



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“PROYECTO DE INSTALACIÓN DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCION DE OXIGENO Y NITROGENO A PARTIR DEL
AIRE USANDO MEMBRANAS MOLECULARES PARA SU USO
EN LA INDUSTRIA METALURGICA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

**Bach. CASTAÑEDA ORTIZ LILIANA
Bach. ROJAS GONZALES YVIS WILLIAM**

ASESOR

Ing. MSc. JUAN CARLOS DÍAZ VISITACIÓN

**LAMBAYEQUE – PERÚ
2016**



UNIVERSIDAD NACIONAL

PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“PROYECTO DE INSTALACION DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCION DE OXIGENO Y NITROGENO A PARTIR DEL AIRE
USANDO MEMBRANAS MOLECULARES PARA SU USO EN LA
INDUSTRIA METALURGICA”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

**Bach. CASTAÑEDA ORTIZ LILIANA
Bach. ROJAS GONZALES YVIS WILLIAM**

APROBADO POR:

**Ing. MSc. Jaime Lucho Cieza Sánchez
PRESIDENTE**

**Ing. Gerardo Santamaría Baldera
SECRETARIO**

**Ing. MSc. Ada Patricia Barturen Quispe
VOCAL**

**Ing. MSc. Juan Carlos Díaz Visitación
ASESOR**

LAMBAYEQUE – PERÚ

2016

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis

A Dios

Porque está conmigo en cada paso que doy cuidándome y dándome fortaleza
para continuar

A mis padres Segundo y Julia

Quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y mi educación tanto académica como de la vida, siendo mi apoyo en todo momento, confiando en mí sin dudar de mi inteligencia y capacidad por ellos soy lo que soy ahora.

A mi hija Andrea Cinthia

Tu existencia es el detonante de mi felicidad, eres el regalito más hermoso que
Dios me dio, eres una bendición en mi vida,

Mi motivación más grande, todo mi esfuerzo y las ganas de buscar lo mejor para
ti son recompensados con solo verte sonreír, tú

Me enseñaste a encontrar el lado dulce de la vida y seguiría escribiendo todo lo
que siento por ti y lo que eres para mí y no terminaría,

Te amo.

Liliana Castañeda Ortiz

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Bertha.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre William

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

Yvis William Rojas Gonzales

AGRADECIMIENTO

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi padre Segundo, mi madre Julia, por darme la vida, por su amor, creer en mí y porque siempre me apoyan. Gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ustedes, soy muy afortunada por tenerlos, los amo.

Mis hermanos, Roger, Sarita, Tecy Por ser los mejores hermanos, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

Mis maestros, profesores del colegio e Ingenieros de la Universidad quienes con sus enseñanzas me inculcaron conocimientos para desarrollarme como persona y como profesional.

Liliana Castañeda Ortiz

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a **Dios** por haberme dado vida y salud para alcanzar esta meta,

Por otra parte agradezco a mis padres **William y Bertha** por haber impulsado mis estudios, brindarme su

Apoyo absoluto y su confianza en esta etapa de mi vida para superarme y cumplir mis metas profesionales;

No podría dejar de mencionar a mis hermanos **Alex y Jennifer** por brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

Yvis William Rojas Gonzales

RESUMEN

Se realizó el estudio a nivel de pre-factibilidad de la instalación de una planta de separación de oxígeno y nitrógeno a partir del aire usando membranas para ser instalado en una industria siderúrgica que es parte de la industria metalúrgica. El estudio se justifica por que actualmente las metalúrgicas compran dichos gases de empresas que lo producen por procesos criogénicos y tienen que trasladarlos desde Lima.

En el Capítulo I se realizó el estudio de mercado para lo cual se analizó un análisis del consumo de nitrógeno y oxígeno de las dos siderúrgicas más grandes del Perú: SiderPeru y Aceros Arequipa. Se justifica por razones técnicas que la planta se ubicará dentro de la metalúrgica SiderPeru, en la ciudad de Chimbote. La capacidad de la planta será 81 Nm³/h, lo que representa un sobre diseño en base a lo requerido de cerca de 30%.

En el Capítulo II se realizó el estudio de Ingeniería del Proyecto. Se evaluaron las condiciones tecnológicas del proceso de separación del aire en nitrógeno y oxígeno utilizando membranas. El proceso seleccionado privilegia la obtención de nitrógeno de 99.5% de pureza. El oxígeno se obtiene como subproducto con una pureza de cerca de 80%. Se presenta el balance de masa y de energía para la operación de la planta, así como la descripción de los principales equipos de proceso como su distribución. La energía que se consumirá es básicamente para mover los compresores de aire alimentado (1889 kW) y de nitrógeno producto (814 kW).

Finalmente en el Capítulo IV se realizó el estudio Económico-Financiero. Se estableció que la inversión total del proyecto será de 2'157'310 dólares. El costo de producción de nitrógeno de 99.5% será de 0.0023 dólares pie cubico. A precio bastante menor que el mercado se obtuvo una tasa de retorno sobre la inversión de 87.83%, un periodo de recuperación del dinero de 1.14 años y un punto de equilibrio de 14.17%.

Se concluye finalmente que el proyecto es factible desde el punto de vista de mercado, técnico y económicamente, por lo que se recomienda su instalación.

ABSTRACT

The study was conducted prefeasibility level installation of a separation plant oxygen and nitrogen from air using membranes to be installed in a steel industry that is part of the metallurgical industry. The study is justified by currently they buy these gases metallurgical companies that produce it by cryogenic processes and have to move them from Lima.

SIDERPERU and Aceros Arequipa: Chapter I the market study for which an analysis of nitrogen and oxygen consumption of the two largest steelmakers analyzed Peru was conducted. It is justified by technical reasons that the plant will be located within the SIDERPERU metal, in the city of Chimbote. The plant capacity is 81 Nm³ / h, which represents an envelope designed based on the requirements of about 30%.

In Chapter II study was conducted Engineering Project. technological conditions of the separation process air into nitrogen and oxygen were evaluated using membranes. The selected process favors the production of nitrogen of 99.5% purity. Oxygen is obtained as a byproduct with a purity of about 80%. the mass balance and energy for the operation of the plant, as well as the description of the main process equipment as their distribution is presented. The energy consumed is basically to move feed air compressors (1889 kW) and product (814 kW) nitrogen.

Finally in Chapter IV Economic and Financial study. It was established that the total investment of the project is 2'157'310 dólares. The production cost of 99.5% nitrogen will be \$ 0.0023 cubic foot. A much lower price than the market rate of return on investment of 87.83%, a payback period of 1.14 years money and a balance of 14.17% was obtained.

It concludes that the project is feasible from the point of view of market, technical and economically, so installation is recommended.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION..... 1

CAPÍTULO I

I. ESTUDIO DE MERCADO.....	4
1.1. DEFINICIÓN DE LOS PRODUCTOS.....	5
1.1.1 EL NITRÓGENO.....	5
1.1.2 EL OXIGENO.....	7
1.2. USOS DEL NITRÓGENO Y OXIGENO	10
1.2.1 USOS DEL NITRÓGENO.....	11
1.2.2 USOS DEL OXIGENO.....	12
1.3. MATERIA PRIMA E INSUMOS.....	13
1.3.1 EL AIRE.....	13
1.3.2 FILTROS MOLECULARES.....	18
1.4. ESTUDIO DE LA DEMANDA.....	19
1.4.1 INDUSTRIA SIDERÚRGICA PERUANA.....	19
1.4.2 DEMANDA DE OXIGENO Y NITRÓGENO EN PLANTA DE ACERO.....	20
1.4.3 DETERMINACION DE LA DEMANDA FUTURA DE NITRÓGENO Y OXIGENO.....	22
1.5. ANÁLISIS DE LA OFERTA.....	22
1.6. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA POTENCIAL INSATISFECHA.....	23
1.7. TAMAÑO DE LA PLANTA.....	23
1.7.1 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA PLANTA.....	24
1.8. ANÁLISIS DE LOS PRECIOS.....	25
1.9. ESTUDIO DE LA COMERCIALIZACION DEL PRODUCTO.....	26
1.10. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	26
1.11. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO.....	26

CAP. II:

II. ESTUDIO DE INGENIERIA.....	28
2.1 SELECCIÓN DEL PROCESO.....	28
2.1.1 TECNOLOGIA DE MEMBRANA.....	28
2.1.2 TECNOLOGIA SPA.....	30
2.1.3 TECNOLOGIA CRIOGENICA.....	32
2.1.4 TECNOLOGIA DE MEMBRANA DE TRANSPORTE IONICO.....	32
2.1.5 SELECCIÓN DEL PROCESO.....	34
2.2 DESCRIPCION DETALLADA DEL PROCESO.....	39
2.3 BALANCE DE MASA Y ENERGIA.....	41
2.4 SELECCIÓN DEL MODULO DE PRODUCCION DE NITROGENO.....	42
2.4.1 CARACTERISTICAS GENERALES.....	42
2.4.2 MODULO SELECCIONADO.....	45

CAP. III:

EVALUACION ECONOMICA.....	50
3.1. ESTIMACION DE INVERSION TOTAL.....	50
3.1.1 INVERSION DE CAPITAL FIJO.....	50
3.1.2 CAPITAL DE TRABAJO.....	50
3.2. ESTIMACION DEL COSTO TOTAL DE FABRICACION.....	53
3.2.1. COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION.....	54
3.2.2. GASTOS GENERALES.....	54
3.2.3. BALANCE ECONOMICO Y RENTABILIDAD.....	57

CAP. IV:

CONSIDREACIONES AMBIENTALES.....	61
---	-----------

4.1. CONTAMINACIÓN EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LAS COMPRESORAS.....	61
--	-----------

4.2. CONTAMINACIÓN SONORA.....	62
---------------------------------------	-----------

4.3. CONTAMINACIÓN DEL AIRE.....	62
---	-----------

4.4. CONTAMINACIÓN DEL AGUA CONDENSADA DEL AIRE.....	63
---	-----------

4.5. CONTAMINACIÓN EN LOS FILTROS SEPARADORES DE PARTICULAS.....	63
---	-----------

CAP. V:

CONCLUSIONES.....	65
--------------------------	-----------

CAP. VI:

RECOMENDACIONES.....	66
-----------------------------	-----------

CAP. VII:

BIBLIOGRAFIA.....	67
--------------------------	-----------

CAP. VIII:

APENDICE.....	72
----------------------	-----------

CAP. IX:

ANEXOS.....	87
--------------------	-----------

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Velocidad relativa de separación de gases Con membrana polimérica tipo fibra hueca de GENERON.....	22
Figura 1.2. Separación del aire con el uso de Membranas Poliméricas de fibra hueca.....	23
Figura 1.3. Ubicación de Siderperu en nuestro país.....	32
Figura 1.4.Vista satelital de la planta de Siderperu.....	33
Figura 2.1. Separación del aire vía tecnología de membrana.....	35
Figura 2.2. Proceso de adsorción por cambio de presión.....	38
Figura 2.3. Proceso de separación criogénica del aire.....	39
Figura 2.4.Esquema de separación del aire por transporte iónico utilizando Membranas cerámicas.....	40
Figura 2.5.Isométrico del proceso de producción de oxígeno por tecnología de Membranas por transporte iónico.....	41
Figura 2.6. Diagrama de selección de proceso para producir nitrógeno Del aire.....	42
Figura 2.7.Diagrama de flujo del proceso de separación del aire en nitrógeno y Oxígeno.....	44
Figura 2.8.Diagrama de bloques del proceso de separación de aire con Membranas.....	45
Figura 2.9.Balance de masa y energía para la producción de nitrógeno por Membranas moleculares para un módulo de N_{pie^3}/min (4860 Nm^3/h).....	46
Figura 2.10. Diagrama de flujo del proceso.....	47
Figura 2.11. Planta modular de producción de nitrógeno y oxígeno.....	50
Figura 2.12. Generador principal de nitrógeno.....	52
Figura 2.13.Compresor de aire.....	54
Figura 2.14.Distribución de la planta.....	58

INDICE DE CUADROS

Cuadro1.1 Propiedades físico. Químicas del nitrógeno.....	7
Cuadro1.2. Composición aproximada del aire atmosférico.....	13
Cuadro 3.1.Inversion total del proyecto.....	58
Cuadro 3.2. Estado de pérdidas y ganancias	59
Cuadro 3.3. Análisis económico.....	60

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno y oxígeno son gases industriales que tienen múltiples usos. Por ejemplo el nitrógeno grado industrial se usa en las industrias que incluyen: petróleo y gas, almacenamiento de alimentos, química, marina, metalúrgica, manejo y almacenamiento de materiales, electrónicas, moldeo de plásticos, analizadores de purga, y muchas más. Muchos sectores, como la industria química, electrónica y alimentaria, consideran el nitrógeno como el cuarto suministro básico, junto con el gas, el agua y la electricidad. Los usos industriales del oxígeno incluyen su utilización con acetileno, propano, hidrógeno, gasolina y otros gases para procesos tales como oxi - corte, soldadura oxi - gas, temple de aceros, soplado del vidrio, mejoramiento del poder calorífico de la mezcla aire combustible, fabricación de aceros en las plantas siderúrgicas, así como purificación del acero en los hornos eléctricos. También tiene uso terapéutico, por lo que se recomienda su uso en centros de salud (AIR PRODUCTS Pneumatica, 2010).

El aire se compone aproximadamente, de un 21 % de oxígeno, un 78 % de nitrógeno y pequeñas cantidades de gases raros, tales como el helio, el argón y el neón. Para obtener oxígeno y nitrógeno es necesario separarlos del resto de gases que componen el aire.

“Desde el punto de vista Industrial, pueden seguirse dos procedimientos para la obtención del oxígeno: la electrólisis del agua y la destilación fraccionada del aire. El primero resulta muy costoso y apenas se emplea, por lo que el oxígeno y nitrógeno para aplicaciones Industriales suele obtenerse por destilación fraccionada del aire. El aire limpio, seco y purificado es sometido a elevadas presiones. Por expansión y enfriamiento el aire se licua. Partiendo del aire en estado líquido resulta sencillo separar el oxígeno y el nitrógeno, debido a la diferencia de temperaturas de ebullición de ambos gases ($-195,5^{\circ}\text{C}$, para el nitrógeno y -182°C para el oxígeno). El nitrógeno, que tiene una temperatura de ebullición más baja, se evapora primero, dejando un residuo de oxígeno líquido en el fondo del condensador. A continuación, el oxígeno líquido pasa a través de un serpentín en el que se calienta hasta pasar al estado gaseoso. El gas producido se controla con un caudalímetro y se almacena en grandes tanques.

De aquí se recoge para cargar las botellas tal como se utilizan en la Industria” (Fogash K.; 2007).

El proceso anterior, se sigue aplicando tradicionalmente en muchos países. Uno de los inconvenientes es que los gases de uso industrial (oxígeno y nitrógeno) se trasladan a los usuarios finales mediante camión en estado líquido o en botellas, lo cual, además del impacto ambiental, es caro y peligroso, ya que los gases se encuentran a alta presión. Una forma de solucionar es instalar generadores de estos gases en el lugar de uso, empleando tecnología alternativas como las que ofrece la internacional Atlas Copco: Tecnología de membrana y tecnología de adsorción por cambio de presión (SPA).

“La tecnología de membranas se aplica cuando se desea grandes producciones y pureza intermedia. El equipo se conoce como generador de nitrógeno de membrana (NGM). Un haz de fibras de polímero actúa como membrana que permite que pase el nitrógeno y que no pasen otros gases (como el oxígeno, vapor de agua y dióxido de carbono). El aire comprimido se dirige a la entrada y el nitrógeno enriquecido sale por el otro extremo del generador. La tecnología de membrana genera nitrógeno con una pureza de entre el 95 y el 99%, con caudales de hasta 5000 Nm³/h. La corriente de oxígeno se purifica y se alcanza purezas de 96-97%.

La tecnología de adsorción por cambio de presión (SPA) es recomendable para aplicaciones que exigen un alto grado de pureza de nitrógeno (hasta el 99.999%) a pequeños caudales. Conforme a la tecnología de adsorción por cambio de presión (SPA), los tamices moleculares de carbón adsorben las moléculas de oxígeno del aire comprimido. El generador de nitrógeno tiene dos torres conectadas que funcionan juntas para producir un caudal casi continuo de gas nitrógeno. El resultado: unos niveles de pureza del nitrógeno del 97 al 99,999 % para caudales de hasta 130 Nm³/h” (Atlas Copco, 2011).

Por lo tanto, la tecnología de separación de nitrógeno y oxígeno del aire, se está dirigiendo al uso de membranas. Cada vez las membranas para separaciones moleculares son más efectivas en costo y mayor eficiencia, lográndose separaciones con alta pureza y con presiones cada vez menores.

Entonces en este proyecto se evaluará la factibilidad técnica y económica de instalar una planta de separación de oxígeno y nitrógeno con el uso de membranas, con la finalidad de promover el uso de tecnologías emergentes que tengan cuidado con el medio ambiente. El estudio se dirigirá específicamente a un gran consumidor de nitrógeno y oxígeno como es la industria metalúrgica que consume oxígeno en varias etapas de la purificación del arrabio y principalmente en la etapa del convertidor, y también nitrógeno en diferentes etapas como gas inerte para agitar los convertidores.

CAPÍTULO I

ESTUDIO DE MERCADO

La evaluación de este proyecto analiza la factibilidad para instalar una planta para la obtención de Oxígeno y Nitrógeno a partir del aire usando membranas moleculares para su uso en la Industria Metalúrgica, desde el punto de vista del mercado.

La primera parte de este proyecto comprende el estudio de mercado del producto, donde se analiza desde la definición del producto, pasando por el análisis de la demanda y su proyección, análisis de la oferta, análisis de la competencia, análisis de precios, estudio de la comercialización del producto, hasta finalizar con la determinación de la capacidad de la planta. Al terminar esta primera parte, se deberá tener una clara visión de las condiciones actuales del mercado del Oxígeno y Nitrógeno, que permita decidir si es conveniente la instalación de la planta productora, al menos desde el punto de vista de su demanda potencial.

Finalmente se declaran las conclusiones generales de todo el proyecto con base en los datos y determinaciones hechas en cada una de sus partes.

1.1 DEFINICIÓN DE LOS PRODUCTOS

Del aire se obtienen dos productos principales: el nitrógeno y el oxígeno. Ambos productos de gran uso industrial como se verá más adelante. El grado de los productos será de nivel industrial puesto que serán insumos para la industria metalúrgica, un gran consumidor de oxígeno y nitrógeno.

El nitrógeno y oxígeno producido en este proyecto será con procesos que no perjudican de ningún modo el medio ambiente, ya que los insumos son exclusivamente el aire atmosférico, tomado por un compresor, filtrado y procesado. En cuanto al tamiz molecular, componente principal de los equipos, se trata de materiales inertes, sin acción química, auto regenerativo, que supuesto un correcto mantenimiento del equipo, tiene una larga vida útil.

1.1.1 EL NITROGENO

A. Datos históricos

Antiguamente, se creía que en el aire debía existir un compuesto, además del oxígeno, que no servía para la respiración y hacía que la llama se apagase. Los primeros textos que hicieron mención fueron en el siglo VIII de Mao khoa.

Ya en el siglo XVIII, se tenía claro que el aire estaba formado por dos sustancias, una irrespirable, que quedaba absorbida o fijada por la cal y la magnesia, y por eso recibió el nombre de “aire fijo”; y otra que mantenía la llama, respirable, con múltiples nombres. Los dos tipos de sustancias los estudió Stefan Hales, exponiendo que el aire fijo no se podía respirar por la falta de elasticidad de sus partículas. La tesis de Joseph Black se basó en el estudio de la fijación del aire o gas silvestre. Joseph Black fue profesor de medicina en Edimburgo y maestro de Daniel Rutherford, al que se le reconoce como "descubridor" del nitrógeno en 1772, gracias a su trabajo de doctorado sobre el aire residual no absorbido por la magnesia.

En la historia, el nitrógeno, ha recibido muchos nombres. En 1701, Lavoisier lo denominó “Azote” que significaba “sin vida”. Priestley lo llamó “aire quemado” y “aire flogisticado” en 1772. Scheele, más tarde, lo llamó “aire sucio” en 1775. Finalmente en 1790, por Juan Antonio Chaptal, se le llamó por el nombre que se conoce hoy en día Nitrógeno.

En la actualidad, se sabe que el aire de la atmosfera terrestre está compuesto por Nitrógeno en una proporción de un 78%.(Universidad de Cádiz; 2011).

B. Definición

Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es inerte en estado molecular, excepto en condiciones drásticas. No es combustible ni mantiene la combustión. Es un gas poco soluble en agua, se halla en la atmósfera en una proporción del 78% (% mol). No es un gas tóxico, pero puede producir asfixia por falta de oxígeno y desplazamiento del aire. Se obtiene industrialmente por destilación fraccionada del aire líquido por adsorción por balanceo de presiones (método PSA).

El nitrógeno no es corrosivo ni inflamable. Ante la presencia de catalizadores, o con elementos activos, reacciona y forma compuestos: óxidos con el oxígeno, amoníaco con el hidrogeno, y nitrógeno sulfúrico con el azufre. A altas temperatura reacciona con el titanio, litio y magnesio. En forma natural, por actividad biológica también se originan compuestos nitrogenados.

El **nitrógeno** que se va producir es de alta pureza, y cumplirá las normas para su utilización en distintas industrias, principalmente para la industria metalúrgica.

La forma de almacenamiento es en forma de gas a alta presión (200/300 bar) o en forma de líquido. (Industrial, Q. Y Callao, N.)

En el cuadro 1.1 se resume las características del nitrógeno químicamente puro:

Cuadro 1.1. Propiedades físico-químicas del nitrógeno

Peso atómico	14,0067 g/mol
Punto de fusión	63,15 K (-210 °C)
Punto de ebullición	77,344 K (-195,8 °C)
Densidad	1,251 (Gas 273K g/l)
Propiedades ácido/base	Ácido
Calor de vaporización	2,7928 kJ/mol
Calor de fusión	0,36 kJ/mol
Conductividad térmica	0,02598 Wm ⁻¹ K ⁻¹ (a 300 K)
Calor específico	1,042 Jg ⁻¹ K ⁻¹ (a 300 K)
Primer potencial ionización	14,534
Volumen atómico	17,30 cm ³ /mol
Sintético	No

Fuente: Linde; 2012

1.1.2 EL OXÍGENO

A. Datos históricos

Oxígeno, de símbolo O. Es un elemento gaseoso ligeramente Magnético, incoloro, inodoro e insípido; es vital en el Ciclo energético de los seres vivos y esencial para la respiración celular de los organismos aeróbicos. Es más Electronegativo que cualquier otro elemento, excepto el Flúor y forma compuestos con todos menos con los Gases nobles o inertes.

