Año	Total Costos de Envase, USD/año
1	\$1,918,565.00
2	\$21,065.00
3	\$21,065.00
4	\$210,815.00
5	\$21,065.00
6	\$21,065.00
7	\$210,815.00
8	\$21,065.00
9	\$21,065.00
10	\$210,815.00
11	\$21,065.00
12	\$21,065.00
13	\$210,815.00
14	\$21,065.00
15	\$21,065.00
16	\$400,565.00
17	\$21,065.00
18	\$400,565.00
19	\$21,065.00
20	\$400,565.00

Año	Sueldos Personal No Operativo	Materiales de Oficina	Costos de Energía Eléc. De Equipos Auxiliares para Oficinas	Total
1	\$602,042.43	\$10,000.00	\$59,580.41	\$671,622.84
2	\$605,052.64	\$10,050.000	\$59,878.31	\$674,980.95
3	\$608,077.90	\$10,100.250	\$60,177.71	\$678,355.86
4	\$611,118.29	\$10,150.751	\$60,478.59	\$681,747.64
5	\$614,173.88	\$10,201.505	\$60,780.99	\$685,156.38
6	\$617,244.75	\$10,252.513	\$61,084.89	\$688,582.16
7	\$620,330.98	\$10,303.775	\$61,390.32	\$692,025.07
8	\$623,432.63	\$10,355.294	\$61,697.27	\$695,485.19
9	\$626,549.80	\$10,407.070	\$62,005.75	\$698,962.62
10	\$629,682.55	\$10,459.106	\$62,315.78	\$702,457.43
11	\$632,830.96	\$10,511.401	\$62,627.36	\$705,969.72
12	\$635,995.11	\$10,563.958	\$62,940.50	\$709,499.57
13	\$639,175.09	\$10,616.778	\$63,255.20	\$713,047.07
14	\$642,370.96	\$10,669.862	\$63,571.48	\$716,612.30
15	\$645,582.82	\$10,723.211	\$63,889.33	\$720,195.36
16	\$648,810.73	\$10,776.827	\$64,208.78	\$723,796.34
17	\$652,054.79	\$10,830.712	\$64,529.82	\$727,415.32
18	\$655,315.06	\$10,884.865	\$64,852.47	\$731,052.40
19	\$658,591.64	\$10,939.289	\$65,176.74	\$734,707.66
20	\$661,884.59	\$10,993.986	\$65,502.62	\$738,381.20

Tabla 81: Costos de Ventas.

Año	Costos de Ventas
1	\$1,203,375.67
2	\$867,590.18
3	\$868,336.17
4	\$913,690.18
5	\$880,792.11
6	\$881,551.12
7	\$952,478.55
8	\$919,593.66
9	\$920,365.94
10	\$991,345.75
11	\$744,555.82
12	\$745,341.63
13	\$816,296.02
14	\$783,438.26
15	\$784,237.85
16	\$925,409.16
17	\$858,912.65
18	\$1,000,093.36
19	\$933,606.30
20	\$1,074,796.52

Tabla 82: Costos Totales de Operación.

Año	Costos de Producción	Costos de Administración	Costos de Ventas	Total
1	\$6,147,505.97	\$671,622.84	\$1,203,375.67	\$8,022,504.48
2	\$4,241,363.38	\$674,980.95	\$867,590.18	\$5,783,934.51
3	\$4,242,215.78	\$678,355.86	\$868,336.17	\$5,788,907.82
4	\$4,495,830.05	\$681,747.64	\$913,690.18	\$6,091,267.87
5	\$4,305,998.90	\$685,156.38	\$880,792.11	\$5,871,947.38
6	\$4,306,874.20	\$688,582.16	\$881,551.12	\$5,877,007.48
7	\$4,705,353.36	\$692,025.07	\$952,478.55	\$6,349,856.97
8	\$4,515,545.53	\$695,485.19	\$919,593.66	\$6,130,624.38
9	\$4,516,444.37	\$698,962.62	\$920,365.94	\$6,135,772.94
10	\$4,915,168.48	\$702,457.43	\$991,345.75	\$6,608,971.66
11	\$3,513,179.93	\$705,969.72	\$744,555.82	\$4,963,705.47
12	\$3,514,102.99	\$709,499.57	\$745,341.63	\$4,968,944.18
13	\$3,912,630.35	\$713,047.07	\$816,296.02	\$5,441,973.43
14	\$3,722,871.18	\$716,612.30	\$783,438.26	\$5,222,921.75

15	\$3,723,819.14	\$720,195.36	\$784,237.85	\$5,228,252.36
16	\$4,520,188.91	\$723,796.34	\$925,409.16	\$6,169,394.41
17	\$4,139,756.36	\$727,415.32	\$858,912.65	\$5,726,084.33
18	\$4,936,143.28	\$731,052.40	\$1,000,093.36	\$6,667,289.03
19	\$4,555,728.05	\$734,707.66	\$933,606.30	\$6,224,042.01
20	\$5,352,132.41	\$738,381.20	\$1,074,796.52	\$7,165,310.13

Tabla 83: Costo Unitario de Procesamiento del Aire.

Año	Costos Totales	Aire Procesado, m3/día	Aire Procesado, ton/día	Costo Unitario, USD/m3	Costo Unitario, USD/ton
1	\$8,022,504.48	3,022.03	81.74	\$9.25	\$341.87
2	\$5,783,934.51	3,022.03	81.74	\$7.22	\$266.84
3	\$5,788,907.82	3,022.03	81.74	\$7.22	\$267.01
4	\$6,091,267.87	3,324.46	89.92	\$6.81	\$251.93
5	\$5,871,947.38	3,324.46	89.92	\$6.63	\$245.25
6	\$5,877,007.48	3,324.46	89.92	\$6.64	\$245.40
7	\$6,349,856.97	3,626.52	98.09	\$6.44	\$238.17
8	\$6,130,624.38	3,626.52	98.09	\$6.28	\$232.05
9	\$6,135,772.94	3,626.52	98.09	\$6.28	\$232.19
10	\$6,608,971.66	3,928.94	106.27	\$6.13	\$226.52
11	\$4,963,705.47	3,928.94	106.27	\$3.46	\$127.97
12	\$4,968,944.18	3,928.94	106.27	\$3.46	\$128.10
13	\$5,441,973.43	4,231.00	114.44	\$3.52	\$130.28
14	\$5,222,921.75	4,231.00	114.44	\$3.38	\$125.04
15	\$5,228,252.36	4,231.00	114.44	\$3.39	\$125.17
16	\$6,169,394.41	4,835.48	130.79	\$3.50	\$129.23
17	\$5,726,084.33	4,835.48	130.79	\$3.24	\$119.95
18	\$6,667,289.03	5,439.96	147.14	\$3.36	\$124.14
19	\$6,224,042.01	5,439.96	147.14	\$3.13	\$115.89
20	\$7,165,310.13	6,044.44	163.49	\$3.25	\$120.07

Tabla 84: Ingresos anuales por ventas.

