

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

MAESTRÍA EN CONSULTORÍA EMPRESARIAL



“CONSULTORÍA PARA EL HOSPITAL GENERAL DEL INSTITUTO SALVADOREÑO DEL SEGURO SOCIAL (ISSS) SOBRE LA GENERACIÓN DE OXÍGENO MEDICINAL POR EL MÉTODO DE ADSORCIÓN POR BALANCEO DE PRESIÓN”

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:

MAX MISRAÍN VILLALTA GIL

FÁTIMA MARÍA SARA VIA FUENTES

PARA OPTAR AL GRADO DE

MAESTRO EN CONSULTORÍA EMPRESARIAL

JUNIO DE 2016

CIUDAD UNIVERSITARIA, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR INTERINO : LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL INTERINA : DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

DECANO : LIC. NIXON ROGELIO HERNÁNDEZ VÁSQUEZ

VICEDECANO : LIC. MARIO WILFREDO CRESPIÓN ELÍAS, MSC

SECRETARIA : LICDA. VILMA MARISOL MEJÍA TRUJILLO

ADMINISTRADOR ACADÉMICO : LIC. EDGAR ANTONIO MEDRANO MELÉNDEZ

TRIBUNAL EXAMINADOR : LIC. DIMAS DE JESÚS RAMÍREZ ALEMÁN, MSC

ING. SALVADOR JUÁREZ, MSC

ING. LUIS ROBERTO BARRIERE ÁVALOS, MSC

JUNIO DE 2016

SAN SALVADOR

EL SALVADOR

CENTRO AMÉRICA

DEDICATORIA

- A Jesús, quien me lo ha regalado todo sin merecerlo.
- A papá, José Efraín Saravia (QEPD), quien con su amor, dedicación, pasión a la vida e inagotable energía, me enseñó lo importante de perseguir sin descanso los ideales más altos...
- A mamá, Sonia de Saravia, pues con su ejemplo de bondad y entrega, ha estado presente y firme en cada momento.
- A mi hermana, Karla Saravia, de quien siempre he recibido palabras de apoyo, has creído en mí y nunca te ha faltado un abrazo de ternura y reconocimiento.
- a Lic. Dimas Ramírez, Ing. Salvador Juárez e Ing. Luis Barriere por sus sugerencias y observaciones que hicieron posible la culminación de este trabajo.
- A Max Villalta, este es el punto de partida, te amo.
- A toda mi familia y amigos

Fátima María Saravia

DEDICATORIA

- Agradezco a Fátima por acompañarme desde siempre, te amo.
- A mis hermanos, por su cariño y apoyo.
- a Lic. Dimas Ramírez, Ing. Salvador Juárez e Ing. Luis Barriere por sus sugerencias y observaciones que hicieron posible la culminación de este trabajo.

Max Villalta

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.0 Breve descripción de la organización sujeta de estudio..... | 2 |
| 1.1 Antecedentes Históricos | 2 |
| 1.2 Misión, Visión y Marco Institucional | 3 |
| 1.3 Estructura Organizativa..... | 5 |
| 2.0 Planteamiento del problema..... | 6 |
| 2.1 Definición del problema | 6 |
| 3.0 Justificación de la investigación | 6 |
| 4.0 Delimitación de la investigación | 7 |
| 4.1 Cobertura temporal de la investigación | 7 |
| 4.2 Cobertura espacial de la investigación | 8 |
| 5.0 Objetivos del estudio | 8 |
| 6.0 Metodología de la investigación..... | 9 |
| CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO..... | 11 |
| 2.1 Definición..... | 11 |
| 2.2 Importancia de las instalaciones de gases medicinales..... | 11 |
| 2.3 Tipos y aplicaciones de gases medicinales..... | 12 |
| 2.4 Oxígeno medicinal | 13 |
| 2.5 Adsorción por balanceo de presión (PSA) | 14 |
| CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO..... | 19 |
| 3.1 Cálculo de consumo esperado de oxígeno del Hospital General del ISSS... | 19 |
| 3.2 Cálculo de consumo real de oxígeno del Hospital General del ISSS..... | 21 |
| 3.3 Análisis financiero del método tanque criogénico vs el método PSA..... | 21 |
| 3.4 Consideraciones legales..... | 33 |
| 3.5 Oxígeno al 93% vs Oxígeno al 99% | 36 |
| CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA EL HOSPITAL GENERAL DEL ISSS: SOLUCIÓN PROPUESTA | 39 |
| CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES..... | 43 |
| CAPÍTULO 6: RECOMENDACIONES..... | 45 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 46 |

| | |
|--|-----------|
| ANEXOS | 48 |
| ANEXO I: Métodos de producción..... | 48 |
| ANEXO II: Estudio de depreciación de la máquina..... | 56 |
| ANEXO III: Encuesta de diagnóstico de tecnología PSA..... | 57 |
| ANEXO IV: Cálculo de consumo de energía eléctrica..... | 63 |
| ANEXO V: Pronóstico de costos asociados..... | 65 |
| ANEXO VI: Oferta de concentrador PSA proporcionado por empresa OGSÍ..... | 66 |
| ANEXO VII: Punto de Equilibrio Operativo..... | 70 |
| GLOSARIO..... | 72 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Cantidad, distribución, consumo teórico y esperado de tomas de oxígeno del Hospital General del ISSS | 20 |
| Tabla 2: Dimensionamiento de planta PSA | 21 |
| Tabla 3: Precios unitarios actuales del oxígeno..... | 24 |
| Tabla 4: Costos asociados a la compra de oxígeno correspondiente al periodo 2005-2014..... | 25 |
| Tabla 5: Pronóstico de costos asociados a la compra de oxígeno..... | 25 |
| Tabla 6: Pronóstico de tarifas para el suministro eléctrico en dólares por Kilowatt-hora | 26 |
| Tabla 7: Pronóstico de costos asociados a la producción de oxígeno in situ..... | 27 |
| Tabla 8: Flujo de efectivo | 28 |
| Tabla 9: Porcentaje de ahorro al final del quinto año 2019 | 28 |
| Tabla 10: Periodo de recuperación descontado | 29 |
| Tabla 11: Estado de resultados | 31 |
| Tabla 12: Balance general proforma | 33 |
| Tabla 13: Indicadores de rentabilidad del proyecto Generación de oxígeno PSA.. | 33 |
| Tabla 14: Composición de aire ambiente a nivel del mar | 38 |
| Tabla 15: Depreciación de la máquina | 56 |
| Tabla 16: Periodo de recuperación descontado acumulado opción Oxígeno criogénico | 31 |
| Tabla 17: Periodo de recuperación descontado acumulado opción Oxígeno PSA | 70 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Organigrama Hospital General del Instituto Salvadoreño del Seguro Social | 5 |
| Figura 2: Esquema de instalación de gases medicinales..... | 12 |
| Figura 3: Fases del ciclo de tecnología | 17 |
| Figura 4: Sistema de suministro por concentrador de oxígeno con una o más unidades concentradoras | 41 |
| Figura 5: Proceso de generación de oxígeno criogénico | 48 |
| Figura 6: Aparato de electrólisis del agua de Hoffmann | 52 |
| Figura 7: Esquema del sistema PSA..... | 55 |

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Aquellos gases que por sus características específicas son utilizados para consumo humano y aplicaciones medicinales en instituciones de salud, son denominados gases medicinales.

Éstos han sido utilizados en medicina como agentes anestésicos o analgésicos; en la actualidad se puede afirmar que el empleo de gases medicinales es indispensable para la medicina moderna, ya sea en cumplimiento de sus antiguas funciones o utilizados como medios de reemplazo, así como agentes estimuladores de funciones fisiológicas. El oxígeno es el gas más utilizado y de mayor relevancia para los hospitales del mundo. Fue aplicado en 1777 y en 1780 se demostró su importancia en la medicina al ser aplicados en pacientes cuya capacidad respiratoria se veía disminuida. En la actualidad ya es considerado como medicamento en cierta cantidad de mezcla controlada.

Los gases líquidos en el ámbito hospitalario han adquirido una alta demanda debido al crecimiento tanto tecnológico como de la sociedad, haciendo que su consumo sea cada vez mayor. Considerando que algunas aplicaciones de estos gases cumplen funciones de apoyo vital, implica que las instalaciones de gases medicinales sean consideradas como críticas y reciban tratamiento a través de personas profesionales que atiendan a sus características funcionales: cálculos en cuanto a capacidad y dosis, instalación, manejo, control y mantenimiento.

La Bioingeniería es la ciencia idónea para este tipo de actividades ya que en las mismas deben integrarse conocimientos médicos y tecnológicos con conceptos físicos y químicos, todo bajo una óptica ingenieril.

El oxígeno para aplicaciones médicas puede ser obtenido por dos métodos: el PSA (fluctuaciones de presión) y el criogénico. En ambos casos se toma aire ambiente mediante dispositivos y procesos adecuados con el fin de obtener oxígeno medicinal. Ambos métodos son capaces de proporcionar oxígeno medicinal a la concentración de pureza necesaria en aplicaciones médicas, tomando en cuenta la diferencia en costos entre ambos, el presente estudio evalúa la factibilidad para generar oxígeno medicinal por el método de adsorción por balanceo de presión (PSA) para el Hospital General del Instituto Salvadoreño del Seguro Social

con el fin de brindar alternativas que mejoren continuamente la atención a los derechohabientes.

1.0 Breve descripción de la organización sujeta de estudio

1.1 Antecedentes Históricos

El Instituto Salvadoreño del Seguro Social es el responsable de velar por la salud y el bienestar de empresas y trabajadores para ello ha buscado contar con locales e infraestructura adecuada para prestar sus servicios, sobre todo en periodos en que, debido a fenómenos naturales, hubo que luchar y aliviar la necesidad de la población.

Fue así como surgió El Hospital General en el año de 1975 convirtiéndose en uno de los más grandes de la región, lastimosamente fue dañado durante el terremoto de 1986 al grado que hubo que desalojarlo completamente y reubicar a los pacientes, así como improvisar carpas en el parqueo del hospital, donde solamente se encontraban los servicios administrativos. Debido a esta pérdida de infraestructura se construyó el Hospital de Especialidades, que como su nombre lo indica, es en donde se atendían muchas de las especialidades médicas que no se lograban cubrir en el dañado Hospital General. El Hospital Médico Quirúrgico, sustituyó también, desde el terremoto del año 1986, al Hospital General hasta el año 2004, año en el cual fue inaugurado de nuevo durante la administración del presidente Elías Antonio Saca, convirtiéndose de nuevo en uno de los centros con mayor demanda y equipo moderno.

Dentro de este equipo moderno se encuentran los sistemas de almacenaje y distribución de oxígeno por medio del método criogénico que utiliza una serie de técnicas para enfriar el gas a la temperatura de ebullición del nitrógeno y a temperaturas aún más bajas. La temperatura de ebullición del nitrógeno, es 77,36 K (o -195,79 °C).

Otro método para obtener oxígeno apto para usos medicinales es el método de adsorción por balanceo de presión (PSA por sus siglas en inglés) y se perfila como la mejor alternativa in situ ante el método criogénico, pues hace uso de un material especial adsorbente que descompone el aire ambiente y genera oxígeno de alta pureza. Pero no fue hasta la década de los 50's del pasado siglo que los científicos de la Unión Carbide de los Estados Unidos de América desarrollaron las zeolitas sintéticas, minerales aluminosilicatos micro porosos, capaces de hidratarse y deshidratarse reversiblemente-. Esto permitió que durante la década de los 80's la

tecnología de adsorción por balanceo de presión experimentara un rápido crecimiento con más de 500 patentes entre 1985 y 1990 en los Estados Unidos de América. Este avance propició de forma paulatina en muchos países del continente la proliferación del método PSA, no sólo como alternativa técnica, sino también como impulso para la creación de marcos legales y administrativos que permitan el uso generalizado de esta tecnología; pero en nuestro país ninguna institución de salud posee un generador de oxígeno medicinal basado en este método.

En El Salvador el principal método de producción de oxígeno medicinal (líquido y gaseoso) es el criogénico, desarrollado desde 1959 por una empresa de capital salvadoreño quien es la responsable de generar el oxígeno líquido desde sus propias plantas y distribuirlo a hospitales tanto públicos como privados.

La Dirección Nacional de Medicamentos no posee un reglamento específico que regule la producción de oxígeno, o una ficha técnica que establezca los requisitos mínimos que debe cumplir el oxígeno como medicamento o insumo médico. La Norma Técnica para el diseño y equipamiento de casas de la salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) tampoco regula los métodos de producción de oxígeno.

1.2 Misión, Visión y Marco Institucional

Misión

"En el Instituto Salvadoreño del Seguro Social estamos comprometidos a brindar de manera integral atención a la salud y prestaciones económicas a los derechohabientes, con calidad, eficiencia, ética profesional, basados en una vocación de solidaridad social, transparencia y sustentabilidad financiera".

Visión

"Ser modelo de atención en salud, con excelencia en el servicio, en el que se promueven procesos ágiles y descentralizados, financiamiento solidario y oportuno, dirigido hacia la universalidad de la protección social, con un personal comprometido con la calidad, que logra la confianza y reconocimiento de la población".

Valores Institucionales:

Universalidad

Extender la cobertura y otorgar la provisión de servicios a la población.

Solidaridad

Aporte económico individual al servicio de todos.

Equidad

Garantizar la igualdad de oportunidades a los servicios dándole a cada quien según sus necesidades.

Calidad

Proveer servicios con eficiencia, eficacia, oportunidad, profesionalismo, humanitarismo y responsabilidad, satisfaciendo las expectativas de los usuarios.

Ética

La adhesión a los principios dando servicios con honestidad, disciplina y lealtad

Eficiencia

Utilizar en forma transparente y racional los recursos para el logro de los objetivos.

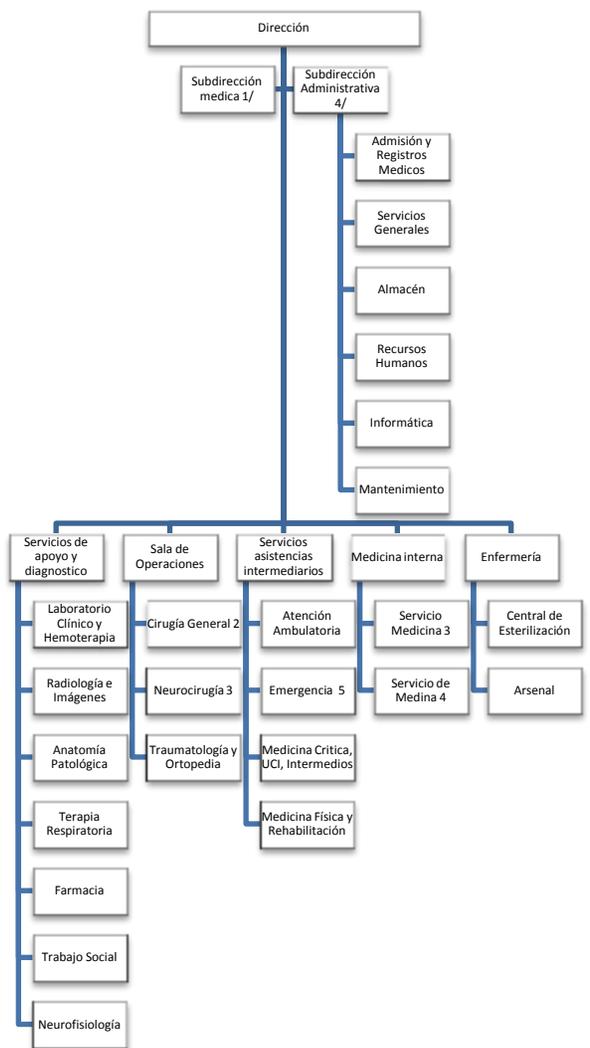
Calidez

Calidad humana en el trato al derechohabiente, reflejada en la conducta y actitud del personal que presta el servicio

Identidad

Nuestros recursos humanos hacen propia la misión de la institución.

1.3 Estructura Organizativa



1/Incluye Epidemiología

2/Incluye Cirugía Plástica y Cirugía Urológica

3/ Incluye Oftalmología y Otorrinolaringología

4/ Incluye Activo F ijo, planificación y estadística

5/ Incluye Medicina Interna, Cirugia, Ortopedia.

Figura1. Organigrama Hospital General del Instituto Salvadoreño del Seguro Social / Fuente: <http://www.issv.gob.sv/> Acuerdo de Consejo Directivo N° 2008-1573 NOV. Departamento de Desarrollo Institucional

2.0 Planteamiento del problema.

El Instituto Salvadoreño del Seguro Social se ve obligado a recurrir a un único proveedor en el país debido a su alta demanda de gas oxígeno, pues hasta la fecha no existe ningún método alternativo implementado en el país. La compra de oxígeno líquido, por tanto, se realiza en un mercado de condiciones monopólicas, alimentado por la falta de estudios técnicos que promuevan el desarrollo de nuevas tecnologías, como la adsorción por balanceo de presión (PSA). Éstas han demostrado su uso y valía en otros países como: Brasil, Venezuela, Estados Unidos, Chile, Canadá, México y Colombia en donde generaron distorsiones en el mercado, como disminución de precios y condiciones de competencia iguales. Por ejemplo en Canadá en 1987 en la provincia de Manitoba, después de investigaciones preliminares se construyeron establecimientos de concentradores de oxígeno como fuente de oxígeno médico, por tanto, la creciente demanda económica del método PSA obligó la creación de la norma CAN/CSA-Z10083 “Oxygen concentrator supply systems for use with medical gas pipeline systems” (adoptada de la norma ISO 10083:2006) que a su vez provocó la aparición de un mercado más competitivo.

2.1 Definición del problema

¿Existe factibilidad técnica y económica para la generación de oxígeno medicinal por el método de adsorción por balanceo de presión (PSA) para el Hospital General del Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS)?