El oxígeno no se reconoció hasta finales del Siglo XVIII. Quién primero lo preparó fue Scheele, un químico sueco, en 1772. Lo identificó como uno de los principales constituyentes del aire y lo llamó aire de fuego y aire de vitriolo. No obstante, a quien se considera generalmente como su descubridor es a Priestley, puesto que publicó sus resultados en 1774, mientras que Scheele retrasó su publicación hasta 1777. En su preparación original, Priestley calentó lo que hoy se conoce como Óxido de mercurio, HgO, y observó el desprendimiento de un gas. A este gas lo denominó aire deflogistizado y observó que aumentaba la brillantez de una llama. Sin

embargo, fue Lavoisier quien reconoció en el nuevo gas un elemento y lo llamó oxígeno en 1777 (del griego oxy genes formador de ácidos).

Abundancia y estado natural

Es el elemento más abundante de la Corteza terrestre, tanto en masa como en número de átomos. Los átomos de oxígeno son más numerosos que los de todos los demás elementos juntos.

Constituye el 21% en volumen o el 23,15% en masa de la Atmósfera, el 85,8% en masa de los Océanos (el agua pura contiene un 88,8% de oxígeno), el 46,7% en masa de la corteza terrestre (como componente de la mayoría de las Rocas y Minerales). El oxígeno representa un 60% del Cuerpo humano. Se encuentra en todos los tejidos vivos. Casi todas las Plantas y Animales, incluyendo los seres humanos, requieren oxígeno, ya sea en estado libre o combinado, para mantenerse con vida.

Los más abundantes de los minerales que contienen oxígeno son los que incluyen además silicio; el más sencillo de los cuales es la sílice, SiO_2 , principal constituyente de la arena. Entre los que carecen de silicio, el que más abunda es el CaCO_3 . En la materia viva el oxígeno está combinado con los elementos Carbono, Azufre, Nitrógeno o Hidrógeno. (Jaqueline Zacarías, M. 2015).

Obtención

Las fuentes industriales para obtener oxígeno son el aire y el agua.

- A partir del aire: Se extrae el oxígeno por licuefacción y ulterior destilación fraccionada. El aire consta del 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y 1% de Argón, Neón, dióxido de carbono y vapor de agua. Primeramente se separan del aire estos dos últimos compuestos; a continuación se comprime, se enfría y se deja expandir, hasta que se produce la licuefacción y se obtiene aire líquido. Después, este se deja evaporar parcialmente, con lo cual se vaporiza el nitrógeno, cuyo punto de ebullición es más bajo, dejando un residuo enriquecido en oxígeno. Mediante repetición cíclica de este proceso se llega a preparar un oxígeno del 99,5% de pureza.

- A partir del agua: Se obtiene oxígeno muy puro por Electrólisis, como subproducto en la preparación del hidrógeno.
- En los laboratorios: Se suele preparar por descomposición térmica del Clorato de potasio (KClO_3).
- La reacción



Se cataliza por la presencia de distintas sustancias sólidas, tales como el Dióxido de manganeso MnO_2 , óxido de hierro (III), arena fina o vidrio en polvo. Se cree que la misión del Catalizador es proporcionar una superficie suficiente para que pueda producirse el desprendimiento del oxígeno gaseoso.

Formas alotrópicas:

El Oxígeno presenta tres formas alotrópicas

Molécula de oxígeno

- El dióxígeno, que contiene dos átomos por molécula y cuya fórmula es O_2
- El trioxígeno (ozono), que contiene tres átomos por molécula y cuya fórmula es O_3
- El tetra oxígeno, una forma no magnética azul pálida, que contiene cuatro átomos por molécula, cuya fórmula es O_4 y que se descompone fácilmente en oxígeno ordinario. (Jaqueline Zacarías, M. 2015).

B. Definición

Es un gas incoloro, inodoro e insípido, y poco soluble en agua. Constituye aproximadamente el 21% del aire atmosférico y se obtiene industrialmente por destilación fraccionada del aire líquido. El oxígeno puede suministrarse tanto en estado gaseoso a alta presión, como en estado líquido (oxígeno líquido) a baja temperatura. Este gas licúa a $-183\text{ }^\circ\text{C}$ a 1 atm de presión y 1 litro de oxígeno líquido genera 850 litros de gas a $15\text{ }^\circ\text{C}$. y 1 atm. No es un gas inflamable, pero es comburente (puede acelerar rápidamente la

combustión). Sin él, no sería posible la vida animal ó vegetal. Se encuentra en el aire que respiramos, en menor proporción que el Nitrógeno.

Sus principales propiedades físico-químicas se resumen a continuación (N.F.P.A.; 2010):

- Densidad de gas a 0°C (32°F), 1 atm: 1.326 kg/m³ (0.083 lb/pie³)
- Punto de ebullición a 1 atm: -183.0°C (-297.4°F)
- Punto de congelación / fusión a 1 atm: -218.8°C (-361.8°F)
- pH: No aplica.
- Peso específico (aire = 1) a 21.1°C (70°F): 1.105
- Peso molecular: 32.00
- Solubilidad en agua vol/vol a 0°C (32°F) y 1 atm: 0.0491
- Grado de expansión: No aplica.
- Grado de evaporación (nBuAc = 1): No aplica.
- Olor umbral: No aplica.
- Volumen específico del gas (lb/ft³): 12.1
- Apariencia y color: Gas incoloro y sin olor a presión y temperatura normal.

Se debe tomar en cuenta que el **oxígeno es incompatible** con materiales combustibles y materiales inflamables, hidrocarburos clorinados, hidrazina, compuestos reducidos de boro, éter, fosfamina, tribromuro de fósforo, trióxido de fósforo, tetrafluoroetileno, y compuestos que forman peróxidos fácilmente. Oxígeno puede formar compuestos explosivos cuando es expuesto a materiales combustibles, aceite, grasas y otros materiales hidrocarburos.

Se debe almacenar en tanques de material recomendado como: cobre, bronce, aleaciones de níquel y acero inoxidable. Tipo de conexión CGA 540 (Industrial, Q. & Callao, O. 2012).

1.2 USOS DEL NITROGENO Y OXIGENO

A continuación se describen los principales usos de estos gases, al margen de que en este proyecto se dirige para el uso exclusivo en una planta siderúrgica.

1.2.1 USOS DEL NITROGENO

En el mundo, se utiliza más nitrógeno que cualquier otro gas industrial. Las aplicaciones del nitrógeno son en la actualidad muy extensas, basadas especialmente en su característica de estabilidad a temperaturas normales, como gas inerte puro o en mezcla con otros gases, que desplaza al oxígeno.

Sus principales aplicaciones pueden agruparse en:

- Como atmósfera controlada en el envasado de alimentos como lácteos, vinos, aceites, papas fritas; para la conservación de frutas y verduras
- En la fabricación de medicamentos, en la investigación médico-biológica
- En procesos metalúrgicos tales como siderurgia, refinación de metales livianos, hornos de tratamientos térmicos, soldadura de metales, pulvimetalurgia, corte de aceros especiales por plasma y láser.

Otras no menos importantes son la fabricación de pulpa de celulosa y papel, vidrio y la cerámica, productos electrónicos, eléctricos, y la protección de sistemas eléctricos, y la industria química, de plásticos, de fertilizantes, petroquímica y de extracción petrolífera. En las instalaciones de conducción de gases, para los ensayos de presión, purga y barrido de fluidos inaceptables. Para control de fuegos en minas de carbón e industria del cemento. El nitrógeno es necesario para variados procesos biológicos, y es efectivamente usado como fertilizante, como amoníaco o compuestos amónicos. Los compuestos que el nitrógeno forma con halógenos, y ciertos compuestos orgánicos, pueden ser explosivos.

A continuación una lista de las principales industrias en la que se utiliza nitrógeno (Praxair, 2011).

- | | |
|--------------------------------|--------------------------|
| ➤ Afino de aluminio | ➤ Medicina |
| ➤ Caucho | ➤ Metalurgia |
| ➤ Cocinas centrales y catering | ➤ Molienda criogénica |
| ➤ Congelación de alimentos | ➤ Patatas fritas |
| ➤ Conservación y desorización | ➤ Plásticos |
| aceite | ➤ Precocinados y comidas |

- | | | |
|------------------------------------|---------------------------|---|
| ➤ Criocirugía | preparadas | |
| ➤ Envasado en atmosfera protectora | ➤ Procesamiento | y |
| | conservación de zumos | |
| ➤ Electrónica | ➤ Productos farmacéuticos | |
| ➤ Industria química | ➤ Refinerías | |
| ➤ Impresión | | |
| ➤ Industria del vino | ➤ Reproducción animal | |
| ➤ Inertización | | |
| ➤ Inseminación artificial | ➤ Vidrio | |
| ➤ Investigación médica y biológica | | |
| ➤ Tratamiento térmico de metales | | |

1.2.2 USOS DEL OXIGENO

El oxígeno tiene amplia aplicaciones en distintas áreas, como por ejemplo.

- Medicina: para tratamientos respiratorios, oxigenoterapia, vehículo de anestesia, cámaras de presión hiperbárica.
- Metalurgia: en siderurgia (oxido reducción del arrabio, enriquecimiento de oxígeno en aceros), fundición y sinterizado de cobre, plomo y zinc; procesos de soldadura, refinación de metales y oxicorte de precisión.
- Saneamiento ambiental: tratamiento de potabilización del agua, tratamiento de aguas servidas (negras) y generación de ozono para desinfección.
- Química: procesos de oxidación química, fabricación de pasta de celulosa y papel, fabricación de cales, cementos y afines.
- Cristalería y óptica: refinamiento de cristales para lentes, vidrio especiales para lámparas.
- Electrónica y electricidad: manufactura de tubos para televisión, fabricación de baterías eléctricas.
- Piscicultura: criadero de peces. (Industrial, Q. & Callao, O. 2012).

1.3 MATERIA PRIMA E INSUMOS

El nitrógeno y oxígeno producido en este proyecto será con procesos que no perjudican de ningún modo el medio ambiente, ya que la materia prima es exclusivamente el **aire** atmosférico, tomado por un compresor, filtrado y procesado.

En cuanto a insumos, este es el **tamiz molecular**, componente principal de los equipos, se trata de materiales inertes, sin acción química, auto regenerativo, que supuesto un correcto mantenimiento del equipo, tiene una larga vida útil.

1.3.1 EL AIRE

Se denomina aire a la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen al alrededor del planeta Tierra por acción de la fuerza de gravedad. El aire es esencial para la vida del planeta. Es particularmente delicado, fino, etéreo y si está limpio transparente en distancias cortas y medias. (Definición ABC, 2016)

Cuadro 1.2. Composición aproximada del aire atmosférico

Componente		Concentración Aproximada % en volumen
Nitrógeno	N ₂	78.03%
Oxígeno	O ₂	20.99%
Dióxido de Carbono	CO ₂	0.03%
Argón	Ar	0.94%
Neón	Ne	0.00123%
Helio	He	0.0004%
Criptón	Kr	0.00005%
Xenón	Xe	0.000006%
Hidrógeno	H ₂	0.01%
Metano	CH ₄	0.0002%
Óxido nitroso	N ₂ O	0.00005%
Vapor de Agua	H ₂ O	Variable
Ozono	O ₃	Variable
Partículas		Variable

Fuente: Estrucplan On Line - Artículos. 2015.

Dentro de sus **propiedades físicas** se considera que:

- Es de menor peso que el agua
- Es de menor densidad que el agua
- Es incoloro, inodoro e insípido
- Peso molecular: 28.95 g/mol
- Punto de fusión (punto de congelamiento incipiente): -213.4°C
- Aire en fase líquida: densidad del líquido (a 1.013 bar): 875 kg/m³
Punto de ebullición: -194.5°C
Calor latente de vaporización (a 1.013 bar): 198.7 kJ/kg
- Temperatura crítica: -140.5°C
- Presión crítica: 37.71 bar
- Aire fase gaseosa: densidad (1.013 bar en punto de ebullición): 3.2 kg/m³
Densidad (1.013 bar y 15°C): 1.202 kg/m³
Factor de compresibilidad (Z) (1.013 bar y 15°C): 0.999
Capacidad calorífica a presión constante (Cp)(1.013 bar y 21°C): 0.029 kJ/mol.K
Capacidad calorífica a volumen constante (Cv) (1.013 bar y 21°C): 0.02 kJ/mol.K
Viscosidad (1 bar y 0°C): 0.0001695 poise
Conductividad térmica (1.013 bar y 0°C): 23.94 mW/m.K
Solubilidad en agua (1.013 bar y 0°C): 0.0292 vol/vol (Wagner, M. 2016)

Dentro de sus **principales aplicaciones** tenemos:

- **Industria Química:** es el gas para la combustión de los diferentes combustibles para generación de energía calorífica a través de los calderos. También se usa en otras reacciones como en la reacción del etileno con cloruro de hidrogeno y airea para producir 1,2-dicloroetano por el proceso de oxiclорinación. Después la pirolisis del 1,2-dicloetano produce cloruro de vinilo. La oxidación directa del etileno o propileno con aire enriquecido con oxígeno produce etileno u oxido de propileno. (Aplicaciones de Aire En La Industria.2012).

- **En Laboratorio y análisis:** el aire es usado para calibrar equipos que se usan para monitorear emisiones medioambientales, monitorean la higiene industrial y analizadores de impurezas presentes en trazas y como gas de balance para algunas mezclas de calibración. El aire es usado como gas de combustión para detectores de cromatografía de gas y adsorción atómica. (Aplicaciones de Aire En La Industria.2012).

- **En Petróleo y gas natural:** el aire o aire enriquecido con oxígeno se usa para oxidar compuestos durante el proceso Clauss para quemar azufre a dióxido de azufre. (Aplicaciones de Aire En La Industria.2012).

- **En la Industria Textil.**
 El sector textil ha utilizado el aire comprimido principalmente para el funcionamiento de ciertas herramientas neumáticas y para la limpieza de zonas críticas en los telares como son los peines y las agujas. Sin embargo, la constante evolución en los telares ha originado la aparición de la tejeduría a chorro de aire para adaptarse a los nuevos mercados. Esto está relacionado en parte con mejoras adicionales en los sistemas de la velocidad del aire, así como la velocidad de inserción de trama a través de la calada.
 Con estas mejoras se han conseguido máquinas de tejer a chorro de aire capaces de elaborar un tejido para sábanas con un ancho de 3.11 metros, a una velocidad de inserción de 750 pasadas por min. (ppm), con cuatro inserciones de trama. (Aplicaciones de Aire En La Industria.2012).

- **En la industria de la alimentación y las bebidas:** Es más que imprescindible. Procesos donde el aire comprimido debe estar 100% exento de aceite para controlar válvulas y actuadores en líneas automatizadas de llenado, envasado y embotellado. También La contaminación por aceite puede provocar daños en los componentes y contaminación del producto.

Por ejemplo el aire comprimido se utiliza habitualmente para efectuar el transporte de la leche en polvo o el cacao por tubos de productos alimenticios. Aire comprimido 100% exento de aceite para los procesos de fermentación utilizados en la producción de vino, cerveza y yogurt así como en la fabricación de ingredientes alimentarios que contengan ácido cítrico.

(Aplicaciones de Aire En La Industria.2012).

- **En la Industria AgroAlimentaria y Bebidas.**

Aire Comprimido en Talleres de Carpintería Metálica. El aire comprimido está ampliamente utilizado en talleres de carpintería metálica y madera. No solo herramientas como grapadoras y remachadoras neumáticas utilizan el aire comprimido para su correcto funcionamiento sino cada vez más se utilizan prensas neumáticas capaces de realizar en aluminio, toda clase de ranuras, punzonados, taladros, mediante un pistón neumático. (Aplicaciones de Aire En La Industria.2012).

- **En la Fabricación de Muebles**

En el sector del mueble, el aire comprimido juega un papel fundamental dentro de los procesos de fabricación y ensamblaje de muebles. Además de las herramientas neumáticas que agilizan considerablemente el proceso del ensamblado del mueble, el aire comprimido se emplea en las pistolas de pintar con aire comprimido que consiguen realizar acabados donde otros sistemas de lacado y pintura no lo consiguen.

Pero he aquí que para conseguir terminaciones muy específicas en muebles que presentan muchas superficies curvas la cubeta de pintura y el rodillo no garantizan un buen acabado. Se impone usar otra herramienta, la pistola de aire comprimido.(Aplicaciones de Aire En La Industria.2012).

- **En Talleres de Chapa y Pintura.**

El correcto funcionamiento de un taller de Chapa y Pintura de automóviles dependerá en gran medida de la correcta elección del compresor de aire comprimido ya que este es el “corazón” del taller de chapa y pintura, debido a que por el pasan muchas horas de trabajo al día y su correcto mantenimiento favorecerá a la rentabilidad del taller. (Aplicaciones de Aire En La Industria.2012).

- **Pistola aerográfica.**

Es una herramienta que utiliza el aire comprimido para atomizar pintura u otros materiales pulverizables y aplicarlos sobre una superficie. El aire comprimido y el material a pulverizar entra en la pistola por conductos independiente, mezclándose en el exterior de la boquilla de aire de forma controlada según los ajustes aplicados. (Aplicaciones de Aire En La Industria.2012).

- **En la Industria del Calzado.**

Las prensas para la fabricación de calzado vulcanizado necesitan un compresor de aire comprimido capaz de mantener una elevada presión en el circuito para conseguir una adecuada vulcanización. Durante el acabado del zapato se utilizan pistolas de difuminar barnices y pinturas para obtener el deseado acabado del calzado antes de su envasado. (Aplicaciones de Aire En La Industria.2012).

- **Para Taller Mecánico de Automóviles.**

El aire comprimido es un elemento muy habitual en todo tipo de talleres mecánicos de reparación de automóviles. Normalmente se emplea para alimentar herramientas de funcionamiento neumático como atornilladores neumáticos, clavadoras y remachadoras neumáticas, taladradoras neumática (Aplicaciones de Aire En La Industria.2012).

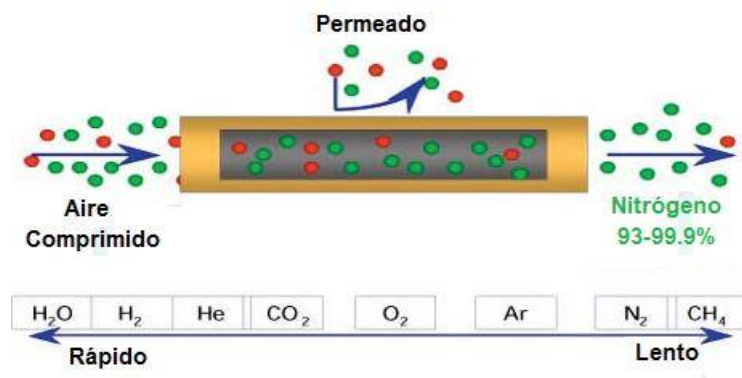
1.3.2 FILTROS MOLECULARES

Se va utilizar un filtro de membrana. Este filtro prioriza la separación del nitrógeno y sale como subproducto una corriente de oxígeno con el resto de gases que contiene el aire.

El **filtro de membrana** será proveído por GENERON®IGS (Innovative Gas System). Este sistema utiliza membranas de fibra hueca del tamaño de un cabello humano. La tecnología especializada requiere el balance de fuerza de la fibra y las características de flujo de gas para obtener resultados óptimos. Cada módulo contiene cerca de un millón de fibras asegurados de tal forma que garanticen el proceso de separación del aire. La separación de gases con membrana es simple. El corazón de la tecnología es el material de la membrana polimérica que permite el pase rápido de unos gases y más lento de otros cuando se aplica presión sobre la membrana. En el siguiente esquema se observa la velocidad relativa con la que diferentes gases pueden ser separados por una membrana polimérica hueca.

IGS (Innovative Gas System); 2010.

Figura 1.1. Velocidad relativa de separación de gases con membrana polimérica tipo fibra hueca de GENERON®



Fuente: Igs – Innovative Gas Systems; 2010

La membrana de GENERON® permite el pase máximo de gases diferentes al nitrógeno ocasionando pérdidas mínimas de nitrógeno en el gas residual. El oxígeno y vapor de agua son gases rápidos, que inmediatamente penetran la membrana, dejando que el nitrógeno (un gas más lento) salga casi puro.

Figura 1.2. Separación del aire con el uso de Membranas Poliméricas de fibra hueca



Fuente: Igs – Innovative Gas Systems; 2010

No se hace un análisis del costo de las membranas pues estas vienen incluidas en el módulo del equipo de filtración molecular del aire.

1.4 ESTUDIO DE LA DEMANDA

De acuerdo a los usos de los gases descritos anteriormente tenemos industrias que consumen o sólo oxígeno o sólo nitrógeno. Con la finalidad de obtener mayor rentabilidad, en este caso se está dirigiendo el estudio de la demanda a aquellos consumidores que en forma simultánea usen tanto el oxígeno como el nitrógeno. Dentro de estos últimos tenemos la gran industria química y la siderúrgica.

Por lo tanto, el estudio se centra en abastecer oxígeno y nitrógeno para la industria siderúrgica, en especial a uno de gran capacidad de producción de acero.

1.4.1 INDUSTRIA SIDERURGICA PERUANA

La industria siderúrgica de nuestro país, conocida también como industria básica del hierro y acero, tiene un crecimiento acelerado en los últimos

años. Solo el 2014 tuvo un crecimiento de 7.6%, sustentado por la demanda de acero de los proyectos de infraestructura ejecutados tanto por la inversión pública como por la inversión privada (Maximixe, 2014).

Según el Ranking de la revista América Economía dentro de las 500 mejores empresas del Perú y América Latina se considera en orden descendente:

- Corporación Aceros Arequipa
- Empresa Siderúrgica del Perú – SIDERPERU
- Procesadora Sudamericana
- Tecnofil
- Productos de Acero Cassado – PRODAC
- Comercial del Acero
- Moly-CopAdesur
- J.E.D. Metales
- Sandvik del Perú
- Soldex S.A. (América Economía, 2014).
- El análisis de la demanda de oxígeno y nitrógeno se hará en base a dos de las principales siderúrgicas del nuestro país: Aceros Arequipa y SiderPerú. La primera tiene una capacidad máxima de 750000 toneladas de aceros al año y la segunda tiene una capacidad máxima de 400000 toneladas de aceros al año (América Economía, 2014).