Año	Aire Procesado, ton/día	Precio de Venta, USD/m3	Precio de Venta, USD/ton	Ingresos, USD/año
1	81.74	\$13.87	\$512.81	\$15,299,757.05
2	81.74	\$10.83	\$400.26	\$11,941,902.10
3	81.74	\$10.83	\$400.51	\$11,949,362.06
4	89.92	\$10.22	\$377.90	\$12,402,902.14
5	89.92	\$9.95	\$367.87	\$12,073,921.41

6	89.92	\$9.96	\$368.11	\$12,081,511.55
7	98.09	\$9.66	\$357.26	\$12,790,785.79
8	98.09	\$9.41	\$348.07	\$12,461,936.91
9	98.09	\$9.42	\$348.29	\$12,469,659.73
10	106.27	\$9.19	\$339.78	\$13,179,457.82
11	106.27	\$5.19	\$191.95	\$7,445,558.20
12	106.27	\$5.20	\$192.16	\$7,453,416.27
13	114.44	\$5.29	\$195.42	\$8,162,960.15

14	114.44	\$5.07	\$187.56	\$7,834,382.62
15	114.44	\$5.08	\$187.75	\$7,842,378.54
16	130.79	\$5.24	\$193.85	\$9,254,091.62
17	130.79	\$4.87	\$179.92	\$8,589,126.50
18	147.14	\$5.04	\$186.22	\$10,000,933.55
19	147.14	\$4.70	\$173.84	\$9,336,063.02
20	163.49	\$4.87	\$180.11	\$10,747,965.20

Tabla 85: Inversión en Activos Fijos y Diferidos.

Concepto	Cantidad	Precio Unitario, USD	5% Fletes y Seguros, USD	Costos de Instalación, USD	Costo Total, USD
Activos Fijos					
<i>Producción</i>					
Venturi Scrubber	1	\$2,437.20	\$121.86	\$998.03	\$3,557.09
Ciclón	1	\$8,056.83	\$402.84	\$3,299.27	\$11,758.95
Paquete Planta Sigma	1	\$7,000,000.00	\$350,000.00	\$2,866,500.00	\$10,216,500.00
Torre Argón Bruto	1	\$150,000.00	\$7,500.00	\$61,425.00	\$218,925.00
Tanques Almacenamiento O2	2	\$87,200.00	\$4,360.00	\$35,708.40	\$254,536.80
Tanques Almacenamiento N2	2	\$87,200.00	\$4,360.00	\$35,708.40	\$254,536.80
Tanques Almacenamiento Ar	1	\$61,634.73	\$3,081.74	\$25,239.42	\$89,955.88
Otros Equipos del proceso no mencionados anteriormente	4	\$2,050.00	\$102.50	\$839.48	\$11,967.90
<i>Oficina y Ventas</i>					
Computadoras	138	\$942.85			\$136,618.97
Luminarias	114	\$24.93			\$2,984.39
Aires Acondicionados	26	\$914.25			\$24,959.03
Copiadoras	6	\$958.89			\$6,040.98
Impresoras	10	\$501.50			\$5,265.73
Microondas	12	\$227.08			\$2,861.24
Cafeteras	9	\$104.99			\$992.16
Refrigeradora	5	\$1,523.85			\$8,000.20
Extractores	1	\$6,490.95			\$6,815.50
Pantallas	8	\$3,296.95			\$27,694.38
Proyectores	10	\$1,027.72			\$10,791.09
<i>Terreno y Obra Civil</i>					
Terreno					\$72,000.00
Obra Civil					\$1,000,000.00
Activo Diferido					
Elaboración de Estudios, planeación					\$20,000.00

Constitución Legal de la Empresa, Permisos y Registros Correspondientes					\$150,000.00
Supervisión y Admón.. Del proyecto					\$20,000.00
Instalación, Arranque y Capacitación del Personal					\$30,000.00
Subtotal					\$12,586,762.08
5% Improvistos					\$629,338.10
TOTAL					\$13,216,100.18

Tabla 86: Desglose de Amortización del Préstamo para la Inversión

Año	Interés, USD	Anualidad, USD	Pago a Principal, USD	Deuda después del Pago, USD
0				\$7,774,176.58
1	\$1,943,544.14	\$2,177,333.55	\$233,789.41	\$7,540,387.17
2	\$1,885,096.79	\$2,177,333.55	\$292,236.76	\$7,248,150.40
3	\$1,812,037.60	\$2,177,333.55	\$365,295.95	\$6,882,854.45
4	\$1,720,713.61	\$2,177,333.55	\$456,619.94	\$6,426,234.51
5	\$1,606,558.63	\$2,177,333.55	\$570,774.93	\$5,855,459.58
6	\$1,463,864.90	\$2,177,333.55	\$713,468.66	\$5,141,990.92
7	\$1,285,497.73	\$2,177,333.55	\$891,835.82	\$4,250,155.10
8	\$1,062,538.77	\$2,177,333.55	\$1,114,794.78	\$3,135,360.32
9	\$783,840.08	\$2,177,333.55	\$1,393,493.47	\$1,741,866.84
10	\$435,466.71	\$2,177,333.55	\$1,741,866.84	\$0.00
11	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
12	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
13	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
14	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
15	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
16	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
17	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
18	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
19	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
20	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tabla 87: Depreciación de Equipos de Proceso (Parte 1).

Equipos, maquinaria auxiliar, etc.	Precio total	Fletes y Seguros, 5%	Instalación, USD	Total, USD	% depreciación anual según arto. 45 LCT	DEPRECIACIÓN, USD/año	1	2	3	4
Venturi Scrubber	\$2,437.20	\$121.86	\$998.03	\$3,557.09	10%	\$355.71	\$355.71	\$355.71	\$355.71	\$355.71

Ciclón (Pretratamiento)	\$8,056.83	\$402.84	\$3,299.27	\$11,758.95	10%	\$1,175.89	\$1,175.89	\$1,175.89	\$1,175.89	\$1,175.89
Paquete Planta Sigma (Air Liquide)	\$7,000,000.00	\$350,000.00	\$2,866,500.00	\$10,216,500.00	10%	\$1,021,650.00	\$1,021,650.00	\$1,021,650.00	\$1,021,650.00	\$1,021,650.00
Torre Argón Bruto	\$150,000.00	\$7,500.00	\$61,425.00	\$218,925.00	10%	\$21,892.50	\$21,892.50	\$21,892.50	\$21,892.50	\$21,892.50
Tanques Almacenamiento O2	\$174,400.00	\$8,720.00	\$71,416.80	\$254,536.80	10%	\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68
Tanques Almacenamiento N2	\$174,400.00	\$8,720.00	\$71,416.80	\$254,536.80	10%	\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68
Tanques Almacenamiento Ar	\$61,634.73	\$3,081.74	\$25,239.42	\$89,955.88	10%	\$8,995.59	\$8,995.59	\$8,995.59	\$8,995.59	\$8,995.59
Otros Equipos del proceso no mencionados anteriormente	\$8,200.00	\$410.00	\$3,357.90	\$11,967.90	10%	\$1,196.79	\$1,196.79	\$1,196.79	\$1,196.79	\$1,196.79
SUBTOTAL				\$11,061,738.42	10%	\$1,106,173.84	\$1,106,173.84	\$1,106,173.84	\$1,106,173.84	\$1,106,173.84

Tabla 88: Depreciación de Equipos de Proceso (Parte 2)

