

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.ANTECEDENTES

La industria de producción de gases industriales comprimidos como ser (Oxígeno, nitrógeno, argón, y otros gases.) a partir del AIRE, es una actividad de enorme importancia económica para Bolivia. Entre este tipo de industrias están las plantas criogénicas de separación del aire, también las Industrias que producen dichos gases a partir del Proceso de P.S.A, mismas que se encuentran hace ya mucho tiempo en el mercado boliviano.

1.1.1 Bolivia

En Bolivia se cuenta con varias industrias que producen y comercializan gases medicinales e industriales tales como: (oxígeno, nitrógeno, argón, dióxido de carbono y otros); entre las industrias más grandes del país están:

- **Oxmi Ltda.** Es una empresa ubicada en la ciudad de La Paz que inicia sus actividades en el año 2009, ofrece servicios de recargas de oxígeno medicinal e industrial, gas carbónico, hielo seco, nitrógeno líquido, argón, extintores, venta de equipos de oxígeno para terapias y varios accesorios.

Esta empresa solo abastece el mercado paceño, es decir, no cuenta con sucursales en el resto del país. **Oxmilda.com (2010)**

- **3H INDUSTRIALES SRL** Inicia sus actividades en el mercado comercial boliviano el año 1999 como empresa de producción de gases para la industria en general y aplicaciones en el sector de la salud. Entre sus productos están: el oxígeno, acetileno, nitrógeno líquido, nitrógeno gaseoso, recarga de extintores y aire comprimido; entre los servicios que ofrece están: las pruebas hidráulicas, cambio de válvulas y limpieza de cilindros. La producción lo realizan en La Paz y tienen sucursales en Cochabamba y Tarija como puntos solo de distribución. **3Hindustriales.com (2003).**

- **PRAXAIR** está en el mercado boliviano desde 1996. Es una empresa que proporciona Gases como ser: Acetileno, Argón, Helio, Hidrógeno, Nitrógeno, Oxígeno, Hielo seco y Dióxido de carbono, además de otros servicios. Sus oficinas centrales y la Planta de producción están en la Ciudad de Santa Cruz, además cuenta con sucursales de distribución de sus productos en La Paz, Cochabamba y Oruro. **Praxair.com (2006)**.
- **Oxígeno de Bolivia S.A.** Industria que produce y comercializa en Bolivia, desde el año 1995, gases industriales como ser: el oxígeno, argón, dióxido de carbono, helio, nitrógeno, acetileno y gases medicinales: Oxígeno gaseoso, óxido nitroso, aire medicinal sintético, gas carbónico, helio líquido y nitrógeno medicinal. Tiene sucursales en Santa Cruz y La Paz. **Oxigenodebolivia.com (2003)**

Las industrias mencionadas utilizan el proceso automático de (P.S.A) Adsorción por cambio de presión a partir del aire mediante un tamiz de carbón molecular para la obtención de dichos gases industriales.

1.1.2 Tarija

En la Ciudad de Tarija existen varias empresas que solo distribuyen los gases industriales como ser (3H Industriales S.R.L, Oxivida S.R.L y Oxígeno Ltda.), las cuales tienen sus Plantas Productoras en otros Departamentos.

Y solo existe una Industria Productora de Gases industriales comprimidos y medicinales en la Ciudad de Tarija:

OXISUR. Industria que solo produce Oxígeno medicinal y oxígeno industrial. La pureza del oxígeno que produce esta planta oscila entre (99,0 – 99,5) % lo cual está dentro de los estándares requeridos para su utilización, tanto medicinal e industrial, según norma Boliviana NB 730001, que está regulada por IBNORCA; dicha industria se encuentra ubicada en la carretera a Bermejo Km 5.

El Sistema operativo que utiliza Oxisur, es un proceso automático de (P.S.A) Adsorción por cambio de presión a partir del aire, mismo que requiere un tamiz de carbón molecular para realizar la separación del Oxígeno.

Cada cilindro de 6m^3 tiene el costo de 110 Bs. La capacidad de producción está restringida por su elevado costo en energía. **Oxisur S.R.L. (2013).**

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Elaborar el estudio de prefactibilidad para la instalación de una Planta Industrial de obtención de Oxígeno y Nitrógeno por el proceso de Destilación Fraccionada del Aire en la ciudad de Tarija.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el aire para la instalación de una Planta Industrial de obtención de Oxígeno y Nitrógeno por Destilación Fraccionada del Aire en la ciudad de Tarija.
- Realizar el estudio de mercado para la Instalación de una Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno, en la ciudad de Tarija.
- Realizar la ingeniería de la Planta Industrial de Obtención de Oxígeno Y Nitrógeno por Destilación Fraccionada del Aire.
- Definir la localización de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno en la ciudad de Tarija.
- Definir la capacidad de la Planta Industrial de obtención de Oxígeno y Nitrógeno por Destilación Fraccionada del Aire.
- Caracterizar el Oxígeno y el Nitrógeno, obtenidos en el presente Proyecto.
- Analizar los aspectos económicos del Proyecto para la Instalación de una Planta Industrial de Obtención de Oxígeno y Nitrógeno, en la ciudad de Tarija.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto de Prefactibilidad para la Instalación de una Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno se justifica porque se trata de implementar una Industria en la ciudad de Tarija que permita producir gases comprimidos como el Oxígeno y Nitrógeno, siendo estos de gran importancia para la industria medicinal, metalúrgica y alimenticia, con el objetivo de priorizar la comercialización del Oxígeno de forma ininterrumpida, de alta calidad en pureza y a menor costo a los Hospitales, Clínicas, centros de Salud, Metalúrgicas y Personas Particulares.

Tarija en una ciudad con un índice de crecimiento poblacional del 2,26% (INE, censo 2012), que se encuentra en proceso de Industrialización, lo cual permite generar empleo y un mayor desarrollo para el Departamento de Tarija.

La Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno que se plantea en este Proyecto aportará de manera social y económica a la ciudad de Tarija.

El Proceso por Destilación Fraccionada del Aire que se utilizará es totalmente inofensivo para el medio ambiente.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE MERCADO

2.1. GENERALIDADES.

El Nitrógeno y Oxígeno se obtienen industrialmente por medio de:

- Destilación fraccionada del aire.
- (P.S.A) Adsorción por cambio de presión a partir del aire mediante un tamiz de carbón molecular.
- Sistemas de Membranas.

(Nitromatic.com 2010).

La destilación fraccionada es un proceso físico utilizado en química para separar mezclas (aire) de líquidos (Oxígeno y Nitrógeno) mediante el calor, con un amplio intercambio calorífico y másico entre vapores y líquidos. Se emplea cuando es necesario separar soluciones de sustancias con puntos de ebullición distintos pero cercanos. Los productos resultantes del proceso son:

- Oxígeno Líquido (O_2) TE = (-183°C)
- Nitrógeno Líquidos (N_2) TE = (-198°C)

El Oxígeno (O_2) es un elemento químico, que en condiciones normales es un gas incoloro, inodoro e insípido; se condensa en un líquido azul claro. Las principales aplicaciones del oxígeno son:

- Fundición, refinación y fabricación de otros metales.
- Manufactura de productos químicos por oxidación controlada.
- Apoyo a la vida biológica y en el sector medicinal.

El Nitrógeno (N_2) es un elemento químico, que se encuentra en estado gaseoso en condiciones normales, es el principal componente de la atmósfera, tiene una reactividad baja hacia la mayor parte de las sustancias comunes, a bajas temperaturas.

Gran parte del interés industrial del nitrógeno se debe a la importancia de los compuestos nitrogenados en la agricultura y en la industria química.

(Air Liquide.com, 2008).

2.2. ESTRUCTURA DEL MERCADO REGIONAL.

El mercado que existe actualmente en la ciudad Tarija para la comercialización del Oxígeno solo se encuentra enfocado en el sector medicinal y en el área de la metalúrgica, sectores que crecen significativamente, tomando en cuenta que la población en la provincia Cercado, según censo 2012 es de 153.457 habitantes y su índice de crecimiento poblacional es del 2,26% (INE).

En la ciudad de Tarija se visualizan grandes obras de impacto para el sector de salud, que beneficia a la población, así también la construcción de Clínicas Privadas, Centros de Salud barriales, creando un alto índice para la utilización del oxígeno.

Por otro lado, existe un amplio mercado en el área metalúrgica, donde el corte y soldadura con oxígeno son procesos que generan menor costo y mayor eficiencia.

Sin embargo en la actualidad el mercado para el Nitrógeno en la ciudad de Tarija es inexistente, debiéndose socializar los beneficios de su aplicación, para generar en un futuro un amplio mercado que permita su comercialización; mientras tanto no justifica hacer más estudios.

2.3. DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS.

2.3.1 Materia Prima.

La materia prima para este proyecto es el AIRE el cual es la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen alrededor del planeta Tierra por acción de la fuerza de gravedad. El aire es esencial para la vida en el planeta. Es particularmente delicado, fino, etéreo y, si está limpio, es transparente en distancias cortas y medias. **Composicióndel aire.com (2012, Junio 23).**

El aire limpio y puro forma una capa de aproximadamente 500 000 millones de toneladas que rodea la Tierra. Y su composición es la siguiente:

Tabla II-1 Composición del aire (cerca del nivel del mar)

Componente	Porcentaje en volumen ^a
Nitrogeno (N ₂)	78,084
Oxígeno (O ₂)	20,946
Argón (Ar)	0,934
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,037
Neón (Ne)	0,001818
Helio (He)	0,000524
Metano (CH ₄)	0,0002
Kriptón (Kr)	0,000114
Hidrógeno (H ₂)	0,00005
Monóxido de dinitrógeno (N ₂ O)	0,00005
Xenón (Xe)	0,000009
Ozono (O ₃)	} trazas
Dióxido de azufre (SO ₂)	
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	
Amoníaco (NH ₃)	
Monóxido de carbono (CO)	
Iodo (I ₂)	

Fuente: Química General 8va Edición Petrucci, Harwood, Herring.

2.3.1.1. Propiedades Físicas y Químicas del AIRE:

2.3.1.1.1. Propiedades Físicas:

a) El aire ocupa un espacio. Es incoloro, inodoro e insípido.

- b) El aire ejerce presión por lo que el movimiento de sus partículas choca contra las paredes del contenedor.
- c) El aire no tiene un Volumen definido: se adapta al espacio que lo contiene
- d) El aire se expande y se contrae esto se debe a la variación de temperatura y presión

2.3.1.1.2. Propiedades Químicas:

El aire es una mezcla de gases, formando moléculas diatómicas, que no reaccionan a temperatura ambiente. **Quimica.com (2010, Agosto 15).**

La atmósfera posee una altura de un poco más de 500 kilómetros de altitud, pero los gases constituyentes están en su mayoría en los primeros 30 km de altura, se divide en diferentes capas que difieren en su espesor, temperatura y composición:

Capa 1: Tropósfera (10 Km): ocurren los fenómenos atmosféricos. El Monte Everest tiene tan solo 8 km de altura.

Capa 2: Estratósfera (entre los 10 y 50 Km): Se encuentra la capa de ozono, vuelan naves supersónicas, globos aerostáticos y comúnmente hasta aquí alcanzan a llegar los meteoritos.

Capa 3: Mesósfera (entre los 50 y 80 km): hasta aquí alcanzan a entrar los rayos cósmicos provenientes del Sol (flujo de electrones). Chocan las ondas de radio.

Capa 4: Termósfera o Ionósfera (entre 80 y 500 km): Por aquí normalmente atraviesan las naves espaciales. Se encuentran sus gases ionizados y corta las transmisiones radiales de las naves. Chocan las ondas de radio y se observan en los polos las auroras boreales.

Capa 5: Exósfera (sobre 500 Km de altura): Se movilizan los satélites de comunicación. Su densidad es mínima.

2.3.2. Productos.

2.3.2.1. Oxígeno.

El Oxígeno es un elemento químico de número atómico 8 y representado por el símbolo **O**. Su nombre proviene de las raíces griegas ὀξύς (oxys) («ácido», literalmente «punzante», en referencia al sabor de los ácidos) y -γόνοϛ (-gonos) («productor», literalmente «engendrador»), porque en la época en que se le dio esta denominación se creía, incorrectamente, que todos los ácidos requerían oxígeno para su composición. En condiciones normales de presión y temperatura, dos átomos del elemento se enlazan para formar el dióxígeno, un gas diatómico incoloro, inodoro e insípido con fórmula O₂.

Esta sustancia comprende una importante parte de la atmósfera y resulta necesaria para sostener la vida terrestre. De hecho, el oxígeno es el elemento más abundante y constituye el 45,5 % en masa de la parte sólida de la corteza terrestre. La atmósfera contiene un 23,08% en peso de oxígeno que constituye un 20,946% de su volumen. Sus propiedades físicas son:

2.3.2.1.1. Propiedades Físicas.

Tabla II-2 Propiedades físicas del Oxígeno

<u>Detalle</u>	<u>Característica</u>
Estado ordinario	Gas (paramagnético)
Densidad	1,429 kg/m ³
Punto de fusión	50,35 K (-223 °C)
Punto de ebullición	90,18 K (-183 °C)
Entalpía de vaporización	3,4099 kJ/mol
Entalpía de fusión	0,22259 kJ/mol
Volumen molar	17,36×10 ⁻³ m ³ /mol

Fuente: Elementos.org (2011, Abril 3), *Oxígeno*.

2.3.2.1.2. Propiedades Químicas.

A temperaturas ambiente el oxígeno es bastante inactivo pero a temperaturas elevadas, especialmente si es puro y en presencia de algún catalizador, se combina con la mayoría de los otros elementos para formar óxidos. La estructura electrónica supuesta, con dos pares de electrones compartidos, explica este comportamiento ya que la reactividad del oxígeno va unida a su disociación previa en átomos, lo que exige la absorción de una gran cantidad de calor, igual a 118,32 Kcal/mol. La estructura con dos enlaces de tres electrones y uno covalente sencillo, con electrones no apareados, explica las propiedades paramagnéticas y el color azul del oxígeno líquido, por lo cual es preferida aunque corrientemente se toma la estructura electrónica clásica. (*Babor – Ibarz 1935*)

2.3.2.1.3. Usos y Aplicaciones.

Las aplicaciones más importantes para el Oxígeno son:

- El uso del Oxígeno en lugar de aire en las Industrias puede incrementar el rendimiento y eficiencia en diversos procesos. Comúnmente se utiliza en calderas y calentadores, además de fermentadores industriales y procesos de gasificación para mejorar la productividad.
- Por lo general en Tarija, el Oxígeno se usa para el tratamiento y prevención de la hipoxemia e hipoxia y para tratar afecciones respiratorias, por lo que todos los centros de salud, hospitales, clínicas y otras similares hacen uso de este elemento.
- Como gas industrial, el Oxígeno se utiliza para reemplazar o enriquecer el aire.
- El oxígeno se utiliza extensamente para mejorar las operaciones de tratamientos de aguas residuales.
- El oxígeno se usa como gas de corte por plasma, como gas auxiliar para corte con láser y en algunas ocasiones se agrega en pequeñas cantidades a los gases de protección. **Praxair.com (2006).**
- El oxígeno líquido pone en marcha vehículos de doble propulsión, Asimismo, el oxígeno gaseoso apoya la combustión de combustible de cohetes.

- 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.
- 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), y para mejorar las operaciones de tratamientos de aguas residuales.

2.3.2.2. Nitrógeno.

El Nitrógeno es un elemento químico gaseoso, inodoro, incoloro e insípido, El origen del nombre: viene dado de las palabras griegas "nitron" ("nitrato") y "geno" ("generador"). Lo que significa "formador de nitratos". Sus características físicas y químicas son: (*Babor – Ibarz 1935*)

2.3.2.2.1. Propiedades Físicas.

Tabla II-3 Propiedades Físicas del Nitrógeno

<u>Detalle</u>	<u>Característica</u>
Fórmula molecular:	N ₂
Número Atómico:	7
Peso Atómico:	14,008
Punto de Ebullición:	-195,8°C
Punto de Congelación:	-209,86°C
Temperatura Crítica:	-147,1°C
Presión Crítica:	33,5 atm
Densidad absoluta (en c.n.)	1,2506g/litro

Densidad relativa (aire=1)	0,9672
Densidad del N ₂ líquido:	8,808
Solubilidad en agua (cm ³ en c.n. por litro)	a 0°C: 23,54 a 25°C: 14,34

Fuente: (Babor – Ibarz, 1935)

2.3.2.2.2. Propiedades Químicas.

El Nitrógeno carece de actividad química a temperaturas ordinarias. El calor de disociación de las moléculas de nitrógeno es de -171,14 Kcal por mol de N₂, siendo mayor que el de cualquier otra molécula diatómica. La estructura de su molécula, con tres pares de electrones compartidos, explica la inercia química del nitrógeno. No obstante, cuando se calienta a elevadas temperaturas con ciertos metales se combina con ellos formando nitruros.

Este elemento abunda extraordinariamente en la naturaleza; en estado libre en la atmósfera, el nitrógeno constituye el 78,03% del aire.

El nitrógeno fue reconocido como sustancia independiente en 1772, por el químico botánico escocés Daniel Rutherford, de la Universidad de Edimburgo, quién accedió al nitrógeno en el curso de los trabajos de su Tesis doctoral, que implicaba experiencias con ratones en atmósfera controlada, dando como resultado un componente de gas residual no respirable y que tampoco producía combustión. Su título fue: “EL AIRE FIJO O MEFÍTICO”, pero más tarde Lavoisier lo denominó ázoe (Sin vida), pero en 1823 Chaptal propuso el nombre de NITROGENO, debido a la presencia de este elemento en el nitro (Salitre, NO₃K) sustancia para esa época muy conocida. En la actualidad, el Nitrógeno tiene un amplio campo de aplicación en todo el mundo, inclusive en algunas industrias de Bolivia. (*Eugenio Portela 1999*).

2.3.2.2.3. Usos y Aplicaciones.

El Nitrógeno tiene diferentes usos tales como:

1. Para evitar el riesgo de explosiones o incendio, en tuberías y reactores.
2. En el proceso de envasado, evita la presencia de aire residual en el cuello de la botella.

3. Reduce el riesgo de que se deterioren las propiedades del producto final.
4. Impide que la humedad degrade los productos, logrando iniciar todo tipo de reacciones secundarias no deseadas.
5. Reduce las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles (COV) de aguas residuales.
6. Reduce el tiempo de enfriamiento y los costos asociados a éste.

Praxair.com (2006)

Entre las aplicaciones más significativas del nitrógeno se halla:

- En la industria vitivinícola, el nitrógeno se emplea para prevenir la oxidación, lo cual permite usar menos aditivos. Igualmente, se conserva mejor la acidez, el color, el aroma y el sabor natural del vino.
- El nitrógeno se utiliza en diferentes etapas de la producción, manipulación y envasado de bebidas. El uso de nitrógeno en los depósitos, recipientes, tubos y botellas.
- El nitrógeno se utiliza para la inertización de tanques de almacenamiento. Los sistemas de compresores, las tuberías y los reactores se purgan con nitrógeno.
- El nitrógeno es utilizado como un gas portador en cromatografía en fase gaseosa para los análisis y para control de calidad en medios industriales y hospitalarios.
- En la industria médica y farmacéutica se utiliza el nitrógeno para congelar los virus que son objeto de estudio.
- Se utiliza ampliamente en la industria electrónica y de metales por sus propiedades inertes. **Praxair.com (2006, Junio 29).**

2.4. ANÁLISIS DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.

2.4.1. Análisis de la Oferta.

2.4.1.1 Materia Prima.

El Aire que se encuentra en la atmosfera de la ciudad de Tarija presenta las siguientes características:

Tabla II-4 Resumen Climatológico de la Ciudad de Tarija desde (Enero – Julio) 2015

Índice	Unidad	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.
Temp. Max. Media	°C	27,3	27,4	26,8	25,3	25,4	24,3	26,7
Temp. Mín. Media	°C	14,6	15,4	15,0	13,2	7,1	2,7	2,4
Temp. Media	°C	21,0	21,4	20,9	19,2	16,2	17,4	18,6
Días con Helada		0	0	0	0	2	3	0
Humedad. Relativa	%	72,3	73,9	72,7	76,5	68,3	55	53
Presión Barométrica	hPa	813,8	814,3	814,2	814,1	814,4	814,1	814,3
Precipitación	mm	212	211,2	78,6	24,5	7,8	0,9	1
Pp. Max. Diaria	mm	39,9	58,8	29,8	10,6	0,0	0,0	0,0
Días con Lluvia		17	12	8	9	0	0	0
Velocidad del viento	km/hr	5,1	4,3	4,2	4,2	4,6	4,2	5,1
Viento Máximo	km/hr	48,6	41,6	34,7	41,6	41,6	38,9	62,4

Fuente: SENAMHI, SISME.

En este proyecto, la producción de Oxígeno y Nitrógeno utiliza como materia prima el AIRE, el cual es abundante en nuestro entorno y accesible en todo momento, por lo

mismo es gratuito, y está a disposición de todos; por lo tanto, el análisis de la oferta es irrelevante.

Por otra parte, otros insumos importantes que requiere la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno son: Cilindros de acero, válvulas y reguladores, mismos que son ofertados por diversas industrias que se encuentran en Bolivia.

Tabla II-5 Empresas Ofertantes

Empresa	Ubicación	Tipo de Accesorio	Capacidad	Cantidad
Hergo Ltda.	La Paz	Cilindros de Acero	6 m ³ , 3m ³ , portátiles	A pedido
3H Industriales	Cochabamba	Cilindros de Acero	6m ³ y 1m ³	A pedido
Praxair	Santa Cruz	Válvulas y Accesorios	-	A pedido
Oxisur	Tarija	Válvulas y Accesorios	-	A pedido

Fuente: hergoltda.com, 3HIndustriales.com, Praxair.com, Oxisur

2.4.1.2. Productos.

2.4.1.2.1 Oxígeno.

Oxisur es una industria que produce Oxígeno gaseoso en la ciudad de Tarija, siendo esta el mayor ofertante en el mercado Tarijeño como se observa en la siguiente tabla.

Tabla II-6 Oferta Histórica de Oxígeno en Tarija.

Año	Oferta del O₂ (m³)
2010	57600
2011	59400
2012	63600

2013	65760
2014	72000

Fuente: *Oxisur*

Esto se debe fundamentalmente a que Oxisur es la única industria en la ciudad de Tarija productora de estos gases industriales.

Oxmi Ltda., 3H Industriales SRL, PRAXAIR, Oxígeno de Bolivia S.A., son empresas que solo distribuyen el Oxígeno en la ciudad de Tarija, y lo hacen de manera irregular, por lo mismo no tienen una oferta determinada, esto se debe al elevado costo que genera el transporte de los cilindros desde los departamentos donde se produce; Santa Cruz, La Paz y Cochabamba, hasta el mercado de Tarija; además, el transporte de los cilindros de acero requiere mucho cuidado para evitar accidentes.

2.4.1.2.2 Nitrógeno.

Actualmente la oferta del Nitrógeno en el mercado de la ciudad de Tarija es casi nula esto se debe a que no existe una demanda del producto que permita considerar una oferta cuantificable para este proyecto lo que demuestra que en Tarija no se conoce los grandes beneficios para la aplicación del producto mencionado.

2.4.2. Análisis de la Demanda.

2.4.2.1 Materia Prima.

El Aire que nos rodea es la mezcla homogénea de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen alrededor del planeta Tierra por acción de la fuerza de gravedad.

El Aire limpio y puro forma una capa de aproximadamente 500.000 millones de toneladas que rodea la Tierra.

Todos los seres vivos demandan Aire, siendo este un elemento de la naturaleza indispensable en la vida de todos.

El Aire es la materia prima de este proyecto, y que mediante el proceso de destilación fraccionada, se separa el Oxígeno y el Nitrógeno.

Considerando que la demanda Potencial del Oxígeno proyectada para la ciudad de Tarija para el año 2024 será de $144180\text{m}^3\text{ O}_2$.

La demanda aproximada de Aire para cubrir las expectativas de este proyecto es de:

$$1\text{m}^3_{\text{Aire}} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 0,20946\text{ m}^3\text{ O}_2$$

$$X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 144180\text{ m}^3\text{ O}_2$$

$$X = 688341,45\text{ m}^3_{\text{Aire}}$$

2.4.2.2. Productos.

2.4.2.2.1 Oxígeno

Esta sustancia gaseosa comprende una importante parte de la atmósfera y resulta necesaria para sostener la vida terrestre.

En la ciudad de Tarija existe una Demanda creciente del Oxígeno, ya que el sector industrial y el sector medicinal crece anualmente junto con la población, además se considera al oxígeno como un bien elástico lo cual se refleja en los datos que se obtuvieron de una consulta a los diferentes centros de salud, Clínicas Privadas, Hospitales que demandan Oxígeno medicinal.

