

**ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
GENERACIÓN DE OXÍGENO MEDICINAL *IN SITU* EN EL HOSPITAL MILITAR  
CENTRAL, BOGOTÁ D. C.**

**JESÚS EMEL MORRÓN CABALLERO  
JUAN FELIPE NORATO WILCHES**



**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA INTEGRAL DE PROYECTOS  
BOGOTÁ D. C.  
2011**

**ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
GENERACIÓN DE OXÍGENO MEDICINAL *IN SITU* EN EL HOSPITAL MILITAR  
CENTRAL, BOGOTÁ D. C.**

**JESÚS EMEL MORRÓN CABALLERO  
JUAN FELIPE NORATO WILCHES**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar  
al título de: Especialista en Gerencia Integral de Proyectos**

**Director  
JOHN JAIRO GALLO C.**



**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA INTEGRAL DE PROYECTOS  
BOGOTÁ D. C.  
2011**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá, D. C., Septiembre 26 de 2011.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios, a mi madre, por escalar otro peldaño más,  
En mi vida profesional.  
Mama, gracias por esos consejos,  
E impulsos que me distes para seguir creciendo cada día más y más.

**Jesús Emel Morrón Caballero**

A DIOS y a todas las personas que de una u otra manera me colaboraron y apoyaron en dar un paso más en mi vida, y que de aquí en adelante siempre estarán conmigo en los éxitos fruto de este sacrificio.

**Juan Felipe Norato Wilches**

## CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO	
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN .....	13
1. PROBLEMA .....	14
2. ANTECEDENTES .....	15
3. JUSTIFICACIÓN .....	17
4. OBJETIVOS .....	18
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
5. MARCO TEÓRICO.....	19
5.1 MARCO CONCEPTUAL.....	19
5.1.1 Oxígeno Medicinal.....	19
5.1.2 Producción de Oxígeno mediante un Sistema Criogénico (licuefacción) ....	19
5.1.3 Producción de Oxígeno mediante un Sistema PSA (absorción) .....	22
5.2 MARCO LEGAL .....	25
5.3 MARCO GEOGRAFICO DEL PROYECTO.....	25
6. METODOLOGÍA.....	27
6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	27
6.2 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	27
7. PROPUESTA .....	28
7.1 DESCRIPCIÓN .....	28
7.2 ANÁLISIS DE VIABILIDAD.....	28
7.2.1 Información Actual de Consumo Oxígeno Medicinal en los Principales Hospitales y Clínicas de Bogotá, D. C.....	28

7.3 ANÁLISIS DE COSTOS .....	30
7.3.1 Costos de Inversión.....	30
7.4 ANÁLISIS FINANCIERO .....	42
7.4.1 Recuperación de la Inversión .....	44
7.5 ANÁLISIS COSTO – EFECTIVIDAD .....	45
8. CONCLUSIONES.....	47
9. RECOMENDACIONES .....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Figura 1. Diagrama producción de gases medicinales sistema criogénico .....	21
Figura 2. Diagrama en bloque de un sistema de generación de oxígeno.....	22
Figura 3. Mapa. Ubicación Hospital Militar Central, Bogotá D. C .....	26
Figura 4. Participación de los proveedores en Bogotá .....	29
Figura 5. Distribución de costos de inversión .....	31
Figura 6. Distribución porcentual de los costos de inversión.....	32
Figura 7. Costos de energía .....	33
Figura 8. Costo de oxígeno medicinal reserva tanque .....	33
Figura 9. Depreciación maquinaria.....	34
Figura 10. Depreciación obra civil .....	34
Figura 11. Costos director técnico planta .....	35
Figura 12. Costos apropiaciones director técnico planta.....	36
Figura 13. Costo profesional control de calidad .....	36
Figura 14. Apropiaciones profesional control de calidad .....	37
Figura 15. Costos aseo cuarto de maquinas .....	37
Figura 16. Apropiaciones persona aseo cuarto de maquinas .....	38
Figura 17. Contrato mantenimiento técnico.....	40
Figura 18. Pruebas de calidad impureza .....	40
Figura 19. Amortización estudio de viabilidad .....	41
Figura 20. Comparativos de costos situación sin proyecto y vs con proyecto.....	43
Figura 21. Ahorro con la entrada del nuevo proyecto.....	43
Figura 22. Punto de recuperación de la inversión. Deflactor utilizado CDT .....	45

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Consumos Principales hospitales y clínicas en Bogotá.....	28
Tabla 2. Costo Inversión equipos .....	30
Tabla 3. Costos obra civil .....	31
Tabla 4. Costos mantenimiento en detalle .....	39
Tabla 5. Análisis estructural. Participación en los costos .....	42
Tabla 6. Valor m3 de oxígeno medicinal sin proyecto vs m3 oxígeno con proyecto .....	44



## GLOSARIO

**AIRE MEDICINAL COMPRIMIDO:** mezcla sintética o natural de gases, principalmente oxígeno y nitrógeno el cual es suministrado desde cilindros, contenedores a granel o con compresores de aire medicinal.

**ALARMA DE OPERACIÓN:** alarma visual o sonora para indicar la necesidad de ajustar el suministro o corregir un mal funcionamiento.

**ALARMA DE EMERGENCIA:** alarma visual o sonora para indicar que el suministro se encuentra por fuera de los límites de operación normales.

**ANALIZADORES MANUALES DE OXÍGENO:** son analizadores de oxígeno que nos permiten evidenciar la calidad del oxígeno, electroquímico, galvánico, paramagnéticos o de celda polarográfica y cuya calibración debe hacerse con estándares certificados.

**CAPACIDAD NOMINAL:** flujo que el sistema concentrador de oxígeno puede mantener continuamente sin que el suministro secundario (si se tiene) o el suministro de reserva entren en operación.

**CILINDRO:** envase destinado a contener gases a baja o alta presión, comprimidos o licuados.

**CONCENTRADOR DE OXÍGENO MEDICINAL:** sistema con compresores exclusivos de aire, para producir aire enriquecido con oxígeno a partir del aire del ambiente, a través de dispositivos de tamiz molecular.

**DISPOSITIVO DE TAMIZ MOLECULAR:** dispositivo que incrementa la concentración de oxígeno del aire del ambiente al adsorber nitrógeno y otros componentes gaseosos.

**CONTENEDORES:** denominación genérica para los envases de gases.

**DISTRIBUIDOR:** es aquel que recibe productos medicinales terminados, debidamente etiquetados, ya sea en envases criogénicos grandes y/o cilindros de alta presión y no manipula el producto ni las etiquetas de ninguna manera.

**ENVASE:** termo criogénico, tanque o cilindro que esté en contacto con el gas medicinal. Los envases criogénicos o Dewards son contenedores portátiles usados para almacenar producto líquido a baja presión y baja temperatura. Los termos criogénicos son recipientes estacionarios o móviles, aislados al vacío para contener gas licuado. Los carro tanques pueden transportar gas licuado.