5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
\$355.71	\$355.71	\$355.71	\$355.71	\$355.71	\$355.71	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,175.89	\$1,175.89	\$1,175.89	\$1,175.89	\$1,175.89	\$1,175.89	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,021,650.00	\$1,021,650.00	\$1,021,650.00	\$1,021,650.00	\$1,021,650.00	\$1,021,650.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$21,892.50	\$21,892.50	\$21,892.50	\$21,892.50	\$21,892.50	\$21,892.50	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68	\$25,453.68	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$8,995.59	\$8,995.59	\$8,995.59	\$8,995.59	\$8,995.59	\$8,995.59	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,196.79	\$1,196.79	\$1,196.79	\$1,196.79	\$1,196.79	\$1,196.79	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,106,173.84	\$1,106,173.84	\$1,106,173.84	\$1,106,173.84	\$1,106,173.84	\$1,106,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tabla 89: Depreciación de Equipos de Oficina (Parte 1)

EQUIPOS DE OFICINA	Precio total	Fletes y Seguros, 5%	Total, USD	% depreciación anual según arto. 45 LCT	DEPRECIACIÓN, USD/año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Computadoras	\$130,113.30	\$6,505.67	\$136,618.97	33.33%	\$45,535.10	\$45,535.10	\$45,535.10	\$45,535.10	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Luminarias	\$2,842.28	\$142.11	\$2,984.39	33.33%	\$994.70	\$994.70	\$994.70	\$994.70	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Aires Acondicionados	\$23,770.50	\$1,188.53	\$24,959.03	33.33%	\$8,318.84	\$8,318.84	\$8,318.84	\$8,318.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Copiadoras	\$5,753.31	\$287.67	\$6,040.98	33.33%	\$2,013.46	\$2,013.46	\$2,013.46	\$2,013.46	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Impresoras	\$5,014.98	\$250.75	\$5,265.73	33.33%	\$1,755.07	\$1,755.07	\$1,755.07	\$1,755.07	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Microondas	\$2,725.00	\$136.25	\$2,861.24	33.33%	\$953.65	\$953.65	\$953.65	\$953.65	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00

Cafeteras	\$944.91	\$47.25	\$992.16	33.33%	\$330.69	\$330.69	\$330.69	\$330.69	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Refrigeradora	\$7,619.24	\$380.96	\$8,000.20	33.33%	\$2,666.47	\$2,666.47	\$2,666.47	\$2,666.47	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Extractores	\$6,490.95	\$324.55	\$6,815.50	33.33%	\$2,271.61	\$2,271.61	\$2,271.61	\$2,271.61	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Pantallas	\$26,375.60	\$1,318.78	\$27,694.38	33.33%	\$9,230.54	\$9,230.54	\$9,230.54	\$9,230.54	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Proyectores	\$10,277.23	\$513.86	\$10,791.09	33.33%	\$3,596.67	\$3,596.67	\$3,596.67	\$3,596.67	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tabla 90: Depreciación de Equipos de Oficina (Parte 2)

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	VS
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tabla 91: Depreciación y Amortización de Activos Fijos y Diferidos.

Año	Obras Civiles	Maquinaria y Equipos de Proceso	Mobiliario y Equipo de Oficina	Total Inversión Fija	Constitución Legal de la empresa, Permisos y Registros Correspondientes	Elaboración de Estudios	Instalación, Arranque y Capacitación del Personal	Supervisión y Admón. Del proyecto	Total Inversión Diferida	Costos derivados de la Depreciación Anual
Valor Inicial	\$1,000,000.00	\$11,061,738.42	\$233,023.66	\$12,294,762.08	\$150,000.00	\$20,000.00	\$30,000.00	\$20,000.00	\$220,000.00	\$12,514,762.08
1	\$100,000.00	\$1,106,173.84	\$77,674.55	\$1,283,848.40	\$50,000.00	\$6,666.67	\$10,000.00	\$6,666.67	\$66,666.67	\$1,350,515.06
2	\$100,000.00	\$1,106,173.84	\$77,674.55	\$1,283,848.40	\$50,000.00	\$6,666.67	\$10,000.00	\$6,666.67	\$66,666.67	\$1,350,515.06
3	\$100,000.00	\$1,106,173.84	\$77,674.55	\$1,283,848.40	\$50,000.00	\$6,666.67	\$10,000.00	\$6,666.67	\$66,666.67	\$1,350,515.06
4	\$100,000.00	\$1,106,173.84	\$0.00	\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$1,206,173.84

5	\$100,000.00	\$1,106,173.84	\$0.00	\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$1,206,173.84
6	\$100,000.00	\$1,106,173.84	\$0.00	\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$1,206,173.84
7	\$100,000.00	\$1,106,173.84	\$0.00	\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$1,206,173.84
8	\$100,000.00	\$1,106,173.84	\$0.00	\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$1,206,173.84
9	\$100,000.00	\$1,106,173.84	\$0.00	\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$1,206,173.84
10	\$100,000.00	\$1,106,173.84	\$0.00	\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$1,206,173.84
11	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
12	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
13	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
14	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
15	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
16	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
17	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
18	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
19	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
20	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
VS	0	0	0	0	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tabla 92: Estado de Resultado del Proyecto sin Financiamiento (Parte 1).

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Producción	29,835.10	29,835.10	29,835.10	32,820.80	32,820.80	32,820.80	35,802.85	35,802.85	35,802.85	38,788.55
(+) Ingresos	12,033,756.72	8,675,901.77	8,683,361.72	9,136,901.81	8,807,921.08	8,815,511.22	9,524,785.46	9,195,936.57	9,203,659.40	9,913,457.49
(-) Costos de Producción	\$6,147,505.97	\$4,241,363.38	\$4,242,215.78	\$4,495,830.05	\$4,305,998.90	\$4,306,874.20	\$4,705,353.36	\$4,515,545.53	\$4,516,444.37	\$4,915,168.48
(-) Costos de Administración	\$671,622.84	\$674,980.95	\$678,355.86	\$681,747.64	\$685,156.38	\$688,582.16	\$692,025.07	\$695,485.19	\$698,962.62	\$702,457.43
(-) Costos de Venta	\$1,203,375.67	\$867,590.18	\$868,336.17	\$913,690.18	\$880,792.11	\$881,551.12	\$952,478.55	\$919,593.66	\$920,365.94	\$991,345.75
(=) Utilidad antes de Impuestos	\$4,011,252.24	\$2,891,967.26	\$2,894,453.91	\$3,045,633.94	\$2,935,973.69	\$2,938,503.74	\$3,174,928.49	\$3,065,312.19	\$3,067,886.47	\$3,304,485.83
(-) Impuestos	\$1,805,063.51	\$1,301,385.27	\$1,302,504.26	\$1,370,535.27	\$1,321,188.16	\$1,322,326.68	\$1,428,717.82	\$1,379,390.49	\$1,380,548.91	\$1,487,018.62
(=) Utilidad después de Impuestos	\$2,206,188.73	\$1,590,581.99	\$1,591,949.65	\$1,675,098.67	\$1,614,785.53	\$1,616,177.06	\$1,746,210.67	\$1,685,921.71	\$1,687,337.56	\$1,817,467.21
(+) Depreciación	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84
(=) Flujo Neto de Efectivo	\$3,556,703.79	\$2,941,097.05	\$2,942,464.71	\$2,881,272.51	\$2,820,959.37	\$2,822,350.90	\$2,952,384.51	\$2,892,095.55	\$2,893,511.40	\$3,023,641.05