3.0 Justificación de la investigación

La demanda de servicios hospitalarios referentes al consumo de gases medicinales y particularmente del oxígeno, a la que se ve sometido el ISSS obliga a sus autoridades a optimizar las alternativas tanto técnicas como económicas para poder brindar atención de calidad a los pacientes. Sólo en el año 2010 la demanda de oxígeno del Hospital General del ISSS fue de 72,353 m³ lo cual representó un gasto de \$647,693.54 el cual llegó en el año 2014, a un consumo de 62,244 m³ con un gasto de \$ 648,337.45, a pesar que se han hecho esfuerzos por administrar eficientemente el consumo de este vital gas; sin embargo dichos esfuerzos no se han traducido en disminución de gasto, probablemente porque los precios por carga de gas y arrendamiento de tanque son fijados anualmente por la empresa proveedora.

Esta búsqueda de alternativas se extiende a cada una de sus áreas tanto médicas como administrativas. Las áreas médicas, por su repercusión inmediata en la salud y bienestar de la población asegurada, requieren también de soluciones y propuestas que equilibren los costos con los aspectos técnicos. Es importante resaltar que la utilización de gases médicos se vuelve indispensable en muchas de estas áreas, uno de estos gases, el oxígeno médico posee mucha relevancia debido a diversas necesidades terapéuticas, cuidados intensivos, de anestesia, tratamiento de hipoxias, etc. La principal finalidad del presente trabajo es contribuir a reducir los costos asociados al suministro de oxígeno médico, ya que al existir la posibilidad de producir dicho gas en el sitio, sería viable redireccionar parte de los costos actuales a otras áreas que lo necesiten. También se eliminará la dependencia total de suministro con su único proveedor; a su vez, contribuirá a llenar vacíos de conocimiento debido a la poca experiencia y difusión de esta tecnología de generación y control de oxígeno médico en nuestro país.

3.1 Preguntas de la investigación

- ¿Cuáles son las diferencias de un sistema de generación de oxígeno por el método de adsorción por balanceo de presión (PSA) con respecto al método del oxígeno criogénico?
- ¿Es factible sustituir el oxígeno medicinal obtenido por el método criogénico por el método PSA?
- ¿Cómo determinar la diferencia financiera si el Hospital General del ISSS decide reemplazar el oxígeno criogénico actual por el método PSA?

4.0 Delimitación de la investigación

El presente estudio tiene como objetivo proponer el uso de la tecnología de generación de oxígeno por balanceo de presión (PSA) con base en la factibilidad técnica y financiera. La propuesta no incluye la compra ni la instalación de un generador PSA por parte de los maestrantes.

4.1 Cobertura temporal de la investigación

La investigación de la gestión actual de la compra de servicios por suministro de gas oxígeno se realizará en el área de servicios generales y mantenimiento del

Hospital General del Instituto Salvadoreño del Seguro Social llevándose a cabo en el periodo comprendido desde el año 2008 al 2015, periodo de tiempo en el cual se evaluarán datos actuales para realizar proyecciones financieras. El periodo considerado incluye la documentación y registros digitales proporcionados por el Departamento de Servicios Generales, pues con anterioridad los datos eran llevados de manera manual por el Almacén de Artículos Generales e Insumos Médicos, los cuales no fueron proporcionados, ya que argumentó extravío de los mismos

4.2 Cobertura espacial de la investigación

El estudio se realizará tomando como base las instalaciones del Hospital General del ISSS ubicado en Alameda Juan Pablo II y 25 Av. Nte.

5.0 Objetivos del estudio

5.1 Objetivo general

Presentar una propuesta de factibilidad técnica y económica para la generación de oxígeno medicinal por el método de adsorción por balanceo de presión (PSA) para Hospital General del Instituto Salvadoreño del Seguro Social.

5.2 Objetivos específicos

- Establecer cuáles son las diferencias de un sistema de generación de oxígeno por el método de adsorción por balanceo de presión (PSA) con respecto al método del oxígeno criogénico.
- Analizar la factibilidad de sustituir el oxígeno medicinal generado a través del método criogénico utilizando el método PSA.
- Determinar las condiciones financieras alternativas entre ambos métodos si el Hospital General del ISSS decide reemplazar el oxígeno criogénico actual por la tecnología PSA.

6.0 Metodología de la investigación

6.1 Tipo de investigación

El presente trabajo utiliza el tipo de investigación no experimental cuantitativa con un diseño transeccional correlacional-causal para establecer la relación causal basada en la incidencia que tiene el tipo de tecnología en los costos operativos y administrativos del suministro de oxígeno médico en el Hospital General del Instituto Salvadoreño de Seguro Social.

6.2 Universo

Para la investigación se utilizó el método de muestreo “No probabilístico o dirigido”, considerando que la muestra será elegida con base en las unidades o departamentos que hacen uso general del suministro de gas oxígeno (sumando la cantidad total de 289 tomas). Estos datos los facilitó el departamento de Mantenimiento, además, se realizaron entrevistas al personal técnico de la Institución, involucrado con el mantenimiento preventivo y correctivo de la red de gases hospitalarios.

La población estará conformada de la siguiente manera:

1. Unidad de Hospitalización: 162 tomas de oxígeno
2. Unidad de Cuidados Intensivos: 16 tomas de oxígeno
3. Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales: 12
4. Unidad de Gastroenterología: 2 tomas de oxígeno
5. Sala de Operaciones: 19 tomas de oxígeno
6. Recuperación Sala de Operaciones: 12 tomas de oxígeno
7. Terapia Respiratoria: 4 tomas de oxígeno
8. Radiología e imágenes: 4 tomas de oxígeno
9. Máxima Urgencia: 7 tomas de oxígeno
10. Observación emergencias: 32 tomas de oxígeno
11. Sala de Trauma I : 4 tomas de oxígeno
12. Sala de Operaciones Emergencias: 9 tomas de oxígeno
13. Recuperación Sala de Operaciones Emergencias: 6 tomas de oxígeno

Este tipo de **muestreo** será de tipo **intencional** pues éste se caracteriza por obtener muestras representativas mediante la inclusión de todas las unidades consumidoras de gas oxígeno directa e intencionadamente.

6.3 Fuentes de obtención de información

6.3.1 Fuentes primarias

Las fuentes primarias a utilizar para obtener información son las siguientes:

- Documentos de tipo técnico y financiero generados por el Ministerio de Salud de El Salvador y el Instituto Salvadoreño de Seguro Social.
- Entrevistas a personal técnico administrativo.

6.3.2 Fuentes secundarias

Como fuentes secundarias para obtener información son las siguientes:

- Diccionarios para términos técnicos específicos.
- Investigaciones y publicaciones acerca de los hospitales en El Salvador

6.4 Variables de la investigación

| Macro Variables | Micro Variables |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Diferencias de un sistema de generación de oxígeno por el método de adsorción por balanceo de presión (PSA) con respecto al método del oxígeno criogénico. - Factibilidad de sustituir el oxígeno medicinal obtenido por el método criogénico por el método PSA. - Condiciones financieras alternativas entre ambos métodos si el Hospital General del ISSS decide reemplazar el oxígeno criogénico actual por la tecnología PSA. | <ul style="list-style-type: none"> - Implicaciones del diseño de un generador de oxígeno por el método PSA. - Desarrollo de marco teórico para la comparación de ambas tecnologías. - Reglamentos regulatorios de requisitos y condiciones de gases. - Costos directos e indirectos sobre el mantenimiento del sistema. - Pérdidas - Costos asociados al oxígeno medicinal - Datos de inflación basados en el índice de precios al consumidor. - TIR - VPN - Estados de flujos de efectivo. - Tiempo de recuperación de la inversión |

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Definición

El término gas proviene del latín “chaos”, que significa desorden o carencia de forma. De este término es posible anticipar que un gas es toda sustancia que se encuentra en un estado cuyas características fundamentales son la carencia de forma y de volumen propio.

Son gases todas aquellas sustancias que en condiciones ambientales de temperatura y presión se encuentran en el estado gaseoso; por otro lado, reciben el nombre de vapores, aquellas que encontrándose normalmente en un estado líquido o sólido, toman el estado gaseoso en determinadas condiciones de temperatura y presión.

Aquellos gases que por sus características específicas son utilizados para consumo humano y aplicaciones medicinales en instituciones de salud y en forma particular, son denominados Gases Medicinales. Esta definición se refiere a “consumo humano” ya sea para tratamiento, procesos anestésicos o terapéuticos y además se hace mención a algunas aplicaciones “medicinales” que actúan indirectamente con el paciente.

2.2 Importancia de las Instalaciones de Gases Medicinales

En el ámbito hospitalario, hay dos instalaciones que deben ser consideradas como críticas: las instalaciones eléctricas y las instalaciones de gases medicinales. Ambas son críticas en el sentido que en gran porcentaje son utilizadas como soporte vital y no es permisible que sean interrumpidas bajo ninguna circunstancia.

Debido a la criticidad de este tipo de instalaciones, se requiere un sistema de control que puede tener diferentes métodos y principios de funcionamiento, pero que debe alertar y controlar toda la instalación. Lo anterior ratifica la importancia que se le debe asignar a estas instalaciones a través de los profesionales y los trabajadores del área.

Con el objeto de tener una idea general acerca de una instalación completa, en el siguiente esquema se muestran las partes fundamentales de una central de gases medicinales y su relación con el área hospitalaria.

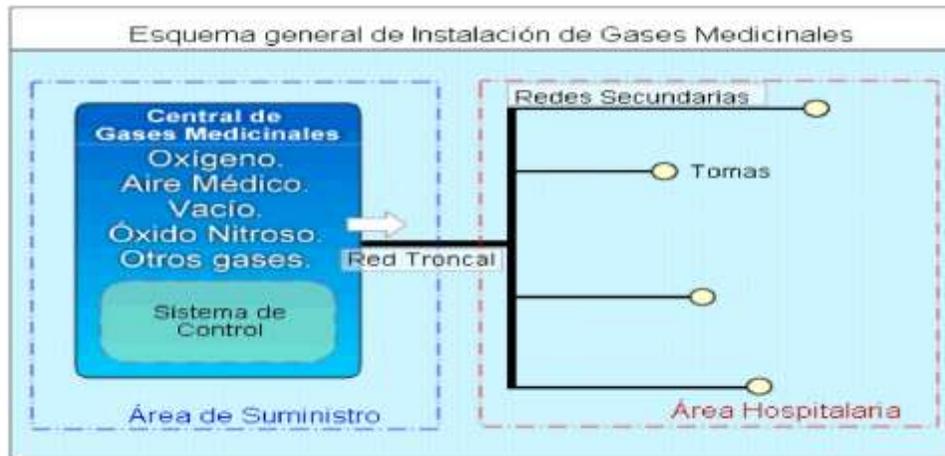


Figura 2: Esquema de Instalación de Gases Medicinales¹.

En la Figura 2 pueden apreciarse dos zonas aisladas entre sí en cuanto a su posición dentro de la infraestructura hospitalaria:

Área de Suministro: Comprende todos los equipos y elementos necesarios para suministrar los gases.

Área Hospitalaria: Incluye las áreas dentro de la institución que requieren suministro de gases.

Ambas áreas se encuentran interconectadas por la red de suministro de gases medicinales.

Por razones de seguridad siempre es recomendable que ambas áreas estén prudentemente distanciadas, con el fin de facilitar tareas de monitoreo y reparación, sin exponer a los pacientes a posibles riesgos propios a dichas tareas.

2.3 Tipos y aplicaciones de gases medicinales

En esta sección se mencionarán los diferentes tipos de gases utilizados en el área medicinal, pero se describirá solamente las características, propiedades físico-químicas y aplicaciones del oxígeno.

Los gases más utilizados en el área de equipamiento médico y en el ámbito de la salud son:

¹ Tomado del libro de gases medicinales Clasificación, Aplicaciones, Almacenamiento, Suministro, Cálculo de redes y Mantenimiento Bioingeniero Eduardo Diego Lázaro. Primera Edición 2008. ISBN:978-987-24211-0-6

- a) Oxígeno (O₂).
- b) Aire Medicinal (O₂-N₂ y otros componentes en menor proporción).
- c) Vacío (El proceso de vacío será considerado como gas medicinal).
- d) Otros gases (Helio He, Dióxido de Carbono CO₂, Nitrógeno N₂).

2.4 Oxígeno medicinal

2.4.1 Descripción

El oxígeno es un gas indispensable para la vida y para la mayor parte de los procesos de combustión, es un gas incoloro, inodoro e insípido; representa aproximadamente el 21 % del volumen de la atmósfera. El oxígeno se licua (pasa a estado líquido) a presión atmosférica y temperaturas inferiores a -183 [°C].

Una de las fundamentales características del oxígeno es que todos los elementos (excepto los gases inertes) se combinan con él para formar generalmente óxidos.

En la actualidad existen tres métodos para la obtención de oxígeno:

- *Destilación fraccionada de aire líquido.*
- *Adsorción (por fluctuaciones de presión conocido como PSA)*
- *Electrólisis del agua.*

Vale destacar que hasta el momento en nuestro país, el oxígeno para uso medicinal sólo es utilizable cuando se produce por el método criogénico, que consiste básicamente en el enfriamiento del aire previamente filtrado y purificado. Por métodos de compresión-descompresión se logra el enfriado del aire hasta una temperatura aproximada a los -193 [°C]. Luego con el aire ya licuado se realiza una destilación donde cada uno de sus componentes puede ser separado.

2.4.2 Aplicaciones Médicas del Oxígeno

El oxígeno es el gas más utilizado y de mayor relevancia para todos los hospitales del mundo. Fue presentado en 1777 y se ha demostrado su importancia para las prácticas médicas

modernas en el año 1780. En la actualidad, el oxígeno ya es considerado como un medicamento.

Los campos de aplicación más usuales son:

- Terapia respiratoria.
- Reanimación (resucitación).
- Unidad de cuidados intensivos.
- Anestesia.
- Creación de atmósferas artificiales.
- Tratamiento de quemaduras.
- Terapia hiperbárica.
- Tratamiento de hipoxias.

Los diferentes métodos de producción de oxígeno se encuentran descritos con mayor detalle en los anexos. Ver anexo 1.

Adsorción por balanceo de presión (PSA)

2.4.2 Reseña histórica

La separación por adsorción, proceso PSA tuvo su origen en una patente Alemana de 1942 y las propiedades selectivas fueron reconocidas en 1960 cuando la industria petrolera impulsó los estudios, ya que el PSA facilita la separación del hidrógeno y otros gases de los hidrocarburos gaseosos.

Como consecuencia de los excelentes resultados de laboratorio, el 12 de julio de 1960 C.W.Skarstrom, técnico de la Compañía ESSO, patentó el proceso PSA (adsorción por variación de presión).

Este proceso se caracteriza por tamices moleculares de zeolita que se presurizan y despresurizan en forma alternada, consiguiendo así el flujo de oxígeno deseado.

Un sistema PSA es también más eficiente que un sistema criogénico, para la eliminación de elementos contaminantes en el aire, como son el CO, CO₂ y los hidrocarburos que pueden tener el aire de alimentación que ambos sistemas utilizan.

De hecho, el oxígeno medicinal suministrado por el proceso PSA contiene menos de 0.1 ppm (partes por millón) de hidrocarburos mientras que el oxígeno producido por el sistema criogénico contiene entre 5-50 ppm. Potencialmente esta diferencia refleja un contenido de hidrocarburos 500 veces mayor al producido mediante el sistema PSA. El pulmón es el principal órgano afectado por la toxicidad por hidrocarburos. La toxicidad pulmonar aparece fundamentalmente por aspiración. La toxicidad pulmonar del hidrocarburo aspirado, provoca lesión directa de los capilares y el tejido pulmonar.

2.5.2 ¿Qué es el principio de adsorción?

El uso de sustancias sólidas para separar diferentes elementos desde soluciones líquidas o gaseosas es muy conocido. A estos procesos se les denomina como adsorción y funcionan por selección preferencial de los elementos de las soluciones en fase líquida o gaseosa respecto del sustrato sólido “adsorbente”.

El fenómeno de adsorción es aplicable a la mayoría de los sistemas químicos, físicos, biológicos y los sustratos sólidos adsorbentes normalmente utilizados son tales como el carbón activado, las resinas sintéticas y los polímeros para aplicaciones industriales de separación y purificación.

El proceso de adsorción involucra la separación del elemento o sustancia desde una fase, como consecuencia de la acumulación o concentración en el adsorbente. La adsorción difiere de la absorción, proceso en el cual el material es transformado de una fase en otra, penetrando en esta segunda fase y formando una “solución”.

La adsorción física es causada o producida principalmente por las fuerzas de Van der Waals y fuerzas electrostáticas entre las moléculas adsorbidas y los átomos que componen la superficie o sustrato adsorbente. De modo tal que los adsorbentes son caracterizados por las propiedades superficiales tales como “el área o superficie específica” y la “polaridad”.

En tal sentido, cuanto mayor superficie específica tenga el sustrato adsorbente, mayor será su capacidad de adsorción. De allí la importancia de la capacidad de formación de áreas superficiales interconectadas internas (micro poros o micro cavernas intercomunicadas), la

homogeneidad del tamaño y la distribución interna de estos micro poros, son las propiedades que más resaltan en importancia a la hora de definir el adsorbente.

2.5.3 Membranas y tamices moleculares, naturales y sintéticos (zeolitas)

Para hacer uso del principio de adsorción, se utilizan ciertos materiales o productos naturales denominados, entre otros, zeolitas (término que proviene del griego y significa “piedra que bulle” ya que retienen agua y al calentarse desprenden el vapor dando la impresión de que hierven), se caracterizan por su estructura cavernosa y la arquitectura de finos conductos comunicados entre sí.

.Actualmente se producen tamices moleculares industrialmente, que son zeolitas sintéticas o artificiales y se las fabrica diseñándolas con la arquitectura de canales y selectividad de adsorción específicas para llegar al resultado requerido.