La Tabla II-6 contiene los datos obtenidos de los Principales centros de salud de la ciudad de Tarija, aunque son 29 centros de salud en toda el área tanto urbana como rural, son solo 6 los centros de salud, los que cuentan con mayor infraestructuras y con mejor equipamiento, los cuales hacen uso continuo de Oxígeno, siendo que los 23 centros de salud restantes solo son centros de 1er nivel y de abastecimiento que se

limitan a atenciones de control y prevención, mientras que los casos de emergencia que necesitan mayores estudios e internación son derivados a los centros de salud mejor equipados y que cuentan con lo necesario para una mejor atención. **(Sedes)**

Tabla II-7 Demanda de Oxígeno en los Principales centros de Salud

Centros de Salud Área	Cantidad (m³)				
Urbana y Rural	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014
C. Villa Abaroa	656	670	685	704	720
C. San Luis	802	816	833	848	864
C. 15 de Noviembre	610	624	641	656	672
C. Guadalquivir	514	528	545	560	576
C. Palmarcito	706	720	737	752	768
C. San Andrés y Hemodiálisis	961	982	1007	1027	1050
Total	4249	4340	4448	4547	4650

Fuente: Centros de Salud

Las Clínicas Privadas que existen en la ciudad de Tarija también tienen una creciente demanda de Oxígeno, como se observa en la siguiente Tabla:

Tabla II-8 Demanda de Oxígeno en Clínicas Privadas

Clínicas Privadas	Cantidad (m³) Año 2010	Cantidad (m³) Año 2011	Cantidad (m³) Año 2012	Cantidad (m³) Año 2013	Cantidad (m³) Año 2014
Clínica Santísima Trinidad.	7806	8212	8744	8942	10047
Clínica Santa Lucía	5534	5899	6431	6629	7734
Clínica Attie.	7987	8384	8916	9114	10219
Policlínicos	1972	2065	2597	2795	3900
Cies.	3560	3758	4290	4488	5593
Prosalud (1 y 2)	6880	7616	8149	8350	9457
Total	33739	35934	39127	40318	46950

Fuente: Clínicas Privada.

Concluida las consultas a los diferentes Hospitales, Centros de Salud y Clínicas Privadas se demuestra que los actuales demandantes de Oxígeno Medicinal en la Ciudad de Tarija son los siguientes:

Tabla II-9 Resumen de Demandantes de Oxígeno

Demandantes	Cantidad (m ³)				
	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014
Hospital Regional San Juan de Dios	24070	24560	25115	25690	26280
Caja Nacional de Salud. C.N.S	22942	23466	24010	24545	25120
Centros de salud	4249	4340	4448	4547	4650
Clínicas Privadas	33739	35934	39127	40318	46950
TOTAL	85000	88300	92700	95100	103000

Fuente: Hospitales, Centros de Salud y Clínicas Privadas

Una vez obtenidos los datos totales de la demanda del Oxígeno en la ciudad de Tarija y la oferta histórica de Oxígeno por parte de Oxisur, se calcula la demanda insatisfecha que existe en el mercado de Tarija.

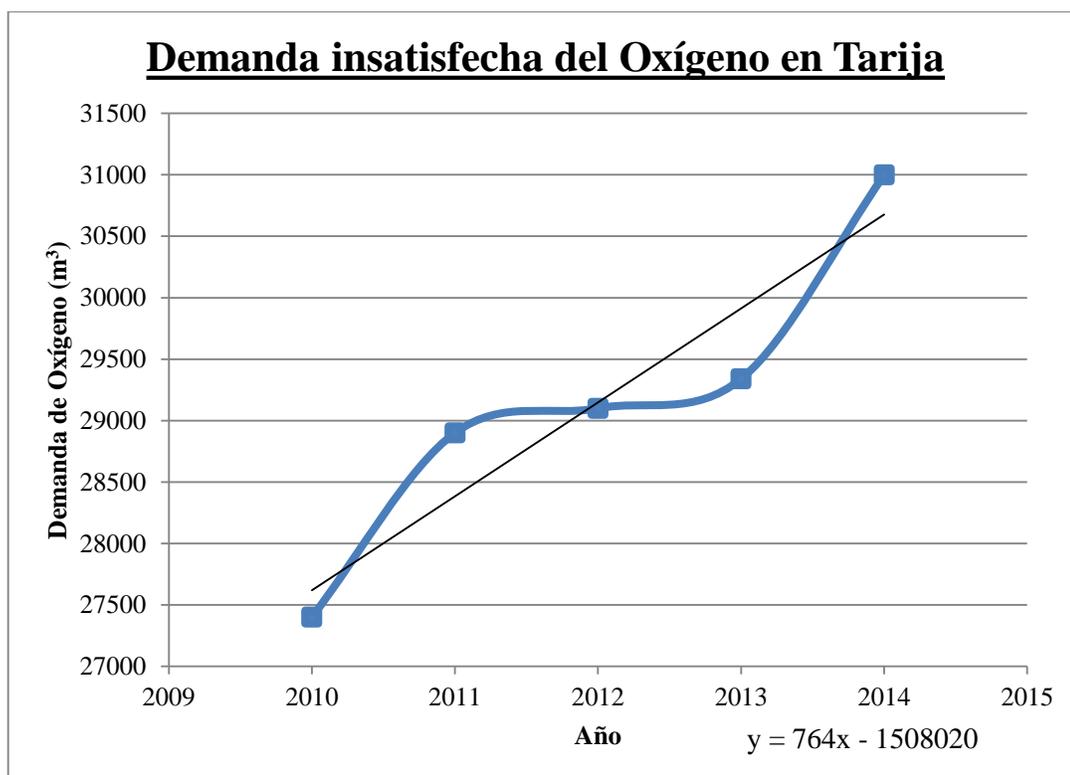
Tabla II-10 Demanda Histórica de Oxígeno en la ciudad de Tarija.

Año	Demanda O ₂ (m ³)	Oferta del O ₂ Oxisur (m ³)	Demanda O ₂ Insatisfecha (m ³)
2010	85000	57600	27400
2011	88300	59400	28900
2012	92700	63600	29100
2013	95100	65760	29340
2014	103000	72000	31000

Fuente: Hospitales, Clínicas Privadas y Centros de salud.

Con los datos que se obtienen en la Tabla II-9 se procede a reflejar gráficamente la demanda insatisfecha del Oxígeno en la ciudad de Tarija.

Fig.2-1 Demanda insatisfecha del Oxígeno.



Fuente: elaboración propia, 2015

2.4.2.2.2 Nitrógeno

El presente proyecto no contempla una actual demanda de Nitrógeno en la ciudad de Tarija por lo que se considera que en un futuro el Nitrógeno será uno de los elementos básicos, esto se debe a la gran importancia de su aplicación en los diversos sectores de la industria, como ser:

- ✓ En la industria vitivinícola, para prevenir la oxidación reduciendo el uso de aditivos, además conserva las propiedades organolépticas del vino.

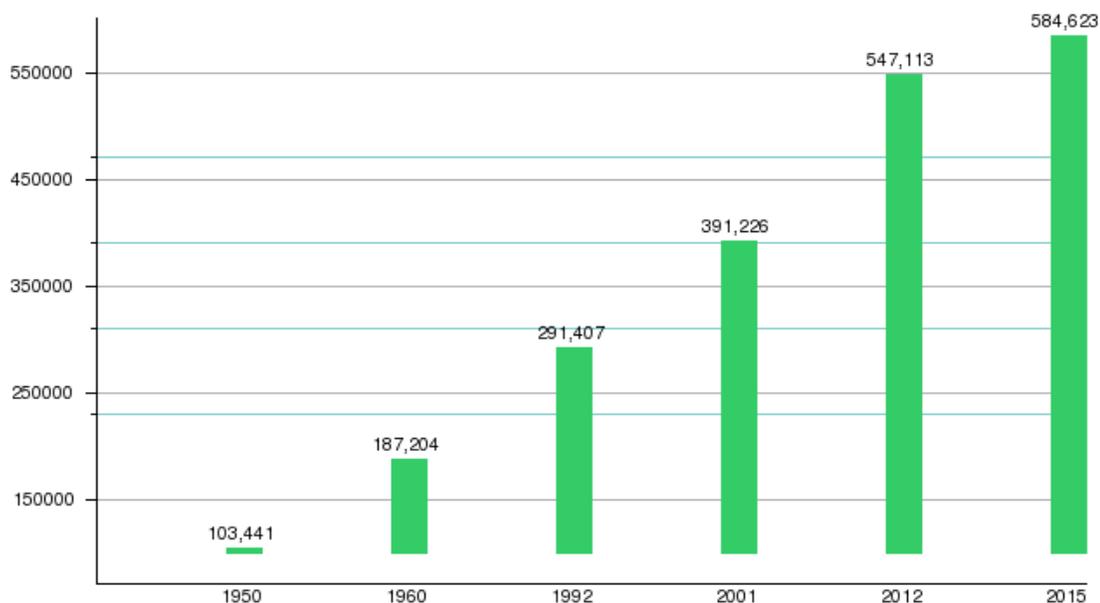
- ✓ El nitrógeno se utiliza en diferentes etapas de la producción, manipulación y envasado de bebidas.
- ✓ El nitrógeno se utiliza para la inertización de tanques de almacenamiento. Los sistemas de compresores, las tuberías y los reactores se purgan con nitrógeno.
- ✓ El nitrógeno es utilizado en cromatografía para la fase gaseosa.
- ✓ En la industria médica y farmacéutica.

2.5. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL MERCADO Y POLÍTICAS DE COMERCIALIZACIÓN.

La ciudad de Tarija se encuentra situada al sureste de Bolivia, es la capital del Departamento de Tarija, está en la provincia Cercado, a orillas del Río Guadalquivir; limita al norte y oeste con la provincia Méndez, al este con la Provincia O'Connor y al sur con las provincias de Avilés y Arce. Su clima es templado.

La ciudad de Tarija tiene un área de superficie de 37.623 km² y una altura aproximada de 1849 msnm; la población según censo 2012 del departamento de Tarija es de 584623 habitantes, sin embargo, la capital del departamento tiene 153.457 habitantes, con un índice de crecimiento poblacional de 2,26% (INE).

En la actualidad, la ciudad de Tarija solo cuenta con una industria Productora de Oxígeno que es Oxisur. Pero también existen distribuidoras de Oxígeno cuyas industrias están en el interior del País.

Fig.2-2 Evolución de la Población del Departamento de Tarija.

Fuente: INE, 2015

A continuación se muestra diferentes Índices de la Ciudad de Tarija para un estudio de mayor precisión; estos datos se obtuvieron del SENAMHI de la ciudad de Tarija.

Tabla II-11 Datos Climatológicos de la Ciudad de Tarija de (Enero – Julio) 2015

Índice	Unidad	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.
Temp. Max. Media	°C	27,3	27,4	26,8	25,3	25,4	24,3	26,7
Temp. Min. Media	°C	14,6	15,4	15,0	13,2	7,1	2,7	2,4
Temp. Media	°C	21,0	21,4	20,9	19,2	16,2	17,4	18,6
Días con Helada		0	0	0	0	2	3	0
Humedad. Relativa	%	72,3	73,9	72,7	76,5	68,3	55	53
Presión Barométrica	hPa	813,8	814,3	814,2	814,1	814,4	814,1	814,3
Precipitación	Mm	212	211,2	78,6	24,5	7,8	0,9	1
Días con Lluvia		17	12	8	9	0	0	0

Velocidad del viento	km/hr	5,1	4,3	4,2	4,2	4,6	4,2	5,1
Viento Máximo	km/hr	48,6	41,6	34,7	41,6	41,6	38,9	62,4

Fuente: SENAMHI, SISME.

El mercado de comercialización para el Oxígeno está sujeto al capital de inversión del Proyecto; en el presente caso, el área de influencia y demanda del oxígeno está conformada por una región dentro de la cual, la producción de la planta productora de Oxígeno satisficará los requerimientos del Oxígeno a precios competitivos en relación a otras fábricas y distribuidoras, cuyos precios resultan elevados a raíz de los costos de transporte. Como conclusión, se puede decir que el área de mercado del presente proyecto está determinada principalmente por los costos de transporte, por lo que es recomendable que se ubique en la Ciudad de Tarija.

Fig. 2-3 Geografía del Departamento de Tarija



Fuente: www.wikipedia.org (2015)

2.6. ANÁLISIS DE PRECIOS.

2.6.1. Materia prima.

El Aire, como es de conocimiento público, es un recurso natural que se encuentra en la naturaleza, del cual se puede hacer uso sin costo alguno; sin embargo, el costo de la materia prima se incorpora en el momento en el que se prepara para su utilización, ya que el aire presente en la atmósfera tiene muchas impurezas las cuales deben ser filtradas para obtener una materia prima limpia para la obtención de los productos con una mejor calidad.

Por otra parte, otros insumos importantes que requiere la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno son: cilindros de acero, válvulas y reguladores, mismos que tienen diferentes precios de acuerdo a la empresa comercializadora, como se podrá observar en la siguiente tabla:

Tabla II-12 Empresas Comercializadoras

Empresa	Tipo de Accesorio	Capacidad	Precio
Hergo Ltda.	Cilindros de Acero	6 m ³ , 3m ³ , portátiles	100\$us
3H Industriales	Cilindros de Acero	6m ³ y 1m ³	900 Bs.
Praxair	Válvulas	-	35 \$us
	Accesorios	-	12 \$us
Oxisur	Válvulas	-	270 Bs.
	Accesorios	-	95 Bs.

Fuente: hergoltda.com, 3HIndustriales.com, Praxair.com, Oxisur

Estos datos son variables de acuerdo a la cantidad de productos adquiridos.

2.6.2. Productos.

El precio es una variable económica muy importante al momento de hacer el estudio de mercado del producto; considerando esta variable se puede determinar que actualmente en la ciudad de Tarija se tiene los siguientes precios de Oxígeno y Nitrógeno:

Tabla II-13 Precio de Venta del Oxígeno y Nitrógeno en la ciudad de Tarija

Producto	Oxisur S.R.L.		3H Industriales S.R.L.	
	Capacidad del Cilindro	Precio	Capacidad del Cilindro	Precio
Oxígeno	6m ³	110 Bs.	6m ³	110
Nitrógeno	6m ³	390 Bs.	6m ³	-

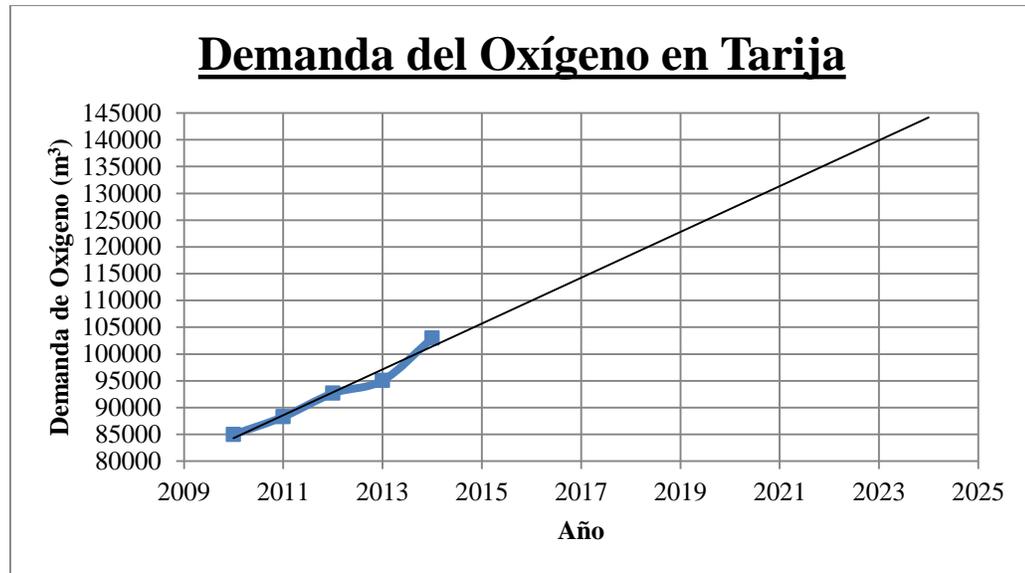
Fuente: Oxisur S.R.L. y 3H Industriales S.R.L.

2.7. PROYECCIONES.

La demanda de Oxígeno medicinal en la ciudad de Tarija en el año 2014 fue de 103000 m³, la misma tiene relación con el crecimiento poblacional que tiene la ciudad.

La proyección que se muestra a continuación se basa en la demanda potencial del Oxígeno que tendrá la ciudad de Tarija para el año 2024

El método de proyección que se utilizará en el presente proyecto es de la línea de tendencia o regresión lineal; dicho método permite calcular y determinar la demanda potencial del Oxígeno para el año 2024, tomando en cuenta que la variable dependiente “Y” (Cantidad de Oxígeno en m³) se calcula en relación a la variable independiente “X” (Tiempo estimado para la proyección), suponiendo que existe una relación lineal entre ambas.

Fig.2-4 Demanda Potencial Proyectada de Oxígeno

Fuente: *Elaboración propia, 2015*

Para el cálculo del método de regresión lineal, se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$Y = a + bX \quad (2-1)$$

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (2-2)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (2-3)$$

Donde:

Y= Valor calculado de la variable dependiente (Cantidad de Oxígeno m³)

X= Valor de la variable independiente (Tiempo)

a= constante

b= Coeficiente de X

Teniendo la Demanda Histórica (Ver **Tabla II-9**), se elabora la siguiente tabla, para luego reemplazar los datos obtenidos en las anteriores fórmulas:

Tabla II-14 Datos para cálculo del método de regresión lineal

Año	X	Y	X²	XY	Y²
2010	1	85000	1	85000	7225000000
2011	2	88300	4	176600	7796890000
2012	3	92700	9	278100	8593290000
2013	4	95100	16	380400	9044010000
2014	5	103000	25	515000	10609000000
Sumatoria	$\Sigma 15$	$\Sigma 464100$	$\Sigma 55$	$\Sigma 1435100$	$\Sigma 43268190000$

Fuente: Elaboración propia, 2015

Para la ecuación (2-3) se necesita las medias de X e Y, las cuales son:

$$\bar{X} = 3$$

$$\bar{Y} = 92820$$

Reemplazando datos en las ecuaciones (2-2) y (2-3)

$$b = \frac{(5 * 1435100) - (15 * 464100)}{(5 * 55) - (15)^2}$$

$$b = 4280$$

$$a = 92820 - (4280 * 3)$$

$$a = 79980$$

Por lo tanto, en la ecuación (2-1) la proyección para el 2015 sería:

$$Y_{2015} = a + bX$$

$$Y_{2015} = 79980 + (4280 * 6)$$

$$Y_{2015} = 105660$$

Proyectando la demanda del Oxígeno hasta el año 2024 se tiene los siguientes datos:

Tabla II-15 Proyección de la Demanda de Oxígeno en la ciudad de Tarija

Proyección	X	Y
2015	6	105660
2016	7	109940
2017	8	114220
2018	9	118500
2019	10	122780
2020	11	127060
2021	12	131340
2022	13	135620
2023	14	139900
2024	15	144180

Fuente: Elaboración propia, 2015

La demanda potencial del Oxígeno proyectada al 2024 en Tarija será de:

$$Y_{2024} = 79980 + (4280 * X)$$

$$Y_{2024} = 79980 + (4280 * 15)$$

$$Y_{2024} = 79980 + (64200)$$

$$Y_{2024} = \mathbf{144180 \text{ m}^3 \text{ Oxígeno}}$$

Por lo tanto, se determina que la demanda potencial de Oxígeno para el año 2024 en la ciudad de Tarija será de 144180 m³.

El estudio técnico de mercado no se hará para el Nitrógeno, esto se debe a la inexistencia de mercado para dicho producto, siendo que no hay demanda actual del Nitrógeno.

CAPÍTULO III

TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN

3.1. JUSTIFICACIÓN DEL TAMAÑO.

El tamaño de la Planta de Oxígeno y Nitrógeno es la capacidad de producción que esta tendrá durante un periodo de tiempo determinado de funcionamiento.

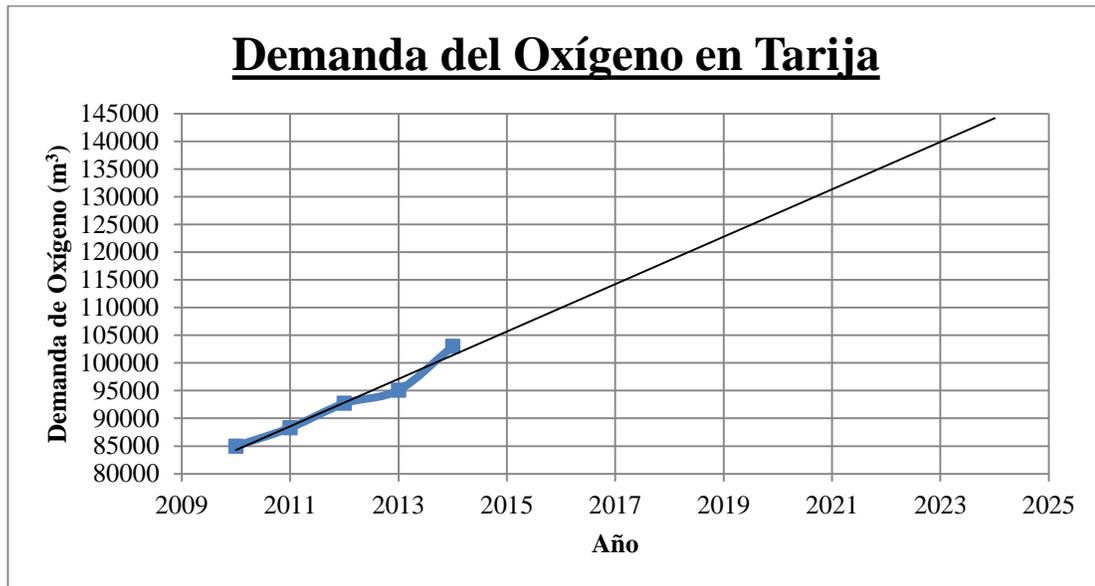
Los factores que determinan o condicionan el tamaño del presente proyecto son: la demanda futura del Oxígeno en la ciudad de Tarija, la disponibilidad de las materias primas, las maquinarias y equipos que se utilizarán, el financiamiento requerido para la instalación de la Planta y los costos que genera la producción de los productos; dichos factores se interrelacionan entre sí.

3.1.1 Tamaño – Demanda Potencial de Oxígeno

La determinación del tamaño de la Planta Industrial para la obtención del Oxígeno tomando en cuenta la demanda Potencial de Oxígeno para la ciudad de Tarija es el factor más importante que justifica el presente proyecto, mismo que visualiza un amplio mercado, al cual podrá abastecer sin limitaciones, desplazando a los actuales ofertantes y con la posibilidad de poder comercializar los productos (Oxígeno y Nitrógeno) a otras provincias del Departamento de Tarija.

Para la determinación del Tamaño de la Planta se procederá a realizar una proyección de la demanda Potencial del Oxígeno, mediante el método de la línea de tendencia; esta proyección se hará a diez años debido a que según el cronograma de GANTT, requiere de 3 años y 2 meses para poner en marcha la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno; luego se necesitará alrededor de 4 años para alcanzar el 100% de la capacidad de producción instalada, por lo cual, es justificable realizar una Proyección a Diez años, que garantice el abastecimiento de Oxígeno para la ciudad de Tarija en el año 2024.

Fig.3-1 Demanda Potencial Proyectada de Oxígeno



Fuente: elaboración propia, 2015

La demanda Potencial del Oxígeno proyectada al 2024 en Tarija será de:

$$Y_{2024} = 79980 + (4280 * X)$$

$$Y_{2024} = 79980 + (4280 * 15)$$

$$Y_{2024} = 79980 + (64200)$$

$$Y_{2024} = \mathbf{144180 \text{ m}^3 \text{ Oxígeno}}$$

Por lo tanto, el tamaño de producción de la planta que se presenta en este proyecto será de aproximadamente 150000m³/año de O₂, en condiciones normales de temperatura y presión, tamaño que es justificable con la posibilidad de comercializar a otras provincias del Departamento de Tarija.

Obtenido el tamaño aproximado de la Planta Productora de Oxígeno se determina el tamaño del compresor de aire que será de:

$$1\text{m}^3_{\text{Aire}} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 0,20946 \text{ m}^3 \text{ O}_2$$

$$X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 150000\text{m}^3 \text{ O}_2$$

$$X = 716127,1842 \text{ m}^3/\text{año Aire}$$

Dicho compresor trabajará 250 días al año, con 8 horas diarias las cuales están normadas por la Ley de Trabajo.

El caudal a la entrada del compresor será:

$$Q = 716127,1842 \frac{m^3}{año} * \frac{1año}{250días} * \frac{1día}{8hs}$$

$$Q = 406,9 m^3/hr \text{ Aire}$$

3.1.2 Tamaño - Disponibilidad de las materias primas

La Planta Productora de Oxígeno tendrá una capacidad aproximada de producción de 150000m³/año, para lo que se requiere 716127,1842 m³/año de Aire, el cual es la materia prima del Proyecto; dicho factor no es limitante para el tamaño ya que su disponibilidad está al alcance y en la cantidad que requiera el Proyecto.

3.1.3 Tamaño - Maquinarias y Equipos

Los equipos más importantes que requiere el Presente Proyecto son:

- Un Compresor.
- Un Intercambiador de Calor.
- Una Columna de Destilación Fraccionada.

Estos son equipos que tienen un sencillo proceso de funcionamiento. Las características requeridas de cada equipo no los convierten en limitantes para el presente Proyecto.

3.1.4 Tamaño – Financiamiento.

La instalación de la Planta Productora de Oxígeno con el tamaño planteado de 150000 m³/año requiere una inversión total de aproximadamente 767050 \$us; de dicho monto solo se podrá cubrir con aporte propio 367050 \$us, el saldo de 400000 \$us será cubierto con el financiamiento de una entidad financiera, misma que respaldará la inversión total, para que el presente proyecto sea factible financieramente.

3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN

La ubicación de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno permitirá identificar el punto geográfico y el lugar exacto donde se ejecutará el proyecto.