Tabla 93: Estado de Resultado del Proyecto sin Financiamiento (Parte 2)

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
38,788.55	41,770.60	41,770.60	41,770.60	47,738.35	47,738.35	53,706.10	53,706.10	59,673.85	68,623.65

7,445,558.20	7,453,416.27	8,162,960.15	7,834,382.62	7,842,378.54	9,254,091.62	8,589,126.50	10,000,933.55	9,336,063.02	10,747,965.20
\$3,513,179.93	\$3,514,102.99	\$3,912,630.35	\$3,722,871.18	\$3,723,819.14	\$4,520,188.91	\$4,139,756.36	\$4,936,143.28	\$4,555,728.05	\$5,352,132.41
\$705,969.72	\$709,499.57	\$713,047.07	\$716,612.30	\$720,195.36	\$723,796.34	\$727,415.32	\$731,052.40	\$734,707.66	\$738,381.20
\$744,555.82	\$745,341.63	\$816,296.02	\$783,438.26	\$784,237.85	\$925,409.16	\$858,912.65	\$1,000,093.36	\$933,606.30	\$1,074,796.52
\$2,481,852.73	\$2,484,472.09	\$2,720,986.72	\$2,611,460.87	\$2,614,126.18	\$3,084,697.21	\$2,863,042.17	\$3,333,644.52	\$3,112,021.01	\$3,582,655.07
\$1,116,833.73	\$1,118,012.44	\$1,224,444.02	\$1,175,157.39	\$1,176,356.78	\$1,388,113.74	\$1,288,368.98	\$1,500,140.03	\$1,400,409.45	\$1,612,194.78
\$1,365,019.00	\$1,366,459.65	\$1,496,542.69	\$1,436,303.48	\$1,437,769.40	\$1,696,583.46	\$1,574,673.19	\$1,833,504.48	\$1,711,611.55	\$1,970,460.29
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,365,019.00	\$1,366,459.65	\$1,496,542.69	\$1,436,303.48	\$1,437,769.40	\$1,696,583.46	\$1,574,673.19	\$1,833,504.48	\$1,711,611.55	\$1,970,460.29

Tabla 94: Estado de Resultado del Proyecto con Financiamiento (Parte 1).

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Producción, ton/año	29,835.10	29,835.10	29,835.10	32,820.80	32,820.80	32,820.80	35,802.85	35,802.85	35,802.85	38,788.55
(+) Ingresos	\$15,299,757.05	\$11,941,902.10	\$11,949,362.06	\$12,402,902.14	\$12,073,921.41	\$12,081,511.55	\$12,790,785.79	\$12,461,936.91	\$12,469,659.73	\$13,179,457.82
(-) Costos de Producción	\$6,147,505.97	\$4,241,363.38	\$4,242,215.78	\$4,495,830.05	\$4,305,998.90	\$4,306,874.20	\$4,705,353.36	\$4,515,545.53	\$4,516,444.37	\$4,915,168.48
(-) Costos de Administración	\$671,622.84	\$674,980.95	\$678,355.86	\$681,747.64	\$685,156.38	\$688,582.16	\$692,025.07	\$695,485.19	\$698,962.62	\$702,457.43
(-) Costos de Venta	\$1,203,375.67	\$867,590.18	\$868,336.17	\$913,690.18	\$880,792.11	\$881,551.12	\$952,478.55	\$919,593.66	\$920,365.94	\$991,345.75
(-) Costos Financieros	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(=) Utilidad antes de Impuestos	\$5,099,919.02	\$3,980,634.03	\$3,983,120.69	\$4,134,300.71	\$4,024,640.47	\$4,027,170.52	\$4,263,595.26	\$4,153,978.97	\$4,156,553.24	\$4,393,152.61
(-) Impuestos	\$2,294,963.56	\$1,791,285.32	\$1,792,404.31	\$1,860,435.32	\$1,811,088.21	\$1,812,226.73	\$1,918,617.87	\$1,869,290.54	\$1,870,448.96	\$1,976,918.67
(=) Utilidad después de Impuestos	\$2,804,955.46	\$2,189,348.72	\$2,190,716.38	\$2,273,865.39	\$2,213,552.26	\$2,214,943.78	\$2,344,977.40	\$2,284,688.43	\$2,286,104.28	\$2,416,233.93
(+) Depreciación	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84
(+) Amortización	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(-) Pago a Principal	\$233,789.41	\$292,236.76	\$365,295.95	\$456,619.94	\$570,774.93	\$713,468.66	\$891,835.82	\$1,114,794.78	\$1,393,493.47	\$1,741,866.84
(=) Flujo Neto de Efectivo	\$6,099,014.67	\$5,424,960.57	\$5,353,269.04	\$5,200,752.85	\$5,026,284.73	\$4,884,982.52	\$4,836,648.97	\$4,553,401.05	\$4,276,118.21	\$4,057,874.49

Tabla 95: Estado de Resultado del Proyecto con Financiamiento (Parte 2)

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
38,788.55	41,770.60	41,770.60	41,770.60	47,738.35	47,738.35	53,706.10	53,706.10	59,673.85	68,623.65
\$7,445,558.20	\$7,453,416.27	\$8,162,960.15	\$7,834,382.62	\$7,842,378.54	\$9,254,091.62	\$8,589,126.50	\$10,000,933.55	\$9,336,063.02	\$10,747,965.20
\$3,513,179.93	\$3,514,102.99	\$3,912,630.35	\$3,722,871.18	\$3,723,819.14	\$4,520,188.91	\$4,139,756.36	\$4,936,143.28	\$4,555,728.05	\$5,352,132.41
\$705,969.72	\$709,499.57	\$713,047.07	\$716,612.30	\$720,195.36	\$723,796.34	\$727,415.32	\$731,052.40	\$734,707.66	\$738,381.20

\$744,555.82	\$745,341.63	\$816,296.02	\$783,438.26	\$784,237.85	\$925,409.16	\$858,912.65	\$1,000,093.36	\$933,606.30	\$1,074,796.52
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$2,481,852.73	\$2,484,472.09	\$2,720,986.72	\$2,611,460.87	\$2,614,126.18	\$3,084,697.21	\$2,863,042.17	\$3,333,644.52	\$3,112,021.01	\$3,582,655.07
\$1,116,833.73	\$1,118,012.44	\$1,224,444.02	\$1,175,157.39	\$1,176,356.78	\$1,388,113.74	\$1,288,368.98	\$1,500,140.03	\$1,400,409.45	\$1,612,194.78
\$1,365,019.00	\$1,366,459.65	\$1,496,542.69	\$1,436,303.48	\$1,437,769.40	\$1,696,583.46	\$1,574,673.19	\$1,833,504.48	\$1,711,611.55	\$1,970,460.29
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,365,019.00	\$1,366,459.65	\$1,496,542.69	\$1,436,303.48	\$1,437,769.40	\$1,696,583.46	\$1,574,673.19	\$1,833,504.48	\$1,711,611.55	\$1,970,460.29

Tabla 96: Análisis de Sensibilidad: Aumento del 10% de los Costos de Producción (Parte 1).