**ENVASADO DE GASES MEDICINALES:** todas las operaciones, incluyendo las de llenado y etiquetado a las que tiene que ser sometido un gas medicinal a granel para que se convierta en un producto terminado.

**ENVASES CRIOGÉNICOS O DEWARS:** son envases o contenedores portátiles usados para almacenar producto líquido a baja presión y temperatura, son similares en diseño a los termos aislados con vacío entre su parte interna y externa.

**ENVASES CRIOGÉNICOS PARA USO EN EL HOGAR:** son envases diseñados para el almacenamiento de oxígeno líquido, destinados a la atención domiciliaria del paciente.

**EQUIPOS DE CONTROL:** dispositivos necesarios para mantener las variables de control dentro de los límites especificados.

**GAS MEDICINAL:** medicamento constituido por uno o más componentes gaseosos apto para entrar en contacto directo con el organismo humano, de concentración conocida y elaborado de acuerdo a especificaciones farmacopéicas.

**LOTE:** cada cilindro, termo o envase criogénico llenado individualmente o conjunto de contenedores que corresponde a la fabricación en un período determinado de tal manera que el producto final se caracterice por la homogeneidad.

**MANIFOLD O RACK (RAMPA DE LLENADO):** equipo utilizado para llenar uno o más contenedores de gas simultáneamente.

**OXÍGENO MEDICINAL:** medicamento en forma farmacéutica gaseosa o líquida, distribuido en recipientes criogénicos o comprimido en recipientes a alta presión, con una concentración determinada.

**PRUEBA DE SONIDO O DE MARTILLO:** prueba para determinar el grado de corrosión o daño interno de las paredes de un cilindro.

**PRUEBA HIDROSTÁTICA:** prueba hidráulica aplicada a recipientes de alta presión requerida por razones de seguridad bajo especificaciones a fin de verificar que los cilindros, ductos y tanques puedan ser utilizados a altas presiones.

**SECUENCIA CONTINUA DE LLENADO:** es la operación de llenado sencilla, continua, sin interrupciones ni caídas o paradas del sistema durante el llenado. Este proceso no aplica para el llenado de los cilindros de alta presión en un manifold o rampa de llenado múltiple.

**SISTEMA CONCENTRADOR DE OXÍGENO:** método que produce a oxígeno, a partir de aire ambiente, a través de compresores de aire y tamices moleculares, estos sistemas son conocidos como Pressure Swing Adsorption (sistemas PSA).

**SISTEMA DE TUBERIA (DE GAS MEDICINAL NO INFLAMABLE):** sistema de suministro central con equipo de control, sistema de tubería de distribución y unidades terminales o de salida en el punto donde pueden ser suministrados gases medicinales no inflamables.

**SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN POR TUBERÍA:** aquella parte de un sistema de tubería que une la fuente de suministro con las unidades terminales, incluyendo válvulas de aislamiento de las ramificaciones y reguladores de presión adicionales requeridos para reducir la presión en alguna parte del sistema de distribución, después de la fuente de suministro.

**SUMINISTRO PRIMARIO:** aquella parte del sistema concentrador de oxígeno medicinal que alimenta la línea de distribución.

**SUMINISTRO SECUNDARIO:** aquella parte del sistema concentrador de oxígeno medicinal que automáticamente alimenta la línea de distribución cuando el suministro primario falla.

**SUMINISTRO DE RESERVA:** aquella parte del sistema concentrador de oxígeno medicinal que automáticamente alimenta la línea de distribución en el evento que fallen el suministro primario y secundario.

**TANQUE ESTACIONARIO:** es un recipiente estacionario de gran capacidad de almacenamiento de producto en forma líquida. Se localizan en el exterior de las instalaciones.

**VÁLVULA DE RETENCIÓN:** dispositivo mecánico cuya función es evitar el retorno de fluidos gaseosos, garantizando que el mismo se desplace en una sola dirección.

## RESUMEN

En las instituciones hospitalarias de alta complejidad se consume gran cantidad de oxígeno medicinal, lo cual representa un alto costo en la compra de este medicamento farmacéutico para dichas instituciones, por esta razón se propone una alternativa viable para reducir estos costos, que permitirá mejorar la situación financiera del sector salud.

La alternativa propuesta consiste en implementar una estación de producción de oxígeno in situ en el Hospital Militar Central utilizando la técnica PSA (*Pressure Swing Adsorption*) que consiste en someter el aire atmosférico comprimido a un proceso de purificación utilizando filtros específicos y, posteriormente, a separación de sus componentes a través de la absorción. Esta evaluación demuestra que con la implantación de la planta esta institución se ahorrará un 52% en la compra del oxígeno a un proveedor externo, y la inversión será recuperada en 3 años.

Palabras claves: concentradores criogénicos, oxígeno medicinal, absorción, presión, viabilidad, beneficios.

## INTRODUCCIÓN

La Gerencia Integral de Proyectos permite la gestión eficiente de los recursos involucrados en la planeación, formulación de los posibles proyectos de inversión y de la puesta en marcha de estos, garantizando también la comunicación sobre la evolución a los involucrados y la toma de las decisiones pertinentes para el logro del fin, el cual es la expresión de la solución del problema de desarrollo que ha sido identificado en el proyecto. Una de las áreas de acción es la Evaluación Económica y Social de Proyectos que permite a los responsables de la asignación de los recursos de inversión pública propender porque éstos generen el máximo nivel de bienestar a la población a través de la identificación, formulación y ejecución de proyectos o programas de impacto económico y social.

El hospital Militar Central es una entidad que presta servicios de salud de alta y mediana complejidad, docencia e investigación de alto nivel, para generar avances en el conocimiento y contribuir al mejoramiento de la calidad de la vida de la población del Subsistema de Salud de las Fuerzas Militares.

El presente estudio de viabilidad se escoge debido al interés que tiene el gobierno Nacional por mejorar la calidad de los servicios de salud de sus entidades dedicadas a esta labor, dicha mejora se logra con la buena inversión y gestión de los recursos del estado, es por esto que se pretende realizar un estudio para la reducción de sobrecostos por la compra de Oxígeno Medicinal, estos costos actualmente son significativos los costos de funcionamiento y operación del hospital.

Este proyecto de grado va dirigido a realizar estudio de viabilidad para la implementación de un sistema de generación de oxígeno medicinal in situ en el Hospital Militar Central, Bogotá D.C

## 1. PROBLEMA

Hoy en día el 90 % de las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS) en Bogotá D.C, afrontan el gran problema de los altos costos por la compra de Oxígeno medicinal [1], ya que actualmente el mercado de este producto esta monopolizado por tres (3) grandes multinacionales. Lo cual implica el planteamiento de una alternativa accesible, capaz de reducir los costos de producción in situ en el Hospital Militar Central de Bogotá D.C., produciendo Oxígeno de grado farmacéutico de manera continua y controlada [2].