La localización ideal está donde el proyecto logrará la máxima utilidad y el mínimo de costo de inversión.

Un factor importante es el costo de transporte de los cilindros contenedores de Oxígeno y Nitrógeno hasta los puntos de entrega.

Para la justificación de una buena localización se realiza una Macrolocalización y una Microlocalización. (R. Paredes Zárate)

3.2.1 Macrolocalización.

Proporciona la selección de una zona amplia que presenta condiciones aceptables, para la ubicación de la Planta, predominando los criterios de tipo económico, social y políticos. Señalando concretamente la ubicación del proyecto, se consideran:

- a) Costo de transporte de los productos.
- b) Disponibilidad de mano de obra
- c) Disponibilidad de servicios básicos (Comunicación, agua, energía y gas)
- d) Otros.

Analizando los criterios planteados se determina que la mejor opción para la macrolocalización de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno, estará situada en la capital del Departamento de Tarija, en la provincia Cercado, debido a que la producción de la Planta estará destinada al mercado local de la ciudad de Tarija.

3.2.2. Microlocalización.

La Microlocalización del presente Proyecto, brindará la determinación y selección más adecuada y precisa del área en el que se instalará la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno, optimizando los costos y servicios. (R. Paredes Zárate)

Los factores que se analizan para la microlocalización, son aquellos que se consideran más relevantes para este tipo de industria, los cuales se describen a continuación:

3.2.2.1 Acceso al mercado:

La ciudad de Tarija es la capital del Departamento de Tarija, lo que beneficia para acceder a los diferentes mercados internos del Departamento.

3.2.2.2 Costo del terreno:

Este factor es importante para la localización del proyecto, por lo que es relevante señalar que los terrenos en el área rural de la ciudad de Tarija son más económicos, pero el costo del transporte hasta el mercado es mayor. Además, debe considerarse que el Parque Industrial de la ciudad de Tarija facilita la adquisición de terrenos a las industrias emergentes, gracias a planes estratégicos que benefician a la mediana y pequeña industrias. Sin embargo se debe considerar económicamente los siguientes aspectos:

- a) La estructura del suelo.
- b) El espacio para ampliaciones.
- c) La disponibilidad de servicios básicos y las vías de acceso.

3.2.2.3 Disposición de terreno:

Existe amplia disposición de terrenos en el Parque Industrial de la ciudad de Tarija, que permitirá la instalación de la Planta Productora de Oxígeno, con el objetivo de promover el desarrollo sostenible, el incremento de la productividad, la promoción y desarrollo económico – social del departamento de Tarija.

3.2.2.4 Mano de Obra:

La mano de obra es una condicionante muy influyente en la localización de la planta, así como lo es la calidad de la mano de obra que requiere este tipo de industria; en el presente proyecto existe una gran oferta de mano de obra, por parte de profesionales con experiencia en este tipo de rubro.

3.2.2.5 Costo de Transporte

Es una variable importante para la determinación de la localización de la Planta, siendo que el transporte requerido para la comercialización del Oxígeno debe comunicar los diferentes mercados al menor costo posible.

3.2.2.6 Impacto Ambiental:

Este factor es influyente, debido a que la contaminación del agua, del aire y de la tierra, es una realidad en la que vive la ciudad de Tarija; por estas circunstancias se muestra que la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno será inofensiva para el medio ambiente.

3.2.2.7 Servicios básicos (Energía, Agua, Comunicación y Gas):

Los servicios de Energía, Agua, Comunicación y Gas son factores que se toman en cuenta al momento de realizar la ubicación del Proyecto debido a que la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno requiere indispensablemente de dichos servicios.

Para la determinar una localización óptima, para la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno se realizará una comparación de dos posibles alternativas, ponderando los factores que tienen mayor relevancia dentro del proyecto.

Esta metodología de análisis es práctica y sencilla para evaluar la mejor opción; para ello se procederá primeramente a ponderar cada factor para la localización, de acuerdo al grado de importancia dentro del Proyecto.

La ponderación que recibe cada factor está dentro del (1 – 100):

- Acceso al mercado: 10%
- Costo del terreno: 20%
- Disposición de terreno: 15%
- Mano de Obra: 10%
- Costo de Transporte: 20%
- Impacto Ambiental: 10%
- Servicios básicos:
 - ✓ Energía 5%
 - ✓ Agua 4%
 - ✓ Gas 3%
 - ✓ Comunicación 3%

Luego se procede a asignar valores del (1 - 10), de acuerdo al análisis previo de cada factor, para cada una de las alternativas propuestas, siendo:

- 1 - el valor mínimo (Malo, Deficiente)
- 5 - el valor medio (Aceptable)
- 10 - el valor máximo (Muy Bueno)

Tabla III-1 Matriz de Localización

Factores		Alternativas de Localización				
		San Andrés		Parque Industrial		
Acceso al mercado	10	4	40	9	90	
Costo del terreno	20	8	160	7	140	
Disposición de terreno	15	4	60	7	105	
Mano de Obra	10	5	50	8	80	
Costo de Transporte	20	5	100	8	160	
Impacto Ambiental	10	8	80	6	60	
Servicios Básicos	Energía	5	8	40	9	40
	Agua	4	7	28	8	32
	Gas	3	6	18	8	24
	Comunicación	3	7	21	8	24
	100		597		755	

Fuente: Elaboración Propia, 2015

Se obtiene que la localización más adecuada para la instalación de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno sea en el Parque Industrial de la ciudad de Tarija provincia Cercado, Capital del Departamento de Tarija.

CAPÍTULO IV
INGENIERÍA DEL PROYECTO.

4.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.

4.1.1 Materia Prima.

✓ **Descripción**

El **aire líquido** está compuesto de aire que ha sido licuado mediante aplicación de alta compresión en pistones y posteriormente enfriado a muy bajas temperaturas. El aire líquido absorbe rápidamente el calor y es esta la razón por la que se convierte rápidamente a su estado gaseoso. Se emplea generalmente en la refrigeración de otras sustancias, así como fuente de nitrógeno, oxígeno, argón, y otros gases inertes.

✓ **Propiedades**

El aire líquido tiene una densidad de aproximadamente 870 kg/m^3 , aunque esta densidad nominal puede ser diferente en muchos casos dependiendo de la composición elemental del aire. Ya que como el aire gaseoso tiene un 78% de volumen de nitrógeno y un 21% de oxígeno, la densidad del aire líquido en composición estándar es calculada teniendo en cuenta la composición decimal de las densidades en estado líquido de los respectivos componentes del aire líquido.

Punto de fusión: $-216.2 \text{ }^\circ\text{C}$ Punto de ebullición: $-194.35 \text{ }^\circ\text{C}$.

✓ **Usos**

Los usos más frecuentes del aire líquido son la refrigeración industrial (por ejemplo es empleado para refrigerar los dispositivos de superconductividad) y de dispositivos de laboratorio (fundamentalmente detectores y cámaras de infrarrojo, detectores, etc.); algunos inventores como el ingeniero francés GuyNegré que figura como el inventor de un automóvil que se propulsa con aire líquido, aplicaciones diversas de criónica, la obtención de oxígeno y nitrógeno y algunos gases nobles (todos ellos en

estado líquido). Posee además diversos usos en medicina, esterilización de instrumentos.

4.1.2 Productos.

4.1.2.1 OXÍGENO

➤ **Descripción:**

- En condiciones normales de presión y temperatura, es un gas incoloro, inodoro y sin sabor.
- Constituye cerca de un quinto en la composición del aire atmosférico (20,99% en volumen y 23,2% en peso). Es 1,1 veces más pesado que el aire, ligeramente soluble en agua y es un débil conductor de la electricidad.
- Es un elemento muy activo. No se quema pero sí mantiene la combustión. Se combina directa e indirectamente con todos los elementos a excepción de los gases raros formando óxidos. Sin embargo, estos procesos de oxidación ocurren a distintas condiciones de presión y temperatura.
- Como líquido, tiene un color azulado, ligeramente más pesado que el agua, magnético, no inflamable y no produce vapores tóxicos o irritantes.
- A presión atmosférica y temperatura inferior a -183°C es líquido, que generalmente es almacenado en tanques criogénicos especiales.

➤ **Uso del gas:**

- La principal aplicación es como soporte de vida y para mantener la combustión.
- Se usa en procesos de soldadura oxiacetilénica, corte, producción de acero, fabricación de productos sintéticos, etc.
- Por sus propiedades oxidantes, es utilizado en diversas aplicaciones en siderurgia, industria papelera, electrónica y química.
- Enriquecimiento de llamas en formas diversas (mezcla oxicombustible).

- En su uso medicinal se aplica en oxígeno-terapia, para resucitación y con otros gases en mezclas anestésicas.
- Incrementa la capacidad de las fundiciones del hierro y acero.
- Se utiliza en la producción de gas de síntesis, producción de ácido nítrico, etileno y otros compuestos.

➤ **Ficha técnica:**

a) Propiedades físicas:

Peso molecular	31,999 g/mol	Punto de ebullición (1 atm)	-183,0 °C
Densidad de líquido (1 atm)	1141,0 kg/m ³	Presión crítica	731,4 psia
Densidad gas (15°C, 1 atm)	1,354 kg/m ³	Temperatura crítica	-118,6 °C

b) Pureza:

OXIGENO	Pureza (%v/v)	Contaminantes	
		Humedad	Pto. Rocío (°F)
	99,5	50ppm	-54,50

➤ **Seguridad y Precauciones**

Peligro:

1. Nunca manipular oxígeno a presión sin antes estar capacitado para la operación correcta de cilindros, válvulas, reguladores y demás medios de transporte para dicho producto.
2. Por sus características oxidantes (comburentes), no permitir que aceite, grasa u otras sustancias inflamables entren en contacto con cilindros u otros equipos que contengan O₂.

3. No almacenar cilindros con oxígeno juntamente a otros que contengan gases o líquidos inflamables.
4. Se debe evitar que los cilindros de Oxígeno, presenten riesgo de impacto.
5. Nunca utilizar llama directa para incrementar la presión de cilindros.
6. El contacto directo con oxígeno líquido, produce fuertes quemaduras criogénicas y congelamiento.

Precaución:

1. El personal que manipula esta sustancia debe usar el equipo y los accesorios de seguridad personal necesarios, acordes con los reglamentos internacionales de seguridad.
2. Los contenedores de oxígeno no deben ser colocados en las proximidades de hornos o fuentes de calor. Los cilindros no deben exceder la temperatura de 55 °C, debido a que se provocaría un súbito incremento de la presión interna del mismo.
3. Use solo equipos y accesorios especiales para servicio con oxígeno. Los cilindros vacíos y llenos deben separarse y distinguirse fácilmente para evitar confusión.
4. Cerrar la válvula de suministro, una vez que se ha utilizado el gas, procurando en lo posible dejar al menos unos 25 psig de presión a fin de evitar la contaminación del cilindro.
5. No coloque los cilindros en las proximidades de arcos eléctricos y equipos de soldadura.
6. Nunca transportar el cilindro rodándolo sobre el suelo.
7. Para el caso de oxígeno líquido (LOX) mantener siempre los cilindros en posición vertical.

Incendio:

1. En caso de incendio, se debe evacuar el área y aislar el local. En lo posible retire los cilindros. En todo caso, enfríe los cilindros mediante un chorro de

agua fría suministrado desde una distancia segura. Se requiere enfriar el cilindro para evitar el peligro de explosión por incremento de la presión en el mismo.

En caso de fuga o derrame:

1. Evacuar el área y mantener aislado y ventilado el local.
2. En caso de explosión, personal debidamente protegido con los accesorios y equipos de seguridad, deberán retirar las partes siniestradas, y retirar los cilindros a un lugar seguro y ventilado.
3. Ninguna persona deberá pisar o aproximarse al área que muestre marcas de derrame de oxígeno líquido.

Primeros auxilios:

- En caso de contacto directo con oxígeno líquido, retire las vestimentas, y bañe las áreas afectadas con agua limpia a una temperatura no mayor de 40°C.
- Si el producto entra en contacto con los ojos, lave con abundante agua, por espacio de quince minutos. En todos los casos anteriormente expuestos se le recomienda solicitar la asistencia médica correspondiente.
- Las piezas de vestimenta expuestas a O₂ líquido deben ser descartadas inmediatamente para evitar riesgo de combustión. Cualquier pieza contaminada con O₂ debe ser sometida a aireación y al lavado correspondiente antes de su reutilización.

4.1.2.2 NITRÓGENO

❖ **Descripción:**

- Elemento que a temperatura y presión atmosféricas es un gas incoloro, inodoro e insípido. Constituye cerca de los cuatro quintos en la composición del aire atmosférico. Es aproximadamente 3% más liviano que el aire.

- No es tóxico y químicamente es inerte. No es inflamable y no presenta peligro de combustión. Sin embargo, es asfixiante por desplazar el oxígeno, que soporta la vida, del aire ambiental.
- Se combina solo con algunos de los metales más activos (Li, Mg), y a altas temperaturas con hidrógeno y oxígeno.
- A presión atmosférica y temperatura inferior a -196°C , es un líquido incoloro, poco más liviano que el agua.

❖ **Uso del gas:**

- Como atmósfera inerte.
- Protección contra el fuego y explosiones.
- Como impelente en el procesamiento de alimentos.
- Como gas inerte para la remoción de gases disueltos en líquidos.
- Prevención del deterioro por oxidación.
- Secado y prueba de presión en tuberías.
- Enfriamiento y congelación criogénica.
- Procesos químicos como gas de síntesis y regenerador de catalizadores en petroquímica.

❖ **Ficha técnica:**

a) Propiedades físicas:

Peso molecular	28,013 g/mol	Punto de ebullición (1 atm)	$-195,80^{\circ}\text{C}$
Densidad de líquido (1 atm)	808,60 kg/m ³	Presión crítica	33,999bara
Densidad gas (15°C, 1 atm)	1,185 kg/m ³	Temperatura crítica	$-146,95^{\circ}\text{C}$

b) Pureza:

NITRÓGENO	Pureza (%v/v)
	99,5

❖ Seguridad y Precauciones

Peligro:

1. Nunca manipular nitrógeno a presión sin antes estar capacitado para la operación correcta de cilindros, válvulas, reguladores y demás medios de transporte para dicho producto.
2. El contacto directo con nitrógeno líquido, produce fuertes quemaduras criogénicas y congelamiento.
3. Gran concentración de nitrógeno en un ambiente cerrado puede causar sofocación violenta.

Efectos de exposición temporal:

- La inhalación continua sin administración de oxígeno produce asfixia.
- Si es inhalado, mover a la víctima a un lugar seguro y ventilado. Si no respira, administrar respiración artificial. Si la respiración es difícil, recurrir a la asistencia médica.

Precaución:

1. El personal que manipula esta sustancia debe usar el equipo y los accesorios de seguridad personal necesarios, acordes con los reglamentos internacionales de seguridad.
2. Los contenedores de nitrógeno no deben ser colocados en las proximidades de hornos o fuentes de calor. Los cilindros no deben exceder a la temperatura de 50 °C, debido a que se provocaría un súbito incremento de la presión interna del mismo.

3. Los cilindros vacíos y llenos deben almacenarse separadamente; asimismo, distinguirse para evitar posibles confusiones.
4. Cerrar la válvula de suministro, una vez que se ha utilizado el gas, procurando en lo posible dejar al menos unos 25 psig. de presión a fin de evitar la contaminación del cilindro.
5. No coloque los cilindros en las proximidades de arcos eléctricos y equipos de soldadura.
6. Deben prevenirse los golpes bruscos a fin de evitar daños en el cilindro.
7. Nunca transportar el cilindro rodándolo sobre el suelo.
8. Para el caso de nitrógeno líquido (LIN) mantener siempre los cilindros en posición vertical.

Incendio:

1. En caso de incendio, se debe evacuar el área y aislar el local. En lo posible retire los cilindros.
2. En todo caso, enfríe los cilindros mediante un chorro de agua fría suministrado desde una distancia segura. Se requiere enfriar el cilindro para evitar el peligro de explosión por incremento de presión en el mismo.

En caso de fuga:

1. Evacuar el área y mantener aislado y ventilado el local. En caso de explosión, personal debidamente protegido con los accesorios y equipos de seguridad, deberán retirar las partes siniestradas, y retirar los cilindros a un lugar seguro y ventilado.
2. Ninguna persona deberá pisar o aproximarse al área que muestre marcas de derrame de nitrógeno líquido.

Primeros auxilios:

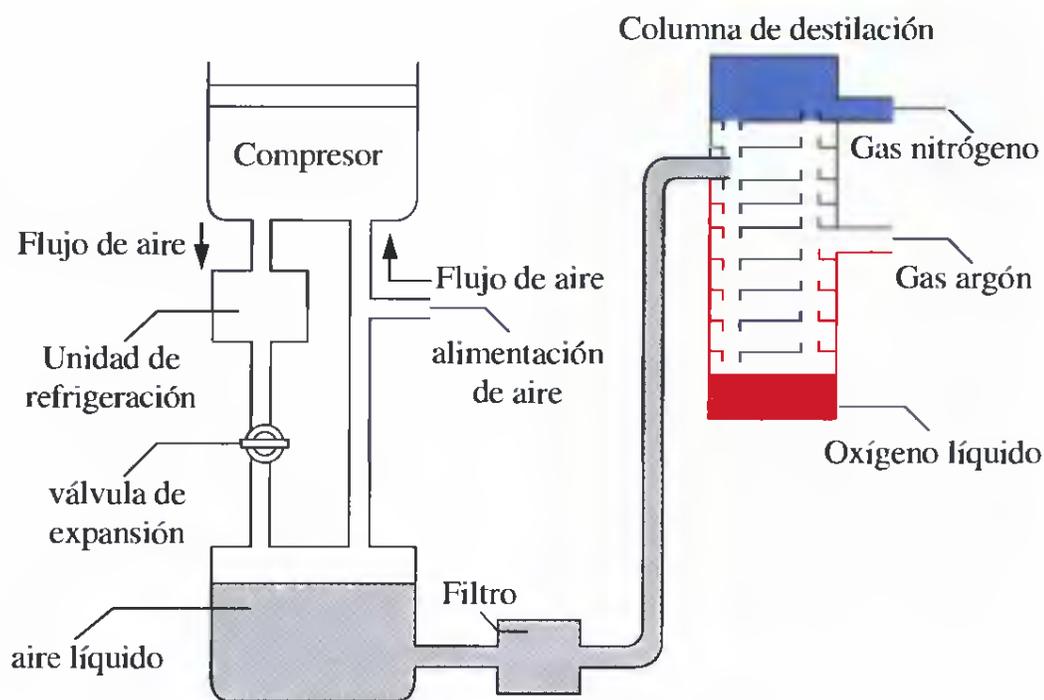
- En caso de contacto directo con nitrógeno líquido, remueva inmediatamente las vestimentas, y bañe las áreas afectadas con agua limpia a una temperatura no mayor de 40°C.
- Si el producto entra en contacto con los ojos, lave con abundante agua, por espacio de quince minutos.
- En todos los casos anteriormente expuestos se recomienda solicitar la asistencia médica correspondiente.

4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS EXISTENTES PARA LA ELABORACIÓN DEL PRODUCTO.

Los métodos que se emplean industrialmente para la obtención del Nitrógeno y el Oxígeno son:

4.2.1. Destilación fraccionada del aire.

Fig.: 4-1 Proceso de Destilación fraccionada del aire



Fuente: Química General 8va Edición Petrucci, Harwood, Herring.

En este esquema se observa la representación simplificada del proceso, para la obtención del Oxígeno y Nitrógeno, donde el aire limpio se introduce en un compresor y se enfría mediante refrigeración: el aire frío se expande a través de una válvula de expansión y se enfría aún más, lo suficiente para conseguir su licuefacción.

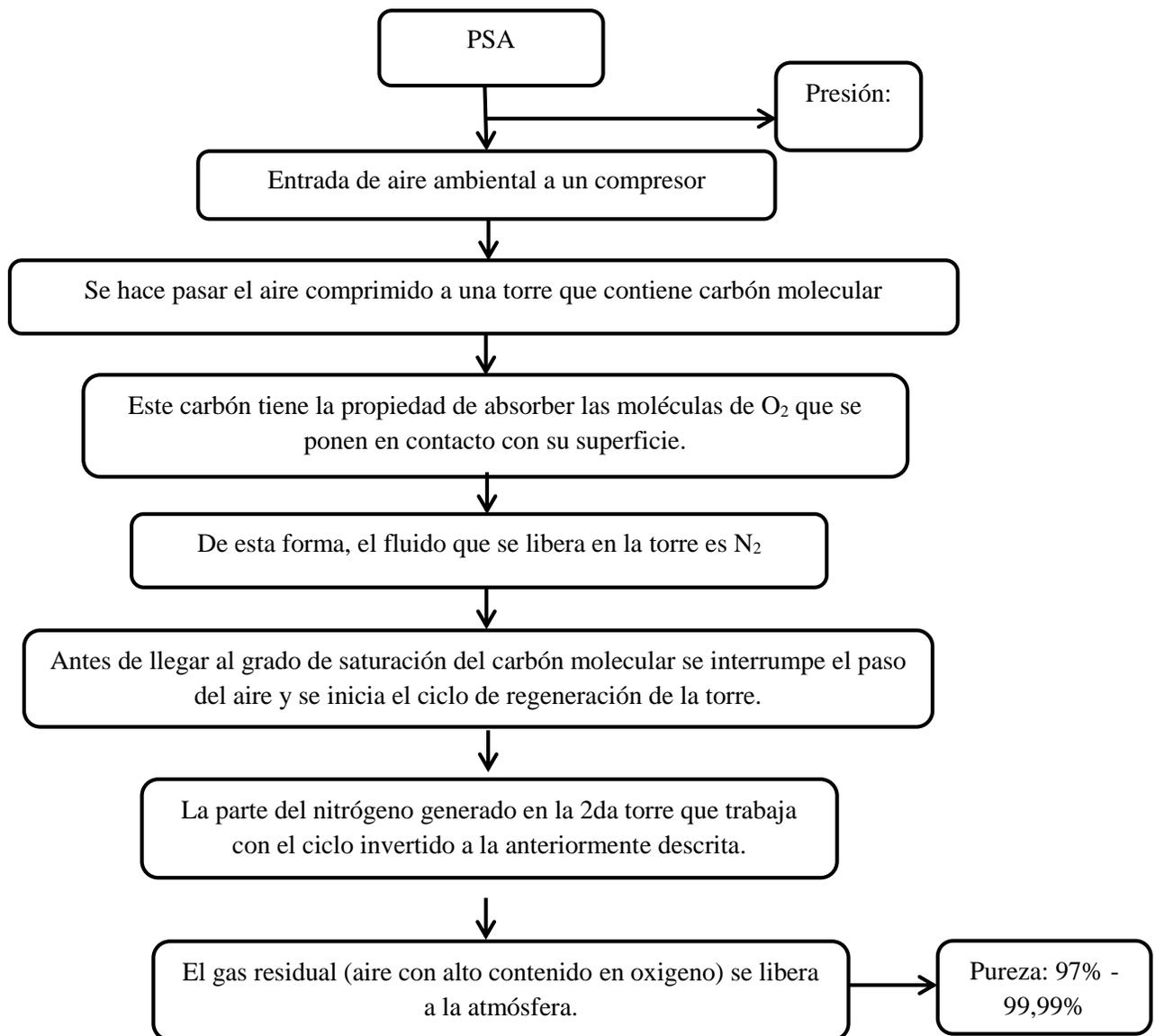
El aire líquido se filtra para eliminar el CO_2 sólido e hidrocarburos y a continuación se destila. El aire líquido entra en la cabeza de la columna en donde el nitrógeno, el componente más volátil (punto de ebullición más bajo), pasa a gas.

En la parte central de la columna se elimina el argón gaseoso. El oxígeno líquido, el componente menos volátil, se recoge en el fondo de la misma. (*Petrucci, Harwood Y Herring*) 2003.

4.2.2. (P.S.A) Adsorción por cambio de presión a partir del aire mediante un tamiz de carbón molecular.

La mayoría de las industrias mencionadas utilizan el proceso automático de (P.S.A) Adsorción por cambio de presión a partir del aire mediante un tamiz de carbón molecular, el cual consiste en:

Fig. 4-2 Diagrama de bloques para el proceso de P.S.A



Fuente: *Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan 2006*

4.2.3. Sistemas de Membranas.

El funcionamiento de la instalación de membrana se basa en el principio de la penetrabilidad selectiva.

Primeramente ingresa el aire a un compresor donde se aplica una presión de 12 bares; posteriormente, se calienta el aire a 45-55°C, luego se hace pasar el aire comprimido de alta calidad a través de unos haces tubulares (membrana); dichas membranas tienen distinta permeabilidad para cada uno de los gases que componen el aire; la humedad, CO₂ y el oxígeno (O₂) penetran a través de la pared de la membrana más fácil que el nitrógeno (N₂), de tal manera que la mezcla primaria de gases se divide en dos flujos – el del nitrógeno producido (N₂) y el del gas evacuado.