1.4.2 DEMANDA DE OXIGENO Y NITROGENO EN PLANTAS DE ACERO

El oxígeno y el nitrógeno se consideran gases indispensables para la industria metalúrgica.

El **oxígeno**, se utiliza principalmente en la etapa de refinación del acero, donde tiene la función de “quemar” las impurezas y reducir su contenido a valores permisibles, específicamente, en los hornos convertidores y hornos de arco eléctrico donde ocurre un barrido de los elementos no deseados como el azufre y el fósforo, bajo la inyección de oxígeno por lanzas a alta presión. Además el oxígeno se utiliza en abundancia en la sección de corte de los planchones en la salida del colado del acero virgen. Los equipos

utilizados en esta operación de corte son de oxi-acetileno o de oxhídrico, donde el soplete combina oxígeno con hidrógeno. Estos sistemas también se utilizan para soldar.

Por otro lado, el **nitrógeno**, se utiliza principalmente para: (1) desgasificar el metal fundido y extraerle gases indeseables. Este gas se inyecta vía tapones porosos en cucharas o en el fondo de hornos para provocar la homogenización de composiciones químicas y de temperaturas y la eliminación de inclusiones no metálicas en procesos como la refinación de metales por fusión; (2) también se emplea nitrógeno para el enfriamiento de troqueles de fundición; (3) se emplea para ciertos tratamientos térmicos tales como el recocido limpio, recocido brillante, recocido sin descarburación, temple, cementación gaseosa, carbonitruración, entre otros, se emplean diferentes gases como el amoníaco e hidrocarburos gaseosos, los cuales se mezclan con nitrógeno para evitar la oxidación de los metales. Estos gases o la mezcla de ellos no sólo permiten generar una atmósfera controlada a la hora de efectuar tratamientos térmicos, sino que sustituyen a las sales de cianuro que se utilizan para endurecimientos y son altamente contaminantes. Por ejemplo, el nitrógeno en forma líquida, cuya temperatura está alrededor de -196°C , permite realizar temple y transformación de estructuras cristalinas llamados “sub-cero”, dando a ciertos aceros- sometidos al desgaste por abrasión y corrosión – características de dureza superficial

En una planta productora de acero se consume 133.5 kg de **oxígeno** por tonelada de acero si la materia prima es arrabio (942 kg). En cambio si se parte de chatarra (1084 kg) se necesita 22.5 kg de oxígeno por tonelada de acero (Ver ANEXO). **IDEAM-UIS; 2010**

SiderPerú procesa chatarra para producir 400000 toneladas de acero al año. Esto significa un requerimiento máximo de oxígeno será de 11700 toneladas al año de oxígeno. Aceros Arequipa tiene una capacidad de 750000 toneladas de acero al año empleando materias primas como arrabio y chatarra. Se estima un consumo aproximado de 34125 toneladas de oxígeno al año.

Respecto al **consumo de nitrógeno**, este gas está reemplazando al argón como gas inerte en los procesos metalúrgicos como medio de agitación,

especial cuando se aplica la metalurgia secundaria o metalurgia cuchara, que reemplaza al tradicional método de colada continúa. Para una cuchara de 10 ton se recomienda soplar por no más de 40 minutos 255-278 m³/h al inicio (12 minutos), luego se rebaja a 225-248 m³/h (14 minutos) y finalmente se mantiene entre 210-225 m³/h (14 minutos) (Enriquez B. y Tremps G.; 2007).

Pero además para los otros procesos donde se utiliza nitrógeno (enfriamiento y tratamientos térmicos) se estima con un 30% adicional del que se utiliza en las cucharas. Cálculo en el Apéndice.

1.4.3 DETERMINACION DE LA DEMANDA FUTURA DE NITROGENO Y OXIGENO

La demanda futura de oxígeno y nitrógeno en la industria siderúrgica se calculará en base a la posibilidad de instalar la planta en SiderPerú o en Aceros Arequipa. Para los cálculos se ha considerado la capacidad máxima de producción de ambas empresas y operación de 8000 horas en el año. Los detalles de los cálculos se muestran en el Apéndice.

SIDERPERU:

Capacidad Máxima: 400000 ton/año de aceros

Demanda de oxígeno: 12000 ton/año = 17.5 Nm³/min

Demanda de nitrógeno: 61.9 Nm³/min.

(América Economía, 2014).

ACEROS AREQUIPA

Capacidad Máxima: 750000 ton/año de aceros

Demanda de oxígeno: 25000 ton/año = 36.45 Nm³/min

Demanda de nitrógeno: 116.06 Nm³/min

(América Economía, 2014).

1.5 ANALISIS DE LA OFERTA

La oferta actual proviene del oxígeno y nitrógeno que producen en las grandes plantas criogénicas de la provincia de Lima, y que tiene que ser transportada hacia la industria siderúrgica, en este caso hasta SiderPeru o Acero Arequipa.

Para el proyecto, si estos gases se van a producir in-situ, se considera que la oferta de estos gases provenientes de una planta separadora que se instalará dentro de la misma siderúrgica es nula, debido a que no existe nitrógeno u oxígeno producido por este nuevo método propuesto en este estudio de prefactibilidad.

1.6 DETERMINACION DE LA DEMANDA POTENCIAL INSATISFECHA

Considerando que no hay oferta que compita con el abastecimiento in-situ de nitrógeno y oxígeno que se tendrá dentro del complejo siderúrgico, la demanda insatisfecha depende de solo la capacidad máxima de producción de la planta de acero, y los valores ya se presentaron en el ítem 1.4.3.

1.7 TAMAÑO DE LA PLANTA

El tamaño de la planta y la demanda: La demanda es uno de los factores más importantes para condicionar el tamaño de un proyecto. En este caso particular el tamaño de la planta está influenciado directamente por la **demand**a de nitrógeno y oxígeno que necesitara la planta siderúrgica que se va a seleccionar.

El tamaño de la planta y la materia prima e insumos: el abastecimiento suficiente en cantidad y calidad de materias primas es un aspecto vital en el desarrollo de un proyecto. En el caso de aire que es la materia prima principal este se toma del medio ambiente sin costo alguno. Los insumos que en este proyecto son los cartuchos con filtros moleculares tienen alta duración y no es factor limitante puesto que existen varios proveedores de estos tipos de cartuchos.

El tamaño de la planta, la tecnología y los equipos: en términos generales se puede decir que la tecnología y los equipos tienden a limitar el tamaño del proyecto al mínimo de producción necesario para ser aplicables. Para este proyecto la tecnología si bien es relativamente nueva los equipos completos para una separación del aire con membranas moleculares vienen en forma de módulos de tamaño variable desde 0.7 Nm³/h hasta 4860 Nm³/h de nitrógeno, por ejemplo. Por lo tanto tampoco este es el factor limitante para determinar el tamaño de planta.

El tamaño del proyecto y el financiamiento: si los recursos financieros son insuficientes para atender las necesidades de inversión de la planta de tamaño mínimo es claro que la realización del proyecto es imposible. Si los recursos económicos propios y ajenos permiten escoger entre varios tamaños para producciones similares entre los cuales existe una gran diferencia de costos y de rendimiento económico, la prudencia aconsejará escoger aquel que se financie con mayor comodidad y seguridad, y que a la vez ofrezca, de ser posible, los menos costos y un alto rendimiento de capital. En ese proyecto se considera que hay capital suficiente para escoger el tamaño que satisfaga la demanda proyectada y se buscará los módulos que tengan una mayor eficiencia.

El tamaño del proyecto y la organización: cuando se haya hecho un estudio que determine el tamaño más apropiado para el proyecto, es necesario asegurarse que se cuenta con el personal suficiente y apropiado para cada uno de los puestos de la empresa. Aquí se hace una referencia sobre todo al personal técnico de cualquier nivel, el cual no se puede obtener fácilmente en algunas localidades. Sin embargo, para el proyecto se considera que en las siderúrgicas existe personal entrenado en el manejo de gases a presión y a temperatura bajas, debido a que el nitrógeno y oxígeno en estas plantas siempre han sido utilizadas, pero ahora se producirán dentro de la siderúrgica. Por lo tanto no es un factor limitante.

En **conclusión** el factor determinante para el tamaño de la planta es la **demand**a que se traduce en que debe haber coincidencia entre la capacidad del equipo industrial que se vende en el mercado y la demanda de la siderúrgica.

1.7.1 DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LA PLANTA

Teniendo en cuenta que tamaño de la planta está influenciada únicamente por la futura demanda de nitrógeno y oxígeno para la planta siderúrgica se va a analizar dos situaciones:

a) Alternativa 1: SiderPerú

Demanda de nitrógeno: 61.9 Nm³/min

Capacidades de equipos: 61, 81, 41, 20 Nm³/min

Se necesitaría: un módulo de 81, dos módulos de 41, o cuatro módulos de 20.

El módulo de 61 Nm³/min no abastecería en horas punta, puesto que siempre la capacidad nominal es menor que la capacidad requerida. Es necesario trabajar con un sobrediseño.

b) Alternativa 2: Aceros Arequipa

Demanda de nitrógeno: 116.06 Nm³/min

Capacidades de equipos: 81, 61, 41, 20 Nm³/min

Se necesitaría: dos módulos 61, tres módulos de 41, o seis módulos de 20.

Para evitar posibles problemas de mala operación de compresores en paralelo se prefiere instalar un solo módulo de 81 Nm³/min, para una necesidad de 61.9 Nm³/min, lo cual estaría representando un sobre diseño de 30.8%. A pesar que el sobre diseño está por encima del 20% recomendado, es recomendable tener un sobre diseño mayor para tener seguridad en el abastecimiento en horas punta. Además un sobre diseño mayor permitirá manejar la pureza del producto bajo el criterio, que en una planta modular de producción de nitrógeno, se cumple que a “mayor producción menor pureza del producto”.

Con esta capacidad seleccionada se tendría 12400 ton/año de oxígeno, cuando el requerido es 11700 ton/año. Por lo tanto respecto a la producción de oxígeno el sobre diseño es de solo 9.59%.

En **conclusión**, la capacidad de planta será de 81 Nm³/min de nitrógeno, con una producción aproximada de oxígeno de 12400 ton/año.

1.8 ANALISIS DE LOS PRECIOS

Los gases nitrógeno y oxígeno de grado industrial tienen una variación de precios muy amplia, de acuerdo al mercado.

A la fecha, el nitrógeno a granel en estado líquido tiene un precio entre 0.15 a 0.75 dólares por metro cúbico. Mientras que el costo típico de generar nitrógeno en el mismo lugar con una pureza de 99.5% podría estar entre 0.03 a 0.05 dólares por metro cúbico. Para el proyecto se va a considerar un precio de 0.045 dólares por metro cúbico.

Respecto al oxígeno, según a las diferentes fuentes tradicionales de producción tiene la misma variación de precio que el nitrógeno, es decir varía entre 0.15 a 0.75 dólares por metro cubico a granel en estado líquido. Basado en una pureza de oxígeno de 95%, según el lugar de abastecimiento y los costos de electricidad y mantenimiento, el oxígeno generado en el mismo lugar podría llegar a costar entre 0.07 a 0.11 dólares por metro cubico. Para el precio del oxígeno se va a considerar un promedio de 0.60 dólares el metro cubico. (Industrial, Q. & Callao, O. 2012).

1.9 ESTUDIO DE LA COMERCIALIZACION DEL PRODUCTO

En este caso se utilizara un solo canal de comercialización debido a que del productor los gases se abastecerán directamente al usuario industrial, es decir a la industria siderúrgica.

1.10 LOCALIZACION DE LA PLANTA

Teniendo en cuenta que el lugar seleccionado para instalar un módulo de producción de nitrógeno y oxígeno se instalará dentro del complejo siderúrgico SIDERPERU, el lugar lógico de localización de la planta es el mismo complejo siderúrgico.

Siderperu (Empresa Siderúrgica del Perú S.A.A.) es una siderúrgica peruana, controlada por la empresa brasileña Gerdau. La empresa está ubicada en Chimbote. La vista satelital de la siderúrgica se muestra en la Figura 1.3 y 1.4.

1.11 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO

Se concluye que existe una demanda por satisfacer de los gases oxígeno y nitrógeno. El consumidor inmediato será la siderúrgica SIDERPERU S.A.A., ubicado en la Av. Santiago Antúnez de Mayolo, s/n, Chimbote, Ancash.

La capacidad nominal de la planta modular de producción de nitrógeno y oxígeno será de 81 Nm³/min de nitrógeno.

La planta será ubicada dentro del complejo siderúrgico.



Figura 1.3. Ubicación de Siderperu en nuestro país.

Fuente: Gerdau – Siderperu.

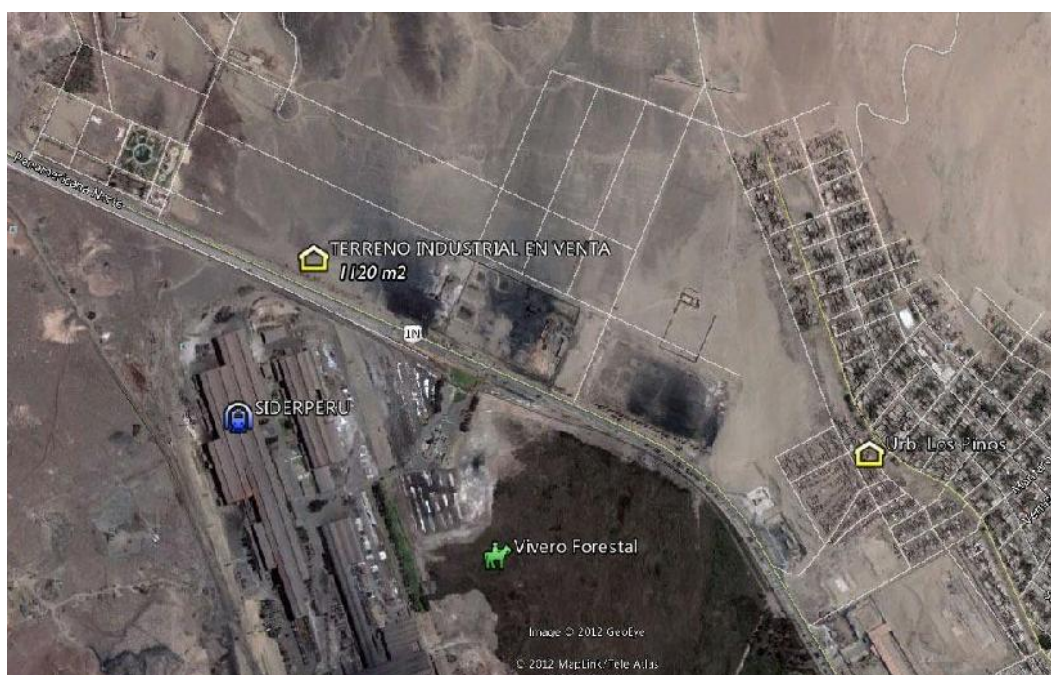


Figura 1.4. Vista satelital de la planta de Siderperu

Fuente: Chimbote, G. 2008

CAPITULO II

II. ESTUDIO DE INGENIERIA

2.1 SELECCIÓN DEL PROCESO

Para la separación del aire en sus componentes principales, oxígeno y nitrógeno, existen varias tecnologías cuya adaptación dependen de la pureza de las aplicaciones específicas. Las tecnologías más conocidas

- Tecnología de membrana – la mayor capacidad
- Tecnología de adsorción por cambio de presión (SPA) – la mayor pureza
- Tecnología criogénica
- Tecnología de membrana de transporte iónico

2.1.1 Tecnología de membrana

La parte central de esta tecnología es el generador de nitrógeno de membrana (NGM). Un haz de fibras de polímero actúa como membrana que permite que pase el nitrógeno y que no pasen otros gases (como el oxígeno, vapor de agua, dióxido de carbono). El aire comprimido se dirige a la entrada y el nitrógeno enriquecido sale por el otro extremo del generador. La tecnología de membrana genera nitrógeno con una pureza de entre el 95 y el 99% con caudales de hasta 5000 Nm³/h. Este nitrógeno es útil para petroquímica, aplicaciones marinas, prevención de incendios y otros donde la pureza no es muy exigente.

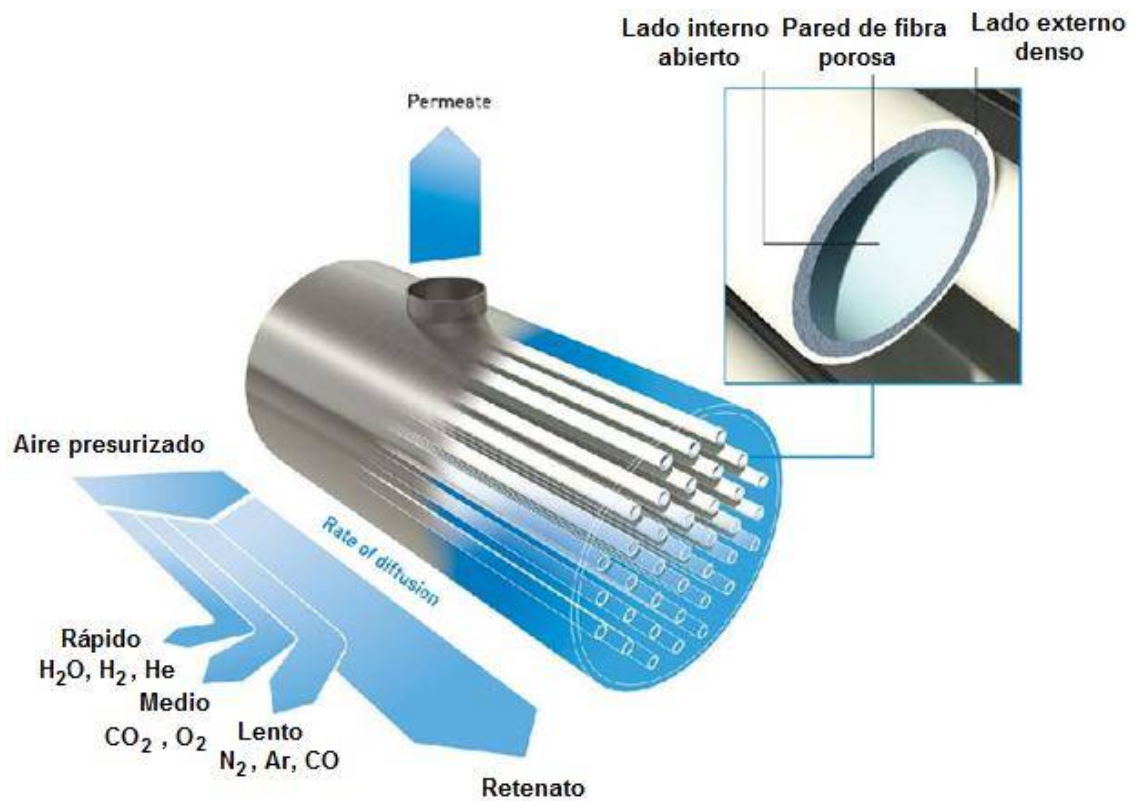
Estos generadores se entregan totalmente montados y sólo necesitan un suministro de aire comprimido seco para empezar a generar un caudal constante de nitrógeno. Y no precisan ninguna instalación o puesta en marcha especializadas. Estas unidades se entregan con la pre filtración necesaria ya montada, junto con manómetros y un caudalímetro, que permiten una monitorización precisa del sistema en todo momento.

Respecto a la membrana esta es una fibra hueca asimétrica, compuesta por haz de fibras. Las fibras huecas tienen una estructura de polímero, con la membrana en el exterior en forma de capa ultra delgada, y se pegan en la carcasa del módulo. La separación de gases se basa en la diferencia de permeabilidad: el aire pasa por la entrada y el nitrógeno por la salida.

(Air products; 2010)

En el siguiente esquema se presenta la velocidad relativa de permeación de los gases contenidos en el aire. El permeado está constituido en su mayoría por oxígeno, mientras que el retenato está constituido principalmente por nitrógeno.

Figura 2.1. Separación del aire vía tecnología de membrana



Fuente: Parker, 2012.

Las fibras son fabricadas de óxido de polifenileno, las cuales se tejen para formar la estructura de una fibra hueca. El diámetro de una fibra es de aproximadamente 0.5 mm. Se debe utilizar fibras con alta permeabilidad, lo cual significa operar con presión de entrada de aire tan baja como 4 bar manométrico, lo cual reduce los costos de operación y energía. Membranas más permeables también menos cantidad de fibras y por lo tanto el tamaño del generador será más pequeño.

➤ FACTORES DE OPERACIÓN DE LA MEMBRANA

Presión de entrada del aire comprimido: los generadores de nitrógeno de membrana operan con presiones de entrada de aire en el rango de 4 bar g a 13 bar g. Mientras más grande la presión de entrada del aire más nitrógeno puede producirse con una fibra seleccionada.

Temperatura de entrada del aire comprimido: los generadores de nitrógeno de membrana pueden operar con aire comprimido a temperaturas que están en el rango de 10°C a 40°C. La temperatura optima esta entre 20° a 30°C. Si se utiliza aire a 10°C y 40°C se debe aplicar factores de corrección al caudal de salida de nitrógeno y al consumo de aire de entrada.

Pureza de nitrógeno: se obtiene nitrógeno con oxígeno remanente en un rango de 0.5% a 5%. Mientras más oxígeno sale en la corriente de nitrógeno, más alta es la producción de nitrógeno y más bajo el consumo de aire por fibra seleccionada.

2.1.2 Tecnología de adsorción por cambio de presión (tecnología SPA)

Para las aplicaciones que exigen un alto grado de pureza del nitrógeno (hasta el 99,999%) a pequeños caudales, el generador de nitrógeno (NG) con tecnología SPA es la solución recomendada. Conforme a la tecnología de adsorción por cambio de presión (SPA), los tamices moleculares de carbón adsorben las moléculas de oxígeno del aire comprimido. El generador de nitrógeno tiene dos torres conectadas que funcionan juntas para producir un caudal casi continuo de gas nitrógeno. El resultado: unos niveles de pureza del nitrógeno del 97 al 99,999 % para caudales de hasta 130 Nm³/h. Las aplicaciones típicas del NG son el moldeo de plástico, mecanizado, analizadores de purga, electrónica, almacenamiento de frutas así como la elaboración de alimentos y bebidas.