Actualmente el consumo promedio de Oxígeno Medicinal en el Hospital Militar Central, Bogotá es de 40,27 m<sup>3</sup>/hora, (29000 m<sup>3</sup>/mes), que representa un costo aproximado de \$89 millones de pesos mensuales [2].

## 2. ANTECEDENTES

El mercado del oxígeno medicinal en el país está en manos de tres multinacionales, actualmente un número reducido de Empresa, Hospitales e ingenieros Colombianos están interesados en promover la instalación de plantas PSA<sup>1</sup> generadoras de oxígeno medicinal directamente en clínicas y hospitales [1].

Los primeros Hospitales y Clínicas en Bogotá D.C, que asumieron el reto de instalar la plantas PSA fueron: el E.S.E. Hospital Universitario de la Samaritana, el Hospital Universitario Clínica San Rafael, el Hospital San Carlos, y recientemente la Clínica Saludcoop Bogotá D.C. apoyadas en el conocimiento y tecnología de empresas nacionales como Chaher Ltda., Minimizar E.S.C y Servigas Oxigenar [1].

El Hospital Universitario De La Samaritana antes de implementar este sistema de generación de oxígeno, pagaba aproximadamente 53 millones de pesos mensuales por el suministro de oxígeno medicinal (18.892 Sm<sup>3</sup>/mes). Este costo se vio reducido en un 52% con la adquisición, construcción e implementación de su planta PSA, en la cual se invirtieron \$722 millones de pesos, esta inversión se recuperó prácticamente en dos años [2]

De igual manera el Hospital Universitario Clínica San Rafael presento un ahorro del 62% por concepto de Oxígeno Medicinal (25000 Sm<sup>3</sup>/mes), con la puesta en marcha de su planta PSA para la generación de oxígeno, los costos en esta inversión fueron de \$820 millones de pesos, los cuales se recuperaron en aproximadamente 2 años de operación de la planta [3]

También es importante mencionar los beneficios obtenidos por parte del Hospital San Carlos que después de poner en funcionamiento la planta generadora de oxígeno, sus costos por concepto de oxígeno medicinal disminuyeron en \$13 millones de pesos mensuales [1].

Otra clínica que implemento el sistema PSA in situ fue la Clínica Saludcoop Bogotá D.C, esta adquirió la planta por medio de la figura de leasing, donde se paga cuotas mensuales durante 5 años, y después de este periodo la planta pasa hacer propiedad de la clínica, después de poner en marcha el sistema los costos en oxígeno se redujeron en un 30% [4].

Según lo revela un estudio de la Facultad de Ciencias Económico Administrativas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, el consumo de oxígeno en las 31 IPS más

---

<sup>1</sup> Tecnología para separar el oxígeno contenido en el aire comprimido, mediante tamices moleculares de zeolita.

grandes de Bogotá D.C es de 444.927 Sm<sup>3</sup>/mensuales, lo cual implica una facturación mensual de \$1.429 millones de pesos aproximadamente, estos costos se pueden reducir en \$757,2 millones mensuales con la adquisición e implementación de las plantas PSA en cada Institución [2].



### 3. JUSTIFICACIÓN

La situación actual de sostenibilidad financiera del sistema de seguridad social a nivel nacional, amerita implementar estrategias que ayuden a reducir los costos de funcionamiento en clínicas y hospitales, y encontrar nuevas fuentes de recursos; por tal razón, es de suma importancia la reducción de costos por concepto de suministro de oxígeno medicinal por medio de los sistemas PSA de generación de oxígeno in situ [1].

Los antecedentes alrededor del tema de generación de oxígeno, muestran como resultado que los costos en suministro de oxígeno se reducen en promedio en un 50%, este ahorro puede ser utilizado para satisfacer necesidades de tipo social: aumentar y/o fortalecer brigadas y campañas de salud, de tipo tecnológico: invertir en equipos Biomédicos, aumentar las reservas farmacológicas en los hospitales, etc. [1], [2], [3], [4].

La implantación de la plantas PSA para la producción de Oxígeno, trae consigo un sin número de beneficios de gran impacto, que contribuyen con el desarrollo social y económico del sector Salud en Colombia [5].

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar el estudio de viabilidad para la implementación de un Sistema de Generación de Oxígeno Medicinal, in situ; en el Hospital Militar Central Bogotá D.C.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar y analizar la información actualizada de los consumos, costos y manera de suministro del Oxígeno Medicinal, en clínicas y hospitales de mayor grado de complejidad en Bogotá D.C.
- Definir las características técnicas del sistema de generación de oxígeno in situ, para el Hospital Militar Central Bogotá D.C. De acuerdo a la normatividad vigente.
- Realizar los estudios de factibilidad y determinar la viabilidad de la implementación del sistema de generación de oxígeno in situ, en el Hospital Militar Central de Bogotá D.C.
- Efectuar estudios comparativos de los costos de producción del oxígeno medicinal contra los costos de adquisición en los hospitales y clínicas en los cuales se recopiló la información inicial.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 MARCO CONCEPTUAL

**5.1.1 Oxígeno Medicinal.** El oxígeno, sustancia natural extraída principalmente del aire, tiene dos métodos de elaboración: la licuefacción, que concentra 99% de la producción, el resto es por proceso de absorción, siendo este último utilizado básicamente en procesos industriales, ya que los máximos de concentración que se alcanzan no superan el 95% v/v. Incoloro, inodoro e insípido, el oxígeno es un gas medicinal y, como tal, debe cumplir con controles de calidad y trazabilidad, entre otros, y sus procesos productivos deben contar con procedimientos de calidad auditables. El oxígeno medicinal debe contar con el registro sanitario como producto farmacéutico, el cual exige dossier de producto y respaldo de estudios clínicos que confirmen sus beneficios y aplicaciones. [11].

La producción de oxígeno puede realizarse por licuefacción del aire o adsorción. En la farmacopea americana (USP) el oxígeno producido por licuefacción debe tener una pureza de 99% y está exento de análisis de CO y CO<sub>2</sub>. En el caso del producido por adsorción, a diferencia del anterior, la USP exige una pureza de 93% y un análisis de las impurezas, estableciendo límites tolerables para el organismo humano, determinando que no debe exceder de un máximo de 300 ppm de CO<sub>2</sub> y de 10 ppm de CO. La farmacopea europea define como oxígeno medicinal sólo aquel que ha sido obtenido por proceso de licuefacción del aire, el que debe cumplir con un mínimo de pureza de 99,5 %, pero también exige el cumplimiento del control de impurezas con los siguientes niveles de tolerancia: máximo de 300 ppm de CO<sub>2</sub> y 5 ppm de CO. A este control se suma el análisis de humedad que determina un máximo de 67 ppm. [11].