Las industrias de separación del aire por medio de las membranas consisten en la diferente velocidad de penetración de los gases a través de una membrana polimérica bajo influencia de la oscilación de las presiones parciales sobre la membrana. **Premen.ru (2014).**

4.3. SELECCIÓN DEL PROCESO A DISEÑAR.

4.3.1. Comparación de Procesos.

Tabla IV-1 Comparación de los Procesos

Presión de entrada:	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema PSA trabaja con una presión del aire comprimido entre 6-7 bar. • El sistema de Membrana necesita una presión de entrada alta entre 10-12 bar. • La Destilación Fraccionada del Aire requiere una presión de 170 bar o 2500 lb/plg²
Temperatura del aire:	<ul style="list-style-type: none"> • En el sistema PSA no es necesario el calentamiento previo del aire comprimido. • En el sistema de Membrana es necesario que el aire comprimido tenga una temperatura 45-55°C, para optimizar la eficiencia de la membrana. • En la Destilación Fraccionada del Aire se debe refrigerar el Aire a una temperatura de -173°C para obtener Aire Líquido.
Contaminación	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema PSA usa una filtración estándar con una emisión de contaminantes del (0,01um) para garantizar una calidad suficiente del aire en la entrada del generador. • El sistema de Membrana es más sensible a la contaminación tanto del aire ambiente como del aire comprimido. • La Destilación Fraccionada del Aire no emite ningún tipo de contaminantes tóxicos.
Vida útil	<ul style="list-style-type: none"> • La vida útil del sistema PSA va desde los 8 a los 10 años. • La vida útil del sistema de Membrana varía entre 6-8 años. Esta vida está sujeta al tipo de aceite utilizado. • La vida útil del Proceso de Destilación Fraccionada del Aire tiene una vida útil de 10 - 12 años.
Costos	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema PSA al igual que el sistema de Membranas son altamente costosos por el tipo de Membranas y el tamiz de Carbón molecular que utilizan en sus procesos. • La Destilación Fraccionada del Aire tiene equipos más accesibles y menos costosos.

Fuente: *Centralair.com, 2012*

4.3.2. Matriz para elección de proceso.

La elección del proceso que se utilizará para la producción de Oxígeno dentro de este Proyecto se realizará mediante la elaboración de una matriz, que al comparar los tres procesos existentes se pueda obtener la mejor opción.

Para ello se procederá primeramente a ponderar cada factor de acuerdo al grado de importancia de los mismos. La ponderación que recibirá cada factor está dentro de los rangos (1 – 100) % Luego se asignarán valores del (1 - 10), de acuerdo al análisis previo de cada factor, para cada uno de los Procesos propuestos, siendo:

- 1 - el valor mínimo (Malo, Deficiente)
- 5 - el valor medio (Aceptable)
- 10 - el valor máximo (Muy Bueno)

Tabla IV-2 Matriz para Elección de Proceso.

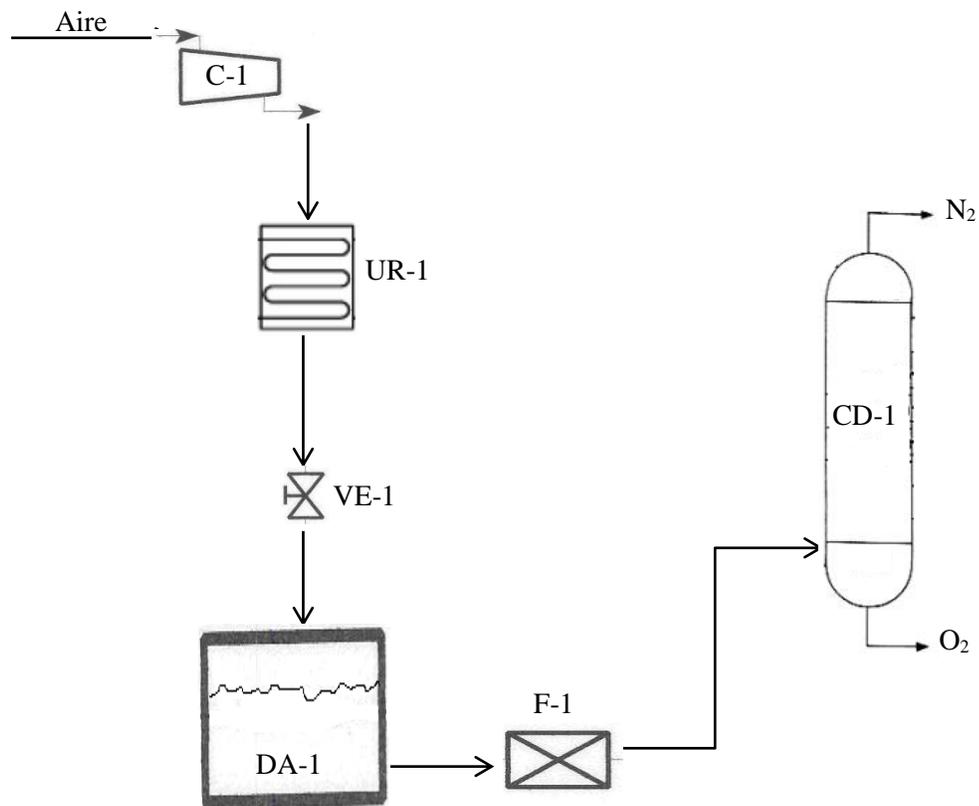
Factores		Procesos Alternativos					
		P.S.A		Sistema de Membranas		Destilación fraccionada del Aire	
Presión de Entrada	15	9	135	8	120	7	105
Temperatura del aire	15	8	120	3	45	8	120
Contaminación	20	3	60	5	100	10	200
Vida Útil	10	8	80	7	70	10	100
Costos	10	4	40	4	40	9	90
Eficiencia del Proceso	15	8	120	7	105	8	120
Calidad del Oxígeno	15	9	135	8	120	9	135
	100		690		600		870

Fuente: *Elaboración Propia, 2015*

4.4. DIAGRAMAS DE FLUJO.

El siguiente esquema muestra el diagrama de flujo para todo el proceso

Fig. 4-3 Diagrama de Flujo del Proceso



Fuente: Elaboración Propia, 2015

C-1=Compresor

UR-1=Unidad de Refrigeración

VE-1=Válvula de Expansión

DA-1=Depósito de Aire Líquido

F-1=Filtro

CD-1=Columna de Destilación

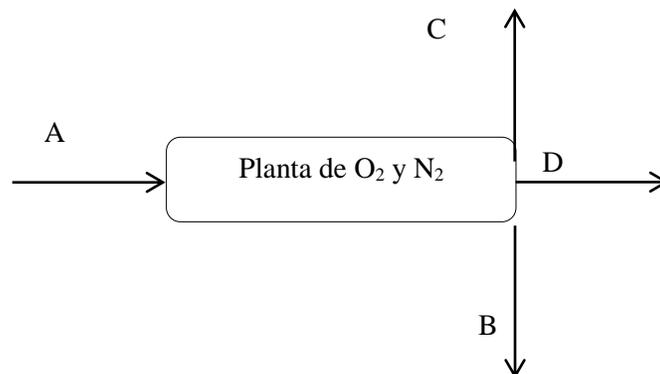
4.5. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA.

Este balance es una contabilidad de los flujos y cambios de masa que se producen en el proceso para la destilación fraccionada del aire y la obtención de Oxígeno y Nitrógeno. La ecuación general de balance de masa para un proceso donde no existe reacción química es:

$$\text{entrada} = \text{salida} + \text{consumo} \quad (4 - 1)$$

En el caso de la Planta productora de Oxígeno y Nitrógeno se tiene una corriente de entrada (aire) y tres corrientes de salida (Oxígeno, Nitrógeno y Otros gases).

Para este balance se tendrá un 80% de rendimiento, ya que todo equipo no funciona al 100% y se considera como base de cálculo 1 hora.



$$A = B + C + D \quad (4 - 2)$$

A = Aire

B = Oxígeno Puro

C = Nitrógeno Puro

D = Otros gases

Ingresa a la Planta un volumen de 406,9 m³/hr de aire atmosférico a Temperatura ambiente 25°C (298,15°K); este aire contiene 20,946 % de Oxígeno, el 78,084% de Nitrógeno y un 0.97% de otros gases; porcentajes en volumen, se obtiene:

$$\text{Oxígeno: } 406,9 \text{ m}^3 * 0,20946 = 85,23 \text{ m}^3$$

$$\text{Nitrógeno: } 406,9 \text{ m}^3 * 0,78084 = 317,72 \text{ m}^3$$

$$\text{Otros gases: } 406,9 \text{ m}^3 * 0,097 = 39,47 \text{ m}^3$$

Como las condiciones de temperatura y presión del aire al ingreso de la planta son a condiciones normales (1atm y 25°C), el aire se comporta como un gas ideal por lo que se cumple la Ley General de los Gases:

$$PV = nRT \quad (4 - 3)$$

$$n = \frac{PV}{RT} \quad (4 - 4)$$

Presión: $P = 0,776316 \text{ atm}$.

Volumen: $V = 406900 \text{Lts}$.

Const. De gases: $R = 0,0821 \text{ lts*atm/gr-mol } ^\circ\text{K}$

Temperatura: $T = 298,15 \text{ } ^\circ\text{K}$

Reemplazando en la Ec. (4 - 4):

$$n = \frac{0,776316 \text{ atm} * 406900 \text{ lts}}{0,0821 \frac{\text{lts} * \text{atm}}{\text{gr} - \text{mol}^\circ\text{K}} * 298,15^\circ\text{K}}$$

$$n = 12904,71 \text{ Mol de aire}$$

Cuantificar los moles de oxígeno y nitrógeno que ingresan al sistema:

$$n_{O_2} = 12904,71 \text{ mol} * 0,20946 = 2703,02 \text{ mol}$$

$$n_{N_2} = 12904,71 \text{ mol} * 0,78084 = 10076,51 \text{ mol}$$

Tabla IV-3 Cálculos para otros gases componentes del Aire

% en el Aire	n _{aire} (mol)	notros gases (mol)	PM _c /gas (gr/mol)	m _c /gas (gr)
0,0094	12904,71	121,30	39,95	4845,86
0,00037	12904,71	4,78	42,01	200,59
1,818E-05	12904,71	0,24	20,18	4,73
5,24E-06	12904,71	0,067	4,003	0,27
0,000002	12904,71	0,026	13,01	0,34
1,14E-06	12904,71	0,015	83,8	1,23
0,0000005	12904,71	0,0065	2,016	0,013
0,0000005	12904,71	0,0064	60,16	0,39
9E-08	12904,71	0,0012	131,30	0,16
$\Sigma = 0,0097$				5053,58

Fuente: Elaboración Propia, 2015

Cuantificar el peso del oxígeno y nitrógeno que ingresan al sistema:

$$m_{O_2} = n_{O_2} * PM_{O_2} \quad (4 - 5)$$

$$m_{O_2} = 2703,02 \text{ mol} * 32 \text{ gr/mol}$$

$$m_{O_2} = \mathbf{86496,66 \text{ gr.} = 84,50 \text{ Kg. O}_2}$$

$$m_{N_2} = n_{N_2} * PM_{N_2} \quad (4 - 6)$$

$$m_{N_2} = 10076,514 \text{ mol} * 28,016 \text{ gr/mol}$$

$$m_{N_2} = \mathbf{282303,62 = 282,31 \text{ Kg. N}_2}$$

$$m_{\text{Otros gases}} = n_{\text{Otros gases}} * PM_{\text{Otros gases}} \quad (4 - 7)$$

$$m_{\text{Otros gases}} = 5053,58 \text{ gr.}$$

$$m_{\text{Otros gases}} = \mathbf{5,054 \text{ Kg. Otros gases}}$$

Aplicando la Ec. 2 se obtiene el balance total de materia.

$$A = B + C + D$$

$$A = (84,50 + 282,31 + 5,054) \text{ kg/hr}$$

$$A = \mathbf{371,864 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \text{ Aire}}$$

4.6. DISEÑO DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES.

La extracción de Oxígeno y Nitrógeno a partir de la Destilación fraccionada del aire es un proceso criogénico que pretende mostrar la eficiencia del mismo a través de una buena selección de los equipos principales: Compresor C-1, Intercambiador de Calor UR-1 y la Columna de Destilación CD-1. Para ello se realiza la selección del compresor que se utilizará en este proyecto tomando en cuenta los siguientes parámetros:

4.6.1 Compresor C-1:

Para la selección del compresor que se utilizará en este proyecto se tomará en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla IV-4 Matriz para Elección de Compresor

Factores		Tipos de Compresores					
		Axial		Reciprocante		Tornillo de Alta Presión	
Velocidad de Rotación	10	6	60	4	40	8	80
Relación de Presión	10	5	50	7	70	6	60
Rango de Eficiencia de compresión.	10	7	70	6	60	7	70
Rango de Eficiencia	10	9	90	7	70	8	80

mecánica.							
Rendimiento Total	10	7	70	7	70	8	80
Sensibilidad al Ruido	10	4	40	8	80	9	90
Sensibilidad al contenido de humedad	10	8	80	10	100	7	70
Requerimiento de Mantenimiento.	10	9	90	4	40	10	100
Costo	20	6	120	8	160	9	180
	100		670		690		810

Fuente: *Elaboración Propia, 2015*

Considerando las principales características se selecciona un Compresor Rotatorio de Tornillo de Alta Presión, debido a que dichos compresores, tienen desgaste despreciable de sus elementos móviles, lo cual hace que tenga un bajo costo de mantenimiento, ya que bajo condiciones normales de funcionamiento sus desgastes se limitan a los cojinetes de trabajo radial y axial, siendo los únicos elementos a recambiar. Estos trabajos implican un costo muy bajo y en un tiempo muy breve, evitándose tener la máquina fuera de servicio por un período prolongado.

Datos calculados anteriormente:

$$Q = \text{Flujo volumétrico} = 406,9 \text{ m}^3/\text{hr Aire} = 3,99\text{ft}^3/\text{s}$$

$$Q_m = 371,864 \text{ kg/h}$$

$$n = 12904,71 \text{ Mol de aire a la entrada del sistema}$$

Las características del Aire en la Succión:

Datos en la Succión:

$$T_1 = 25^\circ\text{C} = 298^\circ\text{K} = 77^\circ\text{F} = 536,6^\circ\text{R}$$

$$P_1 = 0,776316 \text{ atm.} = 0,7866 \text{ bar} = 11,25\text{psi} = 78,66 \text{ KPa}$$

$$PM = 28,85 \text{ Kg/Kgmol}$$

$$\text{Humedad Relativa} = 70\%$$

$$C_p = 1,005 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$C_v = 0,72 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$g_c = 9,8 \text{ (Kg}_m\text{m/Kg}_f\text{seg}^2)$$

$$T_c = 132,2 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$P_c = 37,45 \text{ bar}$$

$$Z_c = 0,29$$

$$V_c = 84,80 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

Perry, J.H., (1963).

$$Tr = \frac{T}{T_c} \quad (4 - 8)$$

$$Pr = \frac{P}{P_c} \quad (4 - 9)$$

$$Tr = \frac{298^\circ\text{K}}{132,2^\circ\text{K}}$$

$$Pr = \frac{0,79 \text{ bar}}{37,45 \text{ bar}}$$

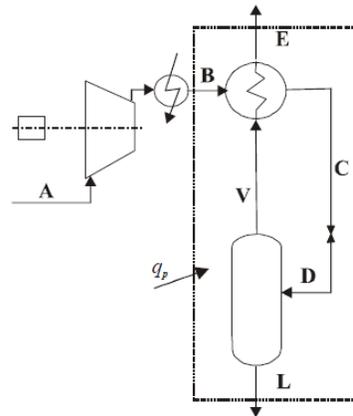
$$\mathbf{Tr = 2,25}$$

$$\mathbf{Pr = 0,021}$$

Factor de compresibilidad: $Z_1 \approx 1,059$

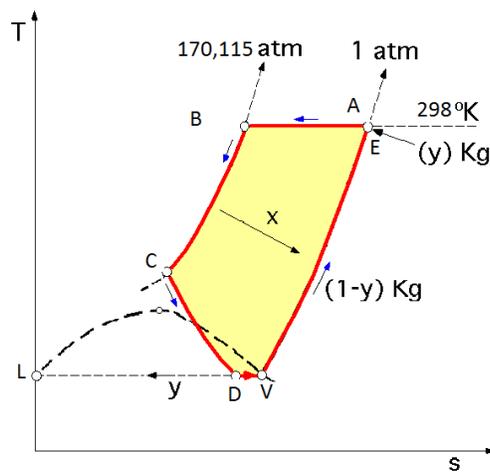
En el proceso de licuefacción del Aire se realiza en un ciclo de cuatro etapas, donde (A-B) se realiza una compresión isoterma que va desde una presión $P_A = 1 \text{ atm}$ hasta una presión $P_B = 170,12 \text{ atm}$; seguidamente se realiza un enfriamiento isobárico (B-C) desde una Temperatura $T_B = 298 \text{ }^\circ\text{K}$ a una Temperatura $T_C = 434,032 \text{ }^\circ\text{K}$; posteriormente se realiza una laminación isoentálpica (C-D) a través de una válvula donde se expande el aire hasta una presión P_D , obteniéndose una fracción líquida (L) y otra fracción vapor (V), la cual retorna a un intercambiador de calor para luego devolverlo a la atmósfera (E).

Fig. 4 -4 Sistema de licuefacción del Aire



Fuente: *Componentes del Aire y Tecnologías para su Separación*, (2009)

Fig. 4 - 5 Diagrama de T vs S del Sistema de licuefacción del Aire



Fuente: *CRIOGENIA* (2013)

Balace entálpico del sistema:

$$h_B + q_p - xh_L - (1 - x)h_E = 0$$

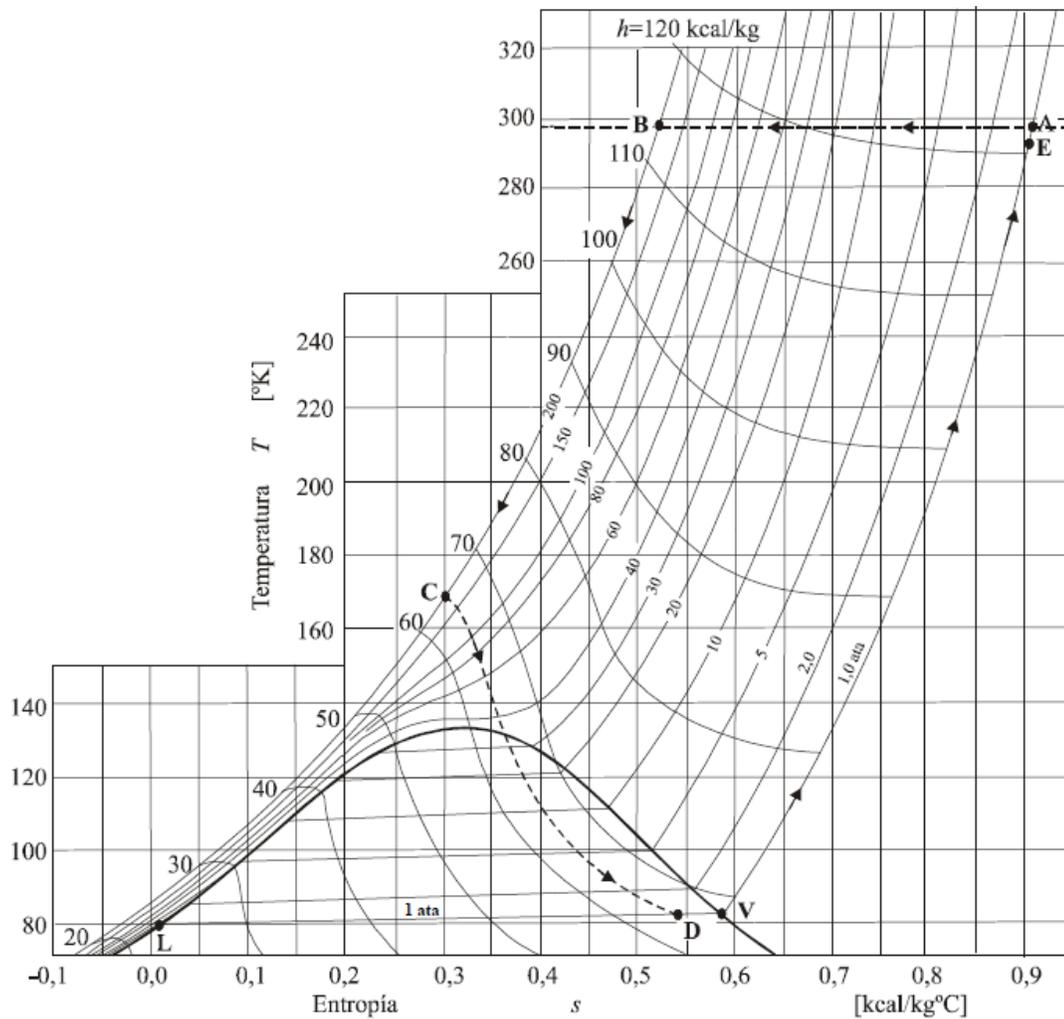
$$h_B + q_p - xh_L - h_E + xh_E = 0 \quad (4 - 10)$$

Donde:

x = rendimiento másico de la licuación.

Para cuestión de cálculo se tomará valores estándar de Temperatura y Presión; tomando en cuenta la siguiente figura, se obtuvo los valores propuestos:

Fig. 4 -6 Diagrama de T vs S del Aire



Fuente: *Componentes del Aire y Tecnologías para su Separación, (2009)*

$$h_A(1 \text{ atm}, 25^\circ\text{C}) = 122 \text{ kcal/kg}$$

$$h_L(1 \text{ atm}, \text{liq. saturado}) = 22 \text{ kcal/kg}$$

$$h_B(170 \text{ atm}, 25^\circ\text{C}) = 113 \text{ kcal/kg}$$

$\Delta T = (T_A - T_E) =$ Aproximación en el extremo del intercambiador de calor es = 5°C
(Dato de bibliografía).

$$C_P = 0,24 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$h_E = h_A - C_P \Delta T = 122 - (0,24 * 5) = 120,80 \text{ kcal/kg}$$

$$q_P = 1 \text{ kcal/Nm}^3 * \frac{22,4}{28,851} = 0,78 \text{ kcal/kg} \text{ (calor aportado por falta de aislamiento)}$$

Por consiguiente:
$$x = \frac{h_E - h_B - q_P}{h_E - h_L} \quad (4 - 11)$$

$$x = \frac{120,8 \text{ kcal/kg} - 113 \text{ kcal/kg} - 0,78 \text{ kcal/kg}}{120,8 \text{ kcal/kg} - 22 \text{ kcal/kg}}$$

$$x = 0,071 \text{ kg de aire /kg de aire comprimido}$$

La producción de aire es:

$$Q * x = 371,9 \text{ kg/h} * 0,071 = 26,42 \text{ kg/hr} \quad (4 - 12)$$

La potencia consumida por el compresor es:

$$W_c = \frac{Q}{3600} \frac{N * Z * R * T_A}{P_M * \frac{k-1}{k}} \left[\left(\frac{P_B}{P_A} \right)^{\frac{k-1}{k} / N} - 1 \right] \frac{1}{\eta_m} \quad (4 - 13)$$

La razón de los calores específicos, $k = \frac{C_p}{C_v} = n \quad (4 - 14)$

$$k = \frac{1,00492 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}}{0,71792 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}}$$

$$k = 1,4$$

$$\frac{k-1}{k} = \frac{1}{\eta_p} * \frac{1,4-1}{1,4} = \frac{1}{0,77} * 0,286 = 0,37$$

$$\eta_p = 0,77$$

$$\eta_m = 0,85$$

$$N = 3 \text{ etapas}$$

$$Q = 334,31 \text{ Kg/h}$$

$$Z = 1,059$$

$$R = 8,31 \text{ kJ/Kmol}^\circ\text{K}$$

$$W_c = \frac{334.31}{3600} * \frac{3*1,059*8,31*298}{28,851*0,3711} \left[\left(\frac{170,115}{1} \right)^{0,3711/3} - 1 \right] \frac{1}{0,85} \quad (4 - 15)$$

$$W_c = 71,27kW/h$$

$$\text{Consumo específico: } \xi = \frac{W_c}{Q*x} = \frac{71,27kW/hr}{23,753kg/hr} \quad (4 - 16)$$

$$\xi = 3,001kW/kg \text{ de aire}$$

$$\text{Volúmen Específico: } \bar{V} = \frac{Z*R*T}{PM*P*F} \quad (4 - 17) \quad F=1000$$

$$\bar{V} = \frac{1,059 * 8314.34J/(^{\circ}KKmol) * 298^{\circ}K}{\frac{28,851Kg}{Kgmol} * 78,6602187 KPa * 1000}$$

$$V = 1,16 m^3/Kg$$

Datos en la Descarga:

$$P_2 = 2500Psi = 170,115 atm = 172,37 bar$$

n = razón del calor específico a presión constante al calor específico a volumen constante = 1,36

$$T_c = 132,20 ^{\circ}K$$

$$P_c = 37,45 bar$$

$$Z_c = 0,289$$

$$V_c = 84,80 cm^3/mol$$

Temperatura en la descarga se calcula con:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (4 - 18)$$

$$T_2 = 77^{\circ}K \left(\frac{2500psi}{11,2535psi} \right)^{\frac{1,36-1}{1,36}}$$

$$T_2 = 321,86^{\circ}F = 161,032^{\circ}C$$

Todas las Ecuaciones se sacaron de **Richar W. Greene, (1989) y Componentes del Aire y Tecnologías para su Separación (2009).**

4.6.2 Unidad de Refrigeración UR-1:

Los Intercambiadores de Calor que mejor se adaptan para obtener Aire Líquido son los Intercambiadores de Calor de Tubo y Coraza ya que este tipo de Intercambiadores tiene las siguientes ventajas:

Tabla IV-5 Matriz para Elección de Intercambiadores de Calor

Factores		Tipos de Compresores					
		Doble Tubo		Tubo y Coraza		Placas	
Temperatura máxima de operación (°C)	10	3	30	9	90	8	80
Presión máxima de Operación (kPa)	10	5	50	8	80	6	60
Superficie intercambio de calor (m ²)	10	7	70	7	70	8	80
Espacio y Peso	10	8	80	7	70	9	90
Rendimiento Total	10	6	60	9	90	8	80
Resistencia	10	3	30	9	90	8	80
Caída de presión	10	8	80	6	60	8	80
Mantenimiento	10	5	50	9	90	7	70
Costo	20	8	160	8	160	8	160
	100		610		800		780

Fuente: *Elaboración Propia, 2015*

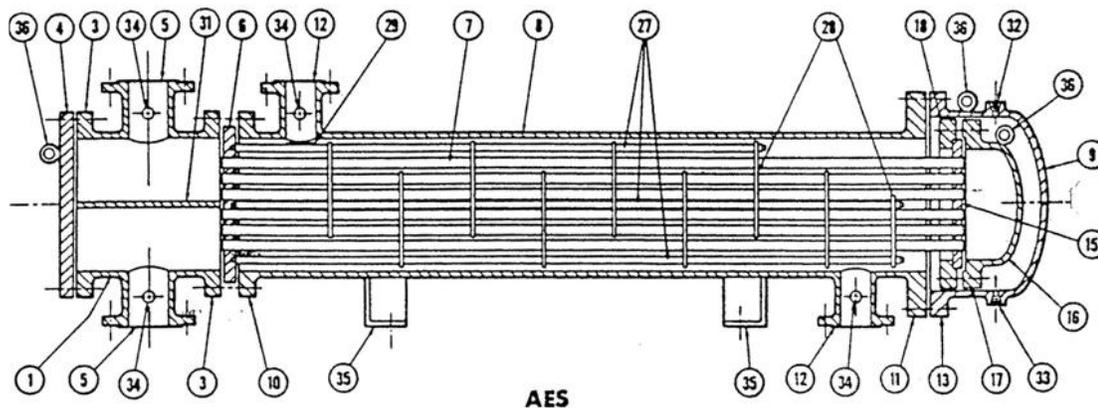
Considerando las principales Características se selecciona un Intercambiador de Calor de Tubo y Coraza; son los intercambiadores más ampliamente utilizados en la industria química y con las consideraciones de diseño mejor definidas. Consisten en una estructura de tubos pequeños colocados en el interior de un casco de mayor diámetro. Las consideraciones de diseño están estandarizadas por The Tubular Exchanger Manufacturers Association (**TEMA**)

Los intercambiadores de casco y tubo de TEMA descritos a continuación tienen la siguiente descripción de sus componentes principales:

- | | |
|---|---|
| 1. Cabezal estacionario, canal | 21. Cubierta del cabezal flotador, exterior |
| 2. Cabezal estacionario, casquete | 22. Faldón de lámina de cierre tubular del flotador |
| 3. Pestaña de cabezal estacionario, canal o casquete | 23. Brida del prensaestopas |
| 4. Cubierta de canal | 24. Empaque |
| 5. Tobera de cabezal estacionario | 25. Anillo seguidor de empaque |
| 6. Lámina estacionaria de tubo | 26. Anillo de cierre hidráulico |
| 7. Tubos | 27. Bielas y espaciadores |
| 8. Casco | 28. Desviadores transversales o placas de apoyo |
| 9. Cubierta del casco | 29. Desviador de choque |
| 10. Brida del casco, extremo del cabezal estacionario | 30. Desviador longitudinal |
| 11. Brida del casco, extremo del cabezal posterior | 31. Separación de paso |
| 12. Tobera del casco | 32. Conexión de ventila |
| 13. Brida de la cubierta del casco | 33. Conexión de drenaje |
| 14. Junta de expansión | 34. Conexión de instrumentos |
| 15. Lámina de cierre tubular del flotador | 35. Albardilla de soporte |
| 16. Cubierta del cabezal flotador | 36. Talón elevador |
| 17. Brida del cabezal flotador | 37. Ménsula de soporte |
| 18. Dispositivo de apoyo del cabezal flotador | 38. Vertedero |
| 19. Anillo de cizalla dividida | 39. Conexión de nivel de líquido |
| 20. Brida de apoyo dividida | |

Intercambiador De Cabezal Flotante Interno (tipo AES)

Es el modelo más común, tiene casco de un paso, tubos de doble paso con canal y cubierta desmontable, cabezal flotante con dispositivo de apoyo.



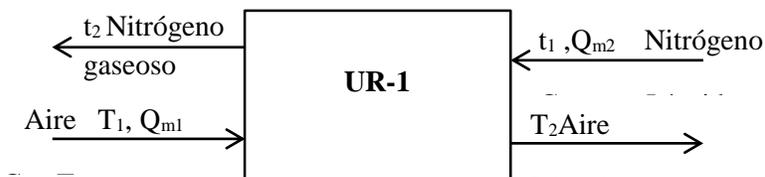
Tiene desviadores transversales y placas de apoyo. Sus características son:

- 1.- Permite la expansión térmica de los tubos respecto al casco.
- 2.- Permite el desmontaje
- 3.- En lugar de dos pasos puede tener 4,6 u 8 pasos.
- 4.- Los desviadores transversales, con el porcentaje de paso y su separación modifican la velocidad en el casco y su pérdida de carga.

5.- El flujo es contracorriente y a favor de corriente en la mitad de los tubos.

Cálculo del Intercambiador de calor:

Siguiendo los cálculos para el diseño de intercambiadores de calor de Tubo y coraza del libro (Procesos de Transferencia de Calor, Donald Q. Kern):



Datos:

Aire

$$T_1 = 161,32^\circ\text{C} = 322,40^\circ\text{F}$$

$$Q_{m1} = 371,90 \text{ kg/hr} = 820,04 \text{ lb/hr}$$

$$C_{pA} = 0,244 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F} \text{ (Tab - 2.289 Perry)}$$

$$T_2 = -173^\circ\text{C} = -279,4^\circ\text{F} \text{ (Bibliografía)}$$

Nitrógeno

$$t_1 = -196^\circ\text{C} = -320,80^\circ\text{F}$$

$$Q_{m2} = 1031,82 \text{ lb/hr}$$

$$C_{pN} = 0,32 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F} \text{ (Tab - 2.289 Perry)}$$

$$t_2 = 6^\circ\text{C} = 42,8^\circ\text{F} \text{ (Bibliografía)}$$

a) Balance de Energía:

El calor que requiere un intercambiador de calor de tubo y coraza deben ser iguales para ambos fluidos.

$$Q_1 = Q_2 \quad (4-19)$$

$$Q_1 = Q_{m1} C_{pA} (T_1 - T_2) \quad (4-20)$$

$$Q_2 = Q_{m2} C_{pN} (t_2 - t_1) \quad (4-21)$$

$$Q_1 = 820,04 * 0,244(322,4 + 279,4)$$

$$Q_1 = 120167,27 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_2 = 1031,82 * 0,3203(42,8 + 320,8)$$

$$Q_2 = 120167,2 \text{ BTU/hr}$$

b) Diferencia verdadera de temperatura Δt :

<u>Fluido caliente</u>		<u>Fluido frío</u>	<u>Diferencia</u>
$T_1=322,4\text{ }^\circ\text{F}$	Alta Temp.	$t_2 = 42,8^\circ\text{F}$	$\Delta t_2=(T_1- t_2) = 279,6^\circ\text{F}$
$T_2 =-279,4^\circ\text{F}$	Baja Temp.	$t_1 =-320,8^\circ\text{F}$	$\Delta t_1 =(T_2- t_1) = 41,4^\circ\text{F}$
$(T_1- T_2) = 601,8\text{ }^\circ\text{F}$	Diferencias	$(t_2 - t_1) = 363,6^\circ\text{F}$	$(\Delta t_2 - \Delta t_1) = 238,2\text{ }^\circ\text{F}$

$$MLDT = \frac{(T_1-t_2)-(T_2-t_1)}{\ln\left(\frac{T_1-t_2}{T_2-t_1}\right)} \quad (4-22)$$

$$MLDT = \frac{(279,6^\circ\text{F} - 41,4^\circ\text{F})}{\ln\left(\frac{279,6^\circ\text{F}}{41,4^\circ\text{F}}\right)} = 124,85^\circ\text{F}$$

$$R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} = \frac{601,8^\circ\text{F}}{363,6^\circ\text{F}} = 1,66 \quad S = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} = \frac{363,6^\circ\text{F}}{(322,4 + 320,8)^\circ\text{F}} = 0,53$$

Con R y S se obtiene de la (Fig. 18 (Kern)) $F_T = 0,82$

$$\Delta t = F_T * MLDT = 0,82 * 124,85^\circ\text{F} \quad (4-23)$$

$$\Delta t = 102,4^\circ\text{F}$$

$$T_C = T_2 + 0,28(T_1 - T_2) \quad t_c = t_1 + 0,28(t_2 - t_1) \quad (4-24)$$

$$T_C = -110,9^\circ\text{F} \quad t_c = -219^\circ\text{F}$$

Según Bibliografía (Kern y **PROCESS COMPONENT DESIGN**. P. Buthod& all, Capítulo 8 “Heat Exchangers Design”), se obtienen los siguientes datos:

Diámetro Externo DE = $\frac{3}{4}$ plg

Longitud L = 16ft

Espesor del tubo = 14BWG Arreglo = Triangular con separación entre tubos de 1plg.

De (Tabla 8 del libro de Kern) se tienen valores aproximados del coeficiente total de diseño U_D y el factor de obstrucción R_D .

$$U_D = 5 \text{ BTU/hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$$

$$R_D=0,005$$

Una vez obtenidos estos datos se procederá al cálculo del:

a) Número de tubos requerido:

$$A = \frac{Q}{U_D * \Delta t} \quad (4 - 25)$$

$$A = \frac{120167,27 BTU/hr}{5 BTU/hr * ft^2 \circ F * 102,4 \circ F}$$

$$A = 234,70 \text{ ft}^2$$

Con los datos anteriores de Diámetro exterior DE del tubo y el espesor BWG ingresamos a la (Tabla 10 del libro de Kern) y obtenemos la superficie exterior del tubo por pie lineal $a''=0,1963 \text{ ft}^2/\text{ft}$ lineal.

$$N_T = \frac{A}{L * a''} \quad (4 - 26)$$

$$N_T = \frac{234,7 \text{ ft}^2}{16 \text{ ft} * 0,1963 \text{ ft}^2/\text{ft}}$$

$$N_T = 90$$

Ya que el Intercambiador de Calor diseñado tiene 6 pasos en los Tubos y 3 pasos en la Coraza, ingresamos a la (Tabla 9 del libro de Kern) con los datos de $\frac{3}{4}$ plg de DE en arreglo Triangular, con 1 plg de espacio entre tubo y la cantidad más próxima de tubos a 90 es de 82 Tubos y con un Diámetro Interno DI de $13 \frac{1}{4}$ plg en la Coraza.

b) Coeficiente total de diseño U_D :

Con los nuevos datos encontrados procedemos a Recalcular el coeficiente total de diseño U_D :

$$A = N_T * L * a'' = 82 * 16 \text{ ft} * 0,1963 \text{ ft}^2/\text{ft} \quad (4 - 27)$$

$$A = 257,55 \text{ ft}^2$$

$$U_D = \frac{Q}{A * \Delta t} = \frac{120167,27 BTU/hr}{257,55 \text{ ft}^2 * 102,4 \circ F} \quad (4 - 28)$$

$$U_D = 4,60 \text{ BTU/hr} * \text{ft}^2 \circ F$$

Por la coraza pasa el fluido calienteAire:

Área del Flujo.-

$$a_s = \frac{DI \cdot C' B}{144 P_T} \quad (4 - 29)$$

$$a_s = \frac{13,25 * 0,1875 * 10}{144 * 1}$$

$$a_s = 0,17 \text{ ft}^2$$

Masa Velocidad.-

$$G_S = \frac{Q_{m1}}{a_s} \quad (4 - 30)$$

$$G_S = \frac{820,04 \text{ Lb/hr}}{0,17 \text{ ft}^2}$$

$$G_S = 4753,9 \text{ Lb/hr ft}^2$$

A: $T_C = -110,9^\circ F$ ingresamos a la (Fig. 15 del libro Kern) y obtenemos:

$$\mu_A = 0,034 \text{ Lb/ft} \cdot \text{hr}$$

$$C_{pA} = 0,244 \text{ BTU/lb} \cdot ^\circ F$$

Conductividad Térmica:

$$k_A = 0,011 \text{ BTU/hr ft}^2 (\text{ft} \cdot ^\circ F)$$

De la (Fig. 28 del libro de Kern) obtenemos:

$$de = 0,73 \text{ plg/12}$$

$$De = 0,061 \text{ ft}$$

Número de Reynolds.-

$$Re = \frac{De \cdot G_S}{\mu} \quad (4 - 31)$$

$$Re = 8530$$

De la (Fig. 28 del libro de Kern)

$$j_H = 46$$

Por el Tubo pasa el fluido fríoNitrógeno:

Área por el Tubo.-

$$a'_t = 0,268 \text{ plg}^2 \quad (\text{Tab. 10 libro Kern})$$

$$a_t = \frac{N_T \cdot a'_t}{144 n} \quad (4 - 32)$$

$$a_t = \frac{82 * 0,268 \text{ plg}^2}{144 * 6 \text{ pasos}}$$

$$a_t = 0,027$$

Masa Velocidad.-

$$G_t = \frac{Q_{m2}}{a_t} \quad (4 - 33)$$

$$G_t = \frac{1031,823 \text{ Lb/hr}}{0,027 \text{ ft}^2}$$

$$G_t = 38215,7 \text{ Lb/hr ft}^2$$

A: $t_C = -219^\circ F$ ingresamos a la (Fig. 15 del libro Kern) y obtenemos:

$$\mu_N = 0,02 \text{ Lb/ft} \cdot \text{hr}$$

$$C_{pN} = 0,3203 \text{ BTU/lb} \cdot ^\circ F$$

Conductividad Térmica:

$$k_N = 0,0078 \text{ BTU/hr ft}^2 (\text{ft} \cdot ^\circ F)$$

De la (Tab. 10 del libro de Kern) obtenemos:

$$DI = 0,584 \text{ plg/12}$$

$$D = 0,05 \text{ ft}$$

Número de Reynolds.-

$$Re = \frac{D \cdot G_t}{\mu} \quad (4 - 34)$$

$$Re = 95540$$

De la (Fig. 28 del libro de Kern)

$$\begin{aligned}
 jH &= 150 \\
 \left(\frac{Cp * \mu}{k}\right)^{1/3} & \quad (4-35) \\
 &= \left(\frac{0,2435 * 0,034}{0,01043}\right)^{1/3} \\
 \left(\frac{Cp * \mu}{k}\right)^{1/3} &= 0,93
 \end{aligned}
 \qquad
 \begin{aligned}
 \left(\frac{Cp * \mu}{k}\right)^{1/3} &= \left(\frac{0,3203 * 0,02}{0,0078}\right)^{1/3} \\
 \left(\frac{Cp * \mu}{k}\right)^{1/3} &= 0,94
 \end{aligned}$$

Ahora se calcula:

Ahora se calcula:

$$\begin{aligned}
 \frac{h_o}{\phi_s} &= jH * \frac{k}{De} * \left(\frac{Cp * \mu}{k}\right)^{1/3} \quad (4-36) \\
 \frac{h_o}{\phi_s} &= 7,3
 \end{aligned}$$

$$\frac{h_i}{\phi_t} = jH * \frac{k}{D} * \left(\frac{Cp * \mu}{k}\right)^{1/3} \quad (4-37)$$

$$\frac{h_i}{\phi_t} = 22$$

$$\frac{h_{io}}{\phi_t} = \frac{h_i}{\phi_t} * \frac{DI}{DE} = 12,9 \quad (4-38)$$

c) Temperatura de la pared del tubo

$$t_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\phi_s}}{\frac{h_{io}}{\phi_t} + \frac{h_o}{\phi_s}} (T_c - t_c) \quad (4-39)$$

$$t_w = -219^\circ F + \left(\frac{7,3}{12,9 + 7,3}\right) (-110,9 + 219)^\circ F$$

$$t_w = -179,93^\circ F$$

Con esta temperatura se recalcula los siguientes valores:

$$\mu_{WA} = 0,02662 \text{ Lb/ft}^* \text{hr}$$

$$\mu_{WN} = 0,02662 \text{ Lb/ft}^* \text{hr}$$

$$\phi_s = \left(\frac{\mu_A}{\mu_{WA}}\right)^{0,14} = 1,035 \quad (4-40)$$

$$\phi_t = \left(\frac{\mu_A}{\mu_{WN}}\right)^{0,14} = 0,98 \quad (4-41)$$

$$h_o = 7,3 * \phi_s \quad (4-42)$$

$$h_{io} = 7,3 * \phi_t \quad (4-43)$$

$$h_o = 7,56 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ F$$

$$h_{io} = 12,66 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ F$$

d) Coeficiente total limpio U_c :

$$U_c = \frac{h_{io} * h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{12,66 * 7,56}{12,66 + 7,56} \quad (4-44)$$

$$U_c = 4,73 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ F$$

e) **Factor de obstrucción R_D**

$$R_D = \frac{U_C - U_D}{U_C * U_D} = \frac{4,73 - 4,6}{4,73 * 4,6} \quad (4 - 45)$$

$$R_D = 0,0056$$

4.6.3 COLUMNA DE DESTILACIÓN CD-1:

Destilación es un proceso de separación más utilizado en la industria química. Es la operación unitaria conocida como fraccionamiento o destilación fraccionada. La destilación se utiliza mucho para separar mezclas líquidas en componentes más o menos puros. La separación de los constituyentes se basa en las diferencias de volatilidad. Debido a que la destilación implica evaporación y condensación de la mezcla, es una operación que necesita grandes cantidades de energía.

La destilación fraccionada se utiliza cuando la mezcla de productos líquidos que se pretende destilar contiene sustancias volátiles de diferentes puntos de ebullición con una diferencia entre ellos menor a 80 °C.

Al calentar una mezcla de líquidos de diferentes presiones de vapor, el vapor se enriquece en el componente más volátil y esta propiedad se aprovecha para separar los diferentes compuestos líquidos mediante este tipo de destilación.

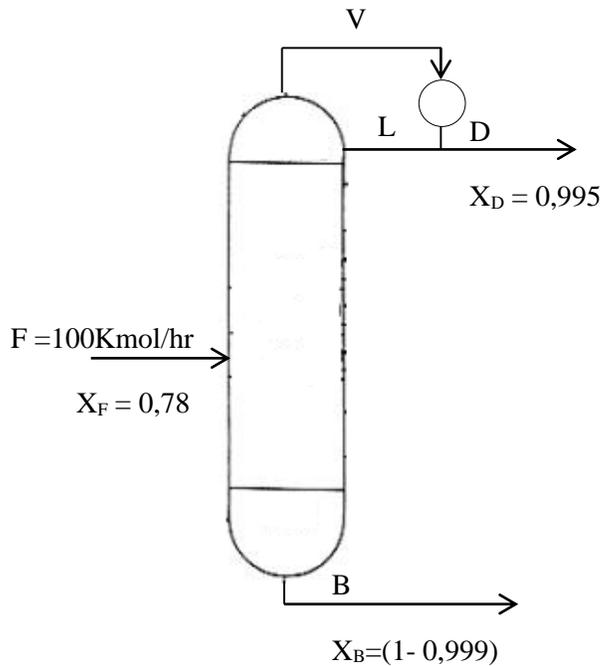
El rasgo más característico de este tipo de destilación es que necesita una columna de fraccionamiento. La destilación fraccionada se puede realizar a **presión atmosférica** o a **presión reducida**

Columna de fraccionamiento:

Una columna de fraccionamiento contiene pequeños platos distribuidos a lo largo de su longitud, de forma que las pequeñas cantidades de líquido que se encuentran en cada una de ellas, durante el proceso de la destilación, contienen mezclas cada vez más enriquecidas en el líquido más volátil. El plato situado en la parte superior de la columna contendrá el líquido más volátil.

Cálculo para la Columna de destilación:

Realizando el balance de materia de la columna de destilación tenemos que:



$$F = B + D \quad (4-46)$$

$$FX_F = BX_B + DX_D \quad (4-47)$$

$$100X_F = (100 - B)X_D + BX_B$$

$$100X_F = 100X_D - BX_D + BX_B$$

$$B(X_D - X_B) = 100(X_D - X_F)$$

$$B = 100 \frac{(X_D - X_F)}{(X_D - X_B)}$$

$$B = 100 \frac{(0,995 - 0,78)}{(0,995 - 0,001)}$$

$$\mathbf{B = 21,63 \text{ Kmol/hr}}$$

$$D = F - B \quad (4-48)$$

$$D = (100 - 21,63) \text{ kmol/hr}$$

$$\mathbf{D = 78,37 \text{ Kmol/hr}}$$

De acuerdo al *Libro problemas de Ingeniería Química Ocon Tojo* nos da como datos:

Relación de Reflujo:

$$R_D = \frac{L}{D} = 2 \quad L = R_D * D \quad (4-49)$$

$$\mathbf{L = 156,74 \text{ kmol/hr}}$$

$$V = L + D \quad (4-50)$$

$$\mathbf{V = 235,11 \text{ kmol/hr}}$$

Volatilidad de la mezcla:

$$\alpha = 1,95$$

a) *Calculamos el N* mínimo de platos en la columna:*

$$N_{min} = \frac{\text{Log}\left[\left(\frac{X_D}{1-X_D}\right) * \left(\frac{1-X_B}{X_B}\right)\right]}{\text{Log}\alpha} - 1 \quad (4-51)$$

$$N_{min} = \frac{\text{Log}\left[\left(\frac{0,995}{1-0,995}\right) * \left(\frac{1-0,001}{0,001}\right)\right]}{\text{Log}(1,95)} - 1$$

$$N_{min} = 17,3 \approx 17 \text{ Platos} + \text{Revoile}$$

b) *Relación de Reflujo mínima a partir de la Ecuación de Fenske:*

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{min} = \frac{1}{\alpha - 1} \left[\frac{X_D}{X_F} - \frac{\alpha(1 - X_D)}{(1 - X_F)} \right] \quad (4-52)$$

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{min} = \frac{1}{1,95 - 1} \left[\frac{0,995}{0,78} - \frac{1,95(1 - 0,995)}{(1 - 0,78)} \right]$$

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{min} = 1,3$$

c) *Diámetro de la Columna:*

Para el cálculo del diámetro de la columna de destilación fraccionada se aplica la siguiente expresión: (Libro, Ocon, Tojo (1983)):

$$D = \sqrt{\frac{4 * V * 22,4 * (273 + t) * 760}{\pi * \mu * 3600 * p * 273}} \quad (4-53)$$

Donde:

D = diámetro de la columna en metros.

V = Caudal de vapor, en Kmol/hr

t = temperatura media de los vapores, en °C.

μ = velocidad de los vapores, en m/seg

p = presión media absoluta, en mm Hg.

La velocidad óptima de los vapores se calcula de acuerdo con la expresión:

$$\mu = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_L}} \quad (4 - 54)$$

Siendo (ρ_L y ρ_V) las densidades del vapor y del líquido en el punto considerado, y K un coeficiente que está en función de la altura de cierre de líquido y de la distancia entre platos, siendo sus valores aproximados los siguientes:

Tabla IV-6 Valores de K

Distancia entre platos (cm)	Altura del cierre de líquido en los platos		
	12,5 mm	25 mm	50 mm
15	0,012	-	-
30	0,035	0,028	0,020
60	0,055	0,050	0,048

Fuente: (Ocon, Tojo (1983))

En este caso contamos con una: Distancia entre platos: 30 cm

Altura del cierre de líquido: 50 mm

Por lo que el valor de K = 0,020

El Diámetro de la columna de destilación varía según el caudal de vapor en cada sección de la columna; por lo tanto, se hará el cálculo en la zona de rectificación y en la zona de agotamiento. (Ocon, Tojo (1983)).

Zona de Rectificación:

En esta sección se fracciona por diferencia de temperaturas de ebullición al Nitrógeno, siendo este el más volátil.

$$\rho_{LN} = 806,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{VN}=1,185 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_L}} \quad (4 - 54)$$

$$\mu = 0,020 \sqrt{\frac{806,6 - 1,185}{806,6}}$$

$$\mu = 0,021 \text{ m/seg}$$

En la zona de rectificación se tiene:

$$V = 235,11 \text{ km/hr}$$

$$t = -198^\circ\text{C}$$

$$p = 15000 \text{ mm Hg.}$$

Con estos datos calculamos el diámetro para esta sección:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 235,11 * 22,4 * (273 - 198) * 760}{\pi * 0,021 * 3600 * 15000 * 273}}$$

$$\mathbf{D = 1,14 \text{ m}}$$

Zona de Agotamiento:

En esta sección se fracciona al Oxígeno.

$$\rho_{LN}=1140 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{VN}=1,354 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,020 \sqrt{\frac{1140 - 1,354}{1140}}$$

$$\mu = 0,018 \text{ m/seg}$$

En la zona de rectificación se tiene:

$$V = 21,63 \text{ km/hr}$$

$$t = -186^\circ\text{C}$$

$$p = 7500 \text{ mm Hg.}$$

Con estos datos calculamos el diámetro para esta sección:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 21,63 * 22,4 * (273 - 186) * 760}{\pi * 0,018 * 3600 * 7500 * 273}}$$

$$D = 0,54 \text{ m}$$

d) Altura de la columna:

La altura de la columna de destilación fraccionada está en función del número de platos que la columna tiene y el espacio que existe entre estos; por lo tanto:

$$H = N_{min} * e \quad (4 - 55)$$

Donde:

N_{min} = Número mínimo de platos

e = Espacio o distancia entre platos en metros.

$$H = 18 * 0,30$$

$$H = 5,4 \text{ m}$$

e) Relación de Reflujo γ :

La relación de reflujo se calcula a continuación:

$$R_D = 2$$

$$(L/D)_{min} = 1,3$$

$$\gamma = \frac{R_D}{\left(\frac{L}{D}\right)_{min}} \quad (4 - 56)$$

$$\gamma = 1,54$$

4.6.4 Balance de Energía

El principio de conservación de la energía indica que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma de unas formas en otras. En estas transformaciones, la energía total permanece constante; es decir, la energía total es la misma antes y después de cada transformación.