Es un proceso sencillo en dos fases:

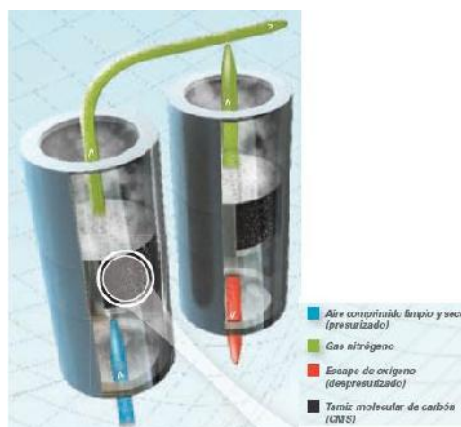
- **Adsorción:** el aire a alta presión fluye a través de las columnas de tamiz molecular de carbón (CMS). Al presurizar el depósito de este modo, las moléculas de oxígeno son adsorbidas de manera preferente por el CMS, mientras que las moléculas de nitrógeno pasan gracias a su

diferente tamaño molecular. El tamiz continúa adsorbiendo oxígeno hasta que se alcanza el punto de saturación.

- **Regeneración** (Desorción): al cortar el flujo de aire entrante, el oxígeno puede salir del depósito a baja presión. Dos depósitos conectados trabajan juntos para producir un caudal casi continuo de gas nitrógeno (Atlas Copco, 2011).

La separación es eficaz mientras que los carbones activados no pueden separar el nitrógeno del aire, el tamiz molecular de carbón es una sustancia con unas estructuras de poro discreto que pueden separar las moléculas en función de su tamaño. Gracias a esta selectividad de alta adsorción, el tamiz molecular de carbón permite una separación eficaz del nitrógeno. Las moléculas pequeñas de oxígeno penetran en los poros mientras que las moléculas de nitrógeno grandes escapan al tamiz molecular de carbón.

Figura 2.2. Proceso de adsorción por cambio de presión



Fuente: Atlas Copco, 2011.

El CMS es regenerado liberando la presión en las columnas y venteando el gas residual a la atmósfera. La tecnología es llamada adsorción por cambio de presión debido a que la presión de operación cambia de 0 bar g hasta típicamente 7 bar g para adsorber oxígeno y de 7 bar g regresa a 0 bar g para desorber y liberar los gases de desecho.

El tamiz de carbón molecular (CMS) difiere del carbón activado ordinario debido a que tiene un rango más estrecho de poros abiertos. Esto permite que las moléculas de oxígeno penetren en los poros y se separen del nitrógeno que son más grandes y no pueden entrar al CMS. El tamaño de los poros es de aproximadamente 3.0 Angstrom, las moléculas de oxígeno son de 2.9 Å y las moléculas de nitrógeno son de 3.1 Å. (Drews T. Y Fenwick M.; 2004.)

2.1.3 Tecnología criogénica

La separación criogénica del aire incluye cuatro etapas principales:

- Compresión del aire
- Remoción de impurezas del aire (pre tratamiento)
- Enfriamiento y licuefacción del aire
- Destilación

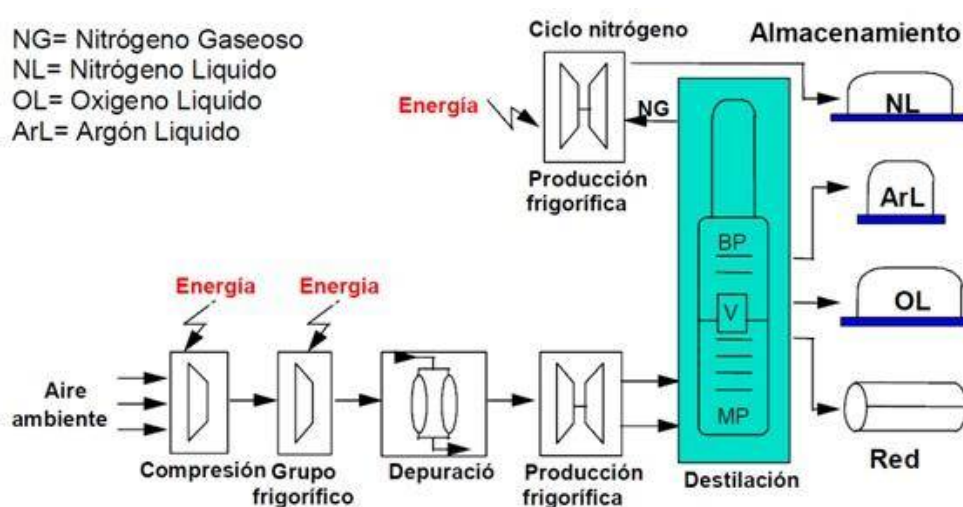


Figura 2.3. Proceso de separación criogénica del aire

Fuente: Garrido, A. 2014.

2.1.4 Tecnología de membrana de transporte iónico

En esta tecnología se utiliza una mezcla de membranas cerámicas conductoras no porosas. Típicamente opera a temperaturas de 800 a 900°C. La estructura cristalina de las membranas incorpora iones de oxígeno en los lugares vacíos y luego los iones de oxígeno se difunden a

través de los lugares vacíos para salir como oxígeno molecular. La membrana es 100% selectiva para oxígeno. El flujo de oxígeno a través de la membrana de transporte iónico es inversamente proporcional al espesor de la membrana y directamente proporcional a la relación de las presiones parciales según se indica en la Figura 2.4.

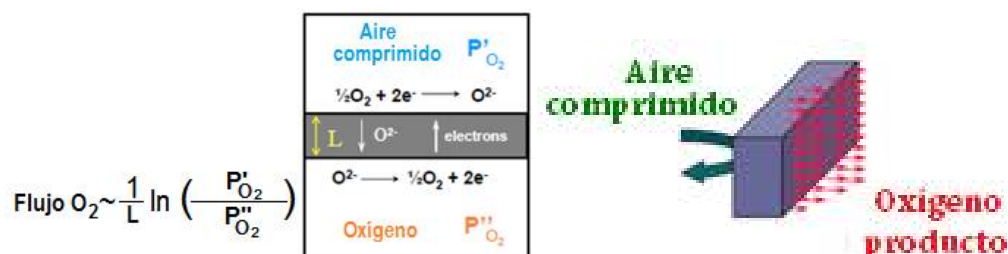


Figura 2.4. Esquema de separación del aire por transporte iónico utilizando membranas cerámicas

Fuente: Fogash K.; 2007

Las ventajas que tiene esta tecnología son:

- Separación del aire en una sola etapa lo cual conduce a diseños compactos
- Baja caída de presión sobre el lado de alta presión
- El proceso se realiza a alta temperatura lo cual permite acoplarse con sistemas de generación de energía.
- Permite la producción económica de grandes flujos de producto.
- El esquema del proceso es más simple que un sistema criogénico y se ahorra más del 35% en capital.
- Consume entre 35 a 60% menos energía para compresión que un sistema criogénico.
- La capacidad de producción actual está entre 1 a 5 TPD de O_2 , equivalente a 30 a 150 Nm^3 /hora de oxígeno. (Fogash K.; 2007)

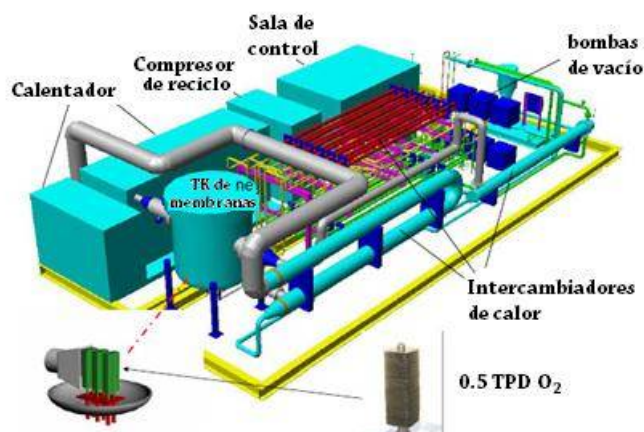


Figura 2.5. Isométrico del proceso de producción de oxígeno por tecnología de membrana por transporte iónico.

Fuente: Garrido, A. 2014.

2.1.5 Selección del proceso

El factor más importante es la capacidad del proceso. La tecnología de membrana de transporte iónico y el proceso SPA son de alta pureza de nitrógeno y oxígeno respectivamente, pero son de muy baja capacidad, que no abastecería el requerimiento de aproximadamente 5000 Nm³/h. La tecnología de membrana por transporte iónico prioriza la producción de oxígeno puro, pero en la actualidad es muy limitada y varía entre 30 a 150 Nm³ de oxígeno por hora.

El proceso criogénico es el proceso tradicional, abastece la capacidad deseada pero tiene un alto costo de inversión y de operación.

Respecto a la separación molecular con membrana es una tecnología que tiene más de 15 años en el mercado y cada año se optimiza para lograr altas producciones con altas purezas y con menor consumo de energía. En la Figura 2.6 se observa la comparación de las diferentes tecnologías respecto a su capacidad y pureza que se desea alcanzar del nitrógeno.

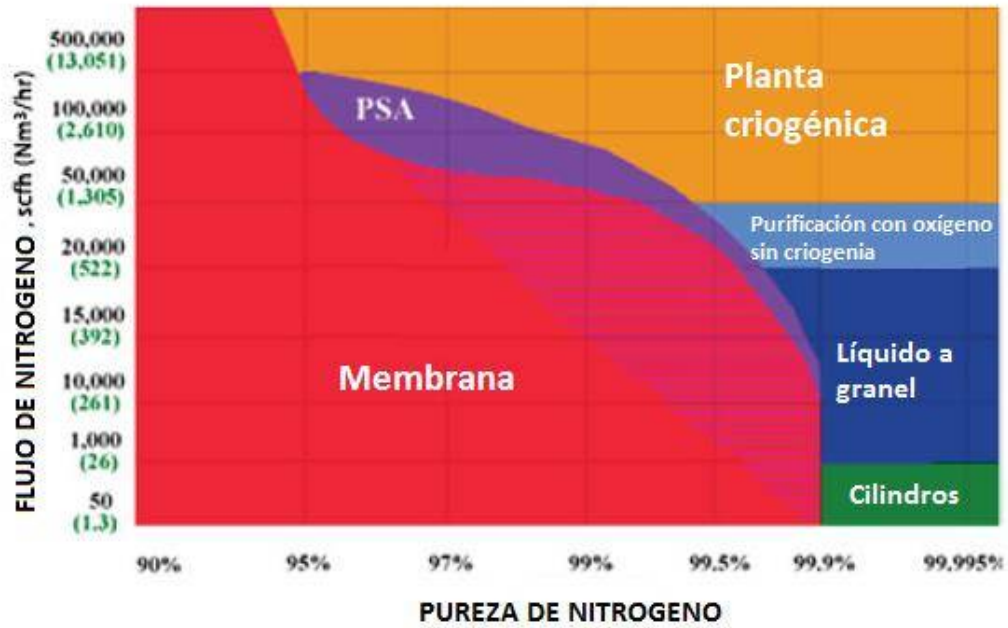


Figura 2.6. Diagrama de selección de proceso para producir nitrógeno del aire

Fuente: Igs – Innovative Gas Systems; 2010

La única alternativa que queda es el proceso con membrana que privilegia la separación de nitrógeno con pureza de hasta 99.5% y con capacidad por módulo de cerca de 5000 Nm³/h de nitrógeno, por lo que se tendría que operar con tres módulos en paralelo.

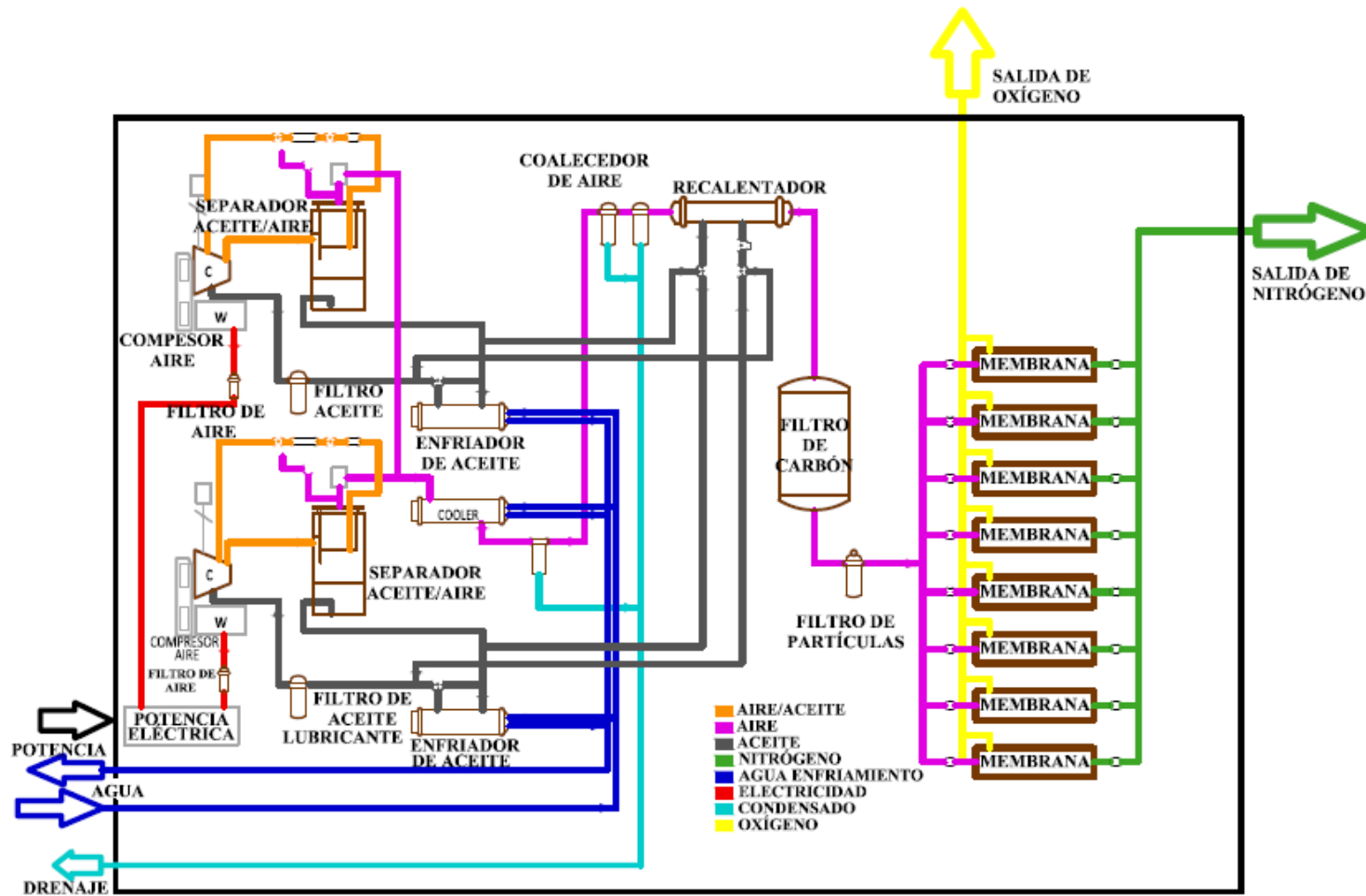


Figura 2.7. Diagrama de flujo del proceso de separación del aire en nitrógeno y oxígeno

Fuente: lgs – Innovative Gas Systems; 2010

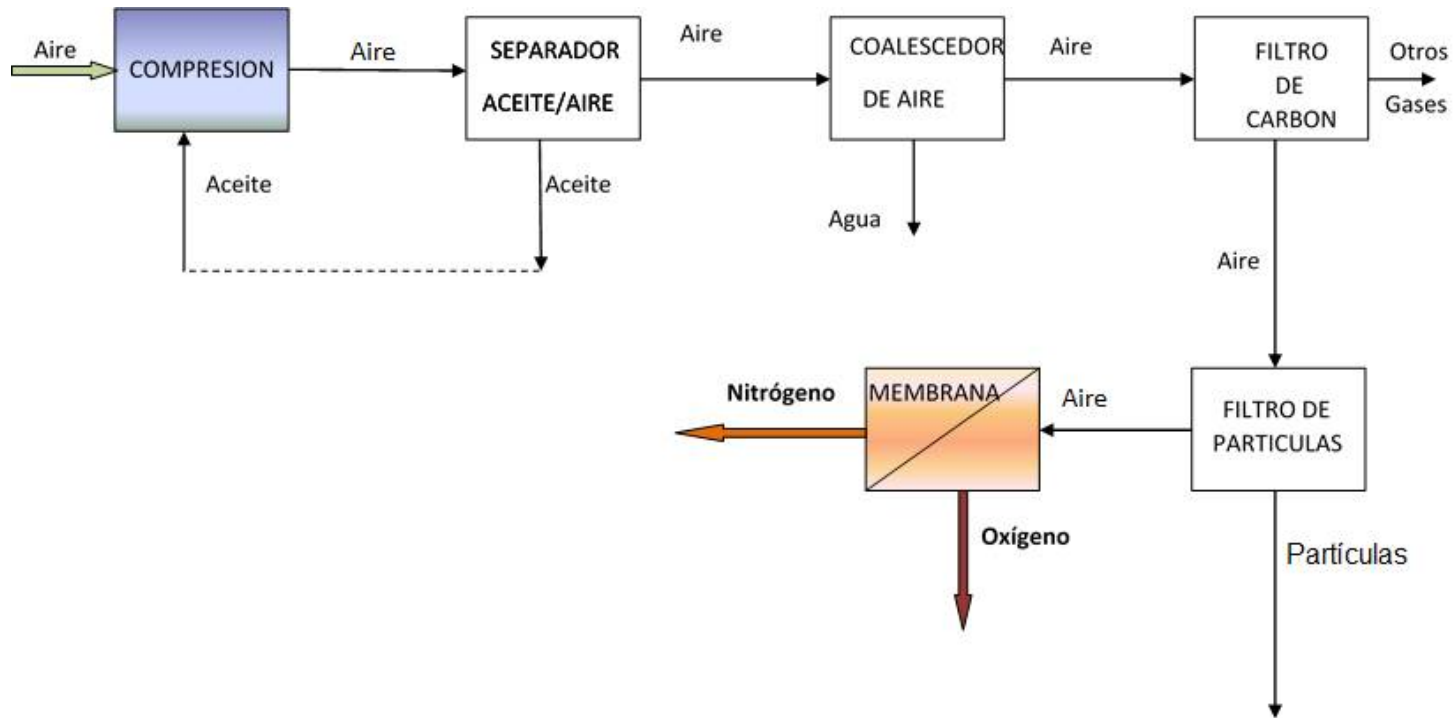


Figura 2.8.Diagrama de bloques para la obtención de Oxígeno y Nitrógeno a partir del aire usando membranas Moleculares.

Fuente: Los Autores

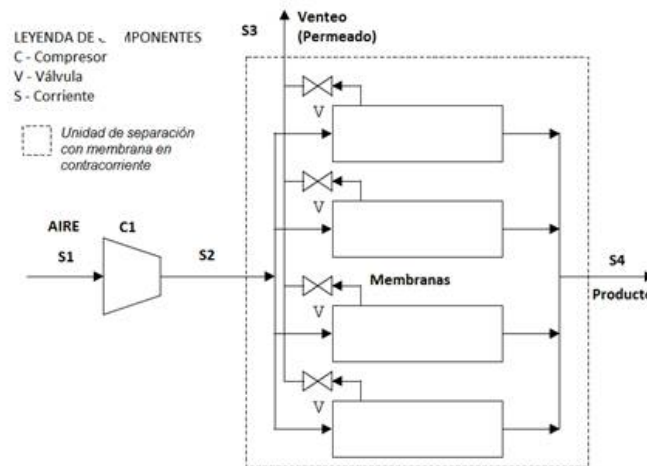


Figura 2.9. Balance de masa y energía para la producción de nitrógeno por membranas moleculares para un módulo de 3100 Npie³/min (4860 Nm³/h).

Fuente: Los autores

Corriente	Flujo Kmol/hr	Presión KPa	Temperatura K	Entalpia J/gmol	Composición (fracción molar)			Fase
					N ₂	O ₂	Otros	
S1	307.8464	101.325	294.26	-591.85	0.7894	0.2095	0.0011	Gas
S2	307.8464	790.800	294.26	-648.35	0.7894	0.2095	0.0011	Gas
S3	90.8464	103.430	294.26	-271.06	0.2986	0.6977	0.0037	Gas
S4	216.9600	790.80	294.26	- 1308.69	0.9950	0.0050	0.0000	Gas

Rendimiento: 1.4189 Kmól aire/kmól de nitrógeno

2.2 DESCRIPCION DETALLADA DEL PROCESO

La descripción del proceso se realiza en base al diagrama de la Figura 2.10, que representa el diagrama de flujo simplificado de la obtención de nitrógeno y oxígeno a partir del aire con el uso de membranas.

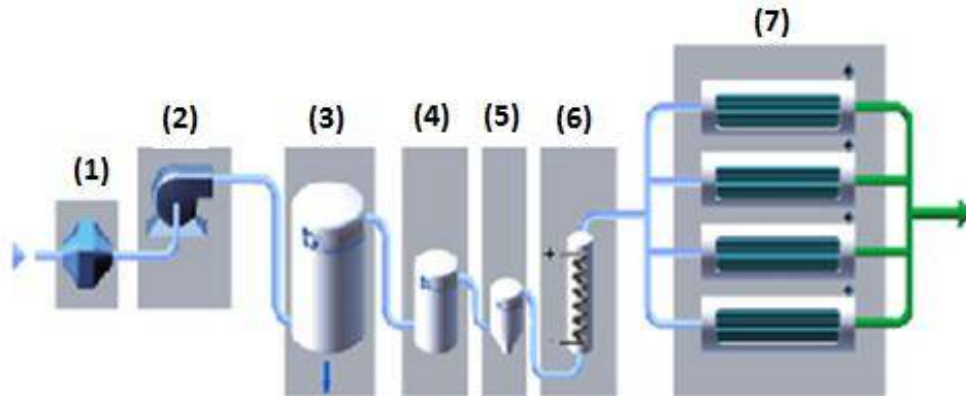


Figura 2.10. Diagrama de flujo del proceso.