#### **5.1.2 Producción de Oxígeno mediante un Sistema Criogénico (licuefacción).**

Las empresas proveedoras de oxígeno medicinal, utilizan para su producción el sistema criogénico, que consiste en separar el oxígeno del nitrógeno y los otros gases que integran el aire. Se consigue produciendo temperaturas de  $-200^{\circ}\text{C}$ , que producen la licuefacción del aire, el cual es sometido a destilación logrando así la separación de sus componentes en virtud de sus diferentes puntos de ebullición. [9].

El oxígeno así obtenido tiene una concentración nominal de 99,5% y está exento de contaminantes que puedan ser perjudiciales para la salud. Licuar los gases es

muy importante para estas empresas, pues facilita su almacenamiento y distribución. El oxígeno líquido se puede gasificar y envasar en cilindros a alta presión, 2.250 libras por pulgada cuadrada, que equivalen a 150 bares.<sup>2</sup> También existen cilindros llenados a 2.900 psi, equivalentes a 200 bares.

La producción de oxígeno medicinal por el sistema criogénico, se desarrolla en las siguientes etapas:

- Filtración: elimina impurezas del aire,
  - Compresión: reduce el volumen del aire hasta 150 veces en seis etapas,
  - Enfriamiento: deja el aire a temperatura ambiente,
  - Purificación y secado: remueve la humedad del aire y el bióxido de carbono,
1. Recientemente se confirmó la adquisición del grupo BOC de Inglaterra por parte del grupo Linde de Alemania.
  2. Una atmósfera es igual a 1,013 bares. El bar es una medida de presión congruente con el sistema internacional.
- Refrigeración: intercambia calor con gases fríos de la planta y lo enfría. Aproximadamente a  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Expansión y licuefacción: el aire se licua o condensa, queda líquido a  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Destilación: se hace en dos procesos: (i) Se evapora y se condensa el nitrógeno  $\text{N}_2$ , que se almacena en estado líquido en tanque criogénico. (ii) El condensado restante, enriquecido de oxígeno  $\text{O}_2$ , es enviado a la parte superior de la columna de rectificación.

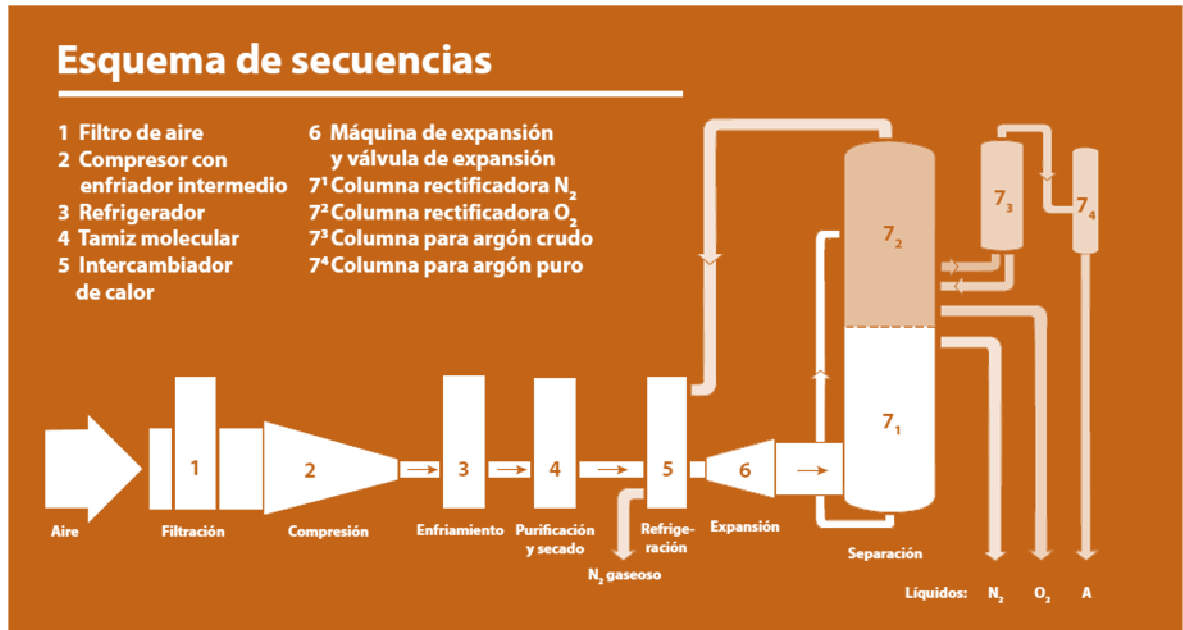
Este aire enriquecido se destila de nuevo, se extrae el nitrógeno  $\text{N}_2$  restante y el argón Ar, quedando oxígeno medicinal al 99,5%. El  $\text{N}_2$  sale en estado gaseoso y se expulsa a la atmósfera después de hacerlo pasar por el Intercambiador de calor. El argón puede ser enviado a una Columna de destilación y envasado para utilizarlo en la industria.

---

<sup>2</sup> Una atmósfera es igual a 1,013 bares. El bar es una medida de presión congruente con el sistema internacional.

## Esquema de secuencias

**Figura 1. Diagrama producción de gases medicinales sistema criogénico.**



Fuente: AGAFADO S. A. Folleto: Gas, nuestra especialidad. Año: 2010

El material es aire atmosférico que es filtrado en el compresor (1), se traslada al compresor (2), donde se somete hasta seis veces la presión atmosférica. El aire es enfriado por medio de agua refrigerada en un intercambiador de calor. En el refrigerador (3) se baja la temperatura hasta  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  después de lo cual el vapor de agua, bióxido de carbono e hidrocarburos son separados del aire por medio del tamiz molecular (4). [17].

El aire comprimido y pre enfriado pasa luego por un intercambiador de calor (5), por una máquina de expansión (6) y por una válvula de expansión con la cual el aire se enfría hasta muy cerca de su punto de condensación, aproximadamente  $-175\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Esta temperatura es necesaria en el siguiente proceso de separación en la columna (7) y en la producción de los gases en forma líquida.

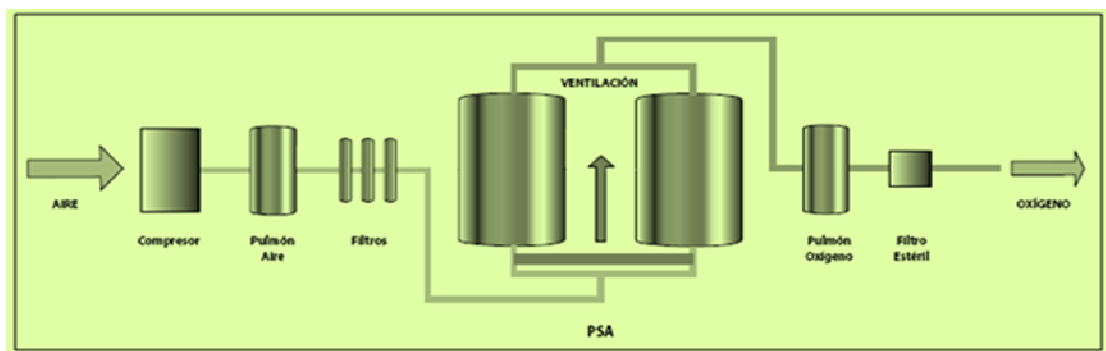
Los gases se separan del aire por medio de un proceso de destilación con el cual los gases son altamente condensados y vaporizados en las columnas hasta llegar a la concentración que se desee en cada gas. Este proceso se efectúa porque los gases tienen diferentes puntos de ebullición: oxígeno,  $183\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; argón,  $186\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; nitrógeno,  $196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Los gases son almacenados en forma líquida en tanques muy bien aislados. [19].