La energía se manifiesta de varias formas, entre las cuales están: la entalpía, la energía eléctrica, la energía química, la energía cinética, la energía potencial, el trabajo y el flujo de calor.

Cuando no se produce una reacción química solo existe un simple calentamiento, enfriamiento o cambio de fase, como es el caso del presente proyecto.

A continuación se realiza los balances de Energía eléctrica y Energía térmica o calórica, para determinar la energía necesaria que se requiere para este proyecto.

4.6.4.1 Balance de Energía Eléctrica.

Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico.

La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía lumínica o luz, la energía mecánica y la energía térmica. La energía eléctrica se manifiesta como corriente eléctrica, es decir, como el movimiento de cargas eléctricas negativas, o electrones, a través de un cable conductor metálico como consecuencia de la diferencia de potencial que un generador esté aplicando en sus extremos.

Cada vez que se acciona un interruptor, se cierra un circuito eléctrico y se genera el movimiento de electrones a través del cable conductor.

El consumo de energía para los equipos diseñados anteriormente es:

Tabla IV-7 Consumo de Energía

Equipo	Potencia Instalada	Horas de Funcionamiento		Consumo Anual
	kW	Hr/Día	Hr/Año	
Compresor C-1	71,27	8	250	142540 kW/año
Intercambiador de calor UR-1	35,22	8	250	70440 kW/año
Total				212980 kW/año

Fuente: Elaboración Propia, 2015

4.6.4.2 Balance de Energía en el Condensador de la Columna de Destilación

El calor absorbido en el Condensador es:

$$q_C = D * \lambda_N \quad (4 - 57)$$

$$q_C = 78,37 \text{ kmol} \times 5574,6 \text{ kJ/kmol}$$

$$q_C = 436880,40 \text{ kJ}$$

4.6.4.3 Balance de Energía en el Rehervidor de la Columna de Destilación

El calor desprendido en el Rehervidor es:

$$q_R = B * \lambda_O \quad (4 - 58)$$

$$q_R = 21,63 \text{ kmol} \times 6815,744 \text{ kJ/kmol}$$

$$q_R = 147424,60 \text{ kJ}$$

4.7. DISTRIBUCIÓN GENERAL DE LA PLANTA.

La misión del diseño y distribución general de la planta productora de Oxígeno y Nitrógeno es permitir que los operarios y los equipos diseñados trabajen de manera más segura, eficaz y organizada para conseguir un arreglo de menor costo.

Se hace necesario adoptar una distribución dentro de la planta que cuente con los principios básicos para el diseño de la Planta:

- Es más efectiva la distribución general de la planta productora de oxígeno y nitrógeno que haga el trabajo más satisfactorio y seguro para los trabajadores.
- La mejor distribución es la que integra a los trabajadores, materiales, equipos, actividades auxiliares y otros factores.
- Se debe considerar que la distancia que deben recorrer los materiales sea la menor posible.
- La distribución más efectiva es la que pueda ser ajustada o reordenada a menor costo o con menos inconvenientes de requerir una ampliación o reajuste en el futuro.

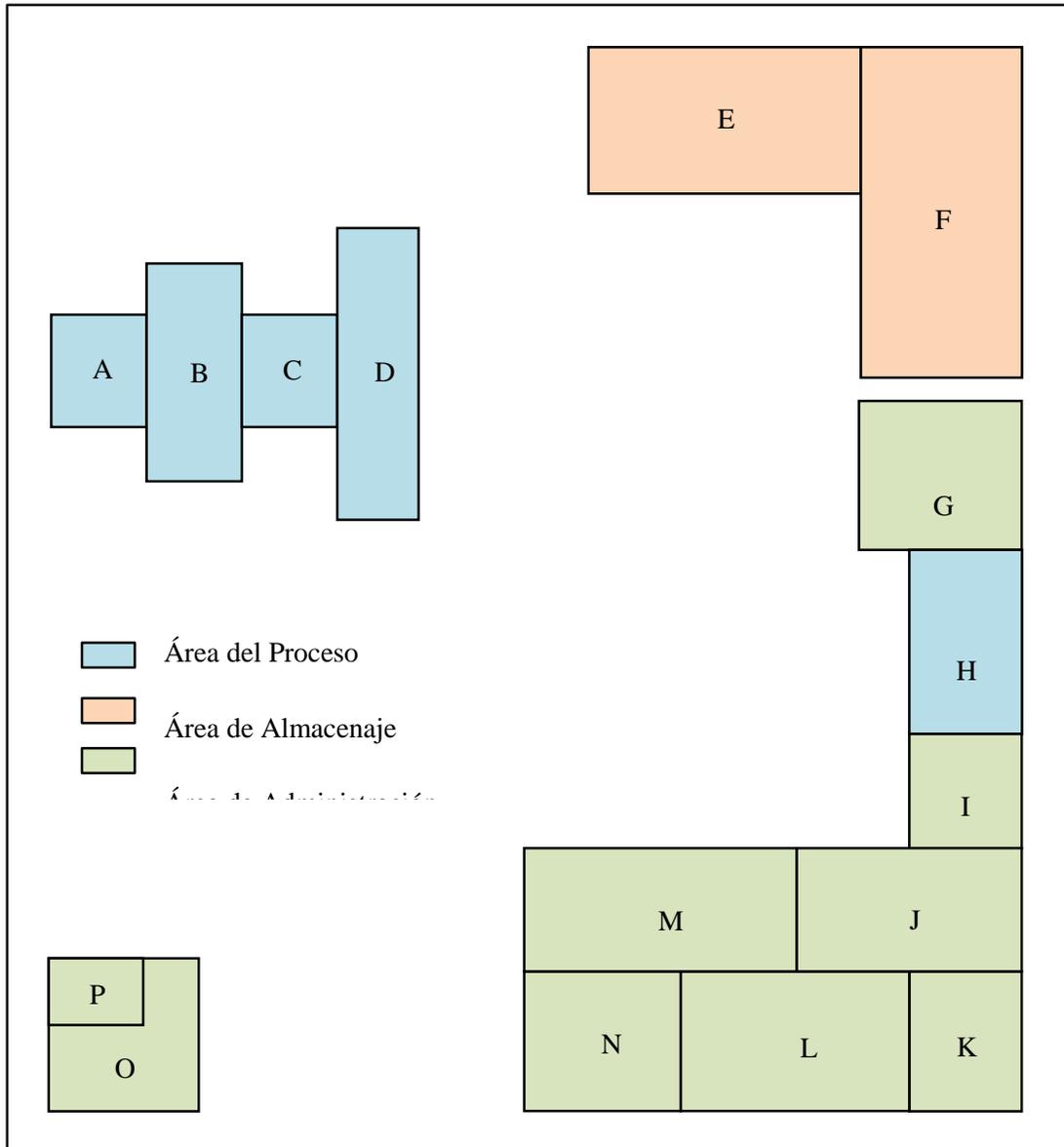
Se identifica tres formas básicas de distribución en Planta:

- *Distribución por posición fija:* Se basa en un elemento principal a partir del cual se instalan los demás componentes.
- *Distribución por proceso:* Donde las operaciones del mismo tipo se agrupan dentro de un mismo sector.
- *Distribución por producto:* La cual se desarrollará en este proyecto debido a que se trata de un proceso donde se requiere que los equipos estén ubicados de acuerdo al diagrama analítico del proceso, aprovechando de manera más conveniente la superficie requerida.

Se identifica tres áreas para la distribución dentro de la Planta:

- Área de Administración
- Área de Proceso
- Área de Almacenamiento

Fig. 4 - 7 Distribución general de la planta



Fuente: Elaboración Propia 2015

Área del proceso:

- A - Compresor
- B - Intercambiador de calor
- C - Tanque de almacenamiento
- D - Columna de Destilación

H – Laboratorio

Área de Almacenaje:

E – Almacén de cilindros de nitrógeno

F – Almacén de cilindros de oxígeno

Área de Administración:

G – Baño y vestidor de Operarios

I – Sala Médica

J – Oficina Jefe de Producción

K – Baño

L – Oficina Gerencia General

M – Sala de Reuniones

N – Recepción

O – Oficina de Seguridad

P - Baño

4.8. SERVICIOS AUXILIARES.

Los sistemas de servicios auxiliares en una planta son esenciales para lograr una operación confiable. Los sistemas de servicios auxiliares se considerarán cuidadosamente en la etapa de diseño de la planta, porque desde su concepción misma se está determinando la confiabilidad y flexibilidad para hacer que un proyecto sea factible o no; en este proyecto se toma en cuenta los servicios auxiliares de Energía Eléctrica y el Consumo de Agua siendo estos indispensables para la determinación de costos del producto.

4.8.1 Energía Eléctrica

La energía eléctrica para este proyecto será proporcionada por la empresa SETAR, conjuntamente el convenio y afiliación a CADEPIA (Cámara Departamental de la Pequeña Industria y Artesanía), lo cual ayudará en la reducción de costos para la

energía eléctrica que se requiere. Actualmente el costo por kWatt consumido en la línea trifásica es de 1,50 Bs, pero gracias a la afiliación a CADEPIA el costo reduce un 50% llegando a costar 0,75 Bs por kWatt consumido por tanto:

Tabla IV-8 Consumo de Energía

Equipo	Potencia Instalada	Horas de Funcionamiento		Consumo Anual kW/Año	Costo Anual Bs/kW
	kW	Hr/Día	Hr/Año		
Compresor C-1	71,27	8	250	142540	106905
Intercambiador de calor UR-1	35,22	8	250	70440	52830
Total				212980	159735

Fuente: Elaboración Propia, 2015

4.8.2 Consumo de Agua

Dentro de la Planta productora de Oxígeno y Nitrógeno se cuentan con 3 Baños y 2 puntos para uso personal o en caso de cualquier otro requerimiento lo que significa un consumo de agua de:

Tabla IV-9 Consumo de Agua

Periodo Anual	%	Consumo Diario m ³	Consumo Anual m ³	Costo por m ³ /Bs.	Costo Anual Bs.
1er Año	70	1	250	8	2000
2do Año	80	1.1	275	8	2200
3er Año	90	1,21	302,5	8	2420
4to Año	100	1,331	332,75	8	2662

Fuente: Elaboración Propia

El agua será proporcionada por la empresa COSAAL.

4.9. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA.

La evaluación que se realiza a la Planta productora de Oxígeno y Nitrógeno es con el propósito de evaluar y analizar los aspectos más importantes, permitiendo que la producción de la Planta sea la más óptima.

En la evaluación técnica para este proyecto se analiza los siguientes aspectos:

- Determinación de la capacidad instalada de la Planta.
- Descripción del Proceso Productivo.
- Distribución de la Planta.
- Organigrama de la Empresa.
- Conclusiones.

4.9.1 Determinación de la capacidad instalada de la Planta

La capacidad instalada de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno se determinó mediante la demanda insatisfecha constituyendo un factor que puede limitar la instalación de la capacidad máxima de la planta, siendo esta la demanda potencial insatisfecha.

Por lo tanto, la capacidad instalada de la planta será de aproximadamente $150000\text{m}^3/\text{año}$ de O_2 , en condiciones normales de temperatura y presión, como se puede comprobar con el estudio de Mercado del Capítulo II.

4.9.2 Descripción del Proyecto Productivo

El proceso Productivo de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno cuenta con varios controles técnicos en cada sección del proceso, teniendo cierto grado de flexibilidad para realizar una ampliación de la capacidad de producción si fuese necesario en algún momento.

Para la Producción de Oxígeno y Nitrógeno se seleccionó el Proceso por Destilación Fraccionada del Aire dado que este proceso requiere una mayor presión de entrada 170 bar o 2500 lb/plg^2 ; se debe refrigerar el Aire a una temperatura de -173°C para

obtener Aire Líquido, pero es un proceso que no emite ningún tipo de contaminantes tóxicos. La vida útil del Proceso de Destilación Fraccionada del Aire tiene una vida útil de 10 - 12 años. Se cuenta con equipos más accesibles y menos costosos para este tipo de proceso.

4.9.3 Distribución de la Planta

Para la Distribución efectiva de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno es más conveniente orientarla por Producto, debido a que se trata de un proceso donde se requiere que los equipos estén ubicados de acuerdo al diagrama analítico del proceso, aprovechando de manera más conveniente y eficaz la superficie requerida.

Se identifica tres áreas para la distribución dentro de la Planta:

- Área de Administración
- Área de Proceso
- Área de Almacenamiento

4.9.4 Organigrama de la Empresa

Para una Empresa Mediana como lo es la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno, se cuenta con una representación gráfica de la estructura de la Industria, donde se muestra de manera esquemática y organizada los cargos y actividades de todo el personal que trabaja dentro de la empresa.

Los Cargos más influyentes son: Gerente General el cual es el Representante Legal de la Empresa y tiene a su cargo la dirección y administración de los negocios sociales, Jefe de Producción quién realiza el control del proceso y la calidad de los productos.

4.10. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

El Cronograma de ejecución para la instalación de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno consta de una lista de todas las actividades terminales para el Proyecto, con las fechas previstas de comienzo y final de cada actividad, con la finalidad de determinar el tiempo que se requiere para la conclusión de todas las actividades definidas anteriormente. Dicho propósito se realizará mediante el Método de la Ruta Crítica (CPM) y del Diagrama de Gantt.

4.10.1 Método de la Ruta Crítica (CPM)

El Método CPM según sus siglas en Inglés (Critical Path Method) se utilizará para determinar la duración de este proyecto, haciendo uso de la secuencia de actividades interrelacionadas que se necesitan para la planificación y posterior instalación de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno, realizando la determinación de la Ruta Crítica, misma que identifica la trayectoria más larga del proyecto.

Dichas actividades están especificadas en la siguiente tabla conjuntamente su duración en meses.

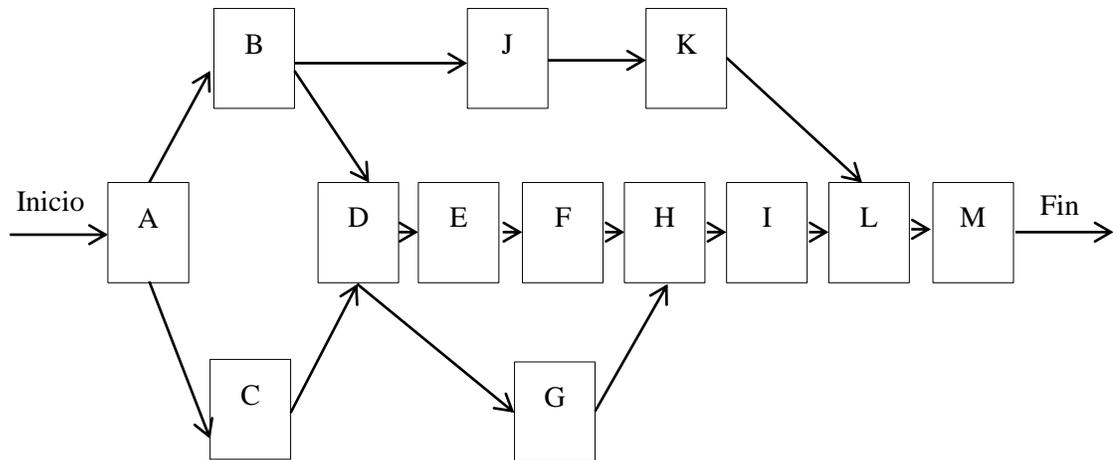
Tabla IV-10 Cronograma de Actividades.

N°	Actividad	Descripción	Duración	Precedente
1	A	Estudio T.E.S.A	3	-
2	B	Compra del Terreno	2	A
3	C	Trámites Legales	6	A
4	D	Deslindar Terreno	1	B,C
5	E	Acondicionamiento del Terreno	3	D
6	F	Construcción Civil	12	E
7	G	Instalación de Servicios Básicos	4	D
8	H	Compra de Equipos e Insumos	6	F,G
9	I	Ensamblaje de Equipos	2	H
10	J	Contratar Personal Capacitado	1	B
11	K	Capacitar Personal	3	J
12	L	Pruebas de Funcionamiento	2	K,I
13	M	Puesta en Marcha	3	L

Fuente: Elaboración Propia 2015

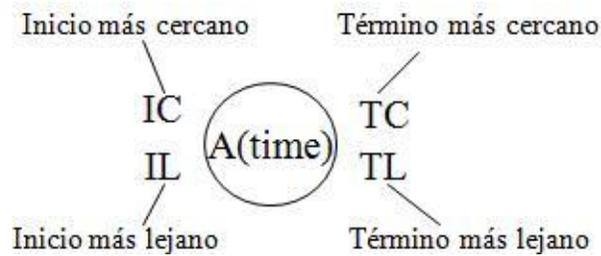
Una vez definidas las actividades que conforman el presente Proyecto, se procede a realizar la representación gráfica del Método CPM (Critical Path Method).

Fig. 4-8 Representación Gráfica del Método CPM



Fuente: Elaboración Propia 2015

Por simplicidad y para facilitar la representación de cada actividad, se utilizará la siguiente notación:



Donde:

IC: Inicio más cercano, es decir, lo más pronto que puede comenzar la actividad.

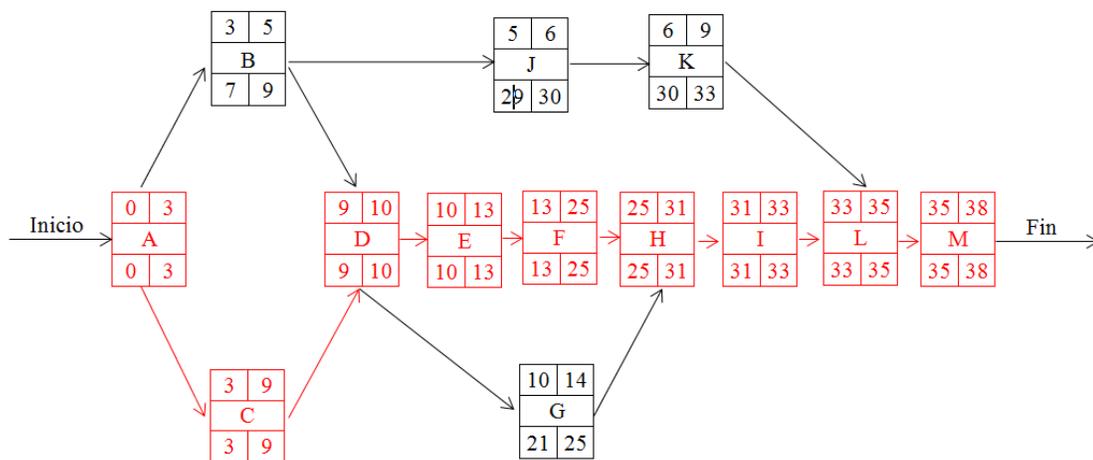
TC: Término más cercano, es decir, lo más pronto que puede terminar la actividad.

IL: Inicio más lejano, es decir, lo más tarde que puede comenzar la actividad sin retrasar el término del proyecto.

TL: Término más lejano, es decir, lo más tarde que puede terminar la actividad sin retrasar el término del proyecto.

Esta notación nos mostrará el Camino Crítico o Ruta Crítica para la determinación de la duración del Proyecto, la ruta está marcada de color rojo, siendo este el camino de mayor duración en sus actividades.

Fig. 4-9 Ruta Crítica



Fuente: Elaboración Propia 2015

La Ruta Crítica está formada por las actividades en las que el tiempo:

$IC = IL$ y $TC = TL$ son iguales; como se puede observar en la figura estas actividades son: A, C, D, E, F, H, I, L y M.

La duración del Proyecto es de 38 meses, es decir, el Proyecto concluirá dentro de 38 meses.

4.10.2 Diagrama de GANTT

El diagrama de GANTT es una herramienta que permite modelar la planificación de las tareas necesarias para la realización de un proyecto. Esta herramienta fue inventada por Henry L. Gantt en 1917.

Debido a la relativa facilidad de lectura de los diagramas de GANTT, esta herramienta es utilizada en todo tipo de Proyecto.

El diagrama de GANTT permite realizar una representación gráfica del progreso del proyecto, pero también es un buen medio de comunicación entre las diversas personas involucradas dentro del mismo.

En este Proyecto el Eje de Ordenadas representa las actividades y en el Eje de las Abscisas representa los tiempos de ejecución. Mediante barras se representa la duración de cada actividad. (Ver en Anexo 1).

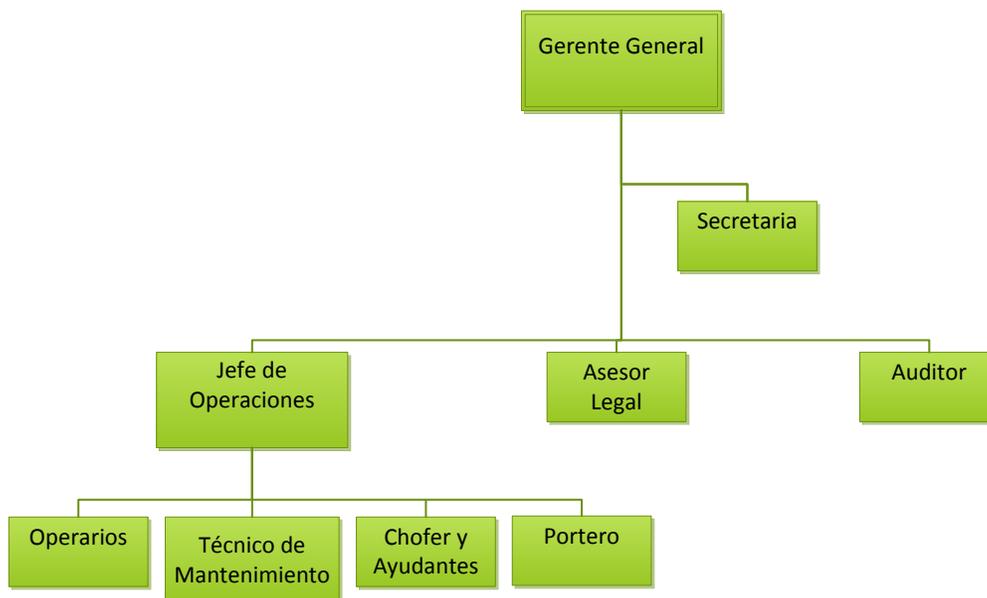
4.11 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA.

Organización es la combinación de los medios técnicos, humanos y financieros que componen la empresa: edificios, máquinas, materiales, personas..., en función de la consecución de un fin, según las distintas interrelaciones y dependencias de los elementos que lo constituyen.

Para alcanzar los objetivos es necesario estructurar la organización adecuándola a esos objetivos y a la situación en las condiciones específicas en que se encuentre.

El primer paso en la organización de la empresa será la definición o descripción de los puestos de trabajo, así como la asignación de responsabilidades; posteriormente tendrá lugar el establecimiento de las relaciones de autoridad y coordinación, mediante una estructura en la que se distingue claramente una jerarquía en diferentes niveles, exponiéndose con claridad las funciones de cada uno de los elementos que la forman.

Fig. 4-11 Organigrama de la Empresa



Fuente: Elaboración propia, 2015

Descripción de las funciones y responsabilidades de cada puesto de trabajo.

4.11.1 Gerente General

La empresa contará con un Gerente General el cual, será el Representante Legal de la Sociedad y tendrá a su cargo planificar, organizar, dirigir, controlar, coordinar, analizar, calcular y deducir el trabajo de la empresa, además de contratar al personal adecuado, efectuando esto durante la jornada de trabajo.

4.11.2 Secretaria.

Se contará con una Secretaria, misma que tiene como función, recepcionar, registrar y distribuir la correspondencia de gerencia, también se encargará del mantenimiento de los archivos de contratos suscritos por la empresa con terceros, realizará la atención diaria de las agendas de la Gerencia, recepcionará los mensajes telefónicos de gerencia, elaborará documentos y tareas que le sean asignadas.

4.11.3 Jefe de Operaciones.

La empresa contratará un Jefe de Operaciones, el cual tendrá la responsabilidad de generar, validar planes y programas de trabajo: además, deberá controlar riesgos asociados a cambios en la planificación original, diseñará y mantendrá planes de contingencia ante siniestros, coordinará con sus jefes todas las actividades que se realicen, también tendrá que gestionar los contratos con proveedores y clientes de manera técnica en cuanto a volúmenes de producción, fijando tiempo de entrega..