Fuente: Igs – Innovative Gas Systems; 2010

En la primera etapa ingresa el aire a un filtro de aire (1) donde se limpia el aire ambiental antes que ingrese al compresor. De esta manera se asegura un mayor tiempo de vida del compresor. El aire limpio pasa a un compresor de alta eficiencia (2). Generalmente es un compresor de sinfín rotatorio lubricado con aceite diseñado para producir el flujo de aire requerido a la presión de operación con el mínimo consumo de potencia. El compresor trabaja en condiciones isotérmicas y la razón de compresión empleada es de 7.8, produciendo un aire comprimido de 790.8 kPa.

El aire comprimido ingresa a un tanque separador de aceite aire (3). La función primaria de este tanque es coleccionar y remover la masa de condensado oleoso y cualquier presencia de agua que es arrastrado en la entrada del aire comprimido. El tanque receptor de aire está equipado con un drenaje de condensado. Componentes típicos de la línea de drenaje del condensado incluye una válvula de bloqueo y un sifón.

El aire pasa por un coalecedor de aire para que el producto elimine restos de agua y de aceite para ser enviado a un lecho de carbón activado (4). Este está diseñado para absorber cualquier vapor de aceite residual que puede existir en el aire alimentado y fue introducido durante el proceso de compresión.

El aire limpio de vapores de aceite o de agua se hace ingresar a un sistema de filtros (5) para acondicionar al aire que va a ingresar al sistema de membranas. El proceso se realiza para separar cualquier partícula residual y de esta manera asegurar las membranas del módulo de separación del aire.

El aire después del sistema de filtros (5) pasa a un sistema de calentadores (6) con dos finalidades. Uno es elevar la temperatura del aire alimentado encima de su punto de rocío para evitar que agua líquida llegue a la membrana. La otra finalidad es mantener condición de estado estable al módulo de membranas para dar estabilidad al sistema.

Finalmente el aire ingresa a una unidad modular de membranas en la cual se realiza la separación del nitrógeno y el oxígeno del aire. Los módulos están llenos de un paquete cilíndrico de membranas de fibra hueca hechas de material polimérico. Cada paquete tiene millones de fibras, y cada fibra del tamaño de cabello humano. El aire comprimido entra en un extremo de las fibras y fluye por dentro de ellas hasta salir por el lado opuesto del paquete de fibras. La separación del gas se realiza conforme el aire presurizado hace contacto con las membranas. Los gases “rápidos” tales como el oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua rápidamente permean a través de las paredes de la fibra y salen a la presión atmosférica por medio de una compuerta de venteo sobre el lado de la carcasa del módulo. El nitrógeno, un gas “más lento” no permea a través de la fibra tan rápido bajo las condiciones de operación. Este sigue fluyendo por el interior de las fibras y sale en la compuerta de producto en el extremo de la carcasa del módulo. Este corriente de nitrógeno sale del casco a 2 -10 psi (0.13 – 0.7 bar) más bajo que la presión a la cual ingresa al casco del módulo. (lgs – Innovative Gas Systems; 2010).

2.3 BALANCE DE MASA Y ENERGIA

El balance de masa y energía se ha hecho considerando que el proceso de separación del aire en nitrógeno y oxígeno básicamente consta de dos operaciones unitarias: la presurización y la separación. El aire se comprime con una compresora de tornillo rotatorio lubricado con aceite y la separación se hace con módulos en paralelo de filtros con membrana.

El balance de masa se ha realizado en base a una composición de aire simplificada.

Aire seco (% en volumen)

- Oxígeno: 21%
- Nitrógeno: 78%
- Argón, dióxido de carbono, Neón, Helio, etc.: 1% (el más abundantes es el argón).

Teniendo en cuenta que la selección de los equipos de proceso se hace en base a flujo volumétrico a condiciones normales, el balance de masa se presenta en la Cuadro 2.1 en Nm^3/h . El balance se realizó empleando un programa para membranas comerciales separadoras de nitrógeno de la Universidad de Texas, Estados Unidos.

De los resultados encontrados en el balance de masa se deduce que los resultados son similares a los de la empresa IGS. La proporción de m^3 de aire por m^3 de nitrógeno producido alcanza un valor de 1.84, un valor cercano al que utilizan otros fabricantes de módulos separadores de nitrógeno que alcanzan en promedio 1.89.

Los parámetros que se consideraron para correr el programa de membranas se muestran en el Apéndice.

2.4 SELECCIÓN DEL MODULO DE PRODUCCION DE NITROGENO

2.4.1. CARACTERISTICAS GENERALES

Los equipos de producción de oxígeno y nitrógeno vienen en paquetes integrados, lo cual se conoce como plantas modulares. Estos sistemas tienen ventajas como ahorro de espacio de instalación y operación, la instalación es simplificada debido a que no hay que interconectar tubería ni cables eléctricos. Los proveedores de estos sistemas modulares lo abastecen completamente ensamblado y con certificación ISO 9001:2000.



Figura 2.11. Planta modular de producción de nitrógeno y oxígeno

Fuente: Igs – Innovative Gas Systems; 2010

A continuación se muestran algunos proveedores con sus características de las plantas modulares que estos ofertan, de los cuales se seleccionará el más conveniente.

IGS – Innovative Gas Systems: ofrecen plantas modulares de producción de oxígeno/nitrógeno bajo la marca registrada Generon®. Tiene presencia en Estados Unidos, Alemania, Italia, Rusia, China, Tailandia y U.E.A. Ofrece las siguientes ventajas:

- Purezas de nitrógeno hasta de 99.9%

- Punto de rocío del producto a -64°C
- Amplio rango de capacidades, desde módulos muy pequeños que producen $0.7 \text{ Nm}^3/\text{h}$ de nitrógeno hasta sistemas integrados de gran tamaño que producen $4915 \text{ Nm}^3/\text{h}$, con purezas de nitrógeno desde 95% hasta 99.9%.
- El aire requerido varía de $1.2 \text{ Nm}^3/\text{h}$ a $6309 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- El requerimiento de potencia varía de 3 HP (2.2 kW) a 1600 HP (1193 kW)
- Presión del producto en dos estándares: 200 psig (14 barg) y 330 psig (23 barg).
- Sistema diseñado a 10000 psig (689 barg) con post compresión.
- Sistema abastecido con control con plc completamente automático con capacidades para operarlo también en forma manual.
- Duración garantizada de membranas: 10 años

Atlas Copco-serie NGM: produce generadores de nitrógeno de membrana. Solo requiere un suministro de aire comprimido seco. Sin necesidad de instalación o puesta en marcha especializadas. Equipados con prefiltración, manómetros y caudalímetro que permiten una monitorización precisa del sistema en todo momento. Diseño modular para adaptarse a las necesidades específicas de su aplicación. Sus principales características técnicas son:

- Caudal de 5 a $500 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- Pureza de nitrógeno: mínima 90%, máximo 99.5%
- Presión de trabajo de la membrana: mínimo 4 bar, máximo 13 bar
- Temperatura de entrada de aire: mínimo 0°C , máximo 50°C
- Producción máxima real N_2 (13 bar, 30°C , 95% N_2): $420 \text{ m}^3/\text{h}$
- Ingreso real de aire seco (13 bar, 30°C): $1091.58 \text{ m}^3/\text{h}$

Air Products – PRISM® Nitrogen Series: estos sistemas proporcionan nitrógeno gaseoso a caudales mayores $800 \text{ Nm}^3/\text{h}$ y purezas de nitrógeno de 95% a 99.9% con presiones de hasta 12.5 bar.

Respecto a otros proveedores que tienen el mismo sistema ofrecen ventajas adicionales como: ahorro en 50% de espacio en la instalación; una conexión de potencia en lugar de tres; dos conexiones al enfriamiento de agua en lugar de cuatro, un drenaje para condensado en lugar de tres, no hay interconexión de líneas de aire; no hay compresores interconectados y otras ventajas (IGS, 2010).

Parker – NitroSource: con capacidades de 2.1 a 5000 m³/hr. Trabaja con membranas de alta permeabilidad, lo cual hace que respecto a sus competidores utilice menos fibras, el generador es más compacto, utiliza presiones de entrada aire menores, y las membranas son menos sensitivas a la contaminación y tienen larga duración. Tiene un sistema de control centralizado y mide el nivel de oxígeno el producto, flujo de los gases de salida, presión del gas de salida, arranque y parada y control remoto. Los filtros se cambian cada 12 meses. Mantenimiento mínimo, solo es necesario calibrar ocasionalmente el analizador de oxígeno. Para llegar a producciones de 5000 Nm³/h de nitrógeno se necesita un generador principal y varias sub-unidades anexas. En la figura se muestra el generador principal y una sub-unidad.



Figura 2.12. Generador principal de nitrógeno

Fuente: Parker ,2012

Angstrom Advanced Inc. – vende módulos de separación con membrana para producir nitrógeno en un rango de 1 a 1000 Nm³/h con una pureza de nitrógeno en el rango de > 95-99%, punto de rocío ≤ -40°C y con presión de trabajo de 0 – 2.0 MPa. Este fabricante ofrece la posibilidad de instalar el sistema DEOXO, una combinación de membranas con unidades catalíticas que usan hidrogeno, con lo cual la calidad del nitrógeno puede llegar a 99,99% de pureza con menos de 10 ppm de impurezas. En dicho sistema el oxígeno remanente reacciona con el hidrogeno para formar agua la cual es separada dejando nitrógeno con alta pureza.

2.4.2 MODULO SELECCIONADO

Por la gran capacidad que se necesita (**5000 Nm³/h**) se selecciona el módulo de producción de nitrógeno de **IGS – Innovative Gas Systems**. El modelo seleccionado del fabricante es el NPU 3100 que produce 3100 scfm o el equivalente a 81 Nm³/min o 4860 Nm³/h. De acuerdo a la capacidad requerida se va a necesitar un módulo, que representa un sobrediseño de aproximadamente 30%, lo cual permitirá trabajar con mayor flexibilidad y obtener la pureza de nitrógeno deseada (99.5%).

Las características principales de modelo NPU 3100 se muestra en el Anexo y se resume a continuación.

COMPRESOR DE AIRE:

Tipo: tornillo rotatorio con lubricación de aceite, enfriado con aire.

Salida: aire limpio y 100% exento de aceite (Certificación ISO 8573-1 Clase 0).

Potencia nominal: 2520 HP/1889 kW

Rango de velocidad: 1800 – 2100 rpm

Rango de temperatura de operación: -40°C/55°C

Fuerza motriz principal: motor diésel estándar

Máxima presión de trabajo: 330 psig/23 barg

Punto de rocío de nitrógeno (atmosférico): < -64°C

Nivel de ruido: 74 dB.

El sistema de compresión cuenta con separador de aceite (Ver Figura)

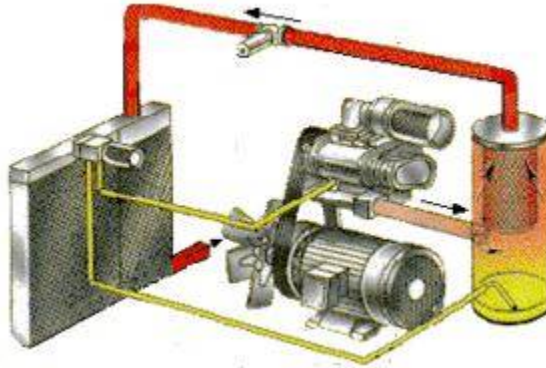


Figura 2.13. Compresor de aire

Fuente: Parker, 2009

COMPRESOR DE NITROGENO

Tipo: reciprocante, multietapas, enfriado con aire.

Salida: nitrógeno, 99.5% de pureza

Potencia nominal: 1092 HP/814 kW

Rango de velocidad: 1800 – 2100 rpm

Rango de temperatura de operación: -40°C/55°C

Fuerza motriz principal: motor diésel estándar

Máxima presión de trabajo: 5000 psig/345 barg

Nivel de ruido: 71 dB

Parker , (2009)

FILTRO COALESCENTE

Fabricante: Parker

Función: filtrar el aire, separando micro-gotas de aceite y agua y otras impurezas.

Modelo: FT6-1603 (grado 6)

Capacidad nominal: 5400 pie³/min

Capacidad requerida: 3100 pie³/min

Eficiencia de coalescencia con partículas de 0.3 a 0.6 micrones: 99.75%

Máximo arrastre de aceite: 0.008 ppm

Tamaño de membrana: 0.01 micrones
Caída de presión a flujo nominal: 1.5 psig
Tipo de filtro: tipo C (fibra microporosa de borosilicato)
Diámetro de entrada: 6 pulg
Número de elementos: 3
Altura total: 57.8 pulg
Diámetro del casco: 26.0 pulg
Ver Catalogo:
Parker, (2009)

FILTRO DE CARBON ACTIVADO

Fabricante: Kaeser
Función: adsorber y eliminar en forma controlada vapores de aceite
Modelo: ACT 859
Aire producido: clase 1 (DIN ISO 8573-1)
Contenido residual de aceite: hasta 0.003 mg/m³
Tiempo de servicio del filtro: 12000 horas
Capacidad nominal: 85.85 Nm³/min
Capacidad requerida: 81 Nm³/min
Dimensiones: largo 2725 mm, ancho 1502 mm, altura 1540 mm
Catalogo: Kaeser Compresores, S.L. (2007).

SECADORES POR REFRIGERACION

Fabricante: Kaeser
Función: separar los últimos vestigios de vapor de agua
Modelo: THP 850-45
Flujo nominal: 84.95 Nm³/min
Flujo requerido: 81 Nm³/min
Potencia efectiva absorbida: 10.21 kW
Conexión eléctrica: 400 V/3 PH/50 Hz
Conexión de entrada: DN 80

Purga de condensado: R ½

Dimensiones: largo 1464 mm, ancho 1362 mm, altura 1525 mm

Kaeser Compresores, S.L. (2009).

GENERADOR

Entrada de aire: aceite < 3 mg/m³, agua < 5°C del punto de rocío a presión.

Dimensiones: largo 6.2 m, ancho 2.5 m, alto 2.6 m

Área por membrana: 1700 pie²

Área total requerida: 263823 pie²

Área nominal: 272000 pie²

Número de membranas por modulo: 160

Kaeser Compresores, S.L. (2009).

SISTEMA DE CONTROL:

Tipo: panel electrónico centralizado, basado en PLC

Número de torres controladas: 3

Indicadores y controles

Indicador de oxígeno y alarma

Indicador de pureza

Presión de salida y alarma

Solicitud automática de mantenimiento (componentes del generador y cartuchos filtrantes).

Accesorios

Válvulas neumáticas de entrada de aire

Silenciador de purga

Válvula antirretorno

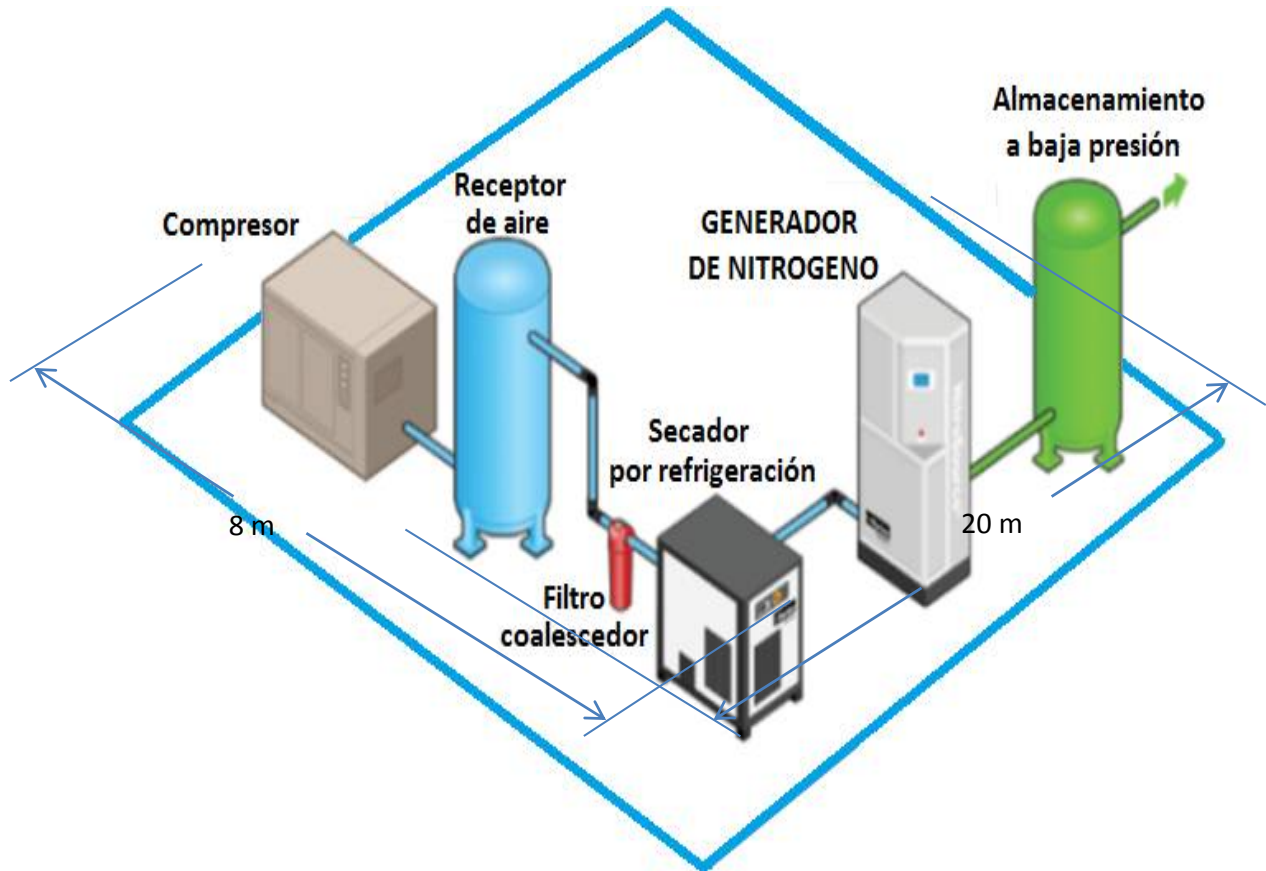
Regulador de presión de la entrada de aire

Válvula de seguridad

Válvulas de ventilación neumáticas

Kaeser Compresores, S.L. (2009).

DISTRIBUCION DE LA PLANTA

**Figura 2.14.** Distribución de la planta**Fuente:** Los Autores

CAPÍTULO III

EVALUACION ECONOMICA

Durante el presente capítulo, se hace una descripción detallada del Balance Económico del proyecto, donde se evalúa la factibilidad económica del mismo.

La evaluación económica del presente proyecto obedece a la dinámica seguida por la mayoría de proyectos de Plantas de procesos Químicos, según esto, se ha considerado dos aspectos importantes como la Estimación de la inversión total y Estimación del costo total de producción.

3.1 ESTIMACION DE INVERSION TOTAL

La inversión total es el capital necesario para la ejecución del proyecto y se estima en **\$ 2157310**

La inversión total está constituida por la inversión de capital fijo que asciende a **\$ 1797759** y un capital de trabajo u operación estimada en **\$ 359551**.

3.1.1 INVERSION DE CAPITAL FIJO

El costo fijo es de **\$ 1797759** y está formado por la suma de los costos directos y los costos indirectos de la planta.

A. COSTO DIRECTO O FÍSICO

El costo directo es **\$ 1590560** y está constituido:

- Costo total del equipo en planta.
- Costo total de todo el equipo

- Costo total de Instrumentación y Control (Instalado).
- Costo total de Tuberías y accesorios (Instalado)
- Costo total de sistema eléctrico (Instalado)
- Costo de edificios (Inclusive servicios)
- Costo de Mejores de Terrenos
- Costo de Servicios (Instalado)

B. COSTOS INDIRECTOS

El costo indirecto es **\$ 207199** y está constituido por:

- Costo de ingeniería y supervisión.
- Costos de construcción
- Costo de seguro e impuesto de la construcción
- Gastos Honorarios para contratistas
- Gastos Imprevistos

a. EQUIPO PRINCIPAL Y AUXILIAR DE PROCESO

La planta está constituida por un módulo pre-fabricados que básicamente tienen un sistema de compresoras (para aire y para nitrógeno), un sistema de filtración molecular y sistema de control y automatización con las respectivas instalaciones de tubería y de electricidad. La estimación del costo de los equipos que forman los módulos se hizo sobre la base de: Capacidad y el costo se ha actualizado al 2015 con los respectivos índices (Ver Apéndice).

El costo FOB del módulo, actualizado por capacidad y por tiempo es de **\$919170.**

El costo CIF de los cuatro módulos se considera **\$ 1194921.**

b. EQUIPO EN PLANTA

Para colocar el módulo en la planta se consideran un costo de 2% del costo CIF, entonces el costo de los equipos principal y auxiliar puestos en planta asciende a **\$ 1218819**

c. INSTALACION DE TODO EL EQUIPO

Por ser una planta modular, es decir viene pre-armado, el costo de instalación es bajo. Se considera un 10% del costo del equipo en la planta. Se obtuvo un costo de instalación de **\$ 121882.**

d. INSTRUMENTACION Y CONTROL

Los módulos traen sistema de instrumentación y control pre-instalados. Se considera 5% del costo del equipo en la planta. Asciende a **\$ 60941.**

e. TUBERIAS Y ACCESORIOS

Los módulos traen tuberías y accesorios pre-instalados. Se considera 5% del costo del equipo en la planta. Asciende a **\$ 60941.**

f. SISTEMA ELECTRICO

Para todo el sistema instalado, se obtiene un costo de **\$ 36565.**

g. EDIFICIOS

Constituido por los gastos de mano de obra, materiales y suministros para la construcción de todas las áreas edificadas de la planta. La planta modular estará dentro de la planta siderúrgica.

La estimación es basándose en los precios que rigen las construcciones en el Perú, el costo es de **\$ 24376**.

h. MEJORAS DE TERRENOS

Teniendo en cuenta que la planta de nitrógeno se instalara dentro de la planta siderúrgica el costo es mínimo. Se considera un costo de **\$ 18282**.

i. SERVICIOS

Requiere un mínimo de servicios, no requiere vapor. Se considera 4% del costo de equipo. Ascende a **\$ 48752**.