2.5.4 Ventajas y Desventajas del método PSA

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ Autosuficiencia e independencia de proveedores de oxígeno. ❖ Flujo controlado: fuente de oxígeno ininterrumpida en cantidad exacta y calidad requerida en modalidad 7/24. ❖ Efectividad en costos: bajos costos de mantenimiento y largo periodo de vida útil. ❖ No requiere de instalaciones civiles y eléctricas especiales. ❖ El tamiz molecular de zeolita puede durar alrededor de 20 años o más. | <ul style="list-style-type: none"> - No existe soporte técnico a nivel local para tareas de mantenimiento preventivo y correctivo - Son sistemas sensibles al polvo y la humedad - Generación de ruido. |

2.5.5 Ciclo de Vida de la Tecnología.

Uno de los cuestionamientos que surgen al llevar el control de la tecnología se relaciona con la fase en la cual ésta se encuentra dentro de su ciclo de vida: ¿existe la suficiente evidencia como para determinar en qué momento es conveniente o incluso necesario pensar en un reemplazo tecnológico?, ¿por cuánto tiempo se podrá contar con un uso adecuado de esa tecnología? y ¿se está haciendo uso óptimo del recurso tecnológico conforme a las necesidades de salud que plantea el hospital? Este tipo de preguntas requieren de un análisis de información de diversas naturalezas, que debe obtenerse a partir de la experiencia en la utilización de la tecnología en el medio hospitalario; es decir, generar la evidencia a partir de la experiencia.

A fin de definir y caracterizar las etapas del ciclo de vida de la tecnología, se determinaron que los siguientes factores formarían parte del análisis: La intensidad de uso de la tecnología, el personal involucrado con el uso de la tecnología, los recursos económicos invertidos en la tecnología, el requerimiento del mantenimiento de la tecnología, y el impacto social de la tecnología.

Fases del ciclo de vida de la tecnología médica en función de la intensidad de su uso.

Para el análisis de los factores de intensidad de uso, mantenimiento y costos la Fig. 3 presenta las fases del ciclo de vida de la tecnología médica en función de la utilización dentro del hospital.

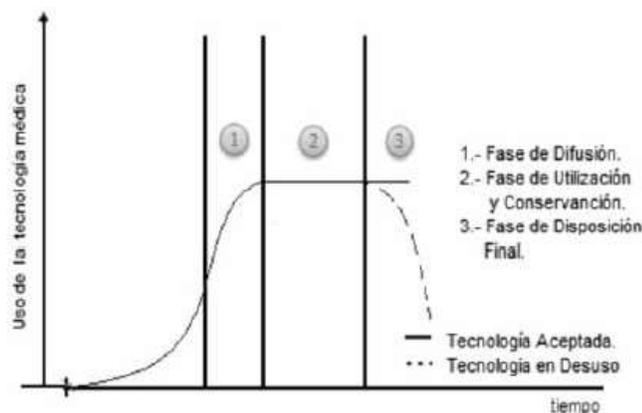


Figura 3. Fases del ciclo de la tecnología. Tomado de “Análisis del Ciclo de Vida de la Tecnología Médica desde una Aproximación Integral”. Padilla, Licona. 2010. Centro Nacional de Investigación en Instrumentación e Imagenología Médica CI3M. Universidad Autónoma Metropolitana, México D.F.

A continuación se describen las etapas del concepto de ciclo de vida propuesto:

1. Fase de Difusión: En esta fase se introduciría al entorno hospitalario la tecnología de generación de oxígeno por método PSA y comienza a ser utilizada en áreas. El personal involucrado en esta fase incluye al proveedor, los operadores, la parte administrativa y la de conservación y mantenimiento. El proveedor es el encargado de asegurar que se cumplan los requerimientos regulatorios exigidos por cada país, proporcionar el soporte o entrenamiento adecuado al usuario sobre el uso y la conservación del equipo y colabora con la instalación de la tecnología en el servicio que la va a utilizar. Los operadores, directos e indirectos, tanto técnicos como médicos de la tecnología, son los responsables de la utilización de la misma, por lo que deben estar familiarizados con las indicaciones, contraindicaciones y los procedimientos operativos recomendados por los fabricantes.
2. Fase de utilización y conservación: En esta fase la tecnología médica se incorpora a la práctica clínica general, quedando ampliamente aceptada como parte de un procedimiento estándar dentro de la institución. El personal médico y técnico requerido se reduce con respecto a la primera fase, debido a que se tiene pleno conocimiento para operar la tecnología. Los gastos incurridos en esta fase comienzan a surgir debido a un aumento en las acciones preventivas y correctivas del equipamiento. El impacto social que proporciona el uso de la tecnología está definido, como el beneficio a la sociedad en términos de la población atendida. Durante esta fase se espera que se tenga un nivel constante y alto de la intensidad de uso de la tecnología y que esto impacte positivamente en el servicio que presta a la población.
3. Fase de disposición final: En esta fase la tecnología médica actual o sus aplicaciones ya no cumple con los objetivos y los requerimientos clínicos para lo cual fue adquirida y utilizada, por lo que se descontinúa su uso y se sustituye por una opción más adecuada. El personal involucrado en la disposición final incluye a los operadores, la parte administrativa y la parte técnica; todos ellos toman parte en el proceso de baja de la tecnología en desuso y la sustitución por una más actualizada.

La baja del equipo se realiza considerando la normatividad vigente sobre gestión de residuos hospitalarios.

CAPÍTULO 3

DIAGNÓSTICO

EL MÉTODO PSA COMO ALTERNATIVA VIABLE PARA EL SALVADOR.

3.1 Cálculo de consumo esperado de oxígeno del Hospital General del ISSS

El consumo teórico es el que corresponde al valor máximo de consumo en rigor y existe también el consumo esperado; es decir, el que más posibilidades tiene de aproximarse a la realidad². Los consumos real y esperado servirán para la realización de los cálculos financieros.

El consumo esperado de oxígeno se calcula multiplicando el consumo teórico por el denominado coeficiente de simultaneidad o coeficiente de utilización³, lo cual puede expresarse a través de la siguiente fórmula:

$$CE = \sum (CDT \times CT \times CU)$$

Donde:

- CDT = cantidad de tomas
- CE = Consumo esperado
- CT = consumo teórico
- CU = coeficiente de utilización

Por ejemplo, al utilizar la fórmula anterior en el caso de un quirófano con tres tomas de oxígeno y una sala de recuperación con igual número de tomas, con consumos teóricos de 1.2 y 0.9 m³/h y coeficientes de utilización de 0.1 y 0.5 respectivamente, el resultado sería el siguiente:

$$6 \times (1.2 \times 0.1) + (0.9 \times 0.5) = 3.42 \text{ m}^3/\text{h}$$

En la actualidad, el Hospital General del ISSS cubre el suministro de oxígeno de las áreas que lo necesitan por medio de las siguientes formas:

² Tomado del libro de gases medicinales Clasificación, Aplicaciones, Almacenamiento, Suministro, Cálculo de redes y Mantenimiento Bioingeniero Eduardo Diego Lázaro. Primera Edición 2008. ISBN:978-987-24211-0-6

³ Ibídem

- ✓ Oxígeno líquido
- ✓ Oxígeno gaseoso en cilindros de 220 pies cúbicos
- ✓ Oxígeno gaseoso en cilindros de 50 pies cúbicos
- ✓ Oxígeno gaseoso en cilindros de 23 pies cúbicos

La presión a la salida de los tomas de oxígeno es de 50+/-5 libras por pulgada cuadrada (PSI) cuya cantidad, distribución y consumo esperado se muestran en la tabla siguiente:

| Ubicación de tomas de oxígeno | Cantidad de tomas de oxígeno | Consumo Teórico (m ³ /h) | Coef. de Utilización Consumo esperado | Total (m ³ /h)Consumo esperado |
|---|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Hospitalización | 162 | 0.36 | 0.2 | 11.7 |
| UCI | 16 | 1.8 | 0.4 | 11.5 |
| UCIN | 12 | 1.2 | 1 | 14.4 |
| Gastroenterología | 2 | 0.36 | 0.2 | 0.1 |
| Sala de Operaciones | 19 | 1.2 | 0.1 | 2.3 |
| Recuperación Sala de Operaciones. | 12 | 0.9 | 0.5 | 5.4 |
| Terapia Respiratoria | 4 | 1.5 | 1 | 6.0 |
| Radiología e Imágenes | 4 | 0.6 | 0.2 | 0.5 |
| Máxima Urgencia | 7 | 1.8 | 0.4 | 5.0 |
| Observación Emergencias | 32 | 0.9 | 0.5 | 14.4 |
| Sala de Trauma I | 4 | 1.2 | 0.1 | 0.5 |
| Sala de Operaciones Emergencias | 9 | 1.2 | 0.1 | 1.1 |
| Recuperación Sala de Operaciones Emergencias. | 6 | 0.9 | 0.5 | 2.7 |
| TOTAL | | | | 75.6 |

Tabla 1. Cantidad, distribución, consumo teórico y esperado de tomas de oxígeno del Hospital General del ISSS⁴.

⁴ Los consumos teóricos y coeficientes de utilización se tomaron del libro de gases medicinales Clasificación, Aplicaciones, Almacenamiento, Suministro, Cálculo de redes y Mantenimiento Bioingeniero Eduardo Diego Lázaro. Primera Edición 2008. ISBN:978-987-24211-0-6

3.2 Cálculo de consumo real de oxígeno del Hospital General del ISSS: Con base en la información que proporcionó el Hospital General, el Consumo de Oxígeno Promedio Mensual y la información contenida en la Tabla 1 (que detalla el consumo esperado) se puede determinar la capacidad que debe poseer una planta PSA para el Hospital General del ISSS

| CÁLCULO DE DEMANDA DE OXÍGENO DEL HOSPITAL GENERAL DEL ISSS (m³/h) | |
|--|--------------|
| Consumo esperado de tomas de oxígeno | 75.6 |
| Consumo promedio unidades ambulatorias (cilindros de oxígeno) | 1.6 |
| Factor de seguridad (10 %) | 7.72 |
| Consumo estimado ⁽⁴⁾ | 84.92 |

Tabla 2: Dimensionamiento de planta PSA.

Adicionalmente con el fin de obtener un cálculo alternativo se utilizó también la fórmula de estimación utilizada por la empresa estadounidense OGSi que se detalla a continuación:

$$(\text{Número de camas} \times 0.75 \text{ LPM}) + (\text{Número de otras unidades} \times 10 \text{ LPM}) = \text{LPM Total}$$

En donde LPM = Litro por minuto.

Con esta fórmula se obtiene un valor de 83.49 m³/h lo cual equivale a haber utilizado un factor de seguridad del 8% en lugar del 25%. Para cualquiera de las dos estimaciones anteriores el generador PSA modelo OG 2000 en montaje dual es capaz de brindar cobertura a cualquiera de las dos estimaciones ya que su capacidad nominal es de 105 m³/h; el valor de la cotización de un generador PSA como éste proporcionado por OGSi sirvió para los cálculos de la inversión inicial.

3.3 Análisis financiero del método tanque criogénico vs. el método PSA

Esencialmente se mostrará una comparación entre el ahorro que genera la inversión en un concentrador de oxígeno PSA y los ingresos que eventualmente se recibirían en su mejor uso alternativo. También se evalúa la rentabilidad de dicha inversión teniendo como referencia el costo de oportunidad del dinero.

Con el fin de facilitar una mejor visualización de las herramientas de análisis aquí utilizadas, se brinda a continuación una breve introducción acerca de dichas herramientas.

La ingeniería económica, hace referencia a la determinación de los factores y criterios económicos utilizados cuando se considera una selección entre una o más alternativas; las técnicas que utiliza generan valores numéricos denominados medidas de valor, que consideran inherentemente el valor del dinero en el tiempo. Algunas medidas comunes del valor son: el valor presente (VP), el valor anual (VA), la razón costo beneficio (C/B), la tasa de retorno, entre otras.

En todos estos casos, se considera el hecho de que el dinero de hoy valdrá una suma diferente en el futuro. Generalmente, las alternativas contienen información tal como costo inicial (incluidos precios de compra y costos de construcción, instalación y despacho), ingresos y gastos anuales estimados de la alternativa (incluidos costos de mantenimiento anual o también conocido como la inversión neta que es al inicio o en el transcurso del proyecto) y una tasa de interés (tasa de retorno). Para cada alternativa se establece una medida de valor. Por tanto, cuando hay diversas formas de lograr un objetivo determinado, se selecciona la alternativa con el costo global más bajo o la utilidad neta global más alta.

Los instrumentos más conocidos utilizados para el presente análisis son la Tasa Interna de Retorno (TIR), y el Valor Presente Neto (VPN).

El método de valor presente (VP) de evaluación de alternativas muestra que los costos o los ingresos futuros se transforman en dólares equivalentes de ahora, es decir, todos los flujos futuros de efectivo descontados se convierten en dólares presentes. En esta forma, es muy fácil ver la ventaja económica de una alternativa sobre otra.

La comparación de alternativas con vidas iguales mediante el método de valor presente es directa.

El valor presente neto se obtiene al restar la inversión inicial en un proyecto del valor presente de los influjos de efectivo descontados a una tasa igual o mayor al costo de capital de la empresa; el costo de cada tipo de financiamiento de capital, por cada alternativa, se calcula inicialmente en forma separada y luego la porción de la fuente de deuda y la de patrimonio se ponderan con el fin de estimar la tasa de interés promedio pagada por el capital de inversión disponible. Este porcentaje se denomina costo del capital.

El criterio de toma de decisión cuando se emplea el método del valor presente neto para tomar decisiones de aceptación-rechazo es el siguiente: si el VPN es mayor o igual que cero se acepta el proyecto; de lo contrario debe rechazarse. Acá pueden rechazarse buenos proyectos pero dependerá de la tasa de descuento.

Desde la perspectiva del prestamista o inversionista, cuando el dinero se presta o se invierte, hay un saldo por recuperar. La tasa de interés permite recuperar dicho saldo en cada periodo, de tal forma que aquella permite una amortización a capital e interés. El interés es lo recuperado por el inversionista en cada periodo de tal forma que éste va disminuyendo y la amortización al capital aumentando. De manera que la cantidad total y el interés se recuperan en forma exacta con el último pago o entrada. La tasa de retorno define estas dos situaciones.

Tasa de retorno (TR) es la tasa de interés pagada sobre el saldo por pagar de dinero obtenido en préstamo, o la tasa de interés ganada sobre el saldo no recuperado de una inversión, de manera que el pago o entrada final iguala exactamente a cero el saldo con el interés considerado.

La tasa de retorno está expresada como un porcentaje por periodo, por ejemplo, $i = 10\%$ anual. Ésta se expresa como un porcentaje positivo; es decir, no se considera el hecho de que el interés pagado en un préstamo sea en realidad una tasa de retorno negativa desde la perspectiva del prestamista. El valor numérico de i puede moverse en un rango entre -100% hasta infinito. En términos de una inversión, un retorno de $i = -100\%$ significa que se ha perdido la cantidad completa.

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de descuento que hace que la inversión neta (-) sea igual al valor presente neto y es la tasa a la que el inversionista recupera su capital; cuando la TIR es mayor que la tasa de recuperación ello implica mayores beneficios para el inversionista, tal como lo expresa la siguiente fórmula:

$$TIR = -I_0 + \frac{\sum f e i}{(i + j)^t} = 0$$

A la tasa de descuento j que hace que $-I_0 + VPN = 0$, se le conoce como TIR. En donde j es diferente a i , esta última es tasa de capitalización.

El criterio de decisión cuando se utiliza la TIR en las decisiones de aceptación-rechazo es el siguiente: si la TIR es mayor o igual que el costo de capital se acepta el proyecto, de lo contrario se le rechaza. Es necesario recordar que un flujo de caja no necesariamente determina los costos fijos y los costos variables, dado que los costos fijos son aquellos en que se incurre, exista producción o no, mientras con los costos variables aparecen en la medida que se produce.

Es importante iniciar con la elaboración de un flujo de caja o efectivo para facilitar la visualización de los costos fijos y variables, la inversión inicial y el ahorro promedio anual. Para tal propósito, se presentarán de forma individual cada alternativa (compra de oxígeno a proveedores vs. generación in situ) y posteriormente comparar ambas opciones⁵

3.3.1 Costos asociados a la compra de oxígeno medicinal

Con el fin de apreciar el escenario financiero asociado a la compra de oxígeno, se muestra en la siguiente tabla los precios unitarios de referencia actuales:

| DESCRIPCIÓN | U MED. | PU | CONSUMO | COSTO TOTAL |
|---------------------------------|--------------|---------|---------|--------------|
| Oxígeno gaseoso 220 PC | CARGA | \$23.10 | 3867 | \$89327.7 |
| Oxígeno gaseoso 50 PC | CARGA | \$9.53 | 231 | \$2201.43 |
| Oxígeno gaseoso 23 PC | CARGA | \$8.00 | 1227 | \$9816 |
| Oxígeno líquido | GALON | \$9.70 | 56919 | \$546992.32 |
| Arrendamiento de tanque (anual) | C/U | | | \$8,520.00 |
| | Total | | | \$656,857.45 |

Tabla 3. Precios unitarios actuales del oxígeno⁶. (PC = pies cúbicos)

Y además los costos asociados a la compra de oxígeno correspondiente al periodo 2008 – 2014 por el método criogénico actual. El periodo considerado incluye la documentación y

⁵ Fundamentos de Administración Financiera. Tercera edición. Lawrence J. Gitman

⁶ Fuente: ISSS Hospital General, Departamento de Servicios Generales año 2014.

registros digitales proporcionados por el Departamento de Servicios Generales, pues con anterioridad los datos eran llevados de manera manual por el Almacén de Artículos Generales e Insumos Médicos, los cuales no fueron proporcionados, ya que argumento extravío de los mismos.

| SERVICIO | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| TOTAL | \$531,948.14 | \$603,590.00 | \$647,693.54 | \$640,699.62 | \$776,549.43 | \$813,314.35 | \$815,531.76 |

Tabla 4: Costos asociados a la compra de oxígeno correspondiente al periodo 2005 – 2014.

Basándose en el consumo de oxígeno actual (Tabla 3) y los precios históricos del oxígeno (Tabla 4), se muestra a continuación un pronóstico de los costos asociados a la compra de oxígeno para un horizonte temporal de cinco años.

En la tabla 5 se muestran los pronósticos con base en las tendencias de 7 años (tabla 4) con los cuales se puede observar la proyección para 5 años con un margen de error de 5% y un grado de confianza del 95%

| DESCRIPCIÓN | AÑO 2015 | AÑO 2016 | AÑO 2017 | AÑO 2018 | AÑO 2019 |
|---|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| *Total de Costos anuales asociados a la compra de oxígeno sin proyecto PSA | \$896,887.05 | \$1005,516.63 | \$1068,877.55 | \$1133,237.79 | \$1187,701.02 |

Tabla 5. Pronóstico de costos asociados a la compra de oxígeno. *Cada total anual incluye el consumo de oxígeno gaseoso, líquido y el arrendamiento del tanque criogénico.