**5.1.3 Producción de Oxígeno mediante un Sistema PSA (absorción).** Un sistema PSA de generación de oxígeno consiste en separar el oxígeno de nitrógeno que se encuentra en el aire comprimido, por medio de tamices moleculares, para ser almacenado y transportado por las redes existentes para ser suministrado a las diferentes áreas de consumo, bajo condiciones controladas de pureza y calidad [5],[8] .

Este proceso tiene 5 grandes etapas:

- Compresión del aire,
- Tratamiento del aire: Secado y filtrado,
- Separación de oxígeno medicinal en las PSA,
- Análisis, registro, regulación, medición y control,
- Alimentación del oxígeno a la red de distribución [5], [8].

**Figura 2. Diagrama en bloque de un sistema de generación de oxígeno.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

- **Compresión del aire:**  
Un compresor, comprime el aire ambiente tomado de una altura de seis metros a nivel del piso. Un filtro elimina las impurezas sólidas de la atmósfera. Compresión del aire atmosférico entre 100 y 125 psi.<sup>3</sup> [5], [8].
- **Tratamiento del aire comprimido:**

Se cumple en tres fases:

<sup>3</sup> PSI (Pound per Square Inch), medida de presión utilizada en Inglaterra y Estados Unidos. En Europa es el bar, que equivale a 14,5 psi. En este proyecto los tanques recibidores de la PSA están en psi, mientras que las columnas de la PSA están en bares. psi es el valor de la cantidad. Psia cantidad de psi medidas a partir de un cero absoluto de presión.

- Separación de fases en un recipiente separador (disminuye la velocidad del flujo del aire), con el fin de remover las fases líquidas: agua y aceite.
  - Secado refrigerativo que separa la humedad del aire, enfría el aire comprimido a +2 °C, permitiendo la condensación de la humedad y así se puede extraer del sistema en forma líquida<sup>4</sup>.
  - Filtración, se efectúa con tres clases de filtros, uno coalescente<sup>5</sup> de remoción de condensado y líquidos al 99,99%; un filtro extrafino de aceite, retiene partículas de aceite en un 99,999%; un filtro de carbón activado que retiene partículas volátiles y olores.
- Separación de oxígeno medicinal en las PSA:

La técnica de separación recibe el nombre de PSA por su sigla en inglés Pressure Swing Adsorption, o Adsorción por Fluctuaciones de Presión. La planta consta de dos PSA y en cada una entra el aire con su composición normal<sup>6</sup> y es transformado en oxígeno del 93% ( $\pm 3\%$ ) de concentración. El nitrógeno sobrante es expulsado a la atmósfera.

Cada PSA tiene en la salida una válvula de tres vías que permite descargar a la atmósfera (oxígeno de menos del 90%), y un analizador paramagnético<sup>7</sup>, que mide la concentración del oxígeno medicinal. Existe un tercer analizador a la salida de las dos PSA antes de entregar el oxígeno en la red. [6].

Las PSA utilizan zeolitas que constituyen un “tamiz molecular”. La adsorción es la retención por afinidad física (sin reacción química) en la superficie de un cuerpo, de las moléculas o iones de otro elemento. En el caso de este proyecto las zeolitas adsorben el nitrógeno N<sub>2</sub> y otros gases del aire que son expulsados a la atmósfera.

En la absorción no hay afinidad, la retención se genera por características estructurales del otro elemento, por ejemplo la esponja que absorbe el agua. El tamiz molecular de la PSA adsorbe selectivamente el nitrógeno y permite el paso del oxígeno, el cual, a su vez, es almacenado en otro tanque pulmón.

---

<sup>4</sup> La humedad relativa es una medida que determina la cantidad de agua en el aire, dependiendo de las condiciones ambientales. En Bogotá entre 60% y 83%.

<sup>5</sup> Coalescencia: separación de fases. Permite la formación de partículas líquidas o gotas. Impide el paso de partículas sólidas.

<sup>6</sup> Composición del aire: 78,09% de nitrógeno (N<sub>2</sub>), 20,94% de oxígeno (O<sub>2</sub>) y 0,93% de argón.

<sup>7</sup> Paramagnetismo: característica que permite atracción o repulsión de partículas en un campo magnético.

El primer lecho es entonces sometido a la des adsorción del nitrógeno por medio de la despresurización del recipiente. La concentración del oxígeno está en el rango de 90% a 96%. La generación de oxígeno medicinal exige un filtro esterilizable. Con mantenimiento, el tamiz molecular tiene una vida indefinida.

- Análisis, registro, regulación, medición y control:

En los procesos criogénicos en los cuales se empaca el gas en envases para su distribución, hay mayor riesgo de contaminación cruzada y confusión del producto que se reduce considerablemente en la técnica de producción in situ debido a que se desarrolla en un sistema cerrado y continuo hasta que llega al paciente.

Por motivos de seguridad, explícitos en la Norma ISO 10083 y la norma canadiense, se deben tener dos respaldos independientes: un tanque de reserva de oxígeno medicinal y un manifold<sup>8</sup> que garantiza el suministro automático del oxígeno en caso de interrupción de la planta. [4]

El oxígeno medicinal se somete adicionalmente a dos filtraciones: (i) Un filtro coalescente fino de remoción de aceite y líquidos al 99,99% que retiene partículas de aceite de 0,01 micras. (ii) Un filtro microbiológico esterilizable metálico que retiene microbios.

- Alimentación del oxígeno a la red de distribución:

El sistema PSA debe cumplir con las siguientes exigencias: (i) válvula anti-retorno en la línea de suministro del sistema concentrador de oxígeno. (ii) el sistema concentrador de oxígeno tiene un sistema doble de regulación de presión, que provee una presión estable y nominal de 50 psig y con válvulas de alivio de presión diseñadas para abrirse a 75 psig<sup>9</sup>. Es decir el oxígeno debe entrar a la red de distribución con una presión de 50 PSI y una concentración de oxígeno del 93% ( $\pm 3\%$ ). [11].

---

<sup>8</sup> Manifold es una estación a la cual se conectan cilindros o termos.