4.11.4 Operarios.

En el presente Proyecto se requieren dos operadores de producción para mantener el proceso productivo. Estos harán un seguimiento de la producción y de su progreso, asegurando de que todo esté funcionando sin problemas y eficientemente. Ellos tomarán los datos y

mantendrán registros de la velocidad, la eficiencia y los resultados de la producción. Los operadores de producción supervisan todo el proceso.

4.11.5 Técnico de Mantenimiento.

En la Planta Productora de Oxígeno se contará con un Técnico de Mantenimiento, el cual tiene la responsabilidad de conocer el funcionamiento de cada equipo de la Planta; para realizar un adecuado mantenimiento y la reparación del mismo si fuese necesario, deberá reportar sus observaciones de cada trabajo realizado, aportando con ideas para la solución de los problemas que se presenten en los equipos.

4.11.6 Chofer y Ayudantes

Para transportar los cilindros de Oxígeno desde la Planta Productora hasta el punto de entrega, se requiere de un Chofer que deberá ser una persona responsable, que vela por la seguridad y resguardo del material que transporta, verifica las condiciones del vehículo antes de salir; se encargará del mantenimiento y de todo lo relacionado a él y elaborará reportes de su trabajo. Como se trata de cilindros de acero, estos son pesados y un tanto difíciles su traslado, por lo que se precisará de dos ayudantes que se encargarán de cargar los cilindros en la Planta e ir con el Chofer al punto de entrega.

4.11.7 Asesor Legal.

El Asesor Legal o Abogado de la empresa, deberá colaborar con los trámites necesarios para crear la empresa y otros trámites posteriores como las modificaciones estatutarias o las ampliaciones o reducciones de capital; el abogado se encargará de lo relacionado a las autorizaciones, concesiones administrativas y licencias necesarias para que la empresa pueda desarrollar su labor. Realizará asesoramiento para las aperturas o cierres de contratos de empleo para sus trabajadores.

4.11.8 Auditor.

El profesional encargado de la evaluación económica-financiera de la empresa, es un Auditor, el cual estará encargado de desarrollar y analizar los estados financieros de la empresa, elaborará balances mensuales y anuales de la empresa, realizará los informes para el pago de impuestos y tributaciones requeridas por ley.

4.11.9 Portero

El portero que se requiere para la Planta Productora de oxígeno deberá ejercer la vigilancia y protección de bienes muebles e inmuebles, así como la protección de las personas que puedan encontrarse en los mismos; también efectuará controles de identidad en el acceso y en el interior de la Planta.

Tabla IV-11 Puestos de Trabajo

Personal	Cantidad	Profesión Mínima Requerida
Gerente General	1	Ing. Químico/ Ing. Comercial/ Adm. de Empresas.
Secretaria	1	Secretariado Ejecutivo
Jefe de Operaciones	1	Ing. Químico
Operarios	2	Ing. Industrial
Técnico de mantenimiento	1	Ing. Mecánico
Chofer	1	Chofer
Ayudantes	2	Bachiller
Asesor Legal	1	Abogado
Auditor	1	Auditor Contable
Portero	1	Bachiller

Fuente: Elaboración Propia, 2015

CAPÍTULO V

ASPECTOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO

5.1. INVERSIÓN DEL PROYECTO

La Inversión del Proyecto se refiere al gasto monetario que se efectúa para la adquisición de determinados activos fijos o tangibles y los activos diferidos o intangibles, es decir, la compra de bienes o servicios para la producción o adquisición de bienes de capital con los que el proyecto producirá durante su vida útil; por ello está vinculada con las condiciones del anterior capítulo de este proyecto.

El monto total de inversión que demanda el proyecto es de aproximadamente: 767050\$us.

5.1.1 Estructura de la inversión.

La inversión del Proyecto está destinada o constituida por tres rubros: La Inversión de Bienes Fijos o Activos Tangibles, la Inversión de Bienes Diferidos o Activos Intangibles, llamados también servicios y el Capital de Trabajo o capital de Operación.

El detalle de las inversiones que se presenta a continuación está realizado bajo cotizaciones; como la investigación de costos de producción, la evaluación de costos de construcción, la estimación de costos de equipos, la valoración de inmuebles y enseres que se requieren en este Proyecto.

Tabla V-1 Estructura de las Inversiones

Detalle	Monto \$us.	Porcentaje %
Inversión Fija	556860	72,6
Inversión Diferida	130190	17,0
Capital de Operación	80000	10,4
Total de Inversión	767050 \$us.	100

Fuente: Elaboración Propia 2015

5.1.1.1. Inversión de Bienes Fijos

La Inversión Fija se caracteriza por su materialidad, es decir, considera todo insumo que pueda verse y tocar, por lo cual está sujeta a la depreciación, lo que es sinónimo de desvalorización gradual a lo largo de su uso, ya sea por desgaste u obsolescencia, siendo este un mecanismo mediante el cual se recupera la inversión fija.

Se denomina Inversión Fija porque el Proyecto no puede desprenderse fácilmente de estos activos, sin que con ello perjudique las actividades de producción. Su cálculo depende de los precios corrientes existentes en el mercado.

La Inversión Fija está compuesta por:

Tabla V-2 Detalle de Inversión Fija

Detalle	Costo \$us
Equipos	385.560
Terreno	50.000
Obras Civiles	90.000
Laboratorio.	3.000
Muebles y Enseres	5.300
Cilindros (150 unid.)	15.000
Vehículo	8.000
TOTAL	556860 \$us

Fuente: Elaboración Propia 2015

5.1.1.1.1 Terreno.

La adquisición del Terreno en el Parque Industrial, donde operará la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno requiere la inversión monetaria de aproximadamente 50000 \$us con una superficie de 1250 m²; dicha inversión considera la preparación del mismo, el deslinde y otros. El terreno es el único Activo Fijo que no se deprecia.

5.1.1.1.2 Equipos.

Estos bienes tangibles son necesarios para la ejecución del proyecto. Su adquisición está sujeta a las especificaciones realizadas en el Capítulo IV de Ingeniería del Proyecto. Se considera el precio base de los equipos principales diseñados (Compresor, Intercambiador de Calor y la Columna de Destilación), según el catálogo específico para cada equipo.

En el *Libro Diseño y Economía de los procesos de Ingeniería Química de Ulrich* se calcula el Costo de Flete, Seguros e Impuestos que se añade al precio base de cada equipo donde:

5.1.1.1.2.1 Costo del Compresor

C_P = Precio del Equipo (Compresor) Catálogo

$C_{FIT} = 0,08 (C_P)$ Flete, Seguros e Impuestos

Tabla V-3 Costo Total del Compresor

<u>Gastos del Equipo</u>		<u>Costo \$us</u>
Equipo (Compresor) <i>Cotización</i>	C_P	87.000
Flete, Seguros, Impuestos	C_{FIT}	6960
Capital Básico Total	C_{GR}	93960

Fuente: Elaboración Propia 2015; Catálogo de productos Air Compressors (2013)

5.1.1.1.2.2 Costo del Intercambiador de Calor

C_P = Precio del Equipo (Intercambiador de Calor) Cotización

$C_{FIT} = 0,08 (C_P)$ Flete, Seguros e Impuestos

Tabla V-4 Costo Total del Intercambiador de Calor

<u>Gastos del Equipo</u>		<u>Costo \$us</u>
Equipo (Compresor) <i>Cotización</i>	C_P	120.000
Flete, Seguros, Impuestos	C_{FIT}	9.600
Capital Básico Total	C_{GR}	129.600

Fuente: Elaboración Propia 2015; Catálogo Funke Quality Heat Exchangers. 2014

5.1.1.1.2.3 Costo de la Columna de Destilación

C_P = Precio del Equipo (Columna de Destilación)

$C_{FIT} = 0,08 (C_P)$ Flete, Seguros e Impuestos

Tabla V-5 Costo Total de la Columna de Destilación

<u>Gastos del Equipo</u>		<u>Costo \$us</u>
Equipo (CD-1) <i>Cotización</i>	C_P	150.000
Flete, Seguros, Impuestos	C_{FIT}	12.000
Capital Básico Total	C_{GR}	162.000

Fuente: Elaboración Propia, 2015; Catálogo de Bachiller Barcelona 2012.

Una vez calculados los costos totales de cada equipo, se reúnen todos los datos y se suman, para calcular el costo total que se invertirá en equipos.

Tabla V-6 Costo total en equipos

Equipo	<u>Costo \$us</u>
Compresor	93.960
Intercambiador de calor	129.600
Columna de destilación fraccionada	162.000
Total	385.560 \$us.

Fuente: Elaboración Propia, 2015

5.1.1.1.3 Muebles y Enseres

Se refiere al mobiliario y accesorios necesarios para el funcionamiento del Proyecto y Equipamiento de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno.

A continuación se detallan algunos de estos mobiliarios:

Tabla V-7 Muebles y Enseres

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$us)	Valor Total (\$us)
Escritorio	5	100	500
Sillón Giratorio	5	30	150
Computadora	5	780	3900
Mesa con 12 Sillas	1	200	200
Estante	5	80	400
Material de Escritorio		150	150
TOTAL			5300

Fuente: Elaboración Propia 2015

5.1.1.1.4 Cilindros

Se hace indispensable considerar dentro de la Inversión Fija los envases de acero, llamados también cilindros de gas. Estos recipientes son tanques de acero de paredes gruesas en forma de tambor o de botella. Las paredes tienen que ser gruesas para poder admitir el gas a alta presión y almacenar así una cantidad relativamente grande dentro de las mismas, en un recipiente relativamente pequeño. Estos recipientes son los empleados para el almacenamiento y transporte de gases. Es un procedimiento muy cómodo para este tipo de actividad.

Es importante tener en cuenta el peso relativamente grande de estos recipientes con gas, debido a su robusta constitución, con el fin de no sobrecargar los pisos de los ambientes de almacenaje.

Se considera una existencia de 150 envases de propiedad de la Planta productora de Oxígeno y Nitrógeno, los cuales están señalados con distintos colores para su distinción.

5.1.1.1.5 Laboratorio

El control de Calidad del Oxígeno medicinal lo realiza IBNORCA (Instituto Boliviano de Normalización y Calidad), el cual proporciona certificados de Calidad mensuales del Producto. Sin embargo, dentro de la Planta Productora de Oxígeno se realizarán análisis diarios de Pureza para el Oxígeno en cada lote de Producto, lo que justifica el requerimiento de un Laboratorio. Para la implementación del Laboratorio se requieren de al menos 3000\$us, para su equipamiento necesario

5.1.1.1.6 Obras Civiles

La Planta Productora de Oxígeno contará con una superficie total de 2250 m², para la construcción de 3 áreas:

Área del proceso:

Donde se ubicarán los Equipos y Maquinarias (Compresor, Intercambiador de Calor, Tanque de Almacenamiento, la Columna de Destilación); también se implementará el Laboratorio para el análisis de Pureza del Oxígeno.

Área de Almacenaje:

En el cual, se construirán, galpones de almacenaje

Área de Administración:

Contará con 4 Oficinas, 3 Baños, 1 Sala Médica y 1 Ambiente de Recepción.

Para la construcción de todos estos ambientes se requerirá una inversión aproximada de 90.000 \$us.

5.1.1.1.7 Vehículo

Para el transporte de los cilindros de Oxígeno y Nitrógeno, se requiere de un vehículo de alta capacidad, que permita el traslado de los envases a los puestos de venta.

Dicho vehículo deberá ser una Camioneta marca Toyota DYNA, la cual cumple con las expectativas para realizar el transporte.

El costo aproximado de dicha Camioneta es de: 8000\$us

5.1.1.2. Inversión de Bienes Diferidos

Este tipo de Inversión se caracteriza por su intangibilidad, es decir, bienes no tangibles; son servicios necesarios para el estudio e implementación del Proyecto, los cuales no están sujetos a depreciaciones.

Usualmente están conformados por los trabajos de investigación, tecnología e ingeniería, organización o administración, funcionamiento o puesta en marcha de los equipos, asistencia técnica e imprevistos los cuales recuperan su valor monetario agregando al costo de producción las Amortizaciones de Inversión Diferida.

El total de la Inversión Diferida es de: 130190\$us monto que constituye un 10,38% de la Inversión Total Requerida.

Tabla V-8 Detalle de la Inversión Diferida

Detalle	Costo \$us
Gastos de Organización	1500
Interés de pre-operación	48000
Montaje e Instalación	60690
Estudios	15000
Imprevistos	5000
TOTAL	130190 \$us

Fuente: Elaboración Propia 2015

5.1.1.3. Capital de Operación

La definición básica de capital de trabajo lo considera como aquellos recursos que requiere la empresa para poder operar. En este sentido el capital de trabajo es lo que comúnmente conocemos como activo corriente. El capital de trabajo debe financiar:

- Salarios

Tabla V- 9 Costo en Salarios

Personal	Cantidad	Salario Mensual (\$us)	Total (\$us)
Gerente General	1	750	750
Secretaria	1	305	305
Jefe de Operaciones	1	480	480
Operarios	2	315	630
Técnico de mantenimiento	1	350	350

Chofer	1	290	290
Ayudantes	2	250	500
Asesor Legal	1	420	420
Auditor	1	310	310
Portero	1	230	230
Total			4265 (\$us)/Mes

Fuente: Elaboración Propia, 2015

Cada año se deberá presupuestar:

4265(\$us)/Mes * 12 Mes/Año = **51180 \$us/Año** para salarios.

□ Materiales Directos e Indirectos:

Contempla una inversión aproximada de 28820\$us.

Para el presente Proyecto se toma en cuenta un **Capital de Operación = 80.000 \$us.**

En conclusión se requiere una inversión total según el siguiente detalle:

Tabla V-10 Inversión Total Requerida

N°	DETALLE	VALOR \$
1	<i>Inversión (a+b)</i>	687050
	<i>a) Inversión Fija</i>	556860
	Equipos	385.560
	Terreno	50.000
	Obras Civiles	90.000
	Laboratorio.	3.000

	Muebles y Enseres	5.300
	Cilindros (150 unid.)	15.000
	Vehículo	8000
	<i>b) Inversión Diferida</i>	130190
	Gastos de Organización	1500
	Interés de pre-operación	48000
	Montaje e Instalación	60690
	Estudios	15000
	Imprevistos	5000
2	<i>Capital de Trabajo</i>	80000
Inversión Total Requerida (1+2)		767050 \$us

Fuente: Elaboración Propia 2015

5.1.2 Estimación de costos.

Los costos son valores de los recursos materiales, humanos y financieros que el proyecto utiliza para sus diferentes fases. Para fines de análisis en el estudio de este Proyecto, los costos que se consideran son para todos los recursos asignados al Proyecto, es decir, recursos de trabajo, recursos materiales, coste de servicios e instalaciones y posibles costes por contingencias, clasificándose en Costos Fijos y los Costos Variables.

5.1.2.1 Costos Fijos

Los costos fijos son aquellos costos que permanecen constantes ante cualquier volumen de producción, es decir no dependen de la producción.

Como por ejemplo:

- Costos de Financiamiento
- Depreciación
- Salarios
- Amortización de Inversión Diferida

5.1.2.2 Costos Variables.

Son costos que varían en forma directa con la variación o cambios en los volúmenes de producción. Por ejemplo:

- Energía Eléctrica
- Servicios Básicos
- Imprevistos

Ver **Tabla V – 11** en (Anexo 2) con su respectivo detalle de inversión, donde se puede observar que los costos irán disminuyendo al pasar los años. El año que significará mayor costo al Proyecto es el primero, porque el costo financiero para el primer años es más alto con relación a los otros años.

5.1.3 Costos de producción.

Los costos de producción (también llamados costos de operación) son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento. En una compañía estándar, la diferencia entre el ingreso (por ventas y otras entradas) y el costo de producción indica el beneficio bruto.

5.1.3.1 Costo unitario del producto.

El costo unitario de producción también llamado costo promedio total, indica el costo de producir un m³ del producto para cada nivel de producción. Se obtiene calculando la siguiente relación:

$$CUP = \frac{CT}{QT} \quad (5 - 1)$$

Donde.

C.U.P. = Costo Unitario del Producto

C.T. = Costo Total

Q.T. = Cantidad Total de Producción

El Costo Total está constituido por la suma del Costo Fijo CF y el Costo Variable CV en cuyas estructuras se consideran todos los costos del proceso de producción:

$$CT = CF + CV \quad (5 - 2)$$

$$CT = 186594 \text{ \$us}$$

Siendo la Cantidad Total de Producción del Primer año = 150000 m³/año Reemplazando en la Ec. (5 - 1) se tiene:

$$CUP = \frac{186594 \text{ \$us}}{150000 \text{ m}^3}$$

$$CUP = 1,24 \text{ \$us} = 8,7 \text{ Bs}$$

El costo Unitario por cada Cilindro de 6m³ de Oxígeno será de:

$$CUP = 8,66Bs * 6$$

$$\mathbf{CUP = 51,9 Bs.}$$

5.1.3.2 Precio de Venta

El precio de Venta de cada cilindro de Oxígeno se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$Pv = CUP(1 + h) \quad (5 - 3)$$

Donde:

Pv = Precio de Venta

CUP = Costo Unitario del Producto

h = Representa el porcentaje de utilidad que se espera obtener por cada unidad del Producto.

Se considera un porcentaje del 35% según Paredes, (1994).

$$Pv = 51,9 * (1 + 0,35)$$

$$\mathbf{Pv = 70,15 Bs}$$

Lo que se muestra con estos datos es que se puede competir en el mercado actual de Tarija, favoreciendo en gran medida al Proyecto.

5.1.4 Estimación de ingresos.

El proceso de estimar ingresos atribuibles a este proyecto comienza con la identificación de cada uno de ellos, distinguiéndose dos tipos de ingresos: directos e indirectos. Los ingresos directos tienen relación con la mayor disponibilidad del bien o servicio, ahorro de recursos en los procesos productivos, mayor contratación de insumos o factores en la economía y el costo alternativo de aquellos recursos que se sacan de otros procesos para ser utilizados. Los ingresos indirectos se refieren a los cambios que ocasiona la ejecución del proyecto en la producción y en el consumo de bienes y servicios relacionados con dicho proyecto.

En este Proyecto se estimará los Ingresos Totales:

$$I = Q * P \quad (5 - 4)$$

Donde:

I = Ingreso Total

Q = Producción Anual

P = Precio de Venta

La estimación de ingresos totales se realiza mediante la Producción anual del Proyecto, siendo que este trabajará al 100% de su capacidad instalada todos los años de vida del Proyecto, (10 años), y precio de venta que se calculó anteriormente. Con estos datos se elabora la siguiente tabla.

Tabla V-12 Ingresos Anuales Proyectados

Año	Producción Q (m3/año)	Precio de Venta P (Bs.)	Ingreso Total I=Q*P (Bs.)	Ingreso Total I=Q*P (\$us)
1	25000	70,1	1753237,22	251901,9

2	25000	70,1	1753237,22	251901,9
3	25000	70,1	1753237,22	251901,9
4	25000	70,1	1753237,22	251901,9
5	25000	70,1	1753237,22	251901,9
6	25000	70,1	1753237,22	251901,9
7	25000	70,1	1753237,22	251901,9
8	25000	70,1	1753237,22	251901,9
9	25000	70,1	1753237,22	251901,9
10	25000	70,1	1753237,22	251901,9

Fuente: Elaboración Propia 2015

5.1.5 Determinación de utilidades

La determinación de Ganancias o Pérdidas proyectadas es también llamada Estado de Ingresos y Egresos; tiene como objetivos mostrar si el Proyecto es capaz de generar utilidades netas o, caso contrario, pérdidas que puedan afectar la situación patrimonial de la empresa. El cálculo se efectúa en base a los parámetros de producción, precio del producto, costos de producción y deducciones impositivas legales. Este instrumento analítico se obtiene al comparar los ingresos generados por la actividad del presente Proyecto frente a los egresos que están definidos por la corriente de costos. Es un cuadro que sistematiza toda la información de ingresos y los costos incurridos en la producción del Producto. Ver **Tabla V – 13** en (Anexo 3).

5.2 FINANCIAMIENTO

El Financiamiento se refiere a los fondos monetarios que requiere un Proyecto para garantizar la ejecución del mismo.

La Inversión Total que requiere este Proyecto para el Funcionamiento y puesta en marcha de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno es de Aproximadamente 687050 \$us.

5.2.1 Necesidad de capital.

Como es evidente, la Inversión Total que requiere el Proyecto tiene un costo alto, lo cual no puede ser Financiado en su totalidad por el Aporte Propio de la empresa, haciendo necesario el Financiamiento por entidades Financieras.

5.2.1.1. Fuentes de financiamiento.

Las fuentes de financiación son todos aquellos mecanismos que permiten a una empresa contar con los recursos financieros necesarios para el cumplimiento de sus objetivos de creación, desarrollo, posicionamiento y consolidación industrial. Es necesario que se recurra al crédito en la medida ideal, es decir, que sea el estrictamente necesario.

Estas Fuentes de Financiamiento pueden ser:

5.2.1.1.1. Financiamiento con Aporte Propio

Esta constituidos por el aporte del inversionista o Promotor del Proyecto, este aporte pasa a formar parte del patrimonio de la empresa en forma de Capital.

5.2.1.1.2. Financiamiento Mediante Préstamos o Aporte Solicitado

Es el monto monetario que se puede obtener de terceros, como ser instituciones bancarias o entidades de crédito promocionales.

Tabla V-14 Estructura de Financiamiento

N°	DETALLE	VALOR \$	Aporte Propio	Préstamo
<i>1</i>	<i>Inversión (a+b)</i>	<i>687050</i>	<i>287050</i>	<i>400.000</i>
	<i>a) Inversión Fija</i>	556860	156860	400.000
	Equipos	385.560	0	385560
	Terreno	50.000	35.560	14440
	Obras Civiles	90.000	90.000	0
	Laboratorio.	3.000	3.000	0
	Muebles y Enseres	5.300	5.300	0
	Cilindros (150 unid.)	15.000	15.000	0
	Vehículo	8.000	8.000	0
	<i>b) Inversión Diferida</i>	130190	130190	0
	Gastos de Organización	1.500	1.500	0
	Interés de pre-operación	48.000	48.000	0
	Montaje e Instalación	60.690	60.690	0
	Estudios	15.000	15.000	0
	Imprevistos	5.000	5.000	0
<i>2</i>	<i>Capital de Trabajo</i>	<i>80.000</i>	<i>80.000</i>	<i>0</i>
Inversión Total Requerida (1+2)		767.050 \$us	367.050 \$us	400.000 \$us

Fuente: Elaboración Propia 2015

5.2.1.1.2.1 Condiciones Financieras del Préstamo

Antes de obtener el financiamiento por cualquier Fuente de Financiamiento se debe tener en cuenta las condiciones del préstamo, para evaluar si es conveniente realizar o no el préstamo requerido.

La devolución del préstamo se realiza mediante pagos periódicos y está compuesto por dos partes: Amortización e Interés.

5.2.1.1.2.1.1 Amortización

La Amortización es un proceso mediante el cual el monto adeudado de un préstamo se va haciendo progresivamente menor con el paso del tiempo, debido a que se va reembolsando dicho monto en cada cuota de pago a la institución bancaria.

5.2.1.1.2.1.2 Interés

Son montos que se cancelan por la utilización del capital solicitado en préstamo. El interés refleja el costo del capital. El pago de interés es lo que se conoce como el servicio de la deuda. Las instituciones financieras locales en el rubro de Fomento a la Industria, ofrecen tasas alternativas de crédito del 10 al 15% anual, pero son negociables según las características del Proyecto.

El periodo máximo de préstamo para el tipo de Industria Planteada es de 5 años y se deberá cancelar montos con una tasa de crédito constante, calculándose de la siguiente manera:

$$M = K * \left[\frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (5 - 5)$$

Donde:

M = Monto a Pagar por periodo

K = Capital Solicitado

i = Tasa de Interés que es un 12 %

n = Años de Pago 5

Reemplazando los datos en la ecuación (5-1), se obtiene el siguiente monto a pagar:

$$M = 400000 * \left[\frac{(1 + 0,12)^5 * 0,1}{(1 + 0,12)^5 - 1} \right]$$

$$M = 110.963,9 \text{ \$us/Año}$$

Tabla V-15 Plan de Pagos

AÑO	SALDO CAPITAL	INTERÉS "I"	AMORTIZACIÓN "A"	TOTAL (I+A)
1	400000	48000	0	48000
2	400000	48000	62963,9	110963,9
3	337036,1	40444,3	70519,6	110963,9
4	266516,5	31982,0	78981,9	110963,9
5	187534,6	22504,2	88459,7	110963,9
6	99074,9	11889,0	99074,9	110963,9
			400000 \$us	

Fuente: Elaboración Propia 2015

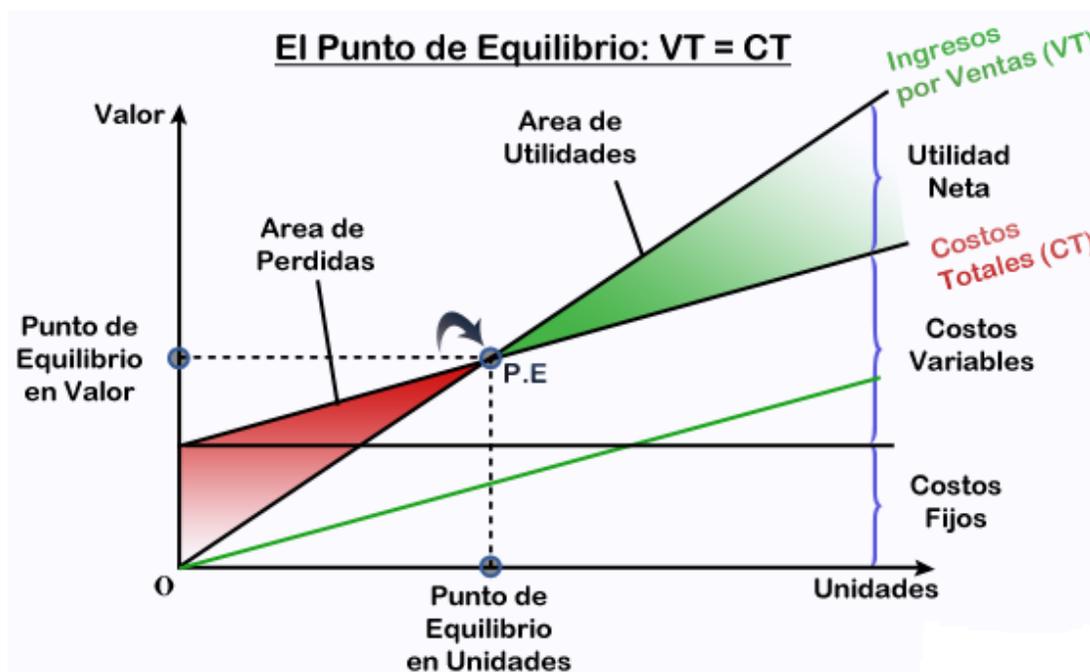
CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

6.1 DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

El punto de equilibrio llamado también por algunos autores Umbral de Rentabilidad se da cuando el valor de los ingresos es igual al valor de los costos de producción. Permite conocer el punto mínimo de producción al que debe operar la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno para que no tenga pérdidas.