3.3.2 Cálculo de consumo de energía eléctrica del concentrador de oxígeno PSA

Debido a que un generador PSA necesita electricidad para poder realizar su función es conveniente incluir en el análisis los costos por consumo de energía eléctrica. Para el

pronóstico de dichos costos se tomaron como base los precios máximos del suministro eléctrico (periodo 2009-2014)⁷. Los resultados proyectados se muestran en la tabla 6:

| AÑO | Cargo por consumo (Cargo Variable) USD/KWh |
|------|--|
| 2016 | 6143.04 |
| 2017 | 6480.00 |
| 2018 | 6816.96 |
| 2019 | 7153.92 |
| 2020 | 7490.88 |

Tabla 6 Pronóstico de tarifas para el suministro eléctrico en dólares por Kilowatt-hora⁸.

3.3.3 Costos asociados a la producción de oxígeno medicinal in situ

La siguiente tabla muestra en detalle tanto los costos operativos como la inversión inicial en caso de implementar la producción de oxígeno, es decir, muestra los costos proyectados junto al desembolso inicial. Además detalla la cantidad de oxígeno necesaria para entrar a funcionar en caso de emergencia.

| DESCRIPCIÓN | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|--------------------------|---------------|------|------|------|------|------|
| INVERSIÓN INICIAL | | | | | | |
| Concentrador de oxígeno | \$ 524,170.00 | | | | | |
| Costos de manejo y envío | \$19,683.40 | | | | | |
| Obra civil | \$11,699.08 | | | | | |
| Obra eléctrica | \$10,616.99 | | | | | |
| Otros | \$2,132.37 | | | | | |

⁷ Ver detalles en Anexo 4.

⁸ Fuente: estimados de la investigación. Ver anexo 4

| COSTOS OPERATIVOS | | | | | | |
|--|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Subcontratación de mantenimiento preventivo y correctivo (incluye repuestos por un valor de hasta \$ 1000) | | \$24,466.46 | \$24,906.86 | \$25,380.09 | \$25,862.31 | \$26,379.56 |
| Personal técnico de la institución involucrado | | \$18,210.83 | \$18,538.63 | \$18,890.86 | \$19,249.79 | \$19,634.78 |
| Oxígeno de reserva | | \$43,732.33 | \$44,519.51 | \$45,365.38 | \$46,227.32 | \$47,151.87 |
| Seguro todo riesgo | | \$1,885.03 | \$1,918.96 | \$1,955.42 | \$1,992.57 | \$2,032.42 |
| Consumo de energía eléctrica | | \$6,143.04 | \$6,480.00 | \$6,816.96 | \$7,153.92 | \$7,490.88 |
| Recambio de Zeolita | | | | | \$80,000.0* | |
| TOTAL | \$568,301.84 | \$94,437.69 | \$96,363.96 | \$98,408.71 | \$180,485.92 | \$102,689.52 |

Tabla 7: Pronóstico de costos asociados a la producción de oxígeno in situ⁹. * El costo por recambio de Zeolita esta detallado en la cotización del proveedor, Anexo VI

3.3.4 Flujo de efectivo

La identificación de los costos directos e indirectos anuales asociados a la producción y mantenimiento de la planta de oxígeno PSA, así como los asociados a la compra de este insumo a proveedores externos se detallan en la siguiente tabla, tomando en cuenta que no se incluyó el valor de reemplazo del tamiz molecular de zeolita, en las proyecciones de costos del concentrador de oxígeno según como lo establece la ficha técnica de la empresa OGSÍ, la cual indica que bajo condiciones normales de operación el tamiz molecular puede durar indefinidamente:

| COSTOS | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Opción 1: Seguir con la compra de oxígeno | \$896,887.05 | \$1005,516.63 | \$1068,877.55 | \$1133,237.79 | \$1187,701.02 |
| Opción 2: Generación de oxígeno in situ | \$568,301.84 | \$94,437.69 | \$96,363.96 | \$98,408.71 | \$180,485.92 |

⁹ Ver anexo V

| | | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| AHORRO ANUAL | \$328,585.21 | \$911,078.93 | \$972,513.59 | \$1034,829.08 | \$1007,215.10 |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|

Tabla 8: Flujo de Efectivo.

Con el análisis de estos cálculos se pudo determinar que invertir en un proyecto como este es conveniente en tanto que no exista en el mercado de capitales una posibilidad de inversión con rendimientos similares a mediano plazo

3.3.5 Tiempo de recuperación de la inversión

El punto de equilibrio o tiempo de recuperación de la inversión se refiere al período de tiempo necesario para que los costos actuales de compra de oxígeno medicinal sean iguales a los costos del concentrador de oxígeno PSA (inversión inicial más costos de operación). Esto se calculará utilizando los acumulados de estos conceptos.

Además, también es posible, con base en los costos acumulados de ambas alternativas, determinar el porcentaje de ahorro de la generación in situ, en una tabla como la siguiente:

| PORCENTAJE DE AHORRO | |
|--|---------------|
| Costos acumulados al final del quinto año de la opción 1: Compra de oxígeno a proveedores externos | \$1187,701.02 |
| Costos acumulados al final del quinto año de la opción 2: Generación de oxígeno in situ | \$180,485.92 |
| Ahorro anual | \$1007,215.10 |
| Porcentaje de ahorro | 152% |

Tabla 9: Porcentaje de ahorro al final del quinto año 2019

Con el fin de complementar el análisis financiero, se incluye el cálculo del periodo de recuperación descontado, el cual es similar al periodo de recuperación (PR) que normalmente se calcula, excepto porque los flujos de efectivo esperados se descuentan a través del costo

de capital del proyecto. Por lo tanto, éste se puede definir como el número de años que se requieren para recuperar una inversión a través de los flujos netos de efectivo descontados, es decir, muestra el punto de equilibrio después de que se cubran los costos imputables a las deudas y al costo de capital. En la tabla 10 se observa que el periodo de recuperación descontado es de 0.7 años.

| PERIODOS | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| AÑOS | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| AHORRO ANUAL | | \$911,078.93 | \$972,513.59 | \$1034,829.08 | \$1007,215.10 |
| INVERSIÓN INICIAL | \$568,301.84 | | | | |
| TASA DE DESCUENTO | 25% | | | | |
| PERIODOS DESCONTADOS AL25% | | \$728,863.15 | \$622,408.7 | \$529,832.49 | \$412,555.31 |
| PERIODO DE RECUPERACIÓN DESCONTADO EN AÑOS | 0.78 | | | | |

Tabla 10: Periodo de recuperación descontado

La tasa de referencia debe ser la tasa máxima que ofrecen los bancos por una inversión a plazo fijo, primero es conveniente aclarar que al realizar un balance neto entre el rendimiento bancario y la inflación, siempre habrá una pérdida neta del poder adquisitivo o valor real de la moneda si se mantiene el dinero invertido en un banco; esto es lógico, pues un banco no puede, por el solo hecho de invertir con ellos, enriquecer a sus depositantes.

Por lo general, la determinación de las tasas de inversión toma como referencia firme el índice inflacionario y se hace la ponderación correspondiente. Sin embargo, cuando un inversionista arriesga su dinero, para él no es atractivo mantener el poder adquisitivo de su inversión, sino que ésta tenga un crecimiento real; es decir, le interesa un rendimiento que haga crecer su dinero más allá de haber compensado los efectos de la inflación.

Si se define a la TMAr (tasa mínima aceptable de rendimiento) como:

$TMAr = i + f + if$; en donde i = premio al riesgo y f = inflación

Esto significa que la TMAr que un inversionista le pediría a una inversión debe calcularla sumando dos factores: primero, debe ser tal su ganancia que compense los efectos inflacionarios y, en segundo término, debe ser un premio o sobretasa por arriesgar su dinero en determinada inversión. Cuando se evalúa un proyecto en un horizonte de tiempo de cinco años, la TMAr calculada debe ser válida no sólo en el momento de la evaluación, sino durante los cinco años.

A continuación se detalla el cálculo de tasa mínima aceptable de rendimiento:

Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento = $TMAR = i + f + if$

$I = 9.0$

$F = 1.58$ $TMAR = 25\%$

Como manera alternativa de observar el comportamiento del periodo de recuperación descontado para los dos escenarios planteados en este análisis (Continuar con la compra de oxígeno criogénico o invertir en la tecnología PSA), ver gráfico 1 correspondiente al punto de equilibrio en Anexo VII.

Debido a que el Instituto Salvadoreño del Seguro Social no se rige bajo los esquemas financieros contables de la empresa privada, sino bajo las normas de contabilidad gubernamental fue necesario hacer uso para la proyección de flujos proforma la utilización de la siguiente fórmula $I_f = I_i (1+r)^n$

A continuación se presentan el Estado de Resultados Proforma y el Balance Proforma necesarios para conclusión de análisis financiero de ambas tecnologías:

| ESTADO DE RENDIMIENTO ECONÓMICO DE EL DEPARTAMENTO DEL HOSPITAL GENERAL DEL ISSS | | | |
|--|-----------------|------------------|--------------------------------|
| DEL 1 DE ENERO AL 31 DE DICIEMBRE DE 2009-2014 | | | |
| (En Miles de US Dólares - Nota 1) | | | |
| INGRESOS DE GESTIÓN (Nota 15) | 2014 | 2009 | I2014= I2009(1+r) ⁿ |
| Ingresos de Seguridad Social | \$ 445.2 | \$ 351.4 | 0.040220879 |
| Ingresos Financieros y Otros | \$ 4.7 | \$ 4.7 | 0 |
| Ingresos por Transferencias Corrientes Recibidas | \$ 4.5 | \$ 6.1 | -0.049438005 |
| Ingresos por Ventas de Bienes y Servicios | \$ 1.2 | \$ 2.2 | -0.096087426 |
| Ingresos por Actualizaciones y Ajustes | \$ 2.7 | \$ 2.4 | 0.019824451 |
| | | | -0.037815346 |
| TOTAL DE INGRESOS | \$ 458.3 | \$ 366.8 | |
| GASTOS DE GESTIÓN (Nota 16) | 2014 | 2009 | I2014= I2009(1+r) ⁿ |
| Gastos Previsionales | \$ 45.1 | \$ 38.8 | 0.025394073 |
| Gastos en Personal | \$ 223.1 | \$ 188.6 | 0.028394267 |
| Gastos en Bienes de Consumo y Servicios | \$ 168.2 | \$ 137.3 | 0.034409679 |
| Gastos en Bienes Capitalizables | \$ 0.8 | \$ 0.2 | 0.25992105 |
| Gastos Financieros y Otros | \$ 0.7 | \$ 0.5 | 0.057680926 |
| Gastos en Transferencias Otorgadas | \$ 0.8 | \$ 0.5 | 0.081483747 |
| Costos de Ventas y Cargos Cálculados | \$ 14.3 | \$ 14.1 | 0.002943848 |
| Gastos por Actualizaciones y Ajustes | \$ 1.4 | \$ 1.4 | -0.001185541 |
| | | | 0.029636344 |
| TOTAL DE EGRESOS | \$ 454.4 | \$ 381.4 | |
| | | | -0.197120187 |
| RESULTADO DEL EJERCICIO | \$ 3.9 | \$ (14.6) | |

Tabla 11: Estado de Resultado *

Leonel Flores Sosa

Carlos Alberto Argueta

Jorge Rolando Sánchez

Director General

Jefe Unidad Financiera Institucional

Jefe Departamento de Contabilidad

Nota: El Dr. Leonel Flores Sosa firma en calidad de Director General del ISSS, no obstante su nombramiento fue a partir del 14 de enero de 2011.

* Información tomada de <http://www.cnr.gob.sv/index>.

ESTADO PROFORMA DE RENDIMIENTO ECONÓMICO DEL HOSPITAL GENERAL DEL ISSS

DEL 1 DE ENERO AL 31 DE DICIEMBRE DE LOS AÑOS PROYECTADOS

(En Miles de US Dólares - Nota 1)

| INGRESOS DE GESTIÓN (Nota 15) | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ingresos de Seguridad Social | \$463.1 | \$481.7 | \$501.1 | \$ 521.3 | \$542.2 |
| Ingresos Financieros y Otros | \$4.7 | \$4.7 | \$4.7 | \$4.7 | \$4.7 |
| Ingresos por Transferencias Corrientes Recibidas | \$4.3 | \$4.1 | \$3.9 | \$3.7 | \$3.5 |
| Ingresos por Ventas de Bienes y Servicios | \$1.1 | \$1.0 | \$ 0.9 | \$0.8 | \$0.7 |
| Ingresos por Actualizaciones y Ajustes | \$2.8 | \$2.8 | \$2.9 | \$2.9 | \$3.0 |
| TOTAL DE INGRESOS | \$475.9 | \$494.3 | \$513.4 | \$533.4 | \$554.1 |
| GASTOS DE GESTIÓN (Nota 16) | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Gastos Previsionales | \$ 46.25 | \$ 47.42 | \$48.62 | \$49.86 | \$ 52.42 |
| Gastos en Personal | \$229.43 | \$235.95 | \$242.65 | \$ 249.54 | \$ 263.91 |
| Gastos en Bienes de Consumo y Servicios | \$173.99 | \$179.97 | \$186.17 | \$ 192.57 | \$ 206.05 |
| Gastos en Bienes Capitalizables | \$1.01 | \$ 1.27 | \$ 1.6 | \$ 2.02 | \$ 3.2 |
| Gastos Financieros y Otros | \$0.74 | \$0.78 | \$0.83 | \$0.88 | \$ 0.98 |

| | | | | | |
|--------------------------------------|------------|----------|----------|----------|-----------|
| | | | | | |
| | \$ 0.87 | \$0.94 | \$1.01 | \$ 1.09 | \$1.28 |
| Gastos en Transferencias Otorgadas | | | | | |
| | \$14.34 | \$14.38 | \$14.43 | \$14.47 | \$ 14.55 |
| Costos de Ventas y Cargos Calculados | | | | | |
| | \$1.4 | \$1.4 | \$1.4 | \$1.39 | \$1.39 |
| Gastos por Actualizaciones y Ajustes | | | | | |
| TOTAL DE EGRESOS * | \$468.02 | \$482.11 | \$496.7 | \$527.5 | \$ 543.8 |
| RESULTADO DEL EJERCICIO | \$(103.82) | \$108.09 | \$112.64 | \$117.46 | \$ 122.54 |

Tabla 12: Balance General Proforma

| VAN | TIR | RELACION BENEFICIO COSTO |
|----------------|------|--------------------------|
| \$2,150,552.12 | 112% | \$ 3.78 |

Tabla 13: Indicadores de Rentabilidad del Proyecto Generación de Oxígeno por Tecnología PSA

3.4 Consideraciones legales

La generación in situ de oxígeno PSA médico es conocida solamente como tecnología de baja producción en el ámbito hospitalario nacional. El Consejo Superior de Salud Pública y la DNM no poseen un reglamento específico que regule la producción de oxígeno, o una ficha técnica que establezca los requisitos mínimos que debe cumplir el oxígeno como medicamento o insumo médico.

La Norma Técnica para el diseño y equipamiento de casas de la salud de el MSPAS * tampoco regula los métodos de producción de oxígeno. El Organismo Salvadoreño de Normalización, que en nuestro país tiene como objetivo formular y dirigir la política nacional en materia de desarrollo científico y tecnológico, orientada al desarrollo económico y social, tampoco posee o recomienda una norma acerca de los requerimientos mínimos que el oxígeno debe cumplir en aplicaciones tanto industriales como médicas.

Por lo tanto, debido a la ausencia de cualquier clase de normativa o reglamento y siguiendo el ejemplo de otros países americanos es necesario tomar como referencia fundamental en materia de oxígeno médico la norma ISO-10083 y la United States Pharmacopeia ya que ambas han sido utilizadas como punto de partida por los países que ya tienen normativas al respecto así como también por los principales fabricantes de concentradores de oxígeno. El Estándar para Instalaciones de Salud NFPA-99 de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego de los Estados Unidos también es de utilidad como referencia ya que establece los criterios necesarios para minimizar riesgos eléctricos, de incendio y explosión en instalaciones de salud.

3.4.1 Principales estándares y reglamentos internacionales

Norma ISO-10083. Segunda edición, año 2006

Esta norma fue preparada por el Comité Técnico ISO/TC 121, Equipos respiratorios de anestesia, Subcomité SC 6, Sistemas de gases médicos. Esta segunda edición cancela y reemplaza a la primera edición (ISO 10083:1992).

El propósito de este estándar internacional es especificar las condiciones mínimas de seguridad y requerimientos de desempeño para concentradores de oxígeno. Los concentradores de oxígeno para uso domiciliar no están incluidos en la ISO 10083:2006.

* Diario Oficial, República de El Salvador - Tomo Nº 381, Número 236 Diciembre 2008

Los objetivos de este estándar aseguran los siguientes aspectos:

- Introducción apropiada de los concentradores de oxígeno en los establecimientos para el cuidado de la salud.
- Uso de materiales adecuados.
- Limpieza de los componentes.
- Instalación correcta.
- Disposición apropiada de control, monitoreo y sistemas de alarma.
- Prueba, puesta en marcha y certificación.
- Continuidad del suministro.
- El suministro eléctrico del sistema concentrador de oxígeno deberá estar conectado tanto al suministro normal de energía como al de reserva (*sistema de potencia ininterrumpida UPS*).

Farmacopea de los Estados Unidos de América. (USP 30 NF 25, MAY 2007)

La Farmacopea promueve la salud pública y beneficia a facultativos y pacientes diseminando estándares autorizados para la medicina, otras tecnologías dedicadas al cuidado de la salud y prácticas destinadas a mantener y mejorar los diversos servicios de salud. La Farmacopea es producto del trabajo de voluntarios que colaboran con diversas partes involucradas alrededor del mundo.