3.1.2 CAPITAL DE TRABAJO

Está formado por el dinero necesario para operar la planta hasta que se obtenga ingresos por venta de productos. Es de **\$ 361989** y está constituido por el 20% del capital fijo. El costo más elevado es el gasto de electricidad para operar los compresores.

3.2 ESTIMACION DEL COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN

El costo total de fabricación está constituido por el costo de manufactura y los gastos generales. El costo total anual es de **\$ 11165869** cuando la planta opera al 100% de su capacidad instalada.

3.2.1 COSTO DE FABRICACION

Este renglón incluye:

- Costo directo de fabricación.
- Costos indirectos.
- Costos fijos.

A. COSTO DIRECTO DE FABRICACION

Constituido por los costos de materia prima, mano de obra, supervisión e ingeniería, mantenimiento, auxiliares y servicios y costos de suministros de operación.

a. MATERIA PRIMA

Se considera el costo de las membranas, su tiempo de vida es de 10 años, pero se cambian cada 3 años. Por modulo son 160 membranas, es decir que en total es 640 membranas, es decir que por año serian 54 membranas. Otro gasto, tal vez el más importante, y en este caso se considera como insumo es el costo de la electricidad para mover las dos compresoras, una para aire alimentado (1880 kW) y una compresora para nitrógeno (814 kW), trabajando 8000 horas al año, y con un costo de 0.12 dólares por kW-h, costo rebajado por la cantidad de electricidad contratada de la red o por la generación de ella con grupos estacionarios.

El costo de materia prima asciende a **\$ 2597240.**

b. MANO DE OBRA

Por ser una planta automatizada se considera 7 personas por turno, siendo el costo total al año de **\$ 195000.**

c. SUPERVISION E INGENIERIA

En este renglón se considera todo el personal comprometido con la supervisión directa de las operaciones de producción de las distintas instalaciones, el costo de supervisión es de **\$ 19500.**

d. MANTENIMIENTO

Están comprendidos los gastos que se requieren para mantener la planta en óptimas condiciones de operación, y se estima como el 5% del capital fijo que es **\$ 89888.**

e. AUXILIARES Y SERVICIOS

Se considera los gastos por conceptos de lubricantes, pintura, agua, energía eléctrica, etc. para su estimación se ha considerado el 50% del costo anual de mantenimiento. Ascende a **\$44944.**

f. GASTOS DE SUMINISTROS DE OPERACION

Se considera los gastos por conceptos de equipos de oficina, materiales de limpieza, etc. para su estimación se ha considerado el 20% del costo anual de mantenimiento, cuyo costo es **\$ 17978.**

B. COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN

Comprende los gastos de laboratorio, cargas a la planilla y los gastos generales de la planta. Ascende a **\$ 118950.**

a. CARGAS A LA PLANILLA

Constituye todos los gastos por concepto de beneficios sociales. Se ha considerado como el 21% de la mano de obra, dando un total de **\$ 40950.**

b. LABORATORIO

Comprende los costos de los ensayos de laboratorio para el control de las operaciones y el control de calidad del producto, así como también las remuneraciones por supervisión.

Costo: 20% del costo de mano de obra. Asciende a **\$ 39000.**

c. GASTOS GENERALES DE LA PLANTA

Lo conforman gastos destinados a satisfacer servicios, tales como: asistencia médica, protección de la planta, limpieza, vigilancia, servicios recreacionales, etc.

Se ha estimado como el 20% de la mano de obra. Asciende a **\$ 39000.**

C. COSTOS FIJOS DE FABRICACION

Los costos fijos son independientes del volumen de producción de la planta, están formados por la depreciación, impuestos y los seguros.

a. DEPRECIACIÓN

El capital sujeto a depreciación es el capital fijo total excluyendo el costo del terreno. Para determinar se ha considerado el 10% del capital fijo, asciende a **\$179776.**

b. IMPUESTOS

El pago de impuestos se considera el 3% del capital fijo total, **\$ 53933.**

c. SEGUROS

Se ha considerado el 1% del capital fijo total, **\$ 17978.**

3.2.2 GASTOS GENERALES

Comprende los gastos realizados por concepto de: administración, ventas y distribución, investigación y desarrollo. Y se obtiene un resultado de **\$52773**.

COSTO TOTAL DE FABRICACION

La suma de los costos de fabricación (\$3335186) y los gastos generales. La suma asciende a **\$ 3387959**.

3.2.3 BALANCE ECONÓMICO Y RENTABILIDAD

En el análisis de la rentabilidad del proyecto se considera el precio de venta por pie³ a condiciones normales: **\$0.004**.

A. RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN

Antes de Impuesto:

Se expresa como la relación porcentual entre las utilidades antes de impuestos y de inversión total.

El retorno sobre la inversión antes de los impuestos obtenidos es de 116.56 %, lo que demuestra la factibilidad económica del proyecto.

Después del Impuesto:

Se expresa como la relación porcentual entre las utilidades después de impuestos y de inversión total.

El retorno sobre la inversión después de impuestos obtenidos es de 87.83%, lo que demuestra nuevamente la factibilidad económica del proyecto.

B. TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Es el tiempo expresado en años, en que se recupera la inversión de capital fijo, operando la planta al 100% de su capacidad instalada.

El tiempo de repago antes de impuestos es de 0.89 años y después de impuestos es de **1.14**años.

C. PUNTO DE EQUILIBRIO

Es el nivel de producción, en el cual no se obtiene ni pérdidas ni ganancias.

Para el presente proyecto se obtiene una cantidad de equilibrio de **210893220 pie³/año**, siendo el punto de equilibrio de **14.17%**.

INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO				
1.1	Capital Fijo Total			\$ 1797759
	1.1.1 Costos Directos			\$1590560
	a.	Equipo en planta	\$ 1218819	
	b.	Costo de Instalación de todo el equipo	\$ 121882	
	c.	Costo de Instrumentación y Control (Ins)	\$ 60941	
	d.	Costo de Tuberías y Accesorios (Ins)	\$ 60941	
	e.	Costo de sistema eléctrico (Ins)	\$ 36565	
	f.	Costo de edificios (incluye servicios)	\$ 24376	
	g.	Costo Mejoras de Terrenos	\$ 18282	
	h.	Costo Servicios (Instalado)	\$ 48752	
	1.1.2 Costos Indirectos			\$207199
	a.	Costo de Ingeniería y Supervisión	\$ 36565	
	b.	Costos de construcción	\$ 60941	
	c.	Costo de seguro e impuesto de la construcción	\$ 36565	
	d.	Gastos Honorarios para contratistas	\$ 36564	
	E	Gastos imprevistos	\$ 36564	
1.2	Capital de trabajo (20% Capital Fijo Total)			\$ 359551
INVERSIÓN TOTAL DE PROYECTO				\$ 2157310

Cuadro 3.1. Inversión Total del Proyecto

FUENTE: Los Autores

Cuadro 3.2. ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS

<i>Producción anual</i>	1488000000	pie ³
<i>Precio de venta por unidad</i>	0.004	\$/pie ³
<i>Ingreso neto de ventas anuales</i>	5952000	\$
<i>Costo total de fabricación (producción)</i>	3387959	\$
<i>Utilidad Bruta</i>	2564041	\$
<i>Impuesto a la renta (30 %)</i>	591702	\$
<i>Utilidad neta</i>	1 972 339	\$
<i>Ingreso neto de ventas anuales = Producción anual * Precio de venta unitario</i>		
<i>Utilidad Bruta = Ingreso Neto de Ventas Anuales - Costo Total de Fabricación</i>		
<i>Utilidad Neta = Utilidad Bruta - Impuesto a la Renta.</i>		

FUENTE: Los Autores

Cuadro 3.3.ANALISIS ECONOMICO

			ANÁLISIS ECONÓMICO			
				Valor	Aceptable	
			a. Retorno sobre la Inversión antes del pago de impuestos	116.56%	> 35 %	
			b. Retorno sobre la Inversión después del pago de impuestos	87.83%	> 12 %	
			c. Tiempo de recuperación del dinero	1.14	< 5 años	
			d. Punto de equilibrio	14.17%	< 50%	
			e. Relación beneficio – costo	0.5822	-----	

FUENTE: Los Autores

IV. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

De manera general la producción de nitrógeno y oxígeno usando membranas moleculares no perjudica de ningún modo el medio ambiente, ya que los insumos son exclusivamente el aire atmosférico, tomado por un compresor, filtrado y procesado; los gases no utilizados, son expulsados al aire del cual provino unos minutos antes. En cuanto al “tamiz molecular”, componente principal de los equipos, se trata de materiales inertes, sin acción química, autoregenerante, que supuesto un correcto mantenimiento del equipo, tiene una larga vida útil de cerca de 10 años. Sin embargo es recomendable cambiar los cartuchos cada tres años. Por lo expresado se considera que el impacto ambiental, respecto a la contaminación de aire o aguas es nulo.

Pero teniendo en cuenta que el sistema de refrigeración de las compresoras y otros filtros separadores tendrán algunos efluentes en muy pequeñas cantidades a continuación se hará una evaluación cualitativa de la posible contaminación que se presentaría por la instalación de la futura planta de producción de nitrógeno y oxígeno a partir del aire.

4.1 Contaminación en el sistema de refrigeración de las compresoras

Una fuente de bajo nivel de contaminación, pero que se debe tener en cuenta es el aceite de refrigeración de las compresoras. La compresora de aire es de 2520 HP y la compresora de nitrógeno es de 1092 HP, por lo tanto son de tamaño grande. Por este gran tamaño las compresoras requieren de un sistema de refrigeración con aceite.

Con el uso este aceite se va contaminando por la presencia de agua, por el desgaste de la máquina, degradación del aceite por excesivo calentamiento y el ingreso de aire que produce oxidación del aceite. Si existiera alguna falla en el sistema de lubricación, como por ejemplo una mala separación del agua, se tendría que eliminar el aceite, lo cual significa se debe tener una forma de disposición del aceite desechado para no contaminar las aguas de desagüe de la

empresa. Una alternativa sería filtrar el aceite y utilizarlo como combustible dentro de la planta industrial. Otra alternativa interesante es el uso de aceites de alta calidad no tóxicos y biodegradables, de tal forma que el poco aceite que saldría en las aguas condensadas del sistema de separación aceite-agua no ocasionaría daño al medioambiente.

El control de la temperatura del compresor debe cuidarse de sobremanera que no sobrepase los 150°C porque a esta temperatura el aislamiento de las bobinas del motor se descompone en compuestos tóxicos que puede dañar la salud de las personas.

Los sellos deben seleccionarse de tal manera que no se presenten fugas o problemas operativos después de un corto plazo.

4.2 Contaminación sonora

Existirá un mínimo de contaminación sonora por el funcionamiento de los grandes compresores, que perjudicaría al personal operativo de la planta. Los compresores “más silenciosos” del mercado tienen un nivel de ruido que varía entre 69 – 75 dB. Los especialistas indican que por ejemplo, 8 horas diarias de exposición a un ruido de 85 dB, con el tiempo puede comenzar a dañar los oídos de una persona.

Para mitigar este efecto se proveerá de dispositivos de seguridad industrial para evitar daños por sordera. Uno de los dispositivos recomendables son los tapones de oídos que pueden eliminar hasta 25 dB de sonido.

4.3 Contaminación del aire

Según el balance de masa la pureza de la corriente de oxígeno tiene 69.77% mol de O_2 . La diferencia es nitrógeno y algo de agua. En estas condiciones se puede optar por enviar esta corriente a un separador de membrana que separa O_2 obteniéndose purezas de hasta 99.9%. Un ejemplo de este proceso es el generador de oxígeno – PSA. De esta manera se obtendría una corriente de gran valor comercial y que en una planta siderúrgica tiene uso en la etapa de conversión del acero.

En el caso que no se desea purificar la corriente de oxígeno con 69.77% de pureza, esta se puede enviar a las calderas, donde como comburente con gran contenido de oxígeno se tendrá una mayor eficiencia de la caldera. No solo mejora la eficiencia de combustión porque se utiliza y se produce menos volumen de gases, sino también se logra mayores temperaturas de combustión. Las tecnologías de combustión mejorada con oxígeno pueden ayudar a incrementar el rendimiento del horno mediante la sustitución del aire de combustión por oxígeno. Incluso un pequeño aumento de la concentración de oxígeno puede tener un impacto espectacular sobre los procesos en los hornos, especialmente cuando se emplean combustibles de bajo poder calorífico o cuando se mejoran los procesos o se recupera el control de los hornos cuando los dispositivos de recuperación del calor están deteriorados. Mediante la reducción o eliminación del nitrógeno inerte en el horno, se ha demostrado que las tecnologías de combustión mejoradas con oxígeno aumentan la producción, disminuyen el consumo de combustible y reducen las emisiones al tiempo que mantienen o incluso aumentan la calidad del producto (Tiempo Real S.A., 2011).

4.4 Contaminación del agua condensada del aire

Después del enfriamiento del aire comprimido, según el fabricante de compresores Ingersoll Rand con aire de 50% de humedad relativa, un compresor de 7.5 HP que produce 100 pies³/min a 100 psi genera aproximadamente 17 litros por día. (Ingersoll-Rand, 2016)

Esta agua debe ser purgada al sistema de evacuación de aguas residuales.

Estudios realizados sobre el nivel de contaminación de esta agua indican que la presencia de dióxido de carbono es muy baja para considerarlo como peligro al medio ambiente.

4.5 Contaminación en los filtros separadores de partículas

El aire que ingresa a las compresoras es previamente filtrado para separar partículas de tamaño mayor 1 mm y menor que 5 mm, obteniéndose un aire de

Clase 1 que según el fabricante de compresoras HITACHI que producen aire comprimido libre de aceite, tiene la siguiente distribución de partículas sólidas:

Partículas ($0.10 < d \leq 0.5$): máximo 100 partículas

Partículas ($0.5 < d \leq 1.0$): máximo 1 partícula

Partículas ($1.0 < d \leq 5.0$): máximo 0 partículas

El aceite que se podría contaminar tendría de esta forma un contenido de aerosol de $\leq 0.01 \text{ mg/m}^3$. (Hitachi, 2016)

Por los datos expuestos se demuestra que los sólidos que se deben retirar de los filtros son cantidades muy pequeñas, que con una debida disposición no crearía contaminación ambiental.

Los tipos de calidad de aire están separados en seis clases de los tres tipos de contaminantes: sólidos, humedad y agua líquida y aceite. Las partículas sólidas (como polvo o incrustaciones de las tuberías) se eliminan con filtros. La humedad y el agua se eliminan con los secadores de aire comprimido. El aceite (líquido y vapor) se elimina mediante filtros de aceite coalescentes y filtros de carbón activado para adsorción de vapor de aceite.

Sin embargo, HITACHI, propone un sistema para la eliminación de aceite en suspensión en el circuito cerrado de la caja de engranajes. De esta manera se elimina la necesidad de los filtros de aceite coalescente y filtro de carbón activado para adsorción de vapor de aceite. El proceso patentado por HITACHI crea un sistema de eliminación del vaho de aceite en el circuito cerrado de la caja de engranajes que recicla el aceite y lo devuelve a la caja de engranajes. Entre 1 y 3 cfm (28 y 85 l/min) de aire comprimido se regula a través de un tubo venturi. El venturi, hace un vacío en la caja de engranajes y retira el vaho de aceite hacia un filtro coalescente. El aceite se retira del fondo de la carcasa gracias a una trampa a flotador y se devuelve a la caja de engranajes.

V.CONCLUSIONES

- Al finalizar este proyecto se concluye que es rentable y el retorno sobre la inversión es de 116.56% antes de impuestos y de 87.83% después de impuestos; lo que conlleva a asegurar que es factible instalar una planta de separación de aire en nitrógeno y oxígeno con tecnología de membranas. Los valores encontrados han sido considerando un precio de venta de 0.004 dólares/pie³.
- Considerando a precio de venta de mercado del nitrógeno (0.1 dólares/pie³) la empresa siderúrgica tendrá ahorros más considerables.
- Que existe un mercado asegurado para el consumo de los productos, puesto que el nitrógeno y oxígeno tienen amplio uso dentro de la siderúrgica.
- Que técnicamente es factible y se puede separar el aire en sus componentes, lográndose nitrógeno con pureza de 99.5% y oxígeno con pureza cerca de 80%.
- La factibilidad económica se interpreta con los siguientes indicadores:
 - La inversión total para la instalación de la planta para la obtención de oxígeno y nitrógeno asciende a \$ 2 157 310.
 - Punto Equilibrio del proyecto 14.17%.
 - Tiempo de recuperación de la inversión 1.14 años antes de impuestos
 - La tasa de retorno sobre la inversión es de 87.83 % después de los impuestos.
 - El precio costo por pie³ es \$ 0.0023.
 - El precio de venta por pie³ es \$ 0.004 colocado en fábrica.
- La planta estará al cuidado del medio ambiente, respetando la norma vigente.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la instalación de la planta de producción de nitrógeno y oxígeno en la siderúrgica SIDERPERU.
- Se recomienda purificar el oxígeno para ser usado en la etapa de conversión del acero. Como primera medida se puede alimentar a los hornos para ayudar en la combustión.

VII. BIBLIOGRAFIA

Air Products; (2010). PRISM® Nitrogen Series Membrane Generator. Air Products and Chemicals, Inc. Recuperado el 28 de Abril de 2015, from http://www.airproducts.co.uk/Gas_Generation/pdf/prism_membrane_generators.pdf

América Economía. (2014). Ranking de 500 las mayores empresas del Perú y América Latina. Siderurgica/Metalurgia. Recuperado el 20 Marzo de 2015, from

Aplicaciones De Aire En La Industria. (2012). prezi.com. Recuperado el 23 de Julio del 2015, de <https://prezi.com/02apr6uey3cg/aplicaciones-de-aire-en-la-industria/>

Atlas Copco. (2011). Generadores de nitrógeno PSA. NG Series. Recuperado el 28 Junio del 2015, de <http://rankings.americaeconomia.com/las-500-mayores-empresas-de-latinoamerica-2014/>
<http://www.atlascopco.com/nitrogenes/products/nitrogengenerator/>

Chimbote, G. (2008). Desarrollo Peruano: Gran Inversión en Siderúrgica de Chimbote. Desarrollo peruano.blogspot.pe. Recuperado el 27 Julio del 2015, de <http://desarrolloperuano.blogspot.pe/2008/09/gran-inversin-en-siderrgica-de-chimbote.html>

Definición de Aire. (2014). Definición ABC. Retrieved 19 May 2014, from <http://www.definicionabc.com/general/aire.php>

Drews T. Y Fenwick M. (2004). Preliminary Design of Nitrogen Processes: PSA and Membrane Systems. Carnegie Mellon University-Chemical Engineering Department.

Enríquez B. Y Tremps G. (2007). Monografías sobre Tecnología del Acero- Parte I. Metalurgia Secundaria. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 12 de Julio del 2015 de . http://oa.upm.es/1000/1/Berciano_Tremps_01.pdf

Estrucplan On Line - Artículos. (2015). Estrucplan.com.ar. Recuperado el 10 de Mayo del 2015, de
<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=384>

Fogash K. (2007).Oxygen Production Technologies: Cryogenic and ITM. International Oxy-Combustion Research Network. Hilton Garden Inn. Windsor, CT, USA. Hosted by: Alstom Power Ind.

Garrido, A. (2014). Tecnologías de separación del aire. Ingenieriaquimica.net Recuperado el 27 de Julio del 2015, de
<http://www.ingenieriaquimica.net/articulos/343-tecnologias-de-separacion-del-aire>

Gerdau – Siderperu. Recuperado el 27 Agosto del 2015, de
<http://www.sider.com.pe/Default.aspx>

Hitachi. (2016). El Aire Comprimido Libre de Aceite Asegura Confiabilidad y Productividad. Recuperado el 20 de mayo del 2016, de
(http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-07-05_10-52-54106233.pdf).

Ideam-Uis. (2010). Tecnología Más Limpias: Desempeñó ambiental de la tecnología en la industria colombiana. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en convenio con Universidad Industrial de Santander (UIS), Colombia. .

Igs – Innovative Gas Systems; (2010). Tecnología – Generador de Nitrógeno Membrana. [online] recuperado de:
<http://www.igs-global.com.mx/products/tecnologia.html>

Industrial, Q. & Callao, O. (2012). Oxígeno — Comprar Oxígeno, Precio de , Fotos de Oxígeno, de Aga, S.A.. Oxígeno en Allbiz Callao Peru. All-Biz Ltd. Recuperado el 26 Abril del 2015, de <http://www.pe.all.biz/oxgeno-g27465#.VuYk-vnhDIU>

Industrial, Q. & Callao, N. (2012). Nitrógeno — Comprar Nitrógeno, Precio de , Fotos de Nitrógeno, de Aga, S.A.. Nitrógeno gaseoso en Allbiz Peru. All-Biz Ltd. Recuperado el 19 Julio 2015,de <http://www.pe.all.biz/nitrgeno-g27464#.VuYkSPnhDIU>

Ingresoll-Rand, (2016). Curso básico de aire comprimido. Recuperado el 15 de mayo del 2016 de (http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-07-05_10-52-54106233.pdf).

Jaqueline Zacarías, M. (2015). El oxígeno y su descubrimiento. - Monografias.com. Monografias.com. Recuperado el 15 Junio del 2015, de <http://www.monografias.com/trabajos94/oxigeno-y-su-descubrimiento/oxigeno-y-su-descubrimiento.shtml>

Kaeser Compresores, S.L. (2007). Adsorbedores de carbón activo. Serie ACT. Recuperado el 14 de Setiembre del 2015, de <http://www.kaeser.es/Images/P-718-SP-tcm11-12568.pdf>

Kaeser Compresores, S.L. (2009). Secadores frigoríficos. Serie THP. Flujo volumétrico desde 0.38 hasta 106.18 m³/min. Recuperado el 10 de Mayo del 2015, de <http://www.kaeser.es/Images/P-017-SP-tcm11-191048.pdf>

Linde, 2012. Hoja de seguridad del material (SDS) nitrógeno comprimido. The Linde Group. Versión 07. Pags. 6.