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Producción, ton/año	29,835.10	29,835.10	29,835.10	32,820.80	32,820.80	32,820.80	35,802.85	35,802.85	35,802.85
(+) Ingresos	\$15,299,757.05	\$11,941,902.10	\$11,949,362.06	\$12,402,902.14	\$12,073,921.41	\$12,081,511.55	\$12,790,785.79	\$12,461,936.91	\$12,469,659.73
(-) Costos de Producción	\$6,762,256.57	\$4,665,499.72	\$4,666,437.36	\$4,945,413.06	\$4,736,598.79	\$4,737,561.62	\$5,175,888.69	\$4,967,100.08	\$4,968,088.81
(-) Costos de Administración	\$671,622.84	\$674,980.95	\$678,355.86	\$681,747.64	\$685,156.38	\$688,582.16	\$692,025.07	\$695,485.19	\$698,962.62
(-) Costos de Venta	\$1,311,861.07	\$942,437.77	\$943,198.80	\$993,028.36	\$956,780.32	\$957,554.78	\$1,035,514.19	\$999,279.75	\$1,000,067.90
(-) Costos Financieros	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(=) Utilidad antes de Impuestos	\$4,376,683.02	\$3,481,650.11	\$3,484,036.48	\$3,605,379.53	\$3,518,052.36	\$3,520,479.43	\$3,710,024.28	\$3,622,738.32	\$3,625,206.85
(-) Impuestos	\$1,969,507.36	\$1,566,742.55	\$1,567,816.41	\$1,622,420.79	\$1,583,123.56	\$1,584,215.75	\$1,669,510.93	\$1,630,232.24	\$1,631,343.08
(=) Utilidad después de Impuestos	\$2,407,175.66	\$1,914,907.56	\$1,916,220.06	\$1,982,958.74	\$1,934,928.80	\$1,936,263.69	\$2,040,513.35	\$1,992,506.07	\$1,993,863.77
(+) Depreciación	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84
(+) Amortización	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(-) Pago a Principal	\$233,789.41	\$292,236.76	\$365,295.95	\$456,619.94	\$570,774.93	\$713,468.66	\$891,835.82	\$1,114,794.78	\$1,393,493.47
(=) Flujo Neto de Efectivo	\$5,701,234.87	\$5,150,519.41	\$5,078,772.72	\$4,909,846.20	\$4,747,661.27	\$4,606,302.43	\$4,532,184.93	\$4,261,218.69	\$3,983,877.69

Tabla 97: Análisis de Sensibilidad: Aumento del 10% de los Costos de Producción (Parte 2).

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
38,788.55	38,788.55	38,788.55	41,770.60	41,770.60	41,770.60	47,738.35	47,738.35	53,706.10	53,706.10	59,673.85
\$13,179,457.82	\$7,445,558.20	\$7,453,416.27	\$8,162,960.15	\$7,834,382.62	\$7,842,378.54	\$9,254,091.62	\$8,589,126.50	\$10,000,933.55	\$9,336,063.02	\$10,747,965.20

\$5,406,685.33	\$3,864,497.92	\$3,865,513.28	\$4,303,893.39	\$4,095,158.30	\$4,096,201.06	\$4,972,207.80	\$4,553,732.00	\$5,429,757.61	\$5,011,300.85	\$5,887,345.65
\$702,457.43	\$705,969.72	\$709,499.57	\$713,047.07	\$716,612.30	\$720,195.36	\$723,796.34	\$727,415.32	\$731,052.40	\$734,707.66	\$738,381.20
\$1,078,084.02	\$806,553.11	\$807,355.21	\$885,342.43	\$849,135.99	\$849,952.31	\$1,005,177.20	\$931,967.17	\$1,087,201.77	\$1,014,001.50	\$1,169,245.92
\$2,177,333.55	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$3,814,897.49	\$2,068,537.45	\$2,071,048.21	\$2,260,677.26	\$2,173,476.03	\$2,176,029.81	\$2,552,910.28	\$2,376,012.01	\$2,752,921.78	\$2,576,053.00	\$2,952,992.43
\$1,716,703.87	\$930,841.85	\$931,971.69	\$1,017,304.77	\$978,064.21	\$979,213.41	\$1,148,809.62	\$1,069,205.40	\$1,238,814.80	\$1,159,223.85	\$1,328,846.59
\$2,098,193.62	\$1,137,695.60	\$1,139,076.52	\$1,243,372.50	\$1,195,411.82	\$1,196,816.40	\$1,404,100.65	\$1,306,806.60	\$1,514,106.98	\$1,416,829.15	\$1,624,145.84
\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$2,177,333.55	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,741,866.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$3,739,834.17	\$1,137,695.60	\$1,139,076.52	\$1,243,372.50	\$1,195,411.82	\$1,196,816.40	\$1,404,100.65	\$1,306,806.60	\$1,514,106.98	\$1,416,829.15	\$1,624,145.84

Tabla 98: Análisis de Sensibilidad: Aumento del 20% de los Costos de Producción (Parte 1).

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Producción, ton/año	29,835.10	29,835.10	29,835.10	32,820.80	32,820.80	32,820.80	35,802.85	35,802.85	35,802.85
(+) Ingresos	\$15,299,757.05	\$11,941,902.10	\$11,949,362.06	\$12,402,902.14	\$12,073,921.41	\$12,081,511.55	\$12,790,785.79	\$12,461,936.91	\$12,469,659.73
(-) Costos de Producción	\$7,377,007.16	\$5,089,636.06	\$5,090,658.94	\$5,394,996.07	\$5,167,198.68	\$5,168,249.04	\$5,646,424.03	\$5,418,654.64	\$5,419,733.25
(-) Costos de Administración	\$671,622.84	\$674,980.95	\$678,355.86	\$681,747.64	\$685,156.38	\$688,582.16	\$692,025.07	\$695,485.19	\$698,962.62
(-) Costos de Venta	\$1,420,346.47	\$1,017,285.36	\$1,018,061.44	\$1,072,366.54	\$1,032,768.54	\$1,033,558.45	\$1,118,549.84	\$1,078,965.85	\$1,079,769.86
(-) Costos Financieros	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(=) Utilidad antes de Impuestos	\$3,653,447.03	\$2,982,666.18	\$2,984,952.27	\$3,076,458.35	\$3,011,464.26	\$3,013,788.35	\$3,156,453.30	\$3,091,497.67	\$3,093,860.45
(-) Impuestos	\$1,644,051.16	\$1,342,199.78	\$1,343,228.52	\$1,384,406.26	\$1,355,158.92	\$1,356,204.76	\$1,420,403.98	\$1,391,173.95	\$1,392,237.20
(=) Utilidad después de Impuestos	\$2,009,395.86	\$1,640,466.40	\$1,641,723.75	\$1,692,052.09	\$1,656,305.34	\$1,657,583.59	\$1,736,049.31	\$1,700,323.72	\$1,701,623.25
(+) Depreciación	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84
(+) Amortización	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(-) Pago a Principal	\$233,789.41	\$292,236.76	\$365,295.95	\$456,619.94	\$570,774.93	\$713,468.66	\$891,835.82	\$1,114,794.78	\$1,393,493.47
(=) Flujo Neto de Efectivo	\$5,303,455.07	\$4,876,078.25	\$4,804,276.41	\$4,618,939.55	\$4,469,037.81	\$4,327,622.33	\$4,227,720.89	\$3,969,036.33	\$3,691,637.17

Tabla 99: Análisis de Sensibilidad: Aumento del 20% de los Costos de Producción (Parte 2).