Sus inicios se remontan al 1 de Enero de 1820, cuando 11 facultativos acudieron a la cámara del senado de los Estados Unidos con el fin de establecer un compendio de los mejores productos terapéuticos, proporcionándoles nombres convenientes y recetas para su preparación. Casi un año después, el 15 de Diciembre de 1820, la primera edición de la farmacopea fue publicada.

El formulario nacional de preparaciones no oficiales (NF) es un material adjunto a la farmacopea desde 1975, por lo cual se le presenta desde entonces como un solo volumen (USP 30 NF 25).

La USP 30- NF 25 contiene monografías y sustancias oficiales. La monografía para una sustancia o preparación oficial incluye la definición del artículo, almacenaje, embalaje o empaquetado junto con otros requerimientos y una especificación. Con especificación se refieren a una serie de pruebas específicas y universales (descripción, identificación, impurezas, ensayos), procedimientos analíticos para cada prueba y criterios de aceptación.

La USP 30- NF 25 contiene 4100 monografías aproximadamente y más de 200 pruebas generales y ensayos.

Estándar para Instalaciones de Salud NFPA-99 de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego de los Estados.

Este estándar NFPA fue elaborado gracias al consenso de procesos de desarrollo aprobado por el Instituto Americano de Estándares Nacionales (ANSI). Estos procesos reunieron un gran número de investigadores voluntarios con variados puntos de vista acerca de los requerimientos de seguridad contra incendios y otros riesgos de seguridad.

Sus inicios datan de 1980 y contiene 21 capítulos y 7 anexos que cubren requerimientos de seguridad relativos a sistemas eléctricos, de gas y vacío, materiales, gestión de emergencias, etc.

3.5 Oxígeno al 93% vs. Oxígeno al 99%

Dada la sustancial diferencia en costos entre el método criogénico y el PSA es posible abordar otros aspectos tales como los efectos del oxígeno en el cuerpo humano o las aplicaciones tecnológicas, con el fin de resaltar la conveniencia de la generación in situ para consumo hospitalario.

Los diversos procesos industriales que utilizan oxígeno (siderurgia, corte, soldaduras fabricación de papel, etc.) requieren que éste posea una concentración del 99%, este porcentaje no debería ser menor ya que es considerado un factor crítico.

La pureza del oxígeno es un factor decisivo para determinar el contenido de nitrógeno en la producción del acero. El oxígeno de alta pureza se inyecta durante la fabricación del acero con el objetivo de acelerar la fusión de cualquier escoria así como también la oxidación de impurezas.

Otro ejemplo de uso industrial del oxígeno es en procesos de corte de piezas de metal. La pureza del oxígeno afecta grandemente la velocidad a la que una pieza de acero dada puede ser cortada. Basta con que un pequeño porcentaje de especies gaseosas no oxidantes presentes en el oxígeno (es decir, nitrógeno, argón) puede tener una dramática influencia en la velocidad máxima a la cual un corte puede continuarse. Una disminución de solamente el 1% reduce la velocidad de corte alrededor del 15%¹⁰.

En cuanto al consumo humano, en nuestro país se utiliza únicamente (sin mayores consideraciones) el oxígeno al 99%, ya que es fácil pensar que su elevado grado de pureza justifica su aplicación en el cuerpo humano, tal como si se tratara de agujas de jeringas y demás instrumentos quirúrgicos que requieren un elevado grado de asepsia para prevenir infecciones o efectos adversos. El oxígeno a esta alta pureza (99%) se utiliza principalmente para la optimización de los procesos industriales de combustión lo que significa mayor eficiencia térmica. Por consiguiente, en nuestro país se genera este gas a este nivel de pureza condicionado por el uso en ambos sectores (industrial y hospitalario)

El hecho de mencionar un porcentaje del 99% del oxígeno para el consumo humano, adquiere una atmósfera irrefutable para muchas personas sin tomar en cuenta lo antes explicado; por lo tanto es conveniente tomar como referentes importantes a nivel internacional, a la Farmacopea de los Estados Unidos y a la norma ISO 10083 con el fin de establecer la conveniencia del oxígeno en aplicaciones médicas.

La Farmacopea de los Estados Unidos de América contiene dos monografías para el oxígeno médico; una considerando una pureza del 99% y la otra al 93% diferenciándose principalmente ambas pues en la primera no se exige de manera rutinaria la prueba de identificación de monóxido y dióxido de carbono por el contrario en la segunda se requiere verificar y controlar los niveles de monóxido y dióxido de carbono (0.001% y 0.03% respectivamente). Además, la Farmacopea hace recomendaciones claras para evitar circunstancias que puedan irritar el tracto respiratorio. Dichas recomendaciones son válidas para ambos niveles de pureza de oxígeno.

La norma ISO 10083 que regula los requisitos para el funcionamiento de los concentradores, sirve para demostrar que es posible obtener y utilizar sistemas PSA capaces de proporcionar

¹⁰ Todo lo expuesto sobre las aplicaciones industriales de oxígeno fue tomado de "Discussion on steel burning in oxygen" (from a steelmaking metallurgist's perspectiva). De Air products and chemical, Inc. 2000.

porcentajes de pureza aptos para tratamientos médicos. La norma establece un rango del 90 al 96%, el resto está conformado por Argón y Nitrógeno. Como ejemplo que resalta como referencia la norma ISO la Empresa OXIMAT de origen danés OXIMAT, fabrica concentradores de oxígeno con tecnología PSA.

También es muy importante tomar en cuenta que administrar oxígeno en concentraciones mayores al 60% provoca un efecto adverso conocido como atelectasia. La atelectasia es el estado de colapso y falta de aire en una zona o todo el pulmón.

Por todo lo expuesto anteriormente, se puede concluir que el oxígeno administrado en altas concentraciones al cuerpo humano provoca efectos adversos. En todo caso, debe resaltarse que el proceso de respiración en una persona saludable inicia tomando aire ambiente, el cual posee cerca del 21% de oxígeno, el 79% restante lo conforman otros gases (nitrógeno, argón, etc.). El oxígeno al 99%, cuya aplicación sí es crítica en la siderurgia, no es estrictamente necesario para aplicaciones médicas. Sin importar si se utiliza oxígeno al 99% o al 93% ambas concentraciones de purezas siempre se utilizan en mezclas inferiores al 60%.

Presiones parciales de los componentes gaseosos que conforman el aire.

| Componentes Gaseosos | Porcentaje total del gas | Presión Parcial (mm Hg) |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Aire al nivel del mar (760 mm Hg) | | |
| Oxígeno | 20.9 | 159 |
| Nitrógeno | 79 | 600 |
| Otros | 0.1 | 1 |

Tabla 14: Composición de Aire Ambiente a Nivel del Mar

Fuente: Clinical Application of Blood Gases, Fifth Edition. Shapiro, Peruzzi, Templin

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA EL HOSPITAL GENERAL DEL ISSS: SOLUCIÓN PROPUESTA

Con base en los estados financieros proyectados en un escenario continuo que compara el suministro de oxígeno medicinal por el método criogénico con el método de producción de oxígeno por el método PSA es posible proponer lo siguiente:

Adoptar la tecnología PSA con el objetivo de evitar la dependencia total de suministro de oxígeno criogénico que actualmente afronta el Hospital General del ISSS, ya que es posible desarrollarlo tomando en cuenta apropiadamente las condiciones que reflejan los indicadores de rentabilidad obtenidos en el diagnóstico así como también los estándares internacionales que avalan la utilización del oxígeno producido por el método PSA.

El VAN obtenido indica que para un horizonte de cinco años el Hospital General obtendrá 4.8 millones de dólares después de haber recuperado la inversión inicial de \$568,301.84 y con una TIR de 239%. Ver tabla 7 para la inversión inicial.

4.1 Estimación del espacio físico disponible

La norma ISO 10083 estipula que los muros o vallas de protección deben tener una altura no menor a 1.75mts¹¹

Es recomendable también considerar una distancia mínima de 1.00 mt. entre las paredes del recinto y el concentrador de oxígeno con el fin de proporcionar el espacio mínimo necesario para cualquier maniobra de mantenimiento preventivo y/o correctivo.

4.2 Consideraciones ambientales

Debido a que los concentradores de oxígeno no generan subproductos contaminantes, no es necesario contar con medios o instalaciones especiales capaces de drenar, aislar o disponer de forma segura cualquier sustancia nociva al medio ambiente.

¹¹ www.ogsi.com/product_literature.php

Debe tenerse en cuenta que el cuarto o recinto destinado a alojar la planta PSA quedará situado a una distancia no menor a 3 metros de cualquier edificio ocupacional, calzadas o pasos peatonales, ya que los concentradores de oxígeno pueden generar niveles de ruido iguales o mayores a 70 dB, según lo estipula la norma ISO 10083:2006.

La norma ISO 10083 también recomienda tomar en cuenta las regulaciones locales o nacionales. Para el caso del Hospital General del ISSS es necesario considerar la “Ordenanza reguladora de la contaminación ambiental por la emisión de ruido en el municipio de San Salvador”, Dicha ordenanza establece que el nivel de ruido máximo permitido para zonas residenciales y hospitalarias no debe ser mayor de 50dB¹²

Por lo tanto, es necesario tomar las medidas adecuadas para disminuir el exceso de ruido que se pueda llegar a generar de diferencia.

Propuesta de sistema de suministro por concentrador de oxígeno para el Hospital General del ISSS

Representación esquemática del sistema de suministro según la norma ISO 10083

La norma ISO 10083:2006 estipula que cualquier sistema por concentrador de oxígeno debe poseer tres fuentes de suministro (primaria, secundaria y reserva). La fuente de reserva está considerada como sistema redundante que permite mantener el suministro ininterrumpido ya sea como tanque criogénico o manifold de cilindros. También proporciona ocho alternativas cuyos esquemas aparecen en el Anexo “A” de dicha norma. A continuación se presenta en la figura 2 una de las alternativa correspondiente a dicho Anexo:

¹² Artículo 6 de dicha ordenanza.

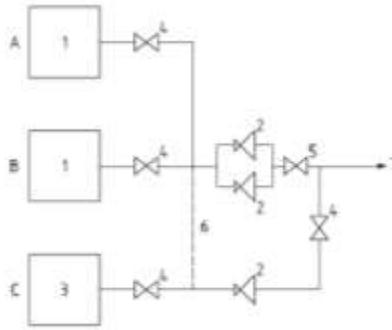


Figura 4: Sistema de suministro por concentrador de oxígeno con una o más unidades concentradoras de oxígeno como fuente primaria, una o más unidades concentradoras de oxígeno como fuente secundaria y cilindros de alta presión como fuente de reserva para un sistema de distribución de etapa única.

Donde:

- A fuente primaria de suministro
- B fuente secundaria de suministro
- C fuente de reserva de suministro
- 1 una o varias unidades concentradoras de oxígeno
- 2 reguladores de presión de línea
- 3 dos bancos de cilindros de alta presión
- 4 válvula de corte de la fuente de suministro
- 5 válvula de corte del sistema de suministro
- 6 conexión opcional
- 7 al sistema de tuberías de distribución

Este esquema se adecúa de mejor manera a las condiciones del Hospital General por las razones siguientes:

- ✓ Esta configuración incluye suministro criogénico ya sea como fuente o como combinación con aire enriquecido de oxígeno.

- ✓ Al ser esta etapa única en el sistema de distribución de tuberías del hospital, tal como se mencionó en el numeral 5 de la sección 6.1 de este documento, fue necesario elegir este esquema para mantener dicha red intacta.
- ✓ Ya que las ocho alternativas de la norma ISO 10083:2006 hacen uso de bancos de cilindros de oxígeno a alta presión como fuente de reserva, permite hacer uso de la ya existente en el hospital, pero tomando en consideración que es necesario agregar un filtro cuyo tamaño de poro debe ser menor o igual a 100 micrones, el cual debe ubicarse entre los cilindros y el primer regulador de presión.
- ✓ Además posee la ventaja (respecto al sistema de suministro actual) de proporcionar más de una fuente de suministro, brindándole al hospital mayor cobertura en caso de cualquier eventualidad.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

1. Con base en el análisis efectuado a lo largo del presente estudio podemos demostrar que la propuesta de generación de oxígeno por método PSA es una alternativa válida que cumple con todos los requerimientos técnicos y médicos, que es una herramienta de vital importancia para los centros de salud con altos costos por la tecnología criogénica convencional y se espera principalmente que su introducción al mercado regule el funcionamiento de éste para que el proveedor actual ajuste los precios de los gases medicinales.
- En relación a las diferencias de ambos sistemas podemos concluir que el suministro de oxígeno mediante concentrador demuestra ser una alternativa más económica que el suministro de oxígeno mediante el método criogénico, generando una disminución de costos importantes para la institución, pues esta tecnología tiene la capacidad de eliminar costos de arrendamiento sin transferencia de la propiedad del bien y fletes por transporte. Por otro lado, existen algunas desventajas que es necesario tomar en cuenta tales como la ausencia de soporte técnico a nivel local para tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, sensibilidad al polvo y a la humedad y generación de ruido.
2. La factibilidad de sustituir el oxígeno medicinal criogénico por el método PSA por medio del análisis de las condiciones financieras alternativas entre ambos métodos se vuelve evidente gracias a que un VAN de \$2,150,552.12 indica que la inversión en la tecnología PSA produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida por lo que el proyecto puede considerarse viable y conveniente en un horizonte próximo de inversión pues agrega valor monetario. La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) nos indica que el promedio de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión es de 112% lo que nos indica que existe una oportunidad de "reversión" factible financieramente, ya que la TIR obtenida es mucho mayor que la tasa mínima de rentabilidad establecida en este análisis; además el rendimiento que obtendría el Hospital General del ISSS implementando la tecnología PSA sería mayor que el que obtendría en la mejor inversión alternativa, por lo tanto, conviene llevar a cabo la sustitución de la compra de oxígeno criogénico por el método PSA.

El periodo de recuperación de la inversión obtenido es de aproximadamente 0.8 años, es decir, aproximadamente 9 meses. Un periodo de recuperación de la inversión rápido permite que cualquier institución de salud redistribuya sus recursos económicos hacia otras áreas que se encuentren deficientes o que necesiten brindar mayor cobertura.

3. El resultado de 3.78 de la relación beneficio- costo refuerza el principio de obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido, ya que su valor es muy superior a uno; por esto este proyecto nos muestra que los beneficios superan el costo y será viable en términos de eficiencia técnica y financiera.

CAPITULO 6

RECOMENDACIONES

1. Las plantas PSA son sistemas integrados de varios equipos (compresores, filtros, tanques, válvulas) cuya función es separar el oxígeno que se encuentra en el aire, almacenarlo y conducirlo a las redes existentes para ser suministrado a los pacientes bajo condiciones controladas de pureza y calidad. Las empresas que operan en el país proveen oxígeno, principalmente, en forma líquida (criogénica) mediante una tecnología distinta que les permite, además, producir otros insumos como nitrógeno. Se necesita por lo tanto que en un futuro inmediato los gobiernos generen el marco legal regulatorio necesario para apoyar la instalación de las plantas PSA, cumpliendo con las normas internacionales ISO 10083, FDA, USP y NFPA-99.
2. Es importante tomar en cuenta que la localización del generador deberá cuidar aspectos de infraestructura para evitar la generación de ruido, dependencia de la energía eléctrica, suministro secundario de oxígeno, aceptación por el personal y pacientes entre otros. En el caso puntual del nivel de conocimiento dentro del personal de salud sobre la tecnología PSA se pudo comprobar por medio de la encuesta de diagnóstico que el conocimiento es en proporción mínima, por lo cual la inducción al recurso humano deberá ser un punto de trabajo importante.
3. Se recomiendan estudios que complementen el actual en temas de implementación de laboratorios de control de calidad para asegurar especificaciones técnicas, requerimientos de instalación para nosocomios de la red privada y estudios de mercado que documenten la ausencia de competencia y oferta referente a la venta de oxígeno médico en el país de ya que no se obtuvo evidencia de estudios similares previamente efectuados en hospitales de primer nivel del Instituto Salvadoreño del Seguro Social

BIBLIOGRAFIA

1. Gabriel Baca Urbina (2010). Evaluación de Proyectos. Editorial McGraw-Hill, Sexta Edición, España
2. James C. Van Horne, John M. Wachowicz (2002). Fundamentos de administración financiera. Editorial Pearson Educacion, Cuarta Edición. México.
3. Gitman Lawrence (2007). Principios de adminitracion financiera. Pearson Education, Decimoprimera edición. México.
4. Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio (2003). Metodología de la Investigación. McGraw-Hill. Interamericana. Tercera Edición México.
5. Serna, Humberto. (2000). Gerencia Estratégica. Editorial 3 Editores, 5ª. Edición, Santa Fe de Bogotá. 18.
6. Tanaka Nakasone, Gustavo (2005). Análisis de Estados Financieros para la Toma de Decisiones. Editorial PUCP-Fondo Editorial, Lima, Perú. Primera Edición.
7. Eduardo Diego Lázaro (2008) Gases Medicinales. Clasificación, aplicaciones, almacenamiento, suministros, cálculo de redes y mantenimiento. Bioediciones. Primera Edición. Buenos Aires, Argentina.
8. United States Pharmacopeia (USP 30 – NF 25) (2000). Farmacopea de los Estados Unidos de América. <http://www.usp.org/>. Sexta Edición. Estados Unidos.
9. NTE INEN-ISO 10083. Sistema de Suministro Para Concentradores de Oxígeno para uso con Sistema de Tuberías de Gas Medicinal. Primera Edición. Quito, Ecuador.

10. Norma técnica para el diseño y equipamiento de casas de salud (2008). Ministerio de Salud Pública. Versión 1. El Salvador.
11. Medical Gas Pipeline Systems. NHS States, an executive agency of the department of Health. London, Inglaterra, 1997.
12. Documentos OSGI (2015): Ficha, Descripción y Aplicaciones Técnicas del producto. Estados Unidos.

ANEXO I

MÉTODOS DE PRODUCCIÓN

Sistema de Inyección Criogénico o destilación fraccionada

La mayor parte del oxígeno se produce utilizando una variación del proceso de destilación criogénica originalmente desarrollado en 1895. Este proceso proporciona oxígeno con una pureza igual o mayor al 99%. A continuación se detallan los pasos utilizados para producir oxígeno de grado comercial a partir de aire, basándose en el proceso de destilación criogénica.