Fig. 6-1 Punto de Equilibrio



Fuente: Elaboración Propia 2015

Analizar el punto de equilibrio permite:

1. Obtener una primera simulación para saber a partir de qué cantidad de ventas se empezará a generar utilidades.
2. Conocer la viabilidad de un proyecto.
3. Conocer el nivel de producción donde los beneficios por ventas es igual a la suma de los costos fijos y variables

6.1.1 Punto de Equilibrio en unidades monetarias

El punto de equilibrio en unidades monetarias se calcula con relación a los volúmenes de venta es decir con los costos Totales del Proyecto, haciendo uso de la siguiente fórmula (Paredes, 1994).

$$P. E_{monetario} = \frac{\text{Costo Fijo Total}}{1 - \frac{\text{Costo Variable Total}}{\text{Ventas Totales}}} \quad (6 - 1)$$

En la siguiente Tabla se muestran los resultados obtenidos de los datos correspondientes a la fórmula previamente planteada:

Tabla VI-1 Punto de Equilibrio en Unidades Monetarias

Año	Precio de Venta (\$us.)	Ventas Total (\$us)	Costo Fijo (\$us)	Costo Variable (\$us)	Punto de Equilibrio (\$us)
1	10,08	252000	160394	26200	179004,8
2	10,08	252000	160394	26200	179004,8
3	10,08	252000	152838	26200	170572,5

4	10,08	252000	144376	26200	161128,2
5	10,08	252000	134898	26200	150550,6
6	10,08	252000	124283	26200	138703,8
7	10,08	252000	112394	26200	125435,3
8	10,08	252000	112394	26200	125435,3
9	10,08	252000	112394	26200	125435,3
10	10,08	252000	112394	26200	125435,3

Fuente: Elaboración Propia 2015

Estos resultados indican que en el primer año deberán realizarse una venta total de 179004,8 \$us como mínimo, para evitar que se tengan pérdidas.

6.1.2 Punto de Equilibrio en Volúmenes Físicos

El punto de equilibrio en volúmenes físicos se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$P. E. = \frac{P.E_{monetario}}{\text{Precio de Venta}} \quad (6 - 2)$$

Reemplazando los datos en la Ecuación (6 -2) se obtienen los siguientes resultados:

Tabla VI-2 Punto de Equilibrio en Volúmenes Físicos

Año	Precio de Venta (\$us.)	Punto de Equilibrio (\$us)	Punto de Equilibrio (Cilid.)
1	10,08	179004,8	17758
2	10,08	179004,8	17758
3	10,08	170572,5	16922
4	10,08	161128,2	15985
5	10,08	150550,6	14936
6	10,08	138703,8	13760
7	10,08	125435,3	12444
8	10,08	125435,3	12444
9	10,08	125435,3	12444
10	10,08	125435,3	12444

Fuente: Elaboración Propia 2015

Lo que significa que en el primer año deberán venderse mínimamente 17758 cilindros de Oxígeno para evitar que se tengan pérdidas en el Proyecto.

6.1.3 Porcentaje mínimo de la Capacidad Instalada.

Se determina el porcentaje mínimo de la Capacidad Instalada de producción a la que deberá Trabajar la Planta para evitar pérdidas.

$$\%CP = \frac{\text{Punto de Equilibrio}}{\text{Producción Total}} * 100 \quad (6-3)$$

Reemplazando los datos en la ecuación (6 – 3) se obtienen los siguientes resultados.

Tabla VI-3 Porcentaje de la Capacidad Instalada

Año	Punto de Equilibrio (Cilid.)	Producción Q (Cilid./año)	% Capacidad de Producción
1	17758	25000	71,0
2	17758	25000	71,0
3	16922	25000	67,7
4	15985	25000	63,9
5	14936	25000	59,7
6	13760	25000	55,0
7	12444	25000	49,8
8	12444	25000	49,8
9	12444	25000	49,8
10	12444	25000	49,8

Fuente: Elaboración Propia 2015

6.2 FUENTES Y USOS DE FONDOS.

El Flujo de Fondos, llamado también de Origen y Aplicación, muestra el origen de los fondos monetarios y su destino o aplicación en el tiempo.

La entrada y salida de recursos generalmente se da cada año, hasta la finalización del proyecto. En síntesis, el flujo de fondos, expone liquidez o iliquidez del Proyecto, es decir, si tiene o no dinero en efectivo, para cubrir las obligaciones monetarias y obtener beneficios.

En el flujo de fondos, la columna **Fuentes**, establece el ingreso de dinero percibido por el Proyecto por diferentes conceptos. Los ingresos provienen, por un lado, del aporte Propio, Préstamo y por otro lado, de la venta del Producto.

La columna **Usos**, son los gastos realizados en diferentes actividades relacionadas con el Proyecto desde la instalación hasta su liquidación. También se consideran las inversiones finas, inversiones diferidas y capital de trabajo.

El **Flujo Actual**, indica si la empresa tiene o no dinero en efectivo para hacer frente a situaciones financieras.

El **Flujo Acumulado**, enseña en qué periodo se podrá contar con dinero propio una vez cubierto los posibles déficits acumulados.

En general, el Flujo de Fondos permite apreciar la capacidad para generar fondos disponibles luego de cubrir las obligaciones asumidas por el Proyecto en función a las fuentes de financiamiento que financian las operaciones productivas. Ver **Tabla VI-4** en (Anexo 4).

6.3 EVALUACIÓN DEL PROYECTO

La evaluación del Proyecto es una operación que permite tomar la respectiva decisión de invertir o no, en base a la comparación de las utilidades o beneficios arrojados frente a los respectivos costos de producción del Producto que se ofrece en este Proyecto, es decir, evaluar es medir la rentabilidad del proyecto mediante indicadores. Evaluar también es efectuar un análisis de las ventajas y desventajas de entregar al Proyecto recursos que precisa para su desenvolvimiento y cuyos resultados conduce a criterios de aceptación o rechazo del mismo.

El presente Proyecto será evaluado bajo dos criterios: Evaluación Económica y Evaluación Financiera; estos criterios se diferencian por la forma de tratamiento que se le da a las amortizaciones y al costo financiero.

6.3.1 Evaluación Económica

Este tipo de evaluación tiene como objeto analizar el rendimiento y rentabilidad de toda la inversión sin que importe el origen de los fondos.

Evalúa el resultado de los ingresos menos los costos monetarios, independientemente de su forma de financiamiento.

Se incorpora el término de *Amortización de Inversión Diferida*, que es un factor que se recupera de las Inversiones diferidas desde el momento que el Proyecto entra en funcionamiento. Dicho factor se calcula:

$$A. I. D. = \frac{V.T.I.D}{n_p} \quad (6 - 4)$$

Donde:

A.I.D = Amortización de inversión diferida

V.T.I.D = valor total de la inversión diferida

n_p = número de años de producción

Reemplazando los datos en la Ecuación (6 – 4) se obtiene el siguiente resultado:

$$A. I. D. = \frac{130190 \text{ \$us}}{10 \text{ años}}$$

$$A. I. D. = 13.019 \text{ \$us}$$

Sin tomar en cuenta el Costo de Financiamiento:

$$A. I. D. = 8.219 \text{ \$us}$$

Se considera el cálculo del **Valor Residual**:

Este valor se refiere al valor total de los activos fijos recuperados en el último año de vida del Proyecto, recuperación que se realiza bajo el supuesto de venta de todos los activos una vez concluido el Proyecto generando, por lo tanto, un ingreso extra.

Primero se calcula la Depreciación Acumulada (D.A):

$$D. A = D * t \quad (6 - 5)$$

Donde:

D = Depreciación de los Equipos

t = Tiempo de uso de los Equipos

$$D. A = 289170 \text{ \$us}$$

Obtenido este dato se calcula el Valor Residual:

$$V.R. = V.I - D.A \quad (6 - 6)$$

Donde:

V.I = Valor Total de los Equipos = 385.560 \$us.

$$V.R. = 96390 \text{ $us}$$

Reemplazando los datos Obtenidos se procede a recalcular la **Tabla VI-5** (ver en Anexo 5).

Con el nuevo Estado de Ganancias y Pérdidas Económicas reformulado en la Tabla VI-5 (Ver Anexo 5) se procede a reformular también el Flujo de Fondos Económicos que obedece al criterio de evaluación económica, independientemente de la forma de Financiamiento, como se observa en la **Tabla VI-6** (Ver en Anexo 6).

6.3.2 Evaluación Financiera

La Evaluación Financiera conocida también como evaluación de inversionista, mide los méritos internos y externos del Proyecto, tiene en cuenta la forma cómo se obtienen y cancelan los recursos financieros, cómo se cubren los intereses de operación y de pre-operación, la amortización del préstamos y la recuperación del aporte Propio.

Tiene como propósito indicar la capacidad del Proyecto para hacer frente a las obligaciones financieras contraídas con terceros y mostrar la rentabilidad del capital propio y del Prestado. Ver **Tabla VI-7** (Anexo 7).

6.4 INDICADORES DE EVALUACIÓN

Los Indicadores son expresiones concretas y cuantificables, cuyos valores permiten medir la idoneidad, la eficacia y la eficiencia del proyecto. Para evaluar correctamente es necesario concretarlos y explicitarlos desde el inicio.

Estos indicadores podemos clasificarlos en dos tipos: cuantitativos, aquellos que son numerables o cuantificables; y cualitativos, que no son cuantificables, los que se centran más en la calidad que en la cantidad.

6.4.1. Valor actual neto. VAN

El Indicador de evaluación VAN, también llamado Valor Presente Neto (VPN), es la sumatoria de los beneficios netos actualizados del Proyecto a una tasa de Actualización $i = 10\%$ determinada por el costo de oportunidad del capital (Interés).

La siguiente tabla muestra el Flujo Neto Económico que se obtuvo anteriormente en el Estado de Flujo de Fondos Económicos:

Tabla VI-8 Flujo Neto Económico

Años	Flujo Neto Económico
0	719050
1	108806
2	108806
3	116362
4	124824

5	134302
6	144917
7	156806
8	156806
9	156806
10	333196

Fuente: Elaboración Propia 2015

Con estos datos se procede a calcular el indicador VAN con la siguiente fórmula:

$$VAN = -\frac{FN_0}{(1+i)^0} + \frac{FN_1}{(1+i)^1} + \frac{FN_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FN_n}{(1+i)^n} \quad (6-7)$$

Donde:

FN = Flujo Neto o Saldo del Liquidez Neto

n = Años de vida útil del Proyecto 10

i = Tasa de interés de Actualización 12%

Reemplazando datos en la ecuación (6-7) se obtiene:

$$\begin{aligned} VAN = & -\frac{719050}{(1+0,12)^0} + \frac{108806}{(1+0,12)^1} + \frac{108806}{(1+0,12)^2} + \frac{116362}{(1+0,12)^3} + \frac{124824}{(1+0,12)^4} \\ & + \frac{134302}{(1+0,12)^5} + \frac{144917}{(1+0,12)^6} + \frac{156806}{(1+0,12)^7} + \frac{156806}{(1+0,12)^8} + \frac{156806}{(1+0,12)^9} \\ & + \frac{333196}{(1+0,12)^{10}} \end{aligned}$$

$$VAN = 74704,2$$

El resultado del VAN significa que, invirtiendo 719050 \$us y obteniendo utilidades anuales de 100392 \$us durante los 10 años de vida del Proyecto y con una tasa de interés del 12% anual, el presente Proyecto produce 74704 \$us anuales, más de lo que ganaría si lo hubiese destinado a otro rubro.

6.4.2. Tasa interna de retorno. TIR

Representa la tasa de rendimiento financiero del dinero invertido en el Proyecto.

La TIR es aquella tasa de actualización que aplicando al flujo neto, logra que el VAN del Proyecto sea igual a cero; para esto se aplica el Método por Tanteo hasta hallar que el VAN sea negativo, haciendo variaciones en la tasa de actualización.

La fórmula para el cálculo de la TIR es:

$$TIR = i_1 + (i_2 - i_1) * \left[\frac{VAN_1}{VAN_1 + VAN_2} \right] \quad (6 - 8)$$

Donde:

i_1 = Tasa de actualización del último VAN positivo.

i_2 = Tasa de actualización del primer VAN negativo

VAN_1 = valor de VAN obtenido con i_1

VAN_2 = valor de VAN obtenido con i_2

6.4.2.1 Tasa interna de retorno Económico o TIRE

Considera los Resultados del Flujo Neto Económico, con estos datos se procede a realizar el Cálculo del VAN por el Método de Tanteo de la tasa de actualización hasta lograr un VAN negativo.

Para esto se realiza un cuadro resumen de los resultados obtenidos en cada iteración:

$$VAN = -\frac{FN_0}{(1+i)^0} + \frac{FN_1}{(1+i)^1} + \frac{FN_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FN_n}{(1+i)^n} \quad (6-9)$$

Con los resultados obtenidos en la **Tabla VI-9** (ver Anexo 8), se procede a reemplazar los datos en la Ecuación (6-8)

$$TIRE = 14 + (15 - 14) * \left[\frac{4070}{4070 + 27717} \right]$$

$$TIRE = 14,128 \%$$

Este resultado de la TIRE = 14,128 %, refleja que si calculamos el VAN con una $i = 14,128$ % se obtendrá un valor igual a cero. Asumiendo que el costo de oportunidad del capital invertido es el 12%, entonces el dinero invertido rinde 2,128% anual por encima de lo que hubiese ganado si este dinero estaría en el banco.

6.4.2.2 Tasa interna de retorno Financiero o TIRF

Considera los Resultados del Flujo Neto Financiero, con lo que se realiza el Cálculo del VAN por el Método de Tanteo haciendo variaciones en la tasa de actualización, hasta lograr un VAN negativo.

Para esto se realiza un cuadro resumen de los resultados obtenidos en cada iteración:

$$VAN = -\frac{FN_0}{(1+i)^0} + \frac{FN_1}{(1+i)^1} + \frac{FN_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FN_n}{(1+i)^n} \quad (6-10)$$

Con los resultados obtenidos en la **Tabla VI-10** (Ver Anexo 9), se procede a reemplazar los datos en la Ecuación (6 -8)

$$TIRF = 25 + (26 - 25) * \left[\frac{4513}{4513 + 9659} \right]$$

$$TIRF = 25,32 \%$$

Considerando el costo de oportunidad del dinero 12%, este Proyecto tiene una tasa de rendimiento del $(25,32 - 12 = 13,32 \%)$, por lo que la inversión para el capital propio, sin considerar el préstamo, es rentable.

6.4.3. Efecto Palanca

Es un Indicador de Evaluación Económica que permite determinar el efecto que tiene sobre el Proyecto las condiciones financieras del préstamo.

Su aplicación se observa en la comparación que se efectúa entre la Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE) y la Tasa Interna de Retorno Financiero (TIRF).

Si: $TIRE < TIRF$ = el efecto palanca (Leverage) es positivo.

$TIRE > TIRF$ = el efecto palanca (Leverage) es negativo.

$TIRE = TIRF$ = el efecto palanca es neutro.

Si la TIRE es mayor que la TIRF, existe un efecto de apalancamiento negativo, lo que significa, que el préstamo obtenido es muy costoso y por lo tanto perjudica al resultado del Proyecto. Para revertir esta situación se debe buscar condiciones crediticias más favorables, es decir, con tasas de interés menores.

Lo ideal para la inversión es el apalancamiento positivo, es decir, que la TIRF debe ser mayor a la TIRE.

Con los datos obtenidos anteriormente se puede decir que:

$$14,128 \% \text{ TIRE} < \text{TIRF } 25,32 \%$$

Siendo este resultado ideal para la inversión del Proyecto.

6.4.4. Tiempo de retorno de la inversión.

También llamado Periodo de Recuperación del Capital (P) es un indicador complementario en la evaluación del Proyecto.

Con este método se mide el tiempo en el cual se recupera la inversión total a partir del Flujo Neto del Proyecto. Sin embargo, el periodo de recuperación tiene la desventaja de no considerar la rentabilidad de la inversión ni el comportamiento de los ingresos netos que genera el Proyecto con posterioridad a la recuperación del Capital Invertido.

Si se utiliza este método como criterio de selección para efectuar una inversión, el Proyecto será atractivo cuando el periodo de recuperación sea igual o menor al tiempo esperado por el inversionista.

Para su aplicación operativa se recurre a la siguiente fórmula:

$$P = \frac{IT}{FN_{pa}} \quad (6 - 11)$$

Donde:

P = Periodo de Recuperación del Capital

IT = Inversión Total = 767050 \$us

FN_{pa} = Flujo Neto promedio anual = 154163,1 \$us

Con los resultados obtenidos reemplazamos en la Ecuación (6 – 7) quedando:

$$P = \frac{767050 \text{ $us}}{154163,1 \text{ $us}}$$

$$P = 4,96 \approx 5 \text{ Años}$$

El tiempo de recuperación del capital invertido en el presente Proyecto será en un Plazo de 60 meses.

6.4.5. Relación Beneficio/Costo

La relación Beneficio/Costo muestra la cantidad de dinero actualizado que percibirá el Proyecto por cada unidad monetaria invertida.

La relación B/C resulta de dividir los ingresos brutos actualizados entre los costos actualizados, a una tasa de interés vigente en el mercado; se utiliza la misma tasa que se aplica para el cálculo del VAN.

Para el cálculo de la relación Beneficio/costo, se emplea la siguiente fórmula:

$$\frac{B}{C} = \frac{\frac{B_1}{(1+i)^1} + \frac{B_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{B_n}{(1+i)^n}}{\frac{C_0}{(1+i)^0} + \frac{C_1}{(1+i)^1} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+i)^n}} \quad (6-12)$$

Donde:

B_1 = Beneficio Bruto en el año 1.

C_0 = Costo de Inversión en el momento 0

C_1 = Costo en el Año 1

$(1+i)$ = Factor de Actualización 12 %

n = Periodos (Años)

Si: $B/C > 1$, entonces existe beneficio.

$B/C < 1$, entonces no existe beneficio.

$B/C = 1$, no hay beneficio ni pérdidas, lo cual es indiferente llevar adelante el Proyecto.

Para obtener la relación B/C se parte de los datos que se obtienen de la **Tabla V-11** (Ver Anexo10). Estos datos se resumen en la **Tabla VI-11** (Ver Anexo 10), aplicando estos datos en la Ecuación (6 – 12) se obtienen los resultados de la **Tabla VI-12** (Ver Anexo 11).

La relación B/C es:

$$\frac{B}{C} = \frac{\Sigma B_{1-6}}{\Sigma C_{0-6}} \quad (6-13)$$

Reemplazando los datos de **Tabla VI-12** (Ver Anexo 11) en la ecuación (6 – 13) se tiene:

$$\frac{B}{C} = \frac{1156750}{634391}$$

$$\frac{B}{C} = \mathbf{1,82}$$

Este resultado nos muestra que la relación Beneficio/Costo es mayor a 1, se puede decir que el Proyecto es aceptable, debido a que los beneficios son mayores que los costos.

6.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad es un término financiero, utilizado para tomar decisiones de inversión, que consiste en calcular nuevos flujos de caja, un nuevo VAN, nuevas TIRE y TIRF al cambiar una variable. De este modo teniendo los nuevos datos podremos calcular y mejorar nuestras estimaciones sobre el proyecto que vamos a comenzar.

Se analizan dos alternativas:

- a. Disminución de los Ingresos en un 5%
- b. Incremento de los costos en un 5%

Variando los ingresos por medio de la disminución en un 5% se obtienen los siguientes Indicadores de Evaluación Económica.

Tabla VI – 13 Análisis de Sensibilidad disminuyendo los Ingresos en un 5%

AÑO	Ingresos \$us	Ingresos (-5%)	Costos \$us
1	251902	239307	186594
2	251902	239307	186594
3	251902	239307	179038
4	251902	239307	170576
5	251902	239307	161098
6	251902	239307	150483
7	251902	239307	138594

8	251902	239307	138594
9	251902	239307	138594
10	251902	239307	138594

Fuente: Elaboración Propia 2015

VAN = 36587,56 \$us

TIRE = 13,1 %

TIRF = 19,23 %

Variando los Costos por medio de un aumento en un 5% se obtienen los siguientes Indicadores de Evaluación Económica.

Tabla VI – 14 Análisis de Sensibilidad Incrementando los Costos en un 5%

AÑO	Ingresos \$us	Costos (+5%)	Costos \$us
1	251902	195924	186594
2	251902	195924	186594
3	251902	187990	179038
4	251902	179105	170576
5	251902	169153	161098
6	251902	158007	150483

7	251902	145524	138594
8	251902	145524	138594
9	251902	145524	138594
10	251902	145524	138594

Fuente: Elaboración Propia 2015

VAN = 10897,72 \$us

TIRE = 12,88 %

TIRF = 16,54 %

Realizando variaciones en los Ingresos y en los Costos se siguen obteniendo datos favorables, lo que señala que el Proyecto de Instalación de una Planta Industrial para la Obtención de Oxígeno y Nitrógeno en la ciudad de Tarija es rentable.

CAPÍTULO VII
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 CONCLUSIONES

Finalizado el estudio de Prefactibilidad para la Instalación en Tarija de una Planta Industrial de obtención de Oxígeno y Nitrógeno por Destilación Fraccionada del Aire, se concluye que:

1. Al realizar el estudio de Mercado en la ciudad de Tarija se observa que la demandad de Oxígeno para el año 2014 fue de 103.000 m³ y para el año 2024 se tendrá una demanda creciente de aproximadamente 144.180 m³ de Oxígeno, dichas cifras justifican la implementación de una Planta Productora de Oxígeno, en la ciudad de Tarija.
2. La planta industrial de obtención de Oxígeno y Nitrógeno, por destilación fraccionada del aire, estará ubicada en el Parque Industrial, Zona Lourdes de la ciudad de Tarija – Cercado.
3. La capacidad Instalada que tendrá la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno será aproximadamente de 150.000 m³ de Oxígeno por año.
4. Concretada la ingeniería del Proyecto se determina que:
 - El Compresor Diseñado, será un Compresor de Tornillo de Alta Presión, el cual tendrá una temperatura de descarga de 161,032 °C y una Potencia de 71,27 kW/hr. El costo aproximado para este tipo de compresor es de 93.960\$us.
 - El Intercambiador de Calor diseñado es de Tubo y Coraza, su Área será de 234,7 ft² y una Potencia Instalada de 35,22 kW/hr, el costo aproximado del Intercambiador es de 129600 \$us.

- La Columna de Destilación Fraccionada diseñada en este proyecto, tendrá una Altura de 5,4 m; su diámetro en la Zona de Rectificación es de 1,14 m y el diámetro en la Zona de Agotamiento será de 0,54 m. Tendrá 17 Platos y un Revoile, siendo su costo aproximado de 162000 \$us.

5. Luego de realizar un balance económico del Proyecto para la Instalación de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno se concluye que:

- La inversión total que requiere este Proyecto es de 767.050 \$us y será necesario acceder al financiamiento de 400.000\$us para llevar a cabo dicho proyecto.
- Los indicadores de evaluación económica del Proyecto como el VAN y la TIR tienen valores positivos lo cual señala que es rentable realizar el presente Proyecto; también nos muestran que los beneficios son superiores a los costos.

7.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo al estudio realizado de Prefactibilidad para la Instalación en Tarija de una Planta Industrial de obtención de Oxígeno y Nitrógeno por Destilación Fraccionada del Aire se recomienda lo siguiente:

1. Realizar el estudio de Factibilidad para la Instalación de la Planta Productora de Oxígeno y Nitrógeno a partir de la Destilación Fraccionada del Aire, para revalidar y reafirmar los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.
2. Implementar un análisis de Seguridad Industrial, que permita valorar la seguridad de la Planta y de sus Trabajadores.