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
38,788.55	38,788.55	38,788.55	41,770.60	41,770.60	41,770.60	47,738.35	47,738.35	53,706.10	53,706.10	59,673.85
\$13,179,457.82	\$7,445,558.20	\$7,453,416.27	\$8,162,960.15	\$7,834,382.62	\$7,842,378.54	\$9,254,091.62	\$8,589,126.50	\$10,000,933.55	\$9,336,063.02	\$10,747,965.20
\$5,898,202.17	\$4,215,815.91	\$4,216,923.58	\$4,695,156.42	\$4,467,445.42	\$4,468,582.97	\$5,424,226.69	\$4,967,707.63	\$5,923,371.94	\$5,466,873.66	\$6,422,558.89
\$702,457.43	\$705,969.72	\$709,499.57	\$713,047.07	\$716,612.30	\$720,195.36	\$723,796.34	\$727,415.32	\$731,052.40	\$734,707.66	\$738,381.20
\$1,164,822.28	\$868,550.41	\$869,368.79	\$954,388.85	\$914,833.72	\$915,666.76	\$1,084,945.24	\$1,005,021.70	\$1,174,310.18	\$1,094,396.70	\$1,263,695.31

\$2,177,333.55	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$3,236,642.38	\$1,655,222.16	\$1,657,624.33	\$1,800,367.81	\$1,735,491.18	\$1,737,933.44	\$2,021,123.34	\$1,888,981.85	\$2,172,199.04	\$2,040,084.99	\$2,323,329.79
\$1,456,489.07	\$744,849.97	\$745,930.95	\$810,165.51	\$780,971.03	\$782,070.05	\$909,505.51	\$850,041.83	\$977,489.57	\$918,038.25	\$1,045,498.41
\$1,780,153.31	\$910,372.19	\$911,693.38	\$990,202.30	\$954,520.15	\$955,863.39	\$1,111,617.84	\$1,038,940.02	\$1,194,709.47	\$1,122,046.75	\$1,277,831.39
\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$2,177,333.55	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,741,866.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$3,421,793.86	\$910,372.19	\$911,693.38	\$990,202.30	\$954,520.15	\$955,863.39	\$1,111,617.84	\$1,038,940.02	\$1,194,709.47	\$1,122,046.75	\$1,277,831.39

Tabla 100: Análisis de Sensibilidad: Aumento del 30% de los Costos de Producción (Parte 1).

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Producción, ton/año	29,835.10	29,835.10	29,835.10	32,820.80	32,820.80	32,820.80	35,802.85	35,802.85	35,802.85
(+) Ingresos	\$15,299,757.05	\$11,941,902.10	\$11,949,362.06	\$12,402,902.14	\$12,073,921.41	\$12,081,511.55	\$12,790,785.79	\$12,461,936.91	\$12,469,659.73
(-) Costos de Producción	\$7,991,757.76	\$5,513,772.40	\$5,514,880.52	\$5,844,579.07	\$5,597,798.57	\$5,598,936.46	\$6,116,959.37	\$5,870,209.19	\$5,871,377.69
(-) Costos de Administración	\$671,622.84	\$674,980.95	\$678,355.86	\$681,747.64	\$685,156.38	\$688,582.16	\$692,025.07	\$695,485.19	\$698,962.62
(-) Costos de Venta	\$1,528,831.87	\$1,092,132.94	\$1,092,924.07	\$1,151,704.71	\$1,108,756.76	\$1,109,562.11	\$1,201,585.49	\$1,158,651.95	\$1,159,471.82
(-) Costos Financieros	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(=) Utilidad antes de Impuestos	\$2,930,211.03	\$2,483,682.25	\$2,485,868.06	\$2,547,537.17	\$2,504,876.15	\$2,507,097.27	\$2,602,882.31	\$2,560,257.02	\$2,562,514.05
(-) Impuestos	\$1,318,594.96	\$1,117,657.01	\$1,118,640.63	\$1,146,391.72	\$1,127,194.27	\$1,128,193.77	\$1,171,297.04	\$1,152,115.66	\$1,153,131.32
(=) Utilidad después de Impuestos	\$1,611,616.07	\$1,366,025.24	\$1,367,227.43	\$1,401,145.44	\$1,377,681.88	\$1,378,903.50	\$1,431,585.27	\$1,408,141.36	\$1,409,382.73
(+) Depreciación	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84
(+) Amortización	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(-) Pago a Principal	\$233,789.41	\$292,236.76	\$365,295.95	\$456,619.94	\$570,774.93	\$713,468.66	\$891,835.82	\$1,114,794.78	\$1,393,493.47
(=) Flujo Neto de Efectivo	\$4,905,675.27	\$4,601,637.09	\$4,529,780.09	\$4,328,032.90	\$4,190,414.35	\$4,048,942.24	\$3,923,256.85	\$3,676,853.98	\$3,399,396.65

Tabla 101: Análisis de Sensibilidad: Aumento del 30% de los Costos de Producción (Parte 2).

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
38,788.55	38,788.55	38,788.55	41,770.60	41,770.60	41,770.60	47,738.35	47,738.35	53,706.10	53,706.10	59,673.85
\$13,179,457.82	\$7,445,558.20	\$7,453,416.27	\$8,162,960.15	\$7,834,382.62	\$7,842,378.54	\$9,254,091.62	\$8,589,126.50	\$10,000,933.55	\$9,336,063.02	\$10,747,965.20
\$6,389,719.02	\$4,567,133.91	\$4,568,333.88	\$5,086,419.46	\$4,839,732.54	\$4,840,964.88	\$5,876,245.58	\$5,381,683.27	\$6,416,986.26	\$5,922,446.46	\$6,957,772.14
\$702,457.43	\$705,969.72	\$709,499.57	\$713,047.07	\$716,612.30	\$720,195.36	\$723,796.34	\$727,415.32	\$731,052.40	\$734,707.66	\$738,381.20
\$1,251,560.55	\$930,547.70	\$931,382.37	\$1,023,435.27	\$980,531.44	\$981,381.22	\$1,164,713.28	\$1,078,076.22	\$1,261,418.59	\$1,174,791.90	\$1,358,144.71
\$2,177,333.55	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$2,658,387.26	\$1,241,906.88	\$1,244,200.45	\$1,340,058.36	\$1,297,506.34	\$1,299,837.07	\$1,489,336.41	\$1,401,951.69	\$1,591,476.30	\$1,504,116.99	\$1,693,667.16
\$1,196,274.27	\$558,858.09	\$559,890.20	\$603,026.26	\$583,877.85	\$584,926.68	\$670,201.39	\$630,878.26	\$716,164.34	\$676,852.64	\$762,150.22
\$1,462,112.99	\$683,048.78	\$684,310.25	\$737,032.10	\$713,628.49	\$714,910.39	\$819,135.03	\$771,073.43	\$875,311.97	\$827,264.34	\$931,516.94

\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$2,177,333.55	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,741,866.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$3,103,753.55	\$683,048.78	\$684,310.25	\$737,032.10	\$713,628.49	\$714,910.39	\$819,135.03	\$771,073.43	\$875,311.97	\$827,264.34	\$931,516.94

Tabla 102: Análisis de Sensibilidad: Disminución del 10% de los Ingresos (Parte 1).