Es importante resaltar el hecho, tal como se detalla posteriormente, que debido a que este proceso utiliza una sección criogénica extremadamente fría para separar el aire, todas las impurezas que pueden solidificarse, tales como vapor de agua, dióxido de carbono y ciertos hidrocarburos pesados, primero deben ser removidas para evitar que se congelen y a la vez evitar que obstruyan tuberías.

- 1) El aire se comprime hasta aproximadamente 94 psi (libras por pulgada cuadrada) en un compresor multi-etapa. Posteriormente pasa a través de un enfriador para condensar restos de vapor de agua que son removidos gracias a un separador de agua.

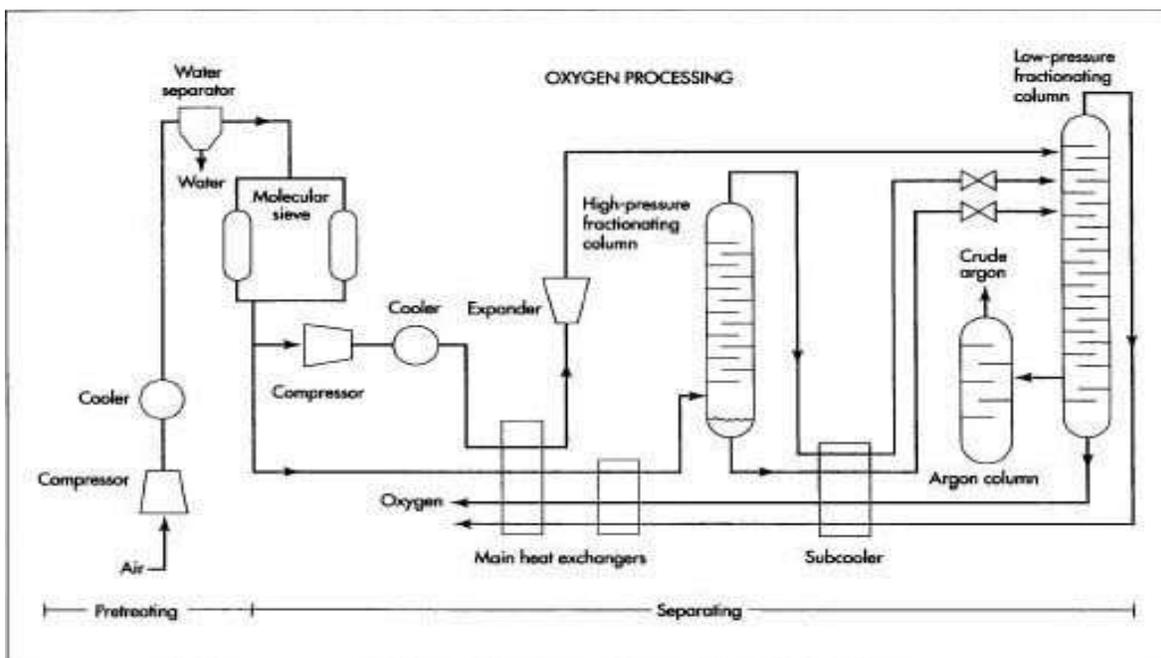


Figura 5: Antes de iniciar el proceso, el aire es pretratado para remover impurezas que podrían llegar a obstruir las tuberías. Una vez pretratado, el aire se somete a la destilación fraccionada. En dicho

proceso, los componentes son separados gradualmente en varias etapas. Dado que todos los procesos de destilación trabajan bajo el principio de la ebullición de un líquido para separar uno o más de sus componentes, una sección criogénica es requerida para proveer las temperaturas suficientemente bajas necesarias para licuar los componentes del gas. Una vez que el oxígeno líquido ha sido separado, se purifica y almacena.

- 2) El aire se hace pasar a través de un tamiz molecular para remover dióxido de carbono y otros hidrocarburos más pesados.
- 3) La corriente de aire pretratado es dividida. Una parte de aire es desviada hacia un compresor para incrementar su presión. Después se enfría para dejar que se expanda a presiones cercanas a la atmosférica. Esta expansión rápidamente enfría el aire, el cual es inyectado en la sección criogénica para someterle a la baja temperatura requerida.
- 4) La corriente principal de aire pasa por uno de los lados del par de intercambiadores de calor que operan en serie, mientras el oxígeno y nitrógeno a muy baja temperatura pasan por el otro lado. La corriente de aire entrante se enfría mientras el oxígeno y el nitrógeno se calientan.
- 5) La corriente de aire (que ahora es en parte líquido y en parte gas) entra en la base de la columna de fraccionamiento a alta presión. Cuando el aire realiza trabajo al subir dentro de la columna, también pierde calor. Entonces el oxígeno continúa licuándose, formando una mezcla rica en oxígeno en el fondo de la columna, mientras la mayor parte del nitrógeno y el argón fluye hacia la región más alta de la columna, en forma de vapor.
- 6) La mezcla de oxígeno líquido, llamado oxígeno líquido crudo, es retirada del fondo de la columna de fraccionamiento y se enfría en un subenfriador. Parte de esta corriente se expande a presiones cercanas a la atmosférica y se alimenta en la columna de fraccionamiento a baja presión. Cuando el oxígeno crudo realiza trabajo al bajar a través de la columna, la mayor parte del nitrógeno y argón restantes se separa, dejando oxígeno con pureza del 99.5% en el fondo de la columna.
- 7) Mientras tanto, el vapor nitrógeno/argón que se encuentra en la parte más alta de la columna de alta presión se enfría adicionalmente en el subenfriador. El vapor mezclado se deja que se expanda a presiones cercanas a la atmosférica y se alimenta en la parte más alta de la columna de fraccionamiento. El nitrógeno, que posee el punto de ebullición más

bajo, es el que se convierte en gas primero y por tanto fluye hacia fuera de la parte más alta de la columna como nitrógeno con 99.995% de pureza.

- 8) El argón, cuyo punto de ebullición se encuentra entre el del oxígeno y el nitrógeno, queda como vapor y comienza a hundirse mientras el nitrógeno hierve. Cuando el vapor de argón alcanza cerca de las dos terceras partes de su trayectoria de descenso a través de la columna, la concentración de argón alcanza su punto máximo (7-12%) y es retirado a una tercera columna de fraccionamiento, donde posteriormente se recircula y refina. El producto final es una corriente de argón crudo, donde del 93-96% es argón, del 2-5% oxígeno y el resto es nitrógeno junto con restos de otros gases.

Purificación

El oxígeno que se encuentra en el fondo de la columna de baja presión tiene una pureza cercana al 99.5%. Unidades más nuevas de destilación criogénica han sido diseñadas para recuperar más argón de la columna de baja presión, dando como resultado una mejora en la pureza del oxígeno (alrededor del 99.8%).

- 9) Si se requiere una pureza aun más elevada, una o más columnas de fraccionamiento pueden ser agregadas en conjunto con la columna a baja presión para refinar el oxígeno. En algunas ocasiones, el oxígeno también puede hacerse circular a través de un catalizador para oxidar cualquier hidrocarburo. Este proceso produce dióxido de carbono y vapor de agua, los cuales son capturados y removidos.

Distribución

Alrededor del 80 al 90% del oxígeno producido en los Estados Unidos es distribuido a los usuarios finales gracias a tuberías para gases desde las cercanías de las plantas separadoras de aire. En algunos lugares, una extensa red de tuberías sirve a muchos usuarios finales en un área de cientos de kilómetros

Electrólisis

La Electrólisis es un proceso para separar un compuesto en los elementos que lo conforman, usando para ello la electricidad.

La palabra Electrólisis viene de las raíces “electro”, electricidad y “lisis”, separación.

El oxígeno gaseoso puede ser producido gracias al fenómeno de la electrólisis del agua. Se debe utilizar corriente directa.

El proceso consiste en:

- a) Se funde o se disuelve el electrólito en un determinado solvente, con el fin de que dicha sustancia se separe en iones (ionización).
- b) Se aplica una corriente eléctrica continua mediante un par de electrodos conectados a una fuente de alimentación eléctrica y sumergidos en la solución. El electrodo conectado al polo positivo se conoce como cátodo, y el conectado al negativo como ánodo.
- c) Cada electrodo atrae a los iones de carga opuesta. Así, los iones negativos, o aniones, son atraídos y se desplazan hacia el cátodo, mientras que los iones positivos, o cationes, son atraídos y se desplazan hacia el ánodo.

La energía necesaria para separar a los iones e incrementar su concentración en los electrodos es aportada por la fuente de alimentación eléctrica.

En los electrodos se produce una transferencia de electrones entre éstos y los iones, produciéndose nuevas sustancias. Los iones negativos o aniones ceden electrones al ánodo (-) y los iones positivos o cationes toman electrones del cátodo (+).

Al circular la corriente eléctrica a través de la solución, se produce la descomposición del agua en sus dos elementos integrantes, recogándose el oxígeno, en forma gaseosa, en uno de los electrodos, y el hidrógeno.

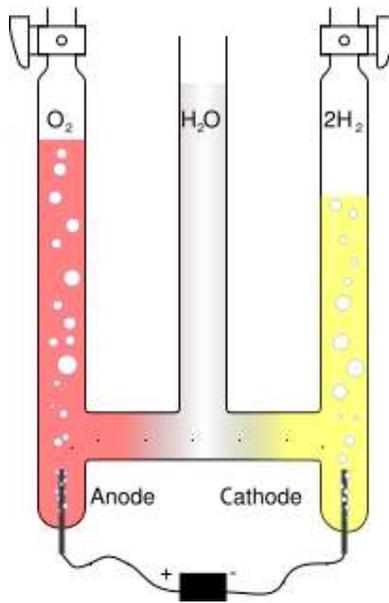


Figura 6: Aparato de electrólisis del agua de Hoffman.

Este procedimiento resulta “muy costoso ya que utiliza una gran cantidad de energía eléctrica y apenas se emplea, por lo que el oxígeno para aplicaciones Industriales suele obtenerse por destilación fraccionada del aire”.

En definitiva lo que ocurre es una reacción de oxidación - reducción, donde la fuente de alimentación eléctrica se encarga de aportar la energía necesaria.

Adsorción por balanceo de presión (PSA)

Descripción del método PSA

El método de Adsorción por balanceo de presión o mejor conocido por sus siglas en inglés PSA se basa en la utilización de un material cerámico especial llamado zeolita (minerales de aluminio-silicato con estructura cristalina compleja) capaz de separar el oxígeno del aire ambiente.

El aire contiene 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y 0.9% de argón y 0.1% de otros gases.

Los sistemas generadores de oxígeno separan esta pequeña cantidad de oxígeno del aire deliberadamente comprimido, mediante el proceso de separación del aire por balanceo de

presiones, reconocido internacionalmente por las iniciales de Pressure Swing Adsorption (PSA).

El proceso PSA utiliza un tamiz molecular de zeolitas sintéticas, las que tienen la particularidad de atraer, adsorber, el nitrógeno del aire cuando se lo hace pasar a alta presión y luego lo libera, desorbe, a baja presión.

Los generadores de oxígeno en la primera etapa del proceso (cuando solo existe un módulo) utilizan dos tanques con tamices moleculares para adsorber el nitrógeno. Antes de que el primer tanque se sature completamente de nitrógeno, el flujo de aire comprimido es desviado al segundo tanque donde continúa el proceso de adsorción en este segundo tanque. Mientras tanto, en el primer tanque el tamiz molecular se regenera debido a la despresurización del gas nitrógeno y la purificación que se realiza por pasaje de parte del gas oxígeno antes separado.

El ciclo completo vuelve a repetirse, entrando el sistema en un régimen de constante balanceo de presiones. Como resultado de este proceso se obtiene gas oxígeno con una pureza de alrededor del 95.0%, cumpliendo con la Farmacopea de USA (United States Pharmacopeia USP XXII Oxygen 93 Percent Monograph), el resto de gas es argón.

En condiciones normales de operación, los tamices moleculares se regeneran totalmente, por lo cual su vida útil es indefinida.

El proceso puede contener un Segundo Módulo, el cual, mediante el proceso de separación de gases por balanceo de presiones, eleva la pureza del gas oxígeno al ser atrapado por tamices de carbón activado obteniendo una pureza de alrededor del 98.0% (lo que permite dar cumplimiento a normativas internacionales, como por ejemplo lo establecido por la Farmacopea Argentina Sexta Edición, Ley 21.885/78 que exige para el gas oxígeno medicinal un 98% de pureza).

Las posibilidades de fabricar equipos estándares o a medida, permiten diseñar sistemas PSA que cumplan con las especificaciones propias del Centro de Salud cubriendo todas las circunstancias y para aquellos que necesiten equipos portátiles o atención ambulatoria, las Plantas permiten llenar entre 8 y 100 cilindros diariamente.

El proceso completo se logra mediante los siguientes pasos (ver Fig. 5) ¹³

1. Compresión y acondicionamiento de aire de alimentación

El aire ambiental (entrada) es comprimido por un compresor de aire, posteriormente secado por un secador de aire y filtrado antes de entrar a los tubos de proceso.

2. Adsorción

El aire pre-tratado es pasado hacia un tubo lleno con Tamiz Molecular Zeolita (ZMS) por donde la mayoría del oxígeno pasa mientras el nitrógeno y otros gases son adsorbidos. Antes de que la capacidad de adsorción del ZMS se agote el proceso de adsorción se interrumpe.

3. Desorción

El ZMS saturado es regenerado (por ejemplo los gases adsorbidos son liberados) por medio de reducción de la presión por debajo de la del paso de adsorción. Esto se logra por un simple sistema de liberación de presión. La corriente de desechos resultante es ventilada a la atmósfera. El adsorbente regenerado es purgado con oxígeno y ahora será usado nuevamente para la generación de oxígeno.

4. Receptor de oxígeno

La adsorción y desorción toman lugar alternadamente en intervalos de tiempo iguales. Esto significa que la generación continua de oxígeno puede lograrse con dos adsorbentes, uno establecido en adsorción y el otro en regeneración. El flujo de producto constante y pureza se aseguran por un receptor de oxígeno conectado que almacena oxígeno a purezas de hasta 95% y presiones de hasta 4.5 bar. (g) 65 psig.

5. Sistema de respaldo opcional

La batería de reserva generalmente está constituida por cilindros. Como su nombre lo indica, es utilizada como suministro en caso de eventuales interrupciones de la fuente principal del sistema.

¹³ Tomado de IGS Innovative Gas Systems

Los cilindros se agrupan en conjunto, generalmente son dos bloques con idéntica cantidad de cilindros (en función de la demanda de la instalación). Ambos bloques, también llamados rampas, funcionan interconectados y comandados por medio de un manifold.

Los manifolds son sistemas de regulación de presión que entregan un suministro continuo de gas.

Hay manifolds manuales, semi-automáticos y automáticos.

6. Oxígeno como producto final

El resultado es una corriente constante de oxígeno producido en el sitio a un costo considerablemente menor que el de gases líquidos o embotellados.

El control electrónico de este sistema usualmente se maneja mediante un PLC con pantalla táctil, SMS y diversos sensores monitoreados por el PLC tales como flujómetros medidores de presión y medidores de pureza.

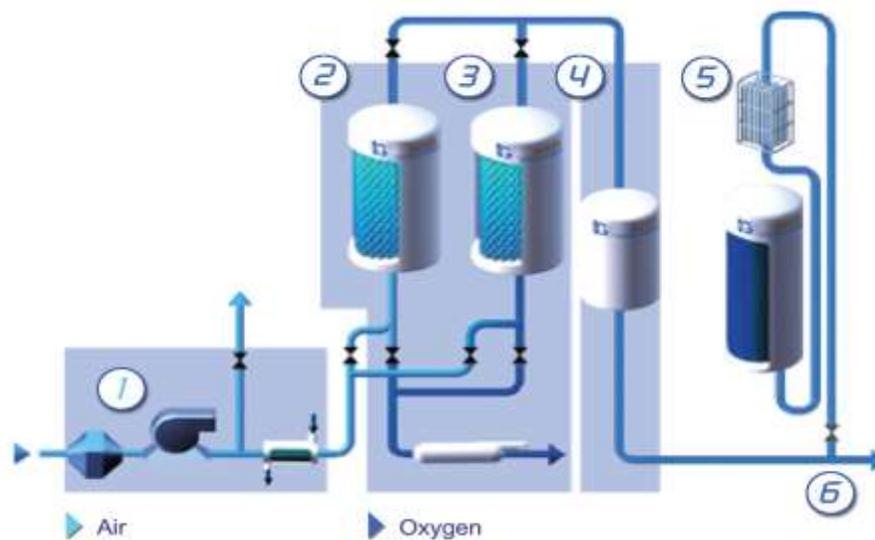


Figura 7: Esquema de sistema PSA. (Air = aire y Oxygen = Oxígeno)

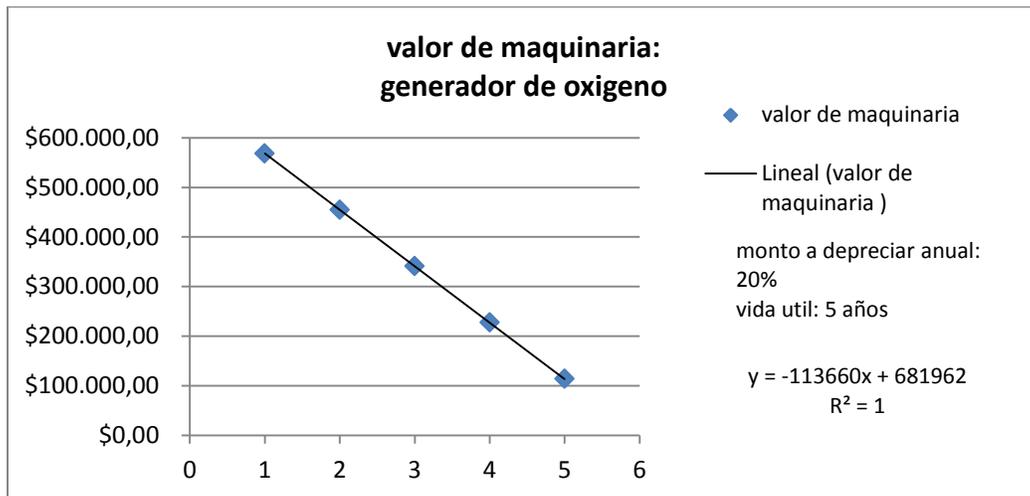
ANEXO II

Estudio de Depreciación de la Maquina.

| Depreciación de la maquinaria | |
|--------------------------------------|---------------------|
| año | valor de maquinaria |
| 1 | \$568,301.84 |
| 2 | \$454,641.47 |
| 3 | \$ 340981.1021 |
| 4 | \$ 227320.7348 |
| 5 | \$ 113660.3674 |

Tabla 15. Tabla de Depreciación de la Maquinaria

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| VALOR INICIAL DE LA MAQUINARIA | \$568,301.84 |
| TIEMPO DE DEPRECION DE LA MAQUINA | 4 años |
| VALOR ANUAL A DEPRECIAR: | \$113,660.37 |



ANEXO III

Encuesta de Diagnostico de Tecnología PSA

ENCUESTA DE CONOCIMIENTO GENERAL DE
TECNOLOGIA DE GENERACION DE OXIGENO
POR METODO DE PSA

I. IDENTIFICACIÓN DE EL ENTREVISTADO/A

1. Sexo Hombre Mujer Edad _____

Educación, señale hasta que nivel de enseñanza llegó, especificando el Nivel de formación cursada actualmente

Básica Media Formación Técnica/Bachillerato Instituto Profesional

I. . LEA LAS INSTRUCCIONES ANTES DE CONTESTAR EL CUESTIONARIO.

CONOCIMIENTO GENERALIZADO DE TECNOLOGIA DE GENERACION DE OXIGENO
LIQUIDO POR METODO CRIOGENICO vrs PSA

1. ¿Tiene conocimiento sobre el método de generación de oxígeno líquido que actualmente utiliza el ISSS?