<sup>9</sup> PSIG, Pressure per Square Inch Gauge (manométricas) psi hay medidas con base en la presión atmosférica. Significa que se hace la entrega del oxígeno a una presión de 50 hasta 55 libras por encima de la presión barométrica o ambiental. La válvula de seguridad se abre y permite la salida del gas cuando la presión está 75 psi por encima de la presión ambiental.



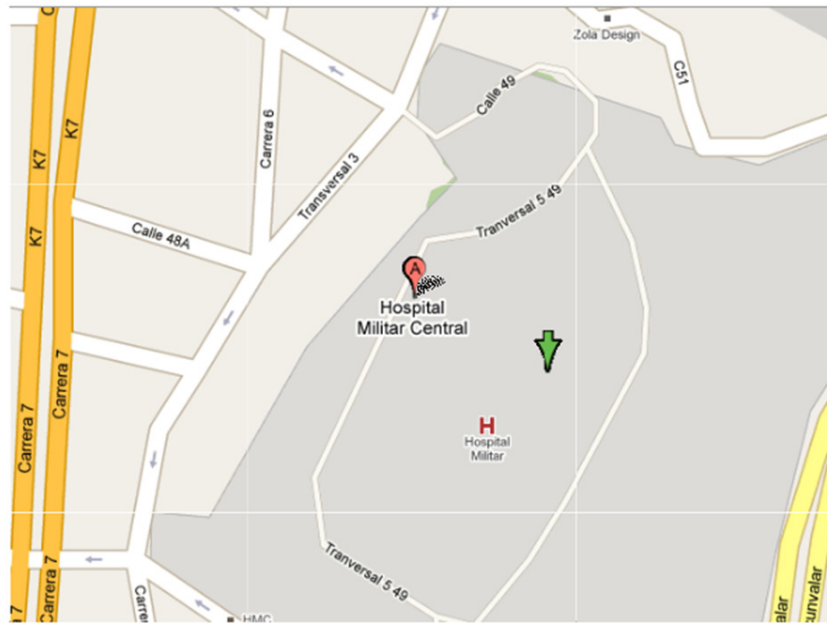
## 5.2 MARCO LEGAL

- Normatividad Nacional Directa
  - NTC 5127. Por la cual se establecen los sistemas masivos de oxígeno en la instalación del consumidor final [6].
  - NTC 1409 Establece los requisitos de calidad que debe cumplir el oxígeno gaseoso o líquido para ser suministrado correctamente [7].
  - NTC-ISO 10083: Por la cual se establecen los requerimientos para instalar un sistema, para uso médico mediante compresión de aire y tecnología PSA [8].
  
- Otra Normatividad relacionada.
  - Decreto 677 de 1995; reglamenta el régimen de registros, control de calidad y el régimen de vigilancia sanitaria de medicamentos [9].
  - Resolución Ministerial 04410 de 2009; Por la cual se expide el Reglamento Técnico que contiene el Manual de Buenas Prácticas de Manufactura de los Gases Medicinales [10].
  - Resolución Ministerial 3183 de 1995; adopta el informe 32 de la OMS, relacionada con buenas prácticas de manufactura [11].
  - Informe 32 de la OMS; establece las buenas prácticas de manufactura para la fabricación de productos farmacéuticos [12].
  - Resolución del Ministerio de la Protección Social 1672 de 2004; adopta el Manual de Buenas Prácticas de Manufactura de los gases medicinales [13].
  - Normas NTC 3458 de tuberías. [14].
  - NFPA 99 Versión 2002; instalaciones medicinales, sistemas de gas y vacío [15].
  - ISO 7396: 1987; sistemas de tubería de gases medicinales no inflamables [16].
  - IEC 364-2; instalaciones eléctricas [17].
  - USP DI 1997 Edición 17; definición y especificación del aire medicinal [18].
  - Resolución INVIMA 270072 noviembre 2000. Gases medicinales de la FDA [19].
  - Resolución 3862 de 2005. Guía de inspección de buenas prácticas de manufactura para la fabricación, llenado y distribución de gases medicinales [20].

## 5.3 MARCO GEOGRÁFICO DEL PROYECTO

El proyecto funcionará en las instalaciones del Hospital Militar Central, el cual está ubicado en la ciudad de Bogotá D.C., en el barrio Chapinero, en la dirección transversal 5 con calle 49. (Ver figura 3).

**Figura 3. Mapa. Ubicación Hospital Militar Central, Bogotá D. C.**



Fuente: Grafica generada a través de Google Map.

## **6. METODOLOGÍA**

### **6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación que se estableció para este proyecto fue una investigación descriptiva, en la cual se analizó la situación actual que presentan los principales centros hospitalarios de Bogotá en cuando al consumo mensual de Oxígeno Medicinal en cada una de ellas; este tipo de investigación nos permite presentar una opción viable para la reducción de costos por concepto de compra de oxígeno medicinal en el Hospital Militar Central Bogotá.

### **6.2 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Con base en la información objeto de estudio; correspondiente al consumo ( $m^3$ /mes) y costo (\$ pesos Colombianos/mensual) del Oxígeno Medicinal en el Hospital Militar Central de Bogotá D.C; obtenida mediante una encuesta directa o con la estimación promedio dependiendo del número de camas instaladas en dicha institución, se realizara el estudio financiero y técnico proyectado correspondiente para determinar el costo del  $m^3$  de oxígeno producido mediante una PSA.

Una vez determinado el costo de producción proyectado (5 años) de un metro cubico ( $m^3$ ) de Oxígeno Medicinal se realizara un análisis comparativo directo con el costo actual del suministro del oxígeno. Para determinar el porcentaje de ahorro por este concepto.

Adicional se recopilara la información actualizada de los consumos ( $m^3$ /mes), costos (\$ pesos Colombianos) y manera de suministro (Empresa proveedora) del Oxígeno Medicinal, la cual se obtendrá a través de un instrumento de tipo encuesta, en donde el universo es el total de IPS de tercer y cuarto nivel en Bogotá D.C. y la muestra final de análisis se determinara a través de un muestreo no probabilístico de tipo intencional con las IPS que voluntariamente suministran la información objeto de estudio.

Los datos obtenidos en lo descrito anteriormente referente a la información de las IPS del Distrito, serán utilizados para realizar un análisis comparativo de costos; entre las instituciones que tiene implementado la producción de Oxígeno por PSA y las instituciones que obtienen el oxígeno por medio de terceros.

## 7. PROPUESTA

### 7.1 DESCRIPCIÓN

Debido a los elevados costos por concepto de compra de oxígeno en el Hospital Militar Central de Bogotá (ver tabla 1), se propone un sistema de generación de oxígeno *in situ*, que reduzca los costos por concepto de oxígeno medicinal; de manera continua y controlada.