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Producción, ton/año	29,835.10	29,835.10	29,835.10	32,820.80	32,820.80	32,820.80	35,802.85	35,802.85	35,802.85
(+) Ingresos	\$13,769,781.35	\$10,747,711.89	\$10,754,425.85	\$11,162,611.93	\$10,866,529.27	\$10,873,360.40	\$11,511,707.21	\$11,215,743.22	\$11,222,693.76
(-) Costos de Producción	\$6,147,505.97	\$4,241,363.38	\$4,242,215.78	\$4,495,830.05	\$4,305,998.90	\$4,306,874.20	\$4,705,353.36	\$4,515,545.53	\$4,516,444.37
(-) Costos de Administración	\$671,622.84	\$674,980.95	\$678,355.86	\$681,747.64	\$685,156.38	\$688,582.16	\$692,025.07	\$695,485.19	\$698,962.62
(-) Costos de Venta	\$1,203,375.67	\$867,590.18	\$868,336.17	\$913,690.18	\$880,792.11	\$881,551.12	\$952,478.55	\$919,593.66	\$920,365.94
(-) Costos Financieros	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(=) Utilidad antes de Impuestos	\$3,569,943.31	\$2,786,443.82	\$2,788,184.48	\$2,894,010.50	\$2,817,248.33	\$2,819,019.36	\$2,984,516.68	\$2,907,785.28	\$2,909,587.27
(-) Impuestos	\$1,606,474.49	\$1,253,899.72	\$1,254,683.02	\$1,302,304.73	\$1,267,761.75	\$1,268,558.71	\$1,343,032.51	\$1,308,503.38	\$1,309,314.27
(=) Utilidad después de Impuestos	\$1,963,468.82	\$1,532,544.10	\$1,533,501.46	\$1,591,705.78	\$1,549,486.58	\$1,550,460.65	\$1,641,484.18	\$1,599,281.90	\$1,600,273.00
(+) Depreciación	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84
(+) Amortización	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(-) Pago a Principal	\$233,789.41	\$292,236.76	\$365,295.95	\$456,619.94	\$570,774.93	\$713,468.66	\$891,835.82	\$1,114,794.78	\$1,393,493.47
(=) Flujo Neto de Efectivo	\$5,257,528.03	\$4,768,155.96	\$4,696,054.13	\$4,518,593.23	\$4,362,219.05	\$4,220,499.39	\$4,133,155.75	\$3,867,994.52	\$3,590,286.92

Tabla 103: Análisis de Sensibilidad: Disminución del 10% de los Ingresos (Parte 2).

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
38,788.55	38,788.55	38,788.55	41,770.60	41,770.60	41,770.60	47,738.35	47,738.35	53,706.10	53,706.10	59,673.85
\$11,861,512.04	\$6,701,002.38	\$6,708,074.65	\$7,346,664.14	\$7,050,944.36	\$7,058,140.69	\$8,328,682.45	\$7,730,213.85	\$9,000,840.20	\$8,402,456.71	\$9,673,168.68
\$4,915,168.48	\$3,513,179.93	\$3,514,102.99	\$3,912,630.35	\$3,722,871.18	\$3,723,819.14	\$4,520,188.91	\$4,139,756.36	\$4,936,143.28	\$4,555,728.05	\$5,352,132.41
\$702,457.43	\$705,969.72	\$709,499.57	\$713,047.07	\$716,612.30	\$720,195.36	\$723,796.34	\$727,415.32	\$731,052.40	\$734,707.66	\$738,381.20
\$991,345.75	\$744,555.82	\$745,341.63	\$816,296.02	\$783,438.26	\$784,237.85	\$925,409.16	\$858,912.65	\$1,000,093.36	\$933,606.30	\$1,074,796.52
\$2,177,333.55	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$3,075,206.83	\$1,737,296.91	\$1,739,130.46	\$1,904,690.70	\$1,828,022.61	\$1,829,888.33	\$2,159,288.04	\$2,004,129.52	\$2,333,551.16	\$2,178,414.70	\$2,507,858.55
\$1,383,843.07	\$781,783.61	\$782,608.71	\$857,110.82	\$822,610.18	\$823,449.75	\$971,679.62	\$901,858.28	\$1,050,098.02	\$980,286.62	\$1,128,536.35
\$1,691,363.75	\$955,513.30	\$956,521.76	\$1,047,579.89	\$1,005,412.44	\$1,006,438.58	\$1,187,608.42	\$1,102,271.23	\$1,283,453.14	\$1,198,128.09	\$1,379,322.20

\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$2,177,333.55	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,741,866.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$3,333,004.31	\$955,513.30	\$956,521.76	\$1,047,579.89	\$1,005,412.44	\$1,006,438.58	\$1,187,608.42	\$1,102,271.23	\$1,283,453.14	\$1,198,128.09	\$1,379,322.20

Tabla 104: Análisis de Sensibilidad: Disminución del 20% de los Ingresos (Parte 1).

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Producción, ton/año	29,835.10	29,835.10	29,835.10	32,820.80	32,820.80	32,820.80	35,802.85	35,802.85	35,802.85
(+) Ingresos	\$12,239,805.64	\$9,553,521.68	\$9,559,489.65	\$9,922,321.71	\$9,659,137.13	\$9,665,209.24	\$10,232,628.63	\$9,969,549.52	\$9,975,727.79
(-) Costos de Producción	\$6,147,505.97	\$4,241,363.38	\$4,242,215.78	\$4,495,830.05	\$4,305,998.90	\$4,306,874.20	\$4,705,353.36	\$4,515,545.53	\$4,516,444.37
(-) Costos de Administración	\$671,622.84	\$674,980.95	\$678,355.86	\$681,747.64	\$685,156.38	\$688,582.16	\$692,025.07	\$695,485.19	\$698,962.62
(-) Costos de Venta	\$1,203,375.67	\$867,590.18	\$868,336.17	\$913,690.18	\$880,792.11	\$881,551.12	\$952,478.55	\$919,593.66	\$920,365.94
(-) Costos Financieros	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(=) Utilidad antes de Impuestos	\$2,039,967.61	\$1,592,253.61	\$1,593,248.27	\$1,653,720.29	\$1,609,856.19	\$1,610,868.21	\$1,705,438.11	\$1,661,591.59	\$1,662,621.30
(-) Impuestos	\$917,985.42	\$716,514.13	\$716,961.72	\$744,174.13	\$724,435.28	\$724,890.69	\$767,447.15	\$747,716.21	\$748,179.58
(=) Utilidad después de Impuestos	\$1,121,982.18	\$875,739.49	\$876,286.55	\$909,546.16	\$885,420.90	\$885,977.51	\$937,990.96	\$913,875.37	\$914,441.71
(+) Depreciación	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84
(+) Amortización	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(-) Pago a Principal	\$233,789.41	\$292,236.76	\$365,295.95	\$456,619.94	\$570,774.93	\$713,468.66	\$891,835.82	\$1,114,794.78	\$1,393,493.47
(=) Flujo Neto de Efectivo	\$4,416,041.39	\$4,111,351.34	\$4,038,839.21	\$3,836,433.61	\$3,698,153.37	\$3,556,016.25	\$3,429,662.53	\$3,182,587.99	\$2,904,455.64

Tabla 105: Análisis de Sensibilidad: Disminución del 20% de los Ingresos (Parte 2).