Sí No

2. ¿Conoce ventajas/desventajas del uso de la tecnología actual?

Sí No

Explique: _____

—

3. ¿Tiene conocimiento sobre generación de oxígeno líquido por el método de balance de presiones PSA?

Sí No

Si su respuesta es si:

4. ¿Considera que el ISSS posee las condiciones, capacidad y capacitación necesaria para utilizarla el método de balance de presiones PSA?

Sí No

Si su respuesta es no, favor explique:

4. ¿De que forma el ISSS puede generar las condiciones necesarias para utilizar el método de balance de presiones PSA?

Explique: _____

—

6. ¿Conoce si el ISSS posee sistemas de respaldo para la red de oxígeno médico actualmente?

Si No

7. ¿Conoce las principales formas de distribución de oxígeno a nivel institucional?

Sí No

Si su respuesta es sí, ¿Cuáles reconoce?

8. ¿Cuáles son las formas de contabilizar para determinar el consumo exacto de las fuentes móviles (cilindros) y fijas (tomas de pared) por medio del método criogénico?

Explique: _____

9. ¿Conoce algunas las medidas de seguridad que deben tomarse en el caso de oxígeno generado por método criogénico y método PSA? Si su respuesta es sí, ¿Considera que la Institución las toma?

Sí No

Detalle cuales son las que conoce :

10. ¿Considera de importancia las diferencias técnicas de oxígeno generado al 93% de pureza y oxígeno generado al 99%?

Sí No

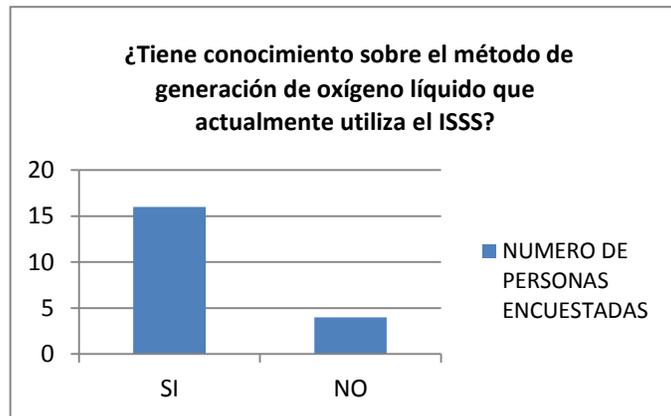
Explique cuales considera que son las principales diferencias:

PREGUNTA 1

1. ¿Tiene conocimiento sobre el método de generación de oxígeno líquido que actualmente utiliza el ISSS?

Sí No

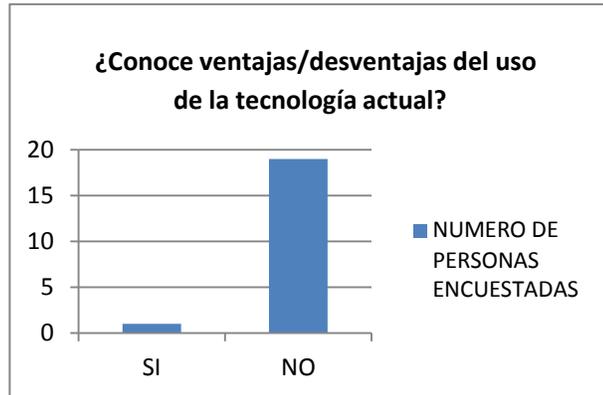
| RESPUESTA | NUMERO DE PERSONAS ENCUESTADAS |
|-----------|--------------------------------|
| SI | 16 |
| NO | 4 |



2. ¿Conoce ventajas/desventajas del uso de la tecnología actual?

Sí No

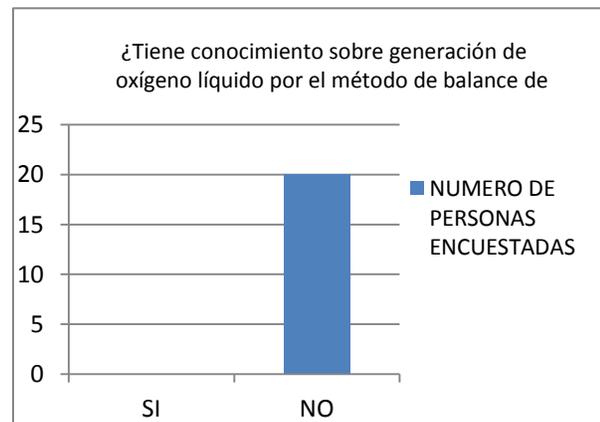
| RESPUESTA | NUMERO DE PERSONAS ENCUESTADAS |
|-----------|--------------------------------|
| SI | 1 |
| NO | 19 |



3. ¿Tiene conocimiento sobre generación de oxígeno líquido por el método de balance de presiones PSA?

Sí No

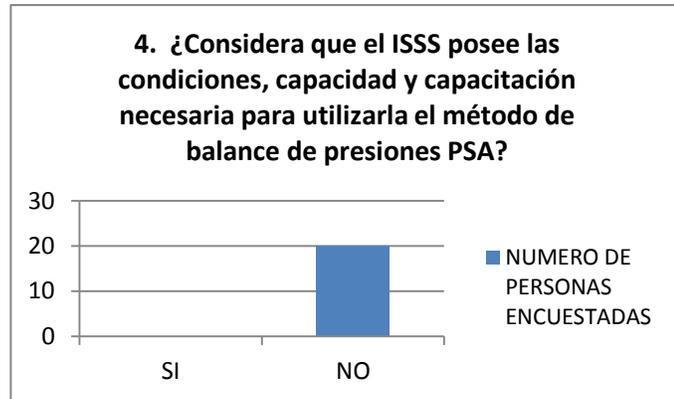
| RESPUESTA | NUMERO DE PERSONAS ENCUESTADAS |
|-----------|--------------------------------|
| SI | 0 |
| NO | 20 |



4. ¿Considera que el ISSS posee las condiciones, capacidad y capacitación necesaria para utilizarla el método de balance de presiones PSA?

Sí No

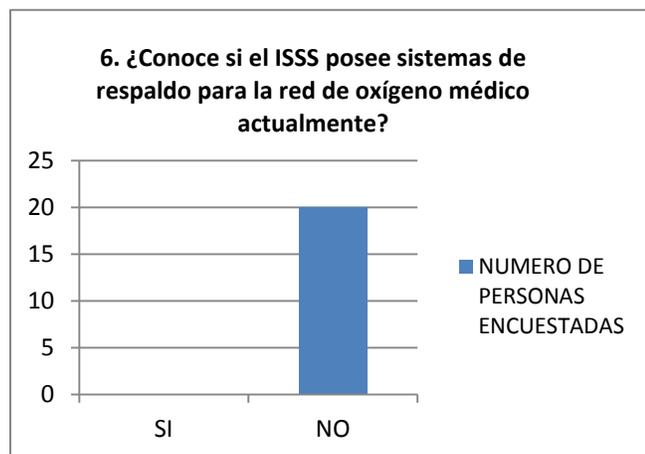
| RESPUESTA | NUMERO DE PERSONAS ENCUESTADAS |
|-----------|--------------------------------|
| SI | 0 |
| NO | 20 |



5. ¿Conoce si el ISSS posee sistemas de respaldo para la red de oxígeno médico actualmente?

Sí No

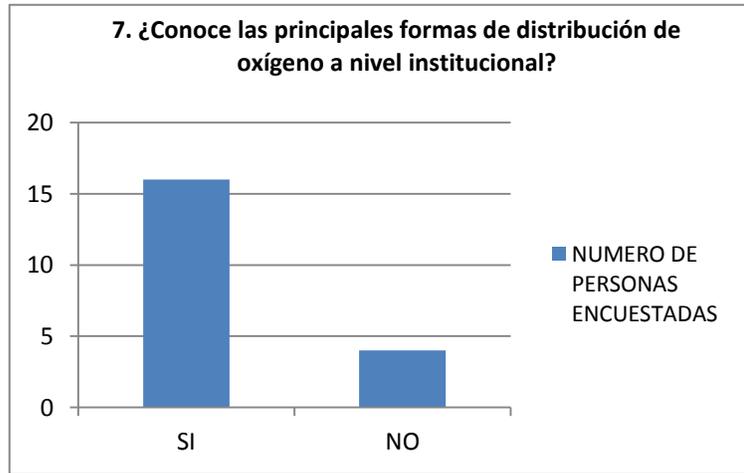
| RESPUESTA | NUMERO DE PERSONAS ENCUESTADAS |
|-----------|--------------------------------|
| SI | 0 |
| NO | 20 |



6. ¿Conoce las principales formas de distribución de oxígeno a nivel institucional?

Sí No

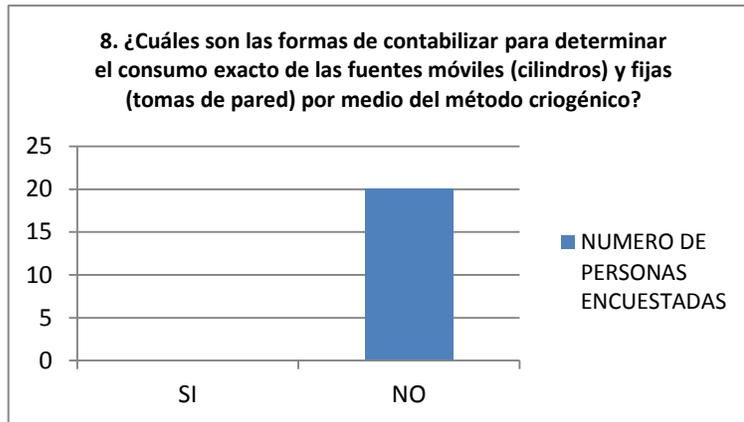
| RESPUESTA | NUMERO DE PERSONAS ENCUESTADAS |
|-----------|--------------------------------|
| SI | 16 |
| NO | 4 |



7. ¿Cuáles son las formas de contabilizar para determinar el consumo exacto de las fuentes móviles (cilindros) y fijas (tomas de pared) por medio del método criogénico?

Si No

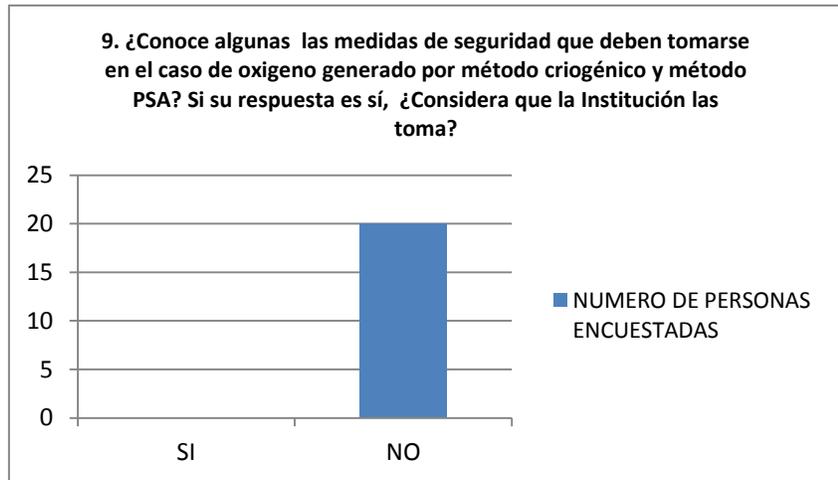
| RESPUESTA | NUMERO DE PERSONAS ENCUESTADAS |
|-----------|--------------------------------|
| SI | 0 |
| NO | 20 |



8. ¿Conoce algunas las medidas de seguridad que deben tomarse en el caso de oxígeno generado por método criogénico y método PSA? Si su respuesta es sí, ¿Considera que la Institución las toma?

Si No

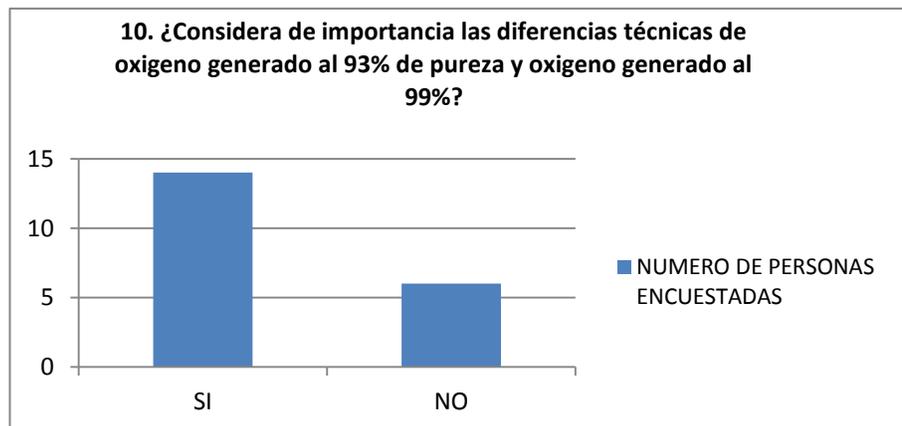
| RESPUESTA | NUMERO DE PERSONAS ENCUESTADAS |
|-----------|--------------------------------|
| SI | 0 |
| NO | 20 |



9. ¿Considera de importancia las diferencias técnicas de oxígeno generado al 93% de pureza y oxígeno generado al 99%?

Si No

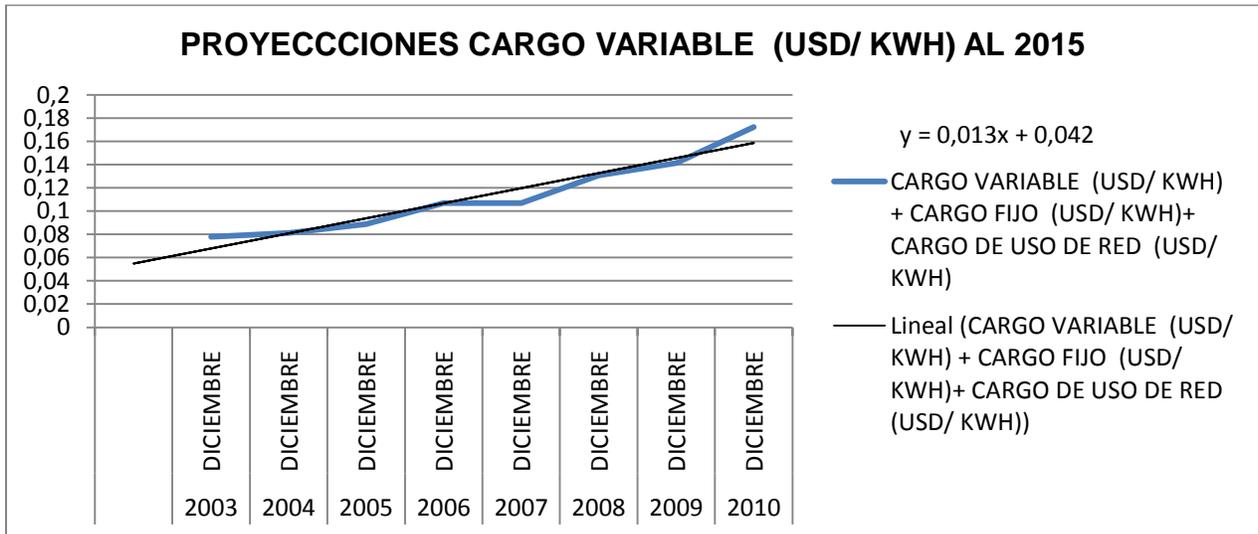
| RESPUESTA | NUMERO DE PERSONAS ENCUESTADAS |
|-----------|--------------------------------|
| SI | 14 |
| NO | 6 |



ANEXO IV

Calculo de Consumo de Energía Eléctrica

| AÑO | MES | CARGO VARIABLE (USD/ KWH) + CARGO FIJO (USD/ KWH)+ CARGO DE USO DE RED (USD/ KWH) |
|------|-----------|---|
| 2003 | DICIEMBRE | 0.077744 |
| 2004 | DICIEMBRE | 0.0811699 |
| 2005 | DICIEMBRE | 0.088705 |
| 2006 | DICIEMBRE | 0.106898 |
| 2007 | DICIEMBRE | 0.106898 |
| 2008 | DICIEMBRE | 0.130741 |
| 2009 | DICIEMBRE | 0.141363 |
| 2010 | DICIEMBRE | 0.172212 |
| 2011 | DICIEMBRE | 0.172 |
| 2012 | DICIEMBRE | 0.185 |
| 2013 | DICIEMBRE | 0.198 |
| 2014 | DICIEMBRE | 0.211 |
| 2015 | DICIEMBRE | 0.224 |
| 2016 | DICIEMBRE | 0.237 |
| 2017 | DICIEMBRE | 0.25 |
| 2018 | DICIEMBRE | 0.263 |
| 2019 | DICIEMBRE | 0.276 |
| 2020 | DICIEMBRE | 0.289 |



Proyecciones de Consumo de Energía Eléctrica

| Año | Mes | USD/ KWH |
|------|-----------|------------|
| 2016 | DICIEMBRE | \$6,143.04 |
| 2017 | DICIEMBRE | \$6,480.00 |
| 2018 | DICIEMBRE | \$6,816.96 |
| 2019 | DICIEMBRE | \$7,153.92 |
| 2020 | DICIEMBRE | \$7,490.88 |

ANEXO V

Pronostico de costos asociados

Para el cálculo de los costos proyectados se utilizaron las tasas de inflación tomadas de la base oficial del banco mundial <http://datos.bancomundial.org/indicador/FP.CPI.TOTL.ZG?page=1>

| TASA DE INFLACIÓN PROYECTADA EN BASE A LOS AÑOS 2005 AL 2020 | |
|--|-------------|
| Año | Inflación % |
| 2005 | 4.3 |
| 2006 | 4.9 |
| 2007 | 4.9 |
| 2008 | 5.5 |
| 2010 | 1.2 |
| 2011 | 5.1 |
| 2012 | 1.7 |
| 2013 | 0.8 |
| 2014 | 1.1 |
| 2015 | -0.8 |
| 2016 | 1.7 |
| 2017 | 1.8 |
| 2018 | 1.9 |
| 2019 | 1.9 |
| 2020 | 2 |

Subcontratación de mantenimiento preventivo y correctivo (incluye repuestos por un valor de hasta \$ 1000)

Valor tomado de cotización OGSi para el 2017 = \$24,906.86

Valor proyectado para el 2018 = \$24906.86 * 1.019 = \$ 25380.09.