### 7.2 ANÁLISIS DE VIABILIDAD

**7.2.1 Información Actual de Consumo Oxígeno Medicinal en los Principales Hospitales y Clínicas de Bogotá, D. C.** Los consumos en m<sup>3</sup> de Oxígeno Medicinal de las IPS encuestadas se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Consumos Principales hospitales y clínicas en Bogotá.**

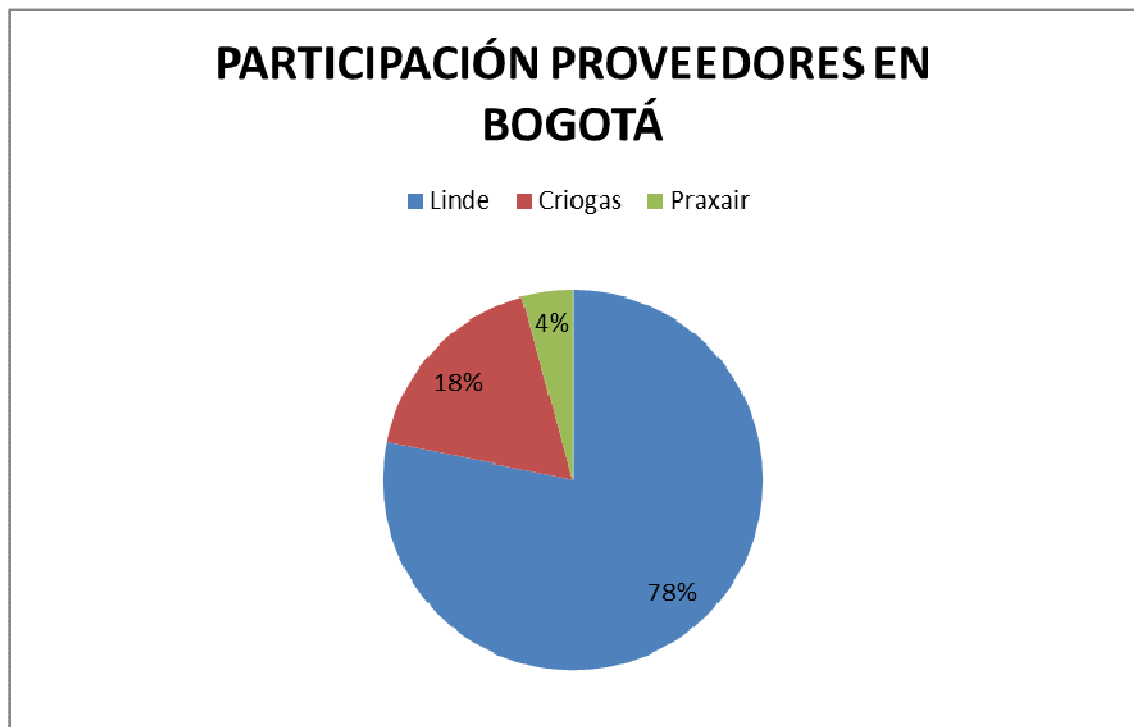
Referencia	Nombre	Consumo promedio oxígeno m3 / mes	Valor m3	Valor promedio/mes	Valor promedio /año	Proveedor
1	Hospital Militar	30.000	\$ 3.200	\$ 96.000.000	\$ 1.152.000.000	Linde
2	Hospital Tunal	27.000	\$ 3.000	\$ 81.000.000	\$ 972.000.000	Criogas
3	Hospital San Ignacio	24.000	\$ 3.300	\$ 79.200.000	\$ 950.400.000	Linde
4	Hospital Simon Bolivar	10.000	\$ 3.300	\$ 33.000.000	\$ 396.000.000	Criogas
5	Hospital Carlos Ileras	41.000	\$ 3.100	\$ 127.100.000	\$ 1.525.200.000	Linde
6	Clinica Mederi	45.000	\$ 3.100	\$ 139.500.000	\$ 1.674.000.000	Linde
7	Instituto nacional de cancerología	10.000	\$ 2.800	\$ 28.000.000	\$ 336.000.000	Linde
8	Clinica Reina Sofia	12.700	\$ 3.100	\$ 39.370.000	\$ 472.440.000	Linde
9	Clinica Country	10.800	\$ 3.000	\$ 32.400.000	\$ 388.800.000	Linde
10	Clinica Marly	10.500	\$ 2.800	\$ 29.400.000	\$ 352.800.000	Linde
11	Fundación santa fe	16.800	\$ 2.700	\$ 45.360.000	\$ 544.320.000	Criogas
12	Funadación Cardio Infantil	18.900	\$ 2.900	\$ 54.810.000	\$ 657.720.000	Linde
13	Fundación universitaria Hospital San jose	11.500	\$ 3.380	\$ 38.870.000	\$ 466.440.000	Linde
14	Hospital Samaritana	17.000	\$ 3.000	\$ 51.000.000	\$ 612.000.000	Linde
15	Hospital Santa clara	14.000	\$ 3.000	\$ 42.000.000	\$ 504.000.000	Linde
16	Hospital San Rafael	21.000	\$ 3.000	\$ 63.000.000	\$ 756.000.000	Criogas
17	Funadación Abood Shaio	13.000	\$ 2.900	\$ 37.700.000	\$ 452.400.000	Linde
18	Clinica Infantil Colsubsidio	19.000	\$ 2.800	\$ 53.200.000	\$ 638.400.000	Linde
19	Clinica Salucoop	20.000	\$ 3.000	\$ 60.000.000	\$ 720.000.000	Linde
20	Hospital de kenedy	18.000	\$ 3.000	\$ 54.000.000	\$ 648.000.000	Linde
21	Clinica Palermo	16.000	\$ 3.100	\$ 49.600.000	\$ 595.200.000	Praxair
22	Hospital Meissen	11.000	\$ 2.900	\$ 31.900.000	\$ 382.800.000	Linde
23	Hospital central de la policia	11.800	\$ 2.900	\$ 34.220.000	\$ 410.640.000	linde

Fuente: Datos suministrados por el departamento de contabilidad y costos de cada hospital y clínica.

Para el caso del Hospital Militar Central de Bogotá, el cual es nuestro caso de estudio, el consumo promedio de metros cúbicos de oxígeno es de 30000 m<sup>3</sup>/mes, con un valor por m<sup>3</sup> de oxígeno de \$ 3200 pesos colombianos. Es decir su costo mensual es de \$ 96.000.000, y costos anual de \$ 1.152.000.000. Los datos de las otras clínicas y hospitales pueden observarse en la tabla1. En Bogotá el valor promedio de metro cubico de oxígeno medicinal, los proveedores los vende en \$3.012 pesos colombianos.

El mercado actual de gases en Colombia está compuesto principalmente por tre proveedores internacionales; el grupo Linde de Alemania con la mayoría del mercado; Oxígenos de Colombia, del grupo Praxair de Estados Unidos y Cryogas del grupo Boc de Inglaterra. La participación de la Empresa Nacional Colombiana de Gas (Cogas), de reciente aparición en el mercado tiene producción mínima y opera con una planta muy pequeña. (Ver Figura 4).