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
38,788.55	38,788.55	38,788.55	41,770.60	41,770.60	41,770.60	47,738.35	47,738.35	53,706.10	53,706.10	59,673.85
\$10,543,566.26	\$5,956,446.56	\$5,962,733.02	\$6,530,368.12	\$6,267,506.10	\$6,273,902.83	\$7,403,273.29	\$6,871,301.20	\$8,000,746.84	\$7,468,850.41	\$8,598,372.16
\$4,915,168.48	\$3,513,179.93	\$3,514,102.99	\$3,912,630.35	\$3,722,871.18	\$3,723,819.14	\$4,520,188.91	\$4,139,756.36	\$4,936,143.28	\$4,555,728.05	\$5,352,132.41
\$702,457.43	\$705,969.72	\$709,499.57	\$713,047.07	\$716,612.30	\$720,195.36	\$723,796.34	\$727,415.32	\$731,052.40	\$734,707.66	\$738,381.20
\$991,345.75	\$744,555.82	\$745,341.63	\$816,296.02	\$783,438.26	\$784,237.85	\$925,409.16	\$858,912.65	\$1,000,093.36	\$933,606.30	\$1,074,796.52
\$2,177,333.55	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,757,261.04	\$992,741.09	\$993,788.84	\$1,088,394.69	\$1,044,584.35	\$1,045,650.47	\$1,233,878.88	\$1,145,216.87	\$1,333,457.81	\$1,244,808.40	\$1,433,062.03
\$790,767.47	\$446,733.49	\$447,204.98	\$489,777.61	\$470,062.96	\$470,542.71	\$555,245.50	\$515,347.59	\$600,056.01	\$560,163.78	\$644,877.91
\$966,493.57	\$546,007.60	\$546,583.86	\$598,617.08	\$574,521.39	\$575,107.76	\$678,633.39	\$629,869.28	\$733,401.79	\$684,644.62	\$788,184.11
\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$2,177,333.55	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,741,866.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00

\$2,608,134.13	\$546,007.60	\$546,583.86	\$598,617.08	\$574,521.39	\$575,107.76	\$678,633.39	\$629,869.28	\$733,401.79	\$684,644.62	\$788,184.11
----------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Tabla 106: Análisis de Sensibilidad: Disminución del 30% de los Ingresos (Parte 1).

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Producción, ton/año	29,835.10	29,835.10	29,835.10	32,820.80	32,820.80	32,820.80	35,802.85	35,802.85	35,802.85
(+) Ingresos	\$10,709,829.94	\$8,359,331.47	\$8,364,553.44	\$8,682,031.50	\$8,451,744.99	\$8,457,058.09	\$8,953,550.05	\$8,723,355.83	\$8,728,761.81
(-) Costos de Producción	\$6,147,505.97	\$4,241,363.38	\$4,242,215.78	\$4,495,830.05	\$4,305,998.90	\$4,306,874.20	\$4,705,353.36	\$4,515,545.53	\$4,516,444.37
(-) Costos de Administración	\$671,622.84	\$674,980.95	\$678,355.86	\$681,747.64	\$685,156.38	\$688,582.16	\$692,025.07	\$695,485.19	\$698,962.62
(-) Costos de Venta	\$1,203,375.67	\$867,590.18	\$868,336.17	\$913,690.18	\$880,792.11	\$881,551.12	\$952,478.55	\$919,593.66	\$920,365.94
(-) Costos Financieros	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(=) Utilidad antes de Impuestos	\$509,991.90	\$398,063.40	\$398,312.07	\$413,430.07	\$402,464.05	\$402,717.05	\$426,359.53	\$415,397.90	\$415,655.32
(-) Impuestos	\$229,496.36	\$179,128.53	\$179,240.43	\$186,043.53	\$181,108.82	\$181,222.67	\$191,861.79	\$186,929.05	\$187,044.90
(=) Utilidad después de Impuestos	\$280,495.55	\$218,934.87	\$219,071.64	\$227,386.54	\$221,355.23	\$221,494.38	\$234,497.74	\$228,468.84	\$228,610.43
(+) Depreciación	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,350,515.06	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84	\$1,206,173.84
(+) Amortización	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55	\$2,177,333.55
(-) Pago a Principal	\$233,789.41	\$292,236.76	\$365,295.95	\$456,619.94	\$570,774.93	\$713,468.66	\$891,835.82	\$1,114,794.78	\$1,393,493.47
(=) Flujo Neto de Efectivo	\$3,574,554.75	\$3,454,546.73	\$3,381,624.30	\$3,154,273.99	\$3,034,087.69	\$2,891,533.12	\$2,726,169.31	\$2,497,181.46	\$2,218,624.35

Tabla 107: Análisis de Sensibilidad: Disminución del 30% de los Ingresos (Parte 2).

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
38,788.55	38,788.55	38,788.55	41,770.60	41,770.60	41,770.60	47,738.35	47,738.35	53,706.10	53,706.10	59,673.85
\$9,225,620.48	\$5,211,890.74	\$5,217,391.39	\$5,714,072.11	\$5,484,067.83	\$5,489,664.98	\$6,477,864.13	\$6,012,388.55	\$7,000,653.49	\$6,535,244.11	\$7,523,575.64
\$4,915,168.48	\$3,513,179.93	\$3,514,102.99	\$3,912,630.35	\$3,722,871.18	\$3,723,819.14	\$4,520,188.91	\$4,139,756.36	\$4,936,143.28	\$4,555,728.05	\$5,352,132.41
\$702,457.43	\$705,969.72	\$709,499.57	\$713,047.07	\$716,612.30	\$720,195.36	\$723,796.34	\$727,415.32	\$731,052.40	\$734,707.66	\$738,381.20
\$991,345.75	\$744,555.82	\$745,341.63	\$816,296.02	\$783,438.26	\$784,237.85	\$925,409.16	\$858,912.65	\$1,000,093.36	\$933,606.30	\$1,074,796.52
\$2,177,333.55	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$439,315.26	\$248,185.27	\$248,447.21	\$272,098.67	\$261,146.09	\$261,412.62	\$308,469.72	\$286,304.22	\$333,364.45	\$311,202.10	\$358,265.51
\$197,691.87	\$111,683.37	\$111,801.24	\$122,444.40	\$117,515.74	\$117,635.68	\$138,811.37	\$128,836.90	\$150,014.00	\$140,040.95	\$161,219.48
\$241,623.39	\$136,501.90	\$136,645.97	\$149,654.27	\$143,630.35	\$143,776.94	\$169,658.35	\$157,467.32	\$183,350.45	\$171,161.16	\$197,046.03
\$1,206,173.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$2,177,333.55	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,741,866.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$1,883,263.95	\$136,501.90	\$136,645.97	\$149,654.27	\$143,630.35	\$143,776.94	\$169,658.35	\$157,467.32	\$183,350.45	\$171,161.16	\$197,046.03