Oxygen Generating Systems Intl (OGSI) diseña y fabrica generadores de oxígeno utilizando la tecnología Pressure Swing adsorción (PSA), OGSi ofrece una línea completa de plantas in situ con salidas desde el 15 (7,5 LPM) para 5000 SCFH (5tpd). La pureza de oxígeno típica de sus generadores es 93 % (+/- 3 %) utilizando sólo el aire y electricidad para producir oxígeno medicinal.

Actualmente OGSi tiene plantas de oxígeno en más de 70 países en todo el mundo, sirviendo a diversos mercados.

ANEXO VI

Oferta de Concentrador PSA proporcionado por empresa OGSi

Especificaciones del Equipo:

Dual Model OGM-2000 Hospital Oxygen Plant with Cylinder Filling

Total O2 Output: 4000 SCFH (1887 LPM) (10 cylinders per day)

(2) Model OG-2000 Oxygen Generator(s) Machine Specifications

| | |
|-------------------------|--------------------|
| O2 Output (SCFH): | 2000 |
| O2 Pressure (PSIG): | 45-60 |
| O2 Concentration: | 93% |
| Air Requirement (SCFM): | 425 |
| Energy Use (kW): | 0.1 |
| Sound Level: | 75 dB(A) @ 1 meter |
| Dimensions: | |
| Length (inches): | 75 |
| Width (inches): | 57 |
| Height (inches): | 125 |
| Weight (lbs): | 10,000 |

(1) 1550 Gallon Oxygen Surge Tank

| Dimensions | |
|----------------------------|------|
| Outside Diameter (Inches): | 54 |
| Height (Inches): | 166 |
| Weight (Lbs): | 2700 |

Air Preparation System

(2) Atlas Copco GA75+ FF Rotary Screw Air Compressors

| Air Compressor Specifications | |
|--------------------------------------|-----|
| Horsepower: | 100 |
| Airflow Capacity (ACFM): | 450 |
| Energy Use (kW): | 75 |

Totally Enclosed Fan Cooled (TEFC) High Efficiency Motor, and integrated refrigerated dryer is included.

(1) 1550 Gallon Capacity Air Storage Tank.

| Dimensions: | |
|----------------------------|------|
| Outside Diameter (Inches): | 54 |
| Height (Inches): | 166 |
| Weight (lbs): | 2700 |

(1) RIX 2PS Oxygen Compressor

| Especifications | |
|----------------------|--------------------------------------|
| Horsepower: | 1.5 |
| O2 Pressure: | 2200 PSIG |
| O2 Flow Rate: | 30 to 120 SCFH |
| O2 Fill Rate: | 10 Bottles/Day Maximum (6m3 size) |
| O2 Suction Pressure: | 30-70 PSIG |
| Weight (lbs.): | 200 |

Includes: Stainless Steel flexible oxygen hose,
High Efficiency motor.

(2) Digital Thermometers

(1) Oxygen Analyzer. (Includes: Audio/visual display and alarm)

(1) High Pressure O2 Manifold-10 Pigtail Includes: High Pressure Stainless Steel flexible Oxygen hose connected from the Oxygen filling manifold

(1) Vacuum Pump

(1) Skid Mounted

(1) Foreign Start-Up

(1) CO & CO2 Monitor set

(2) Sets Feed Air Filters

Total Price Ex-Works, N. Tonawanda, NY USA. \$516,170 USD

Estimated System Power Use (kWH): \$ 153.00 USD

Available Options:

1) Touch Screen Control & Communication Package, **\$12,000 USD**

2) New Oxygen Cylinders (K or 6m3 size), **\$290 USD ea.**

3) Plant Hand Tool Kit, **\$500 USD**

4) 2-Year Spare Parts& Consumables Package, **51,000 USD**

5) The Dual OGM- 2000 has (2) of our OGM- 2000 O2 generators. To replace the seed in one OGM- 2000 it would need 5700 US pounds. At \$7 USD / pound x 11400 pounds, it will cost \$79800 USD.

ANEXO VII

Punto de equilibrio Operativo

Como manera alternativa de observar el comportamiento del periodo de recuperación descontado, pero esta vez con el objetivo de relacionar los dos escenarios planteados en este análisis (Continuar con la compra de oxígeno criogénico o invertir en la tecnología PSA), se muestra el gráfico 1 correspondiente al punto de equilibrio en donde la intersección correspondiente a cada escenario e indica que la el nuevo proyecto reporta beneficios para el Hospital General.

| PERIODO DE RECUPERACION DESCONTADO ACUMULADO OXIGENO CRIOGENICO | | | | | |
|---|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| PERIODOS | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| COSTOS | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Opción 1: Seguir con la compra de oxígeno | 0 | \$1005,516.63 | \$1068,877.55 | \$1133,237.79 | \$1187,701.02 |
| COSTOS | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Opción 1: Compra de oxígeno descontados | \$0.00 | \$894,460.42 | \$845,807.82 | \$797,694.62 | \$743,694.58 |
| COSTOS | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Opción 1: Descontados acumulados | \$0.00 | \$894,460.42 | \$1740,268.24 | \$2537,962.86 | \$3281,657.45 |

Tabla 16: Periodo de recuperación descontado acumulado opción Oxígeno Criogénico.

| PERIODO DE RECUPERACION DESCONTADO ACUMULADO OXIGENO PSA | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| PERIODOS | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| COSTOS | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Opción 2: Generación de oxígeno in situ | \$568,301.84 | \$94,437.69 | \$96,363.96 | \$98,408.71 | \$180,485.92 |
| COSTOS | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Opción 2: Generación de oxígeno descontados | \$454,641.47 | \$60,440.12 | \$49,338.35 | \$40,308.21 | \$59,141.63 |
| COSTOS | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Opción 2: Descontados acumulados | \$454,641.47 | \$515,081.59 | \$564,419.94 | \$604,728.15 | \$663,869 |

Tabla 17: Periodo de recuperación descontado acumulado opción Oxígeno PSA.

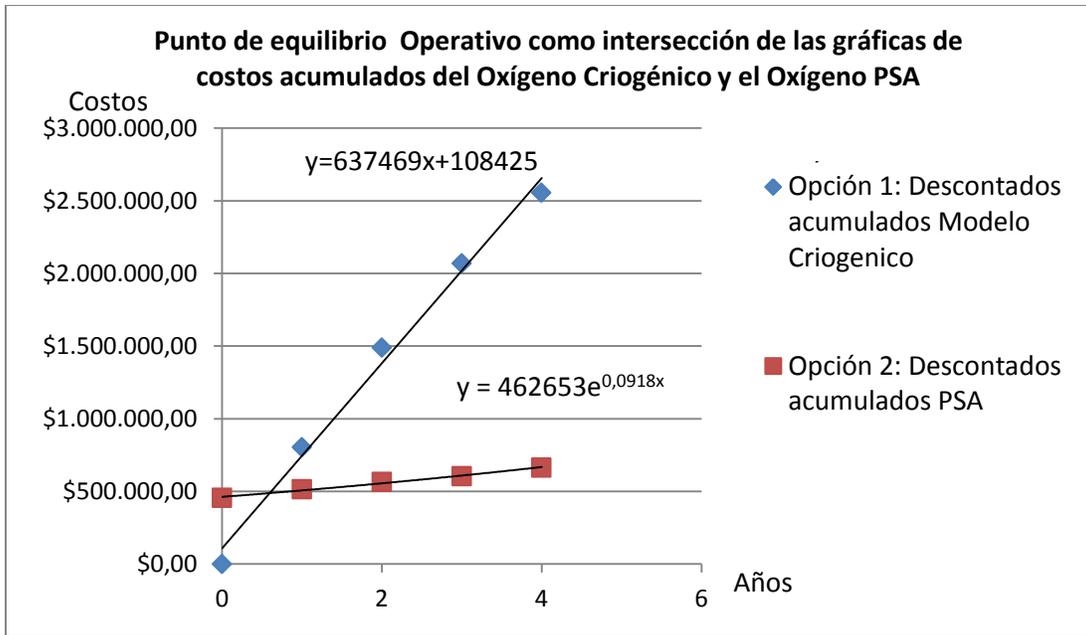


Gráfico 1: Punto de equilibrio como intersección de las gráficas de costos acumulados del Oxígeno Criogénico y el Oxígeno PSA.

GLOSARIO

- **Absorción:** Es la operación unitaria que consiste en la separación de uno o más componentes de una mezcla gaseosa con la ayuda de un solvente líquido con el cual forma solución (un soluto A, o varios solutos, se absorben de la fase gaseosa y pasan a la líquida). Este proceso implica una difusión molecular turbulenta o una transferencia de masa del soluto A a través del gas B, que no se difunde y está en reposo, hacia un líquido C, también en reposo. Un ejemplo es la absorción de amoníaco A del aire B por medio de agua líquida C. Al proceso inverso de la absorción se le llama empobrecimiento o desorción; cuando el gas es aire puro y el líquido es agua pura, el proceso se llama deshumidificación, la deshumidificación significa extracción de vapor de agua del aire
- **Adsorción:** La adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen. Es decir, es un proceso en el cual por ejemplo un contaminante soluble (adsorbato) es eliminado del agua mediante el contacto con una superficie sólida (adsorbente). El proceso inverso a la adsorción se conoce como desorción
- **Asepsia:** es un término médico que define al conjunto de métodos aplicados para la conservación de la esterilidad. La presentación y uso correcto de ropa, instrumental, materiales y equipos estériles, sin contaminarlos en todo procedimiento quirúrgico realizado se conoce como asepsia.
- **CO:** El monóxido de carbono, también denominado óxido de carbono (II), gas carbonoso y anhídrido carbonoso (los dos últimos cada vez más en desuso), cuya fórmula química es CO, es un gas inodoro, incoloro y altamente tóxico. Puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados. Se produce por la combustión deficiente de sustancias como gas, gasolina, keroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera. Las chimeneas, las calderas, los calentadores de agua o calefactores y los aparatos domésticos que queman combustible, como las estufas u hornallas de la cocina o los calentadores a queroseno, también pueden producirlo si no están funcionando bien. Los vehículos con el motor encendido también lo despiden. También se puede encontrar en las atmósferas de las estrellas de carbono.
- **CO₂ :** El dióxido de carbono (fórmula química CO₂) es un gas incoloro, inodoro y vital para la vida en la Tierra. Este compuesto químico encontrado en la naturaleza está

compuesto de un átomo de carbono unido con sendos enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno. El CO_2 existe en la atmósfera de la Tierra como gas traza a una concentración de alrededor de 0,04 % (400 ppm) en volumen.² Fuentes naturales incluyen volcanes, aguas termales, geiseres y es liberado por rocas carbonatadas al diluirse en agua y ácidos. Dado que el CO_2 es soluble en agua, ocurre naturalmente en aguas subterráneas, ríos, lagos, campos de hielo, glaciares y mares. Está presente en yacimientos de petróleo y gas natural.³

- **Coalescente:** La coalescencia es la posibilidad de que dos o más materiales se unan en un único cuerpo. El término es comúnmente utilizado para explicar los fenómenos de soldadura, en particular de metales. Durante la denominada soldadura por fusión, mediante acción térmica, se puede conseguir la coalescencia de granos parcialmente fundidos y formar un único sistema de cristales. El metal fundido permanece en contacto con los bordes de las superficies de unión parcialmente fundidas. A partir de los granos originales (volúmenes tridimensionales de la misma estructura cristalina, pero con distintas direcciones cristalográficas) se produce un crecimiento de solidificación epitaxial que permite la coalescencia cristalina de la unión y que las superficies de los materiales se unan.

En medicina, la hipoxia (del griego antiguo ὑπὸ hypó 'debajo de', ὀξύς oxys 'oxígeno', ἰα 'cualidad') es un estado en el cual el cuerpo completo (hipoxia generalizada), o una región del cuerpo (hipoxia de piel loca), se ve privado del suministro adecuado de oxígeno.

- **Factibilidad:** se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas. Generalmente la factibilidad se determina sobre un proyecto.
- **Fase:** Fase puede referirse a Etapa o estadio de un proceso, fenómeno natural o histórico, doctrina, negocio, etc.
- **Fuerzas de Van der Waals:** En fisicoquímica, las fuerzas de Van der Waals o interacciones de Van der Waals, son las fuerzas atractivas o repulsivas entre moléculas (o entre partes de una misma molécula) distintas a aquellas debidas a un enlace intramolecular (Enlace iónico, Enlace metálico y enlace covalente de tipo reticular) o a la interacción electrostática de iones con otros o con moléculas neutras.

- Fuerzas electrostáticas: Sean las dos cargas puntuales q_1 y q separadas una distancia r , que se encuentran en reposo con respecto al origen O del sistema de referencia inercial. La fuerza que la carga q_1 ejerce sobre q se denomina fuerza electrostática y viene dada por la ley de Coulomb:
- Hipoxia: En medicina, la **hipoxia** (del griego antiguo ὑπό *hypó* 'debajo de', ὀξύς *oxys* 'oxígeno', ἴα *íā* 'cualidad') es un estado de deficiencia de oxígeno en la sangre, células y tejidos del organismo, con compromiso de la función de los mismos. Esta deficiencia de oxígeno puede ser debida a muchas causas, como el tabaquismo, la inhalación de gases o la exposición a grandes alturas (mal de montaña).
- PPM: (Partes por millón): es una unidad de medida con la que se mide la concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia (agente, etc) que hay por cada millón de unidades del conjunto. Por ejemplo, en un millón de granos de arroz, si se pintara uno de negro, este grano representaría una (1) parte por millón. Se abrevia como "ppm".
- Suelen ser utilizados y vendidos como absorbentes comerciales. Ejemplos de sus usos incluyen la refinación del petróleo, la coloración de gases y líquidos y el control de polución. Esto ha hecho que exista una producción comercial de zeolitas artificiales de características particulares.
- Sustrato Sólido: El término sustrato se aplica en horticultura a todo material sólido distinto del suelo in situ, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por lo tanto, un papel de soporte para la planta, el sustrato puede intervenir (material químicamente activo) o no (material inerte) en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta.
- Tamiz molecular: Un tamiz molecular es un material que contiene poros pequeños de un tamaño preciso y uniforme que se usa como agente adsorbente para gases y líquidos.

Las moléculas que son lo suficientemente pequeñas para pasar a través de los poros son absorbidas, mientras que las moléculas mayores no. A diferencia de un filtro, el proceso opera a nivel molecular. Por ejemplo, una molécula de agua puede ser lo suficientemente pequeña para pasar, mientras que otras moléculas más grandes no pueden hacerlo. Aprovechando esta propiedad, a menudo se emplean como agentes desecantes. Un tamiz molecular puede adsorber hasta un 22% de su propio peso en agua.¹

- **Terapia hiperbárica:** La Terapia con Oxígeno Hiperbárico es un tipo de tratamiento médico que es utilizado para tratar una variedad de enfermedades. Este tratamiento requiere que el paciente respire oxígeno al 100% sobre un periodo de tiempo bajo presión. El paciente recibe el tratamiento mientras se encuentra en un medio ambiente presurizado (una cámara de oxígeno hiperbárico). Con frecuencia este tipo de tratamiento se complementa con otras terapias que facilitan el saneamiento de varias condiciones médicas.
- **Viabilidad:** La viabilidad técnica se analiza ante un determinado requerimiento o idea para determinar si es posible llevarlo a cabo satisfactoriamente y en condiciones de seguridad con la tecnología disponible, verificando factores diversos como resistencia estructural, durabilidad, operatividad, implicaciones energéticas, mecanismos de control, según el campo del que se trate.
- **Zeolitas:** Las Zeolitas o Ceolitas son minerales aluminosilicatos microporosos que destacan por su capacidad de hidratarse y deshidratarse reversiblemente. Hasta octubre 2012 se han identificado 206 tipos de zeolitas según su estructura, de los cuales más de 40 ocurren en la naturaleza; los restantes son sintéticos. Las zeolitas naturales ocurren tanto en rocas sedimentarias, como volcánicas y metamórficas.