**Figura 4. Participación de los proveedores en Bogotá.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

## 7.3 ANÁLISIS DE COSTOS

**7.3.1 Costos de Inversión.** Los costos de inversión se dividen principalmente en costos de equipo y maquinaria, costos de obras civiles y costos de estudio de viabilidad.

### *Costos Maquinaria*

**Tabla 2. Costo Inversión equipos.**

COSTOS DE EQUIPOS							
	MODELO	CANTIDAD	COSTO USD	TRM	COSTO COP	COSTO TOTAL COP	PARTICIPACION
COMPRESOR	DSD 175 HP (KAESER)	2	\$ 72.340,0	\$ 1.800,00	\$ 130.212.000,00	\$ 260.424.000,00	30,028%
SECADORES	TF 201 (KAESER)	2	\$ 28.340,0		\$ 51.012.000,00	\$ 102.024.000,00	11,764%
SISTEMA DE TRATAMIENTO		2			\$ 22.302.000,00	\$ 44.604.000,00	5,143%
FILTRO PARTICULAS	PF 780 (KAESER)	2	\$ 3.780,0		\$ 6.804.000,00	\$ 13.608.000,00	1,569%
FILTRO CONDENSADO	FS 780 (KAESER)	2	\$ 3.780,0		\$ 6.804.000,00	\$ 13.608.000,00	1,569%
FILTRO ACEITE	OR 780 (KAESER)	2	\$ 3.780,0		\$ 6.804.000,00	\$ 13.608.000,00	1,569%
DRENAJE CONDENSADO	ECODRAIN 21 (KAESER)	2	\$ 1.050,0		\$ 1.890.000,00	\$ 3.780.000,00	0,436%
PSA	PSA 780 (KAESER)	2	\$ 102.340,0		\$ 184.212.000,00	\$ 368.424.000,00	42,481%
TUBERIA		2				\$ 21.600.000,00	2,491%
TUBERIA RECTA	DIAMETRO 1/2"	2	\$ 4.500,0		\$ 8.100.000,00	\$ 16.200.000,00	1,868%
ACCESORIOS	DIAMETRO 1/2"	2	\$ 1.500,0		\$ 2.700.000,00	\$ 5.400.000,00	0,623%
SISTEMA DE CONTROL		2				\$ 70.200.000,00	8,094%
SAM	SAM 4/4 (KAESER)	2	\$ 18.000,0		\$ 32.400.000,00	\$ 64.800.000,00	7,472%
ACCESORIOS		2	\$ 1.500,0		\$ 2.700.000,00	\$ 5.400.000,00	0,623%
COSTOS TOTAL EQUIPOS						\$ 867.276.000,00	100%

Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

Se puede observar que la participación más grande dentro de los costos de inversión en equipos se la llevan los sistemas PSA, y los compresores de aire, con una incidencia del 42,48%, y 30,02% respectivamente.

Los costos de estos equipos están dados inicialmente en dólares, los valores en pesos colombianos depende, de la TRM, cuya TMR actual está fijada en \$ 1792,68 pesos colombianos. La cual le hicimos una aproximación a \$1800 pesos colombianos. Esta inversión en maquinaria es depreciada a 10 años. Cabe aclarar que la compra de estos equipos incluye la instalación y puesto en marcha de estos, con cualquiera de los posibles proveedores.

## Costos obra civil

**Tabla 3. Costos obra civil.**

COSTOS OBRAS CIVILES							
	MODELO	CANTIDAD			COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	PARTICIPACION
IMPERMEABILIZACIÓN DE PISO	m2	110			\$ 505.000,00	\$ 55.550.000,00	47,314%
IMPERMEABILIZACIÓN DE PAREDES	m2	300			\$ 125.000,00	\$ 37.500.000,00	31,940%
DUCTOS DE SUCCIÓN DEL AIRE AMBIENTE	1,5m2 X 6.00 m	2			\$ 978.600,00	\$ 1.957.200,00	1,667%
DUCTOS EXTRACCIÓN DEL AIRE CALIENTE	0.8 m X 0.95 m	2			\$ 1.567.800,00	\$ 3.135.600,00	2,671%
PUERTA METÁLICA DE CORREDERA	Calibre 8	1			\$ 8.682.300,00	\$ 8.682.300,00	7,395%
TABLERO ELÉCTRICO	Norma	1			\$ 4.682.300,00	\$ 4.682.300,00	3,988%
ALUMBRADO ELÉCTRICO INTERNO	Norma	1			\$ 2.178.000,00	\$ 2.178.000,00	1,855%
INTALACIONES ELECTRICAS EQUIPOS		1			\$ 2.450.000,00	\$ 2.450.000,00	2,087%
MARCACIÓN DE LAS ÁREAS DE TRABAJO		1			\$ 1.272.600,00	\$ 1.272.600,00	1,084%
COSTOS OBRAS CIVILES						\$ 117.408.000,00	100%

Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

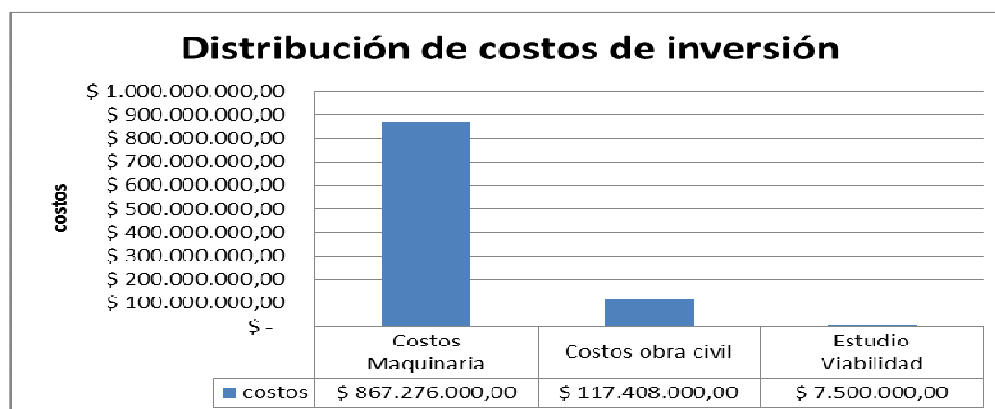
Se puede observar que la participación más grande dentro de los costos de inversión en obra civil, se la llevan la impermeabilización de piso y la impermeabilización de paredes, con una incidencia del 47,31%, y 31,94% respectivamente. La depreciación en obra civil está dada a 20 años. Cabe aclarar que todos los conceptos anteriores de obra civil, incluyen mano de obra.

## Estudio de viabilidad

Este tipo de estudio está cotizado en \$ 7'500.000 pesos colombianos.