Maximixe, (2014). Comportamiento del sector siderometalúrgico del Perú. Consultora de Estudios de Mercados. Lima, Perú. Recuperado el 03 enero del 2015, de

<http://rpp.pe/economia/economia/maximixe-produccion-de-acero-de-peru-crecera-76-el-2014-noticia-699257>

Maximixe: Producción De Acero De Perú Crecerá 7,6% El 2014. (2014). rpp.pe. Recuperado el 20 Junio del 2015, de <http://rpp.pe/economia/economia/maximixe-produccion-de-acero-de-peru-crecera-76-el-2014-noticia-699257>

N.F.P.A., (2010). Inspection Manual Bulk Oxygen Systems at Consumer Sites. Revisión 2010. Boston, Massachusetts.

Parker. (2009). Finite Filter Operation. ASME Code Filter Vessels – Compressed Air & Gas Filtration. Recuperado el 30 de Abril del 2015, de <http://www.valin.com/Newsletters/2012/November/Life-Science/Parker-Domnick-Hunter-Oil-X-Air-Filters.PDF>

Parker, (2012). Industrial Nitrogen Gas Generation-Technology Overview. Recuperado el 30 de Agosto del 2015, de http://www.parker.com/literature/Literature%20Files/watts/cat/0730-2_General%20Line.pdf

Praxair. (2011). Es.wikipedia.org. Recuperado el 17 Abril del 2015, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Praxair>

Rojas Cruz M. (2007). Gases en la Metalurgia: Poderosos Trabajadores Invisibles. *Metal Actual*; Agosto-Octubre, Colombia.

Universidad De Cádiz. (2011). Historia Del Nitrógeno — Tablaperiodica.uca.es. Recuperado el 30 de marzo de Agosto del 2015, de <http://tablaperiodica.uca.es/Tabla/elementos/Nitrogeno/Grupo1/historia>

Tecnología – Generador De Nitrógeno Membrana. (2010). Igs-global.com.mx.

Recuperado el 02 Junio del 2015, de

<http://www.igs-global.com.mx/products/tecnologia.html>

Tiempo Real S.A. (2011). Optimización de la Combustión. Formación en Control de Procesos. Recuperado el 20 de agosto del 2015, de

<http://www.tiemporeal.es/archivos/optimizacioncombustion.pdf>.

Wagner, M. (2015). El Aire - Monografias.com. Monografias.com. Recuperado el 18 de Mayo del 2015, de <http://www.monografias.com/trabajos/aire/aire.shtml>

VIII. APENDICE

1. CONSUMO DE NITROGENO Y OXIGENO

A. PLANTA DE PRODUCCION DE ACERO –SIDERPERU

A.1 consumo de oxígeno

Para la conversión: $22.5 \times 400000 = 9000 \text{ ton/año}$

Para otros usos: corte, soldadura, 30% adicional

Demanda total: $1.3 \times 9000 = 11700 \text{ ton/año}$

A.2 consumo de nitrógeno

Si se cambia al método de acero cuchara, por cada 10 ton se consume de nitrógeno los siguientes flujos: 255-275 m³/h al inicio (12 minutos), luego se rebaja a 225-248 m³/h (13 minutos) y finalmente se mantiene entre 210-225 m³/h (12 minutos (Enríquez B. y Tremps G.; 2007). Se considera un tiempo entre arrancar y apagar el sistema de agitación de 70 minutos.

Producción anual:

400000 toneladas al año

Promedio: $(275 + 248 + 225)/3 = 249.3 \text{ m}^3/\text{h}$

Por carga (40 minutos): $249.3 (40/60) = 166.2 \text{ m}^3$

Numero de cargas: $400000/10 = 40000 \text{ cargas}$

Volumen total al año: $40000 \times 166.2 = 22844640 \text{ m}^3$

Toneladas de nitrógeno al año: 31273 toneladas

Transformando a flujo volumétrico: **47.6 Nm³/min**

Para otros usos: se considera un 30% adicional

Por tanto demanda de nitrógeno: $47.6 \times 1.3 = \mathbf{61.9 Nm^3/min} = 40794 \text{ ton/año}$

B. PLANTA DE PRODUCCION DE ACEROS AREQUIPA

B.1 Consumo de oxígeno

Acero a partir de arrabio: 133.5 kg/ton acero

Acero a partir de chatarra: 22.5 kg/ton acero

Considerando un consumo promedio de 35 kg/ton acero

Oxígeno necesario: $750000 \times 35 = 26250$ ton/año

Para otros usos se considera 30% adicional

Demanda total de oxígeno: $1.3 \times 26250 = 34\,125$ ton/año

B.2 Consumo de nitrógeno

Producción anual: 750000 toneladas.

Por proporcionalidad se necesitara de N_2 : $40794(750/400) = 76488.75$ ton

Expresándolo en flujo volumétrico N_2 : $7648.875 \text{ Nm}^3/\text{h} = \mathbf{127.48 \text{ Nm}^3/\text{min}}$

C. DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LA PLANTA

C.1. Alternativa 1: SIDERPERU

Se necesitaría $61.9 \text{ Nm}^3/\text{min}$ de nitrógeno

C.2. Alternativa 2: ACEROS AREQUIPA

Se necesitaría $116.06 \text{ Nm}^3/\text{min}$ de nitrógeno

En este caso la necesidad de nitrógeno tendrá que coincidir con la capacidad de los equipos del mercado.

Alternativa 1: $61.9 \text{ Nm}^3/\text{min}$, se necesitaría **1 módulo de 81**, 2 módulos de 41 o 4 módulos de $20 \text{ Nm}^3/\text{min}$.

Alternativa 2: $116.06 \text{ Nm}^3/\text{min}$, se necesitaría 2 módulos de 81, 3 de 61, 4 de 41 o 7 de $20 \text{ Nm}^3/\text{min}$.

La operación de varios compresores en paralelo tiene problemas de operación, por lo tanto se prefiere operar uno solo, y corresponde a la demanda de SiderPeru. Por lo tanto la capacidad sería la 1 módulo de $81 \text{ Nm}^3/\text{min}$.

Entonces resumen de la capacidad:

a) Nitrógeno a producir: $81 \text{ Nm}^3/\text{min} = 4860 \text{ Nm}^3/\text{h} = 48600$ ton/año

Nitrógeno requerido por SiderPeru = 40794 toneladas/año

Esto representa un 19.13% de sobrediseño

b) Oxígeno a producir: $40794 \times (0.233/0.767) = 12392.44$ ton año

Oxígeno requerido por SiderPeru = 11700 ton/año

Esto representa un exceso de sólo 9.59%.

BALANCE DE MASA Y ENERGIA DEL PROCESO DE SEPARACION DEL AIRE POR MEMBRANAS

El balance de masa se hace considerando algunas simplificaciones:

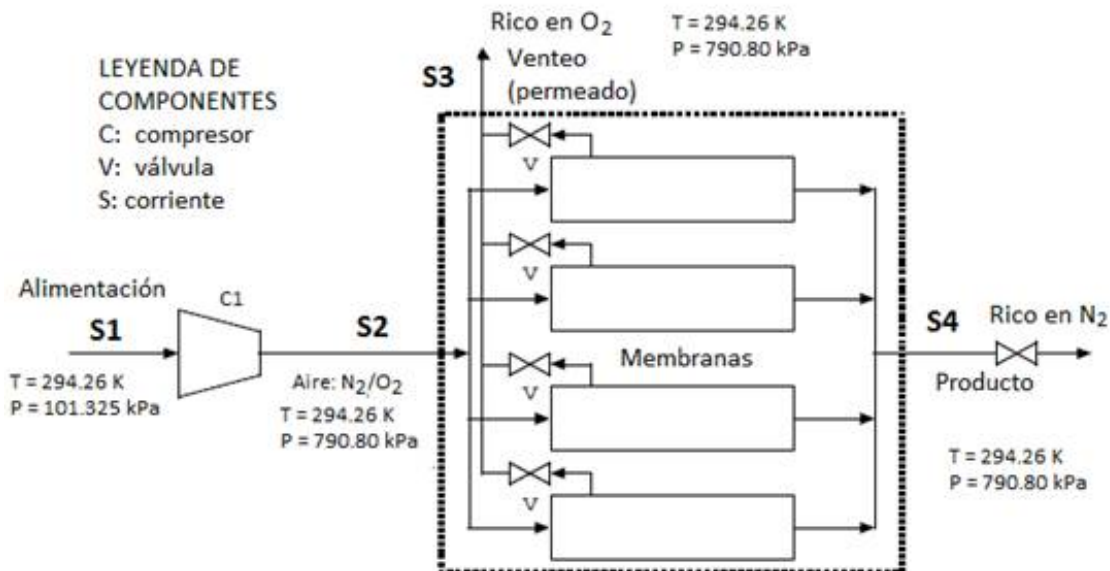
Aire seco está compuesto de:

78.94% mol de nitrógeno

20.95 % mol de oxígeno

0.11% mol de otros componentes: argón, CO₂, agua, y gases traza.

El proceso de separación por membrana consiste esencialmente de dos operaciones unitarias; presurización y separación. Estos procesos se realizan usando un compresor de tornillo lubricado por aceite y separadores de membrana arreglados en paralelo. Existen cuatro corrientes de proceso para los cuales los balances de masa y de energía deben ser satisfechas. Ver proceso en la siguiente figura:



Parámetros de diseño:

- Pureza del nitrógeno producto: 99.5%
- Producción por modulo: 3100 pie³/min = 186000 pie³/h (CNPT)
- Relación de presión entre la entrada y la salida: $790.8/101.325 = 7.8$

- Selectividad de la membrana: 6
- % de oxígeno en el aire: 20.95%
- % de recuperación de oxígeno: 98% (valor supuesto para el programa)
- % de recuperación de nitrógeno: 61% (valor supuesto para el programa)

Aplicando los valores a programa del curso de membranas de la Universidad de Texas, Estados Unidos (<http://www.cheme.cmu.edu/course/06302/airsep2>) se obtiene el porcentaje de nitrógeno en el permeado: **29.86%**

Para un módulo de 4860 Nm³/h (3100 pies³/min): 216.96 kmol/h de producto

Corriente S4: 216.96 mol/h

Oxígeno en S4: $216.96 \times 0.005 = 1.0848$ kmol/h

Nitrógeno en S4: $216.96 \times 0.995 = 215.8752$ kmol/h

Aplicando un balance de nitrógeno:

$$0.7894 \cdot S1 = 0.2986 \cdot S3 + 0.005 \cdot S4 \quad (1)$$

Aplicando un balance general:

$$S1 = S3 + S4 \quad (2)$$

Resolviendo en forma simultánea obtenemos:

$$S1 = 307.8464 \text{ kmol/h} = 6895.7587 \text{ m}^3/\text{h} = 243522 \text{ pie}^3/\text{h}$$

$$S3 = 90.8864 \text{ kmol/h}$$

La corriente S3, contiene:

Nitrógeno: $0.2986 \times 90.8864 = 27.1387$ kmol/h

Oxígeno: $307.8464 \times 0.2095 - 0.005 \times 216.96 = 63.4090$ kmol/h

Otros: 0.3387 kmol/h

Entonces:

% de oxígeno en S3: $63.4090 / 90.8864 = 0.6977$

% de otros en S3: $0.3387 / 90.8864 = 0.0037$

Calculando las recuperaciones verdaderas:

Recuperación de oxígeno:

$$[63.4090 / (307.8464 \times 0.2095)] \times 100 = 98.31\%$$

Recuperación de nitrógeno:

$$[(216.96 \cdot 0.995) / (307.8464 \cdot 0.7894)] \cdot 100 = 88.83\%$$

Comprobación del balance de masa:

Consumo de aire por m³ de producto:

$$307.8464 / 216.96 = 1.4189 \text{ m}^3 \text{ aire/m}^3 \text{ de nitrógeno}$$

Este valor es similar al utilizado por la empresa IGS. Los competidores utilizan entre 10 a 40% más. Considerando un 30% adicional, daría una proporción de 1.84 valor muy cercano a otros fabricantes que utilizan aproximadamente 1.89 m³ de aire por m³ de nitrógeno producto.

Con el valor encontrado de aire alimentado: **243522 pie³/h** se va al programa y se obtiene el área total de todas las membranas: **263823 pie²**

El área por membrana: 1700 pie²

$$\text{Número de membranas: } 2638243 / 1700 = 155.19 \text{ membranas}$$

Se considera 160 membranas por modulo con un área corregida de 272000 pie².

EVALUACION ECONOMICA

Precio de módulo de membranas:

Año 2004: $350 + 0.8 \cdot SA(\text{pie}^2)$ Drews T. y Fenwick M.; 2004.

Precio de compresora de aire: Precio de módulo de membranas: $3500 + 0.6 \cdot 272000 = 166700$ dólares

Año 2004: 45000 de 160 kW

Compresora actual: 1880 kW

$$\text{Precio actual: } 45000 \cdot (1880 / 160)^{0.6} = 197400 \text{ dólares}$$

Precio de compresora de nitrógeno:

Año 2004: 45000 de 160 kW

Compresora actual: 814 kW

$$\text{Precio actual: } 45000 \cdot (814 / 160)^{0.6} = 119430 \text{ dólares}$$

Precio de accesorios, sistemas de control: 30% del costo módulo de membranas

$$\text{Precio: } 0.30 \times 166700 = 50010 \text{ dólares}$$

Precio total de UN MODULO de filtración para año 2004:

Un módulo 2004: $166700 + 197400 + 119430 + 50010 = 533540$ dólares

Precio actualizado para el año 2015:

Índice 2004: 444.2

Índice 2015: 682.0

Precio actual: $533540 \times (682/444.2) = 229792.5$ dólares

- **Costo FOB equipo principal y auxiliar**

- ✓ Costo FOB de un módulo: 229792.5 dólares

- ✓ Costo FOB de 4 módulos: $4 \times 229792.5 = 919170$ dólares

Costo CIF de todo el equipo, es 1.3 por el costo FOB. En el caso de que todo el equipo se fabrique en el Perú, el costo FOB es igual que el costo CIF. Si se fabrica parte en el Perú y parte en el extranjero, se considera el CIF como 1.10 del costo FOB. Para este caso se considera 1.3

Costo CIF total:

CIF total: $1.3 \times 3676680 = 1194921$ dólares

- **Costo de entrega:** 2% del precio CIF

Costo de entrega: $0.02 \times \text{CIF total} = 23898$ dólares

- **Costo de equipo en la planta:** es el costo CIF total y el costo de entrega

EquiPlant: $1194921 + 23898 = 1218819$ dólares

- **Costo de instalación de todo el equipo:** por ser una planta modular, viene pre-armado, entonces el costo de instalación es muy bajo. Se considera 10% del costo de Equipo Planta.

CostInsta: $0.10 \times \text{EquiPlant} = 121882$ dólares

- **Costo de Instrumentación y Control (instalado):** los módulos traen sistemas de instrumentación y control pre-instalados. Se considera solo 5%.

CostInst = $0.05 \times \text{EquiPlant} = 60941$ dólares

- **Costo de tubería y accesorios (instalado):** los módulos traen tuberías y accesorios pre-instalados. Se considera solo 5%.

$$\text{CostTubAc} = 0.10 * \text{EquiPlant} = 60941 \text{ dólares}$$

- **Costo de sistema eléctrico (instalado):** de la misma forma se considera 3%.

$$\text{CostElec} = 0.03 * \text{EquiPlant} = 36565 \text{ dólares}$$

- **Costo de edificios (incluye servicios):** 2% del Equipo Planta. Por estar ubicado dentro de siderúrgica.

$$\text{CostEdif} = 0.02 * \text{EquiPlant} = 0.02 * 1218819 = 146258 \text{ dólares}$$

- **Costo Mejoras de terrenos:** 1.5% del Equipo Planta

$$\text{CostMej} = 0.0015 * \text{EquiPlant} = 0.015 * 1218819 = 18282 \text{ dólares}$$

- **Costo Servicios (instalado):** requiere un mínimo de servicios, no requiere vapor. Se considera 4% del costo de equipo.

$$\text{CostServ} = 0.04 * \text{EquiPlant} = 0.04 * 1218819 = 48753 \text{ dólares}$$

COSTOS DIRECTOS TOTALES: Es la suma del equipo en la planta más los costos de instalación, control e instrumentación, tubería y accesorios, sistema eléctrico, edificios, mejora de terrenos, servicios:

$$\text{CDT} = \text{EquiPlant} + \text{CostInsta} + \text{CostInst} + \text{CostTubAc} + \text{CostElec} + \text{CostEdif} + \text{CostMej} + \text{CostSer}$$

$$\text{CDT} = 1590560 \text{ dólares}$$

- **Costos de Ingeniería y Supervisión:** por ser módulos pre-instalados se considera solo 3%.

$$\text{CostIng} = 0.03 * \text{EquiPlant} = 0.03 * 1218819 = 36565 \text{ dólares.}$$

- **Costo de la construcción:** para la instalación de los compresores, el gasto más elevado, se considera 5%.

$$\text{CostConst} = 0.05 * \text{EquiPlant} = 0.05 * 1218819 = 60941 \text{ dólares.}$$

- **Costos de seguros e impuestos de la construcción:** 3% del Equipo Planta.

$$\text{CostSeg} = 0.03 * \text{EquiPlant} = 0.03 * 1218819 = 36565 \text{ dólares}$$

- **Costo de Honorarios para los contratistas:** 3% del Equipo Planta

$$\text{CostHon} = 0.03 * \text{EquiPlant} = 0.03 * 1218819 = 36565 \text{ dólares}$$

- **Gastos Imprevistos:** 4% del Equipo Planta

$$\text{CostImp} = 0.04 * \text{EquiPlant} = 0.04 * 1218819 = 36565 \text{ dólares}$$

COSTOS INDIRECTOS TOTALES: Suma de los costos de ingeniería y supervisión, gastos de construcción, seguros e impuestos, honorarios para contratistas, y gastos imprevistos.

$$\text{CIDT} = \text{CostIng} + \text{CostConst} + \text{CostSeg} + \text{CostHon} + \text{GastImp}$$

$$\text{CIDT} = 207199 \text{ dólares}$$

INVERSION DE CAPITAL FIJO: Es la suma de los costos directos totales y los costos indirectos totales.

$$\text{ICF} = \text{CDT} + \text{CIDT}$$

$$\text{ICF} = 1797759 \text{ dólares}$$

CAPITAL DE TRABAJO: El costo más elevado es el gasto de electricidad para operar los compresores. Se considera de 10 a 20% de la inversión de capital fijo. Para este proyecto se considera 20%.

$$\text{CapTrab} = 0.20 * \text{ICF} = 0.20 * 1797759 = 359551 \text{ dólares}$$

INVERSION TOTAL: Es la suma del capital fijo más el capital de trabajo

$$\text{INVT} = \text{ICF} + \text{CTrab} = 2157310 \text{ dólares}$$

ESTIMACION DEL COSTO TOTAL DE FABRICACION:

Se considera el costo de las membranas, su tiempo de vida es de 10 años, pero se cambian cada 3 años. Por modulo son 160 membranas, es decir que en total es 640 membranas, es decir que por año serian 55 membranas. Otro gasto, tal vez el más importante, y en este caso se considera como insumo es el costo de la electricidad para mover los cuatro compresores para aire (1880 kW cada uno) y cuatro compresores para nitrógeno (814 kW cada uno), trabajando 8000 horas al año, y con un costo de 0.11 dólares por kW-h, costo rebajado por la cantidad de electricidad contratada de la red o por la generación de ella con grupos estacionarios.

a) COSTO DE MATERIAS PRIMAS

Numero de membranas por año: 214

Costo por membrana: 200 dólares

CostInsu1: $55 \times 200 = 42800$ dólares

Consumo de electricidad: $4 \times [8000(1880+814)]$ kW-h

Precio por kW-h: 0.11 dólares

CostInsu2: 9482880 dólares

Costo de materia prima: $CMP = 11000 + 2586240 = \mathbf{2597240 \text{ dólares}}$

b) Costo de mano de obra: por ser una planta automatizada se a considerar

7 personas por turno, a un costo de 1500 soles mensual (500 dólares).

$CMobra = 10 \times 3 \times 13 \times 500 = 195000$ dólares

a) Costo de supervisión e ingeniería: se considera de 10 a 20 % de la mano de obra. Se toma 10%.

$Csuping = 0.10 \times CMobra = 19500$ dólares

b) Costo de mantenimiento: 2% del capital fijo total

$$C_{\text{mant}} = 0.05 * ICF = 89888 \text{ dólares}$$

c) Costo de auxiliares y servicios: el 50% del costo de mantenimiento debido a las compresoras.

$$C_{\text{aux}} = 0.50 C_{\text{mant}} = 44944 \text{ dólares}$$

d) costo de suministros de operación: 20% del costo de mantenimiento

$$C_{\text{sum}} = 0.20 * C_{\text{mant}} = 17977 \text{ dólares}$$

COSTO DIRECTO DE FABRICACION: es la suma de los ítems a, b, c, d, e, f

$$CDF = C_{MP} + C_{Mobra} + C_{ing} + C_{\text{mant}} + C_{\text{aux}} + C_{\text{sum}}$$

$$CDF = 2964549 \text{ dólares}$$

g) Cargas a planillas: 21 % de la mano de obra

$$C_{\text{plan}} = 0.21 * C_{Mobra} = 40950 \text{ dólares}$$

h) Gastos de Laboratorio: 20% del costo de mano de obra

$$C_{\text{lab}} = 0.20 * C_{Mobra} = 39000 \text{ dólares}$$

i) Gastos generales de planta: 20% del costo de mano de obra

$$C_{\text{gen}} = 0.20 * C_{Mobra} = 39000 \text{ dólares}$$

COSTO INDIRECTO DE FABRICACION: Es la suma de los ítems g, h, i

$$CI_{\text{Fab}} = C_{\text{plan}} + C_{\text{lab}} + C_{\text{gen}} = 118950 \text{ dólares}$$

j) Depreciación: 10% del capital fijo total

$$\text{Dep} = 0.10 * \text{ICF} = 179776 \text{ dólares}$$

k) Impuestos: 3% del capital fijo total

$$\text{Imp} = 0.02 * \text{ICF} = 53933 \text{ dólares}$$

l) Seguros: 1% del capital fijo total

$$\text{Seg} = 0.01 * \text{ICF} = 17977 \text{ dólares}$$

COSTOS FIJOS DE FABRICACION: Se considera la suma de los ítems j, k, l.

$$\text{CFF} = \text{Dep} + \text{Imp} + \text{Seg} = 251686 \text{ dólares}$$

COSTO DE FABRICACION: Es la suma del costo directo de fabricación, Costo indirecto de fabricación y el costo fijo de fabricación.

$$\text{CFab} = \text{CDF} + \text{CIFab} + \text{CFF} = 3335186 \text{ dólares}$$

GASTOS GENERALES: gastos VAI - ventas, administración e investigación

$$\text{Vent} = 0.05 * \text{CFF} = 12584 \text{ dólares}$$

$$\text{Adm} = 0.10 * (\text{CMobra} + \text{Csuping} + \text{Cmant}) = 30439 \text{ dólares}$$

$$\text{Inv} = 0.05 * \text{CMobra} = 9750 \text{ dólares}$$

$$\text{VAI} = \text{Vent} + \text{Adm} + \text{Inv} = 52773 \text{ dólares}$$

COSTO TOTAL DE FABRICACION: Es la suma de los costos de Fabricación y los Gastos Generales (VAI)

$$\text{CTF} = \text{CFab} + \text{VAI} = 3387959 \text{ dólares}$$

COSTO UNITARIO

Total de unidades producidas al año: 8000 horas de operación. Cada módulo produce 186000 pie³/h,

$$\text{Costo Unitario} = (\text{CTF}/\text{Producción anual}) = 0.0023\text{dólares/pie}^3$$

ESTADO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS:

- **Producción Anual:**

$$\text{ProdAnual} = 1488000000 \text{ pie}^3$$

- **Precio de venta por unidad:**

$$\text{Pventa} = 0.004\text{dólares/pie}^3 \text{ (precio de nitrógeno ex – fabrica)}$$

- **Ingreso neto de ventas anuales:**

$$\text{Ingventas} = (\text{Pventa} \cdot \text{Panual})$$

$$\text{Ingventas} = 5952000 \text{ dólares}$$

- **Costo total de fabricación (producción)**

$$\text{CTF} = 3387959 \text{ dólares}$$

- **Utilidad Bruta:**

$$\text{Ubruta} = \text{Ingventas} - \text{CTF} = 2564041 \text{ dólares}$$

- **Impuesto a la renta**

$$\text{ImpRenta} = \frac{\text{Ubruta}}{1.3} \cdot 0.30$$

$$\text{ImpRenta} = 591702 \text{ dólares}$$

- **Utilidad Neta :**

$$Uneta = Ubruta - ImpRenta = 1972339 \text{ dólares}$$

ANALISIS ECONOMICO

Retorno sobre la inversión antes del pago de impuestos: RSla

Inversión total: P

$$P = INVT$$

Ingreso neto de ventas: Iv

$$Iv = Ingventas$$

Depreciación: VS

$$VS = Dep$$

Periodo de recuperación de dinero: n= 5 años

Tasa interna de retorno: ia

$$PV = Iv \left[\frac{(1+ia)^n - 1}{ia(1+ia)^n} \right] + \frac{VS}{(1+ia)^n}$$

$$RSla = 116.56 \%$$

Retorno sobre la inversión después del pago de impuestos:

Utilidad neta, después del pago de impuestos: Un

$$Un = Uneta$$

$$P = Un \left[\frac{(1+id)^n - 1}{id(1+id)^n} \right] + \frac{VS}{(1+id)^n}$$

$$RS = 87.83 \%$$

- **Tiempo de recuperación de la inversión antes de impuestos:**

$$TR_{Ia} = \frac{INVT}{U_{bruta} + Dep} \quad TR_{Ia} = 0.89 \text{ años}$$

- **Tiempo de recuperación de la inversión después de impuestos:**

$$TRI = \frac{INVT}{U_{neta} + Dep}$$

$$TRI = 1.14 \text{ años}$$

PUNTO DE EQUILIBRIO

- **Costos Fijos:**

$$CFF = 6\,348\,978.024$$

- **Ingresos anuales:**

$$Ing_{ventas} = 884\,109\,240$$

- **Costos variables:**

$$C_{var} = C_{Fab} - CFF$$

$$C_{var} = 816\,505\,119$$

Para no perder ni ganar el número de unidades que se debe producir será:

$$Q = \frac{CFF}{\frac{Ing_{ventas}}{P_{anual}} - \frac{C_{var}}{P_{anual}}}$$

$$Q = 870293968 \text{ pie}^3/\text{año}$$

$$\text{Pequilibrio} = \frac{Q}{P_{\text{anual}}} \cdot 100$$

$$\text{Pequilibrio} = 14.17\%$$

RELACION BENEFICIO COSTO

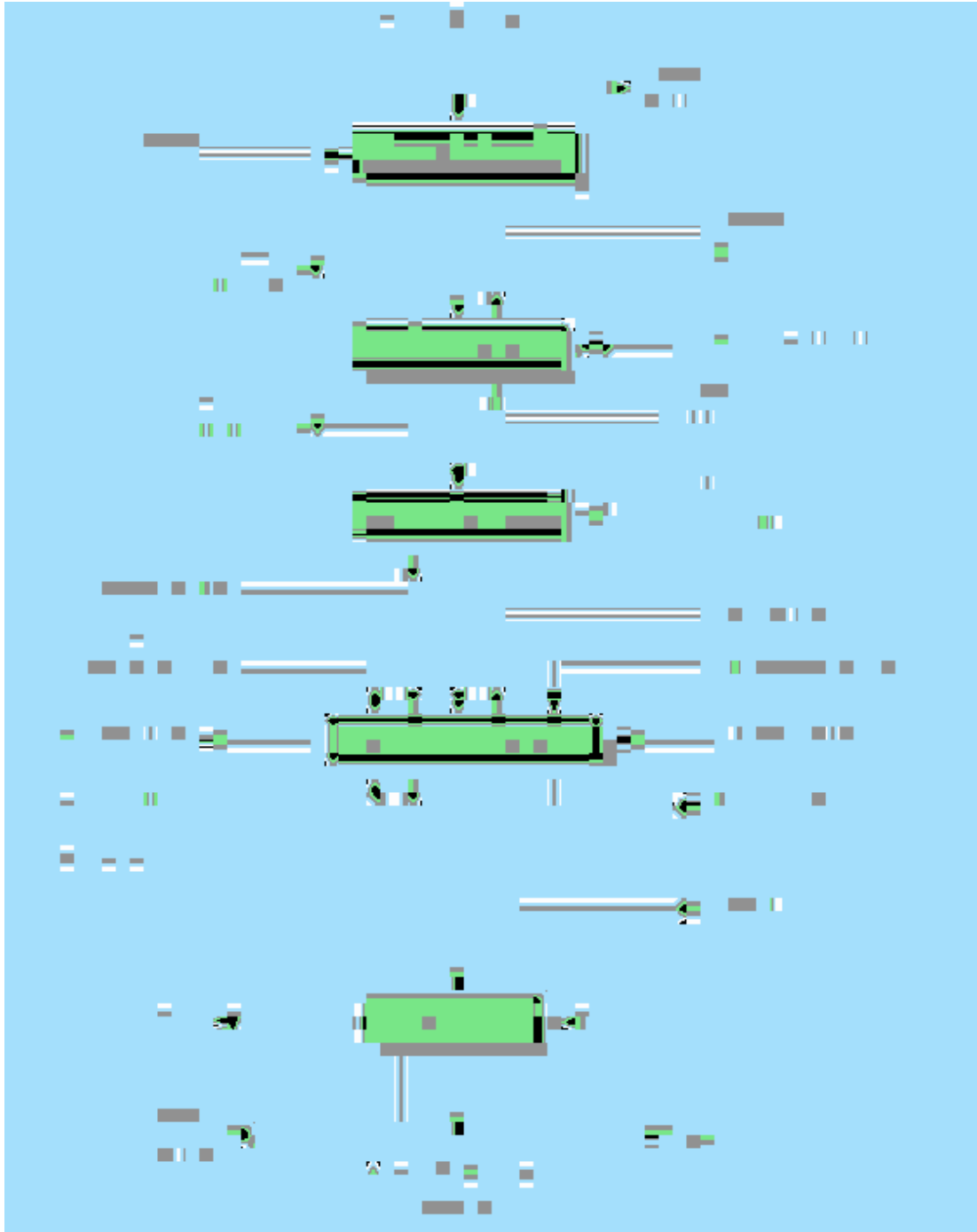
$$\text{RBC} = \text{Uneta}/\text{CTF}$$

$$\text{RBC} = 0.5822$$

Es decir se gana 0.5822 dólares por cada dólar invertido.

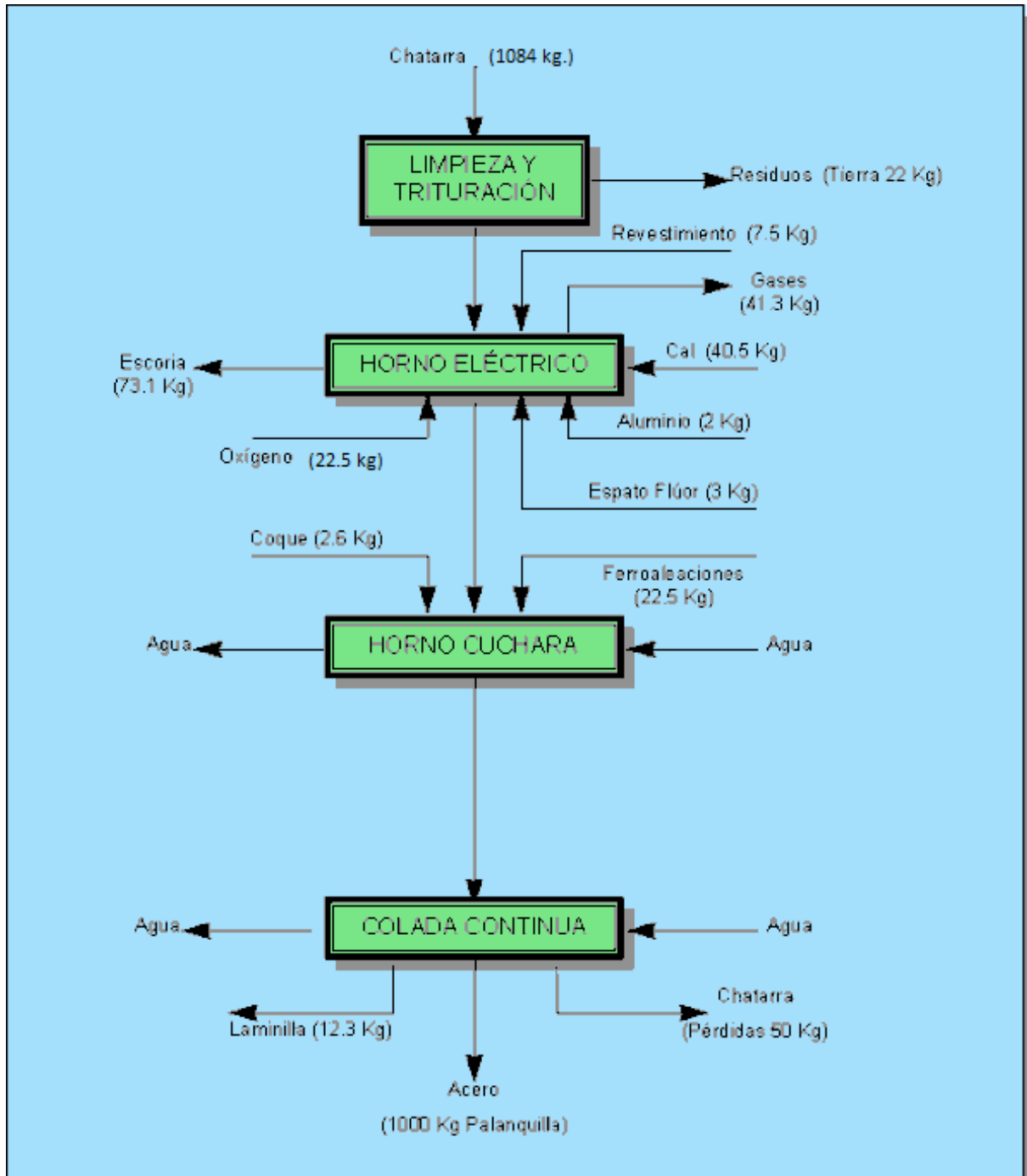
ANEXOS

Figura A.1. Balance de masa del proceso integral de producción de acero a partir de arrabio



Fuente: IDEAM-UIS, 2010.

Figura A.2. Balance de masa del proceso integral de producción de acero a partir de chatarra



Fuente: IDEAM-UIS, 2010.

**PROJETO PADRÃO DE SISTEMAS
PARA SUA NECESSIDADE**

Especificações das Séries UGN Alta Pressão

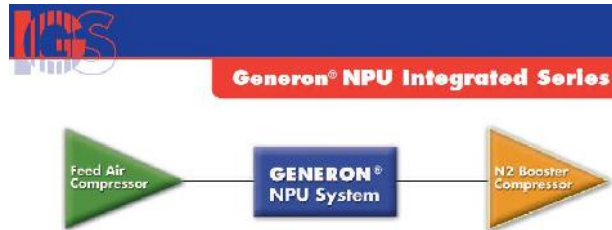
Modelo	NPU 780	NPU 1560	NPU 2340	NPU 3100
Fluxo de saída de N ₂ a 95% N ₂	780 scfm / 20 Nm³/m	1560 scfm / 41 Nm³/m	2340 scfm / 61 Nm³/m	3100 scfm / 81 Nm³/m
Pressão máxima de trabalho	330 psig / 23 barg	330 psig / 23 barg	330 psig / 23 barg	330 psig / 23 barg
Ponto de orvalho de N ₂ (atm)	< -84°F / < -64°C			
Dimensões (CxLxA) ft/m	10' x 8' x 8'6"/3 x 2,4 x 2,6	10' x 8' x 8'6"/3 x 2,4 x 2,6	20' x 8' x 8'6"/3 x 2,4 x 2,6	20' x 8' x 8'6"/3 x 2,4 x 2,6
Peso (lbs/kg)	13,500 lbs / 6,125 kg	16,000 lbs / 7,258 kg	25,500 lbs / 11,567 kg	29,000 lbs / 13,154 kg
Faixa de temperatura operacional	-40°F / 131°F (-40°C / 55°C)			
Acionamento elétrico	480V / 3Ph/60Hz padrão, cliente especifica a potência de alimentação alternativa			
Terminal de operação PLC	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Aquecedor	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Analizador de oxigênio	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Refrigerador de ar	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Telemetria remota	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Gerador elétrico	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Skid reforçado para uso em campos de petróleo	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional

**PROJETO PADRÃO DE SISTEMAS
PARA SUA NECESSIDADE**

Especificações das Séries Integradas UGN Alta Pressão

Modelo	NPU 780	NPU 1560	NPU 2340	NPU 3100
Fluxo de saída de N ₂ a 95% N ₂	780 scfm / 20 Nm³/m	1560 scfm / 41 Nm³/m	2340 scfm / 61 Nm³/m	3100 scfm / 81 Nm³/m
Pressão máxima na descarga	5000 psig / 345 barg	5000 psig / 345 barg	5000 psig / 345 barg	5000 psig / 345 barg
Faixa de pureza de N ₂	93 - 99+%			
Ponto de orvalho de N ₂ (atm)	< -84°F / < -64°C			
Dimensões (CxLxA) ft/m	3 x (20x8x8.5)/ 3 x (6.2x2.5x2.6)	5 x (20x8x8.5)/ 5 x (6.2x2.5x2.6)	7 x (20x8x8.5)/ 7 x (6.2x2.5x2.6)	8x(20x8x8.5)/ 8 x (6.2x2.5x2.6)
Peso (lbs/kg)	53,000 lbs / 24,040 kg	77,000 lbs / 34,927 kg	101,000 lbs / 45,813 kg	121,000 lbs / 54,885 kg
Combustível e energia elétrica	Diesel e Alimentação de 24 VDC			
Compressor na alimentação de ar	NPU 780	NPU 1560	NPU 2340	NPU 3100
Tipo de compressor	Lubrificado a óleo, Refrigeração a Ar			
Potência	900 Hp / 672 kW	1425 Hp / 1063 kW	2025 Hp / 1510 kW	2520 Hp / 1880 kW
Faixa de operação em RPM	1800-2100	1800-2100	1800-2100	1800-2100
Faixa de temperatura	-40°F / 131°F (-40°C / 55°C)			
Acionamento primário	Motor a Diesel – Padrão, outros conforme necessidade do cliente			
Compressor de nitrogênio	NPU 780	NPU 1560	NPU 2340	NPU 3100
Tipo de compressor	Multi-Estágios, Refrigerador a Ar			
Potência	273 Hp / 204 kW	546 Hp / 407 kW	819 Hp / 611 kW	1092 Hp / 814 kW
Faixa de operação em RPM	1800-2100	1800-2100	1800-2100	1800-2100
Faixa de temperatura	-40°F / 131°F (-40°C / 55°C)			
Acionamento primário	Motor a Diesel – Padrão, outros conforme necessidade do cliente			
Sistema de Alimentação	NPU 780	NPU 1560	NPU 2340	NPU 3100
Sistema elétrico	Motor a Diesel – Padrão, outros conforme necessidade do cliente			
Bateria	24 VDC			
Aquecedor do motor	Glycol			
Controles	Painel Central, PLC			
Configuração do skid	Reforçado, Capacidade de Rolagem ou Container ISO			
Proteção à prova de tempo	Opcional			

Fuente: IGS, Innovative Gas Systems, Generon® IGS



Custom-Designed Systems To Your Exact **INTEGRATED NPU HP SERIES SPECIFICATIONS**

Model Designation	NPU 780	NPU 1560	NPU 2340	NPU 3100
N ₂ Output @ 95% N ₂ + Inerts	780 scfm / 20 Nm ³ /m	1560 scfm / 41 Nm ³ /m	2340 scfm / 61 Nm ³ /m	3100 scfm / 81 Nm ³ /m
Maximum Discharge Pressure	5000 psig / 345 barg	5000 psig / 345 barg	5000 psig / 345 barg	5000 psig / 345 barg
N ₂ Purity Range	93 - 99+%			
N ₂ Dew Point (Atm)	< -84°F / < -64°C			
Dimensions (LxWxH) ft/m	3 x (20x8x8.5)/ 3 x (6.2x2.5x2.6)	5 x (20x8x8.5)/ 5 x (6.2x2.5x2.6)	7 x (20x8x8.5)/ 7 x (6.2x2.5x2.6)	8x(20x8x8.5)/ 8 x (6.2x2.5x2.6)
Weight (lbs/kg)	53,000 lbs / 24,040 kg	77,000 lbs / 34,927 kg	101,000 lbs / 45,813 kg	121,000 lbs / 54,885 kg
Required Utilities	Diesel Fuel and 24 VDC Power			
Feed Air Compressor	NPU 780	NPU 1560	NPU 2340	NPU 3100
Compressor Type	Oil-Lubricated, Air Cooled, Rotary Screw			
Rated Shaft Horsepower	900 Hp / 672 kW	1425 Hp / 1063 kW	2025 Hp / 1510 kW	2520 Hp / 1880 kW
RPM Operating Range	1800-2100	1800-2100	1800-2100	1800-2100
Temperature Range	-40°F / 131°F (-40°C / 55°C)			
Prime Mover	Diesel Engine - Standard, other per customer requirement			
N ₂ Booster Compressor	NPU 780	NPU 1560	NPU 2340	NPU 3100
Compressor Type	Multi-stage, Air-cooled, Reciprocating			
Rated Shaft Horsepower	273 Hp / 204 kW	546 Hp / 407 kW	819 Hp / 611 kW	1092 Hp / 814 kW
RPM Operating Range	1800-2100	1800-2100	1800-2100	1800-2100
Temperature Range	-40°F / 131°F (-40°C / 55°C)			
Prime Mover	Diesel Engine - Standard, other per customer requirement			
System Power	NPU 780	NPU 1560	NPU 2340	NPU 3100
Electrical System	Diesel Engine - Standard, other per customer requirement			
Starter	24 VDC			
Engine Heater	Glycol System			
Controls	Centralized Panel, PLC-based			
Skid Configuration	Heavy duty, Roll-off capability or standard ISO container			
Weather-Proof Enclosure	Optional, per customer specifications			

Fuente: IGS, Innovative Gas Systems, Generon® IGS

Gas Separation Membranes

MODEL*)	Application	MembraneCasing	MAWP**) in PSIG (barg)
2-30-P1-HR	N ₂ , O ₂ , Ar, SF ₆	PVC	203 (14)
2-30-P1-H2	H ₂ , He, CO ₂ , CO, CH ₄	316 SS	203 (14)
2-30-P2	H ₂ O in all Gases	PVC	203 (14)
3-40-P1-HR	N ₂ , O ₂ , Ar, He, H ₂ , SF ₆	Aluminum	203 (14)
4-40-P1-HR	N ₂ , O ₂ , Ar, SF ₆	Aluminum	203 (14)
4-40-P1-HF	N ₂ , O ₂ , Ar, SF ₆	Aluminum	203 (14)
4-40-P2-AL	H ₂ O in all Gases	Aluminum	203 (14)
4-40-P2-SS	H ₂ O in all Gases	316 SS	203 (14)
6-40-P1-HR	N ₂ , O ₂ , Ar, SF ₆	Aluminum	203 (14)
6-40-P1-HF	N ₂ , O ₂ , Ar, SF ₆	Aluminum	203 (14)
6-40-P1-HR-SS	N ₂ , O ₂ , Ar, SF ₆	316 SS	203 (14)
6-40-P1-HF-SS	N ₂ , O ₂ , Ar, SF ₆	316 SS	203 (14)
6-40-P1-HP	N ₂ , O ₂ , Ar	Carbon Steel	350 (24.1)
6-40-P1-HP-CS-H2	H ₂ , He, CO ₂ , CO, CH ₄	Carbon Steel	350 (24.1)
6-40-P1-HP-SS-H2	H ₂ , He, CO ₂ , CO, CH ₄	316 SS	350 (24.1)
6-40-P2-AL	H ₂ O in all Gases	Aluminum	203 (14)
6-40-P2-SS	H ₂ O in all Gases	316 SS	203 (14)
*) Membrane Modules with larger capacities are available upon request			
**) Membrane Modules with higher working pressures are available upon request			

<http://www.cheme.cmu.edu/course/06302/airsep2/nitro.pdf>

BALANCE DE MASA Y ENERGIA

<http://www.cheme.cmu.edu/course/06302/airsep2/Intro2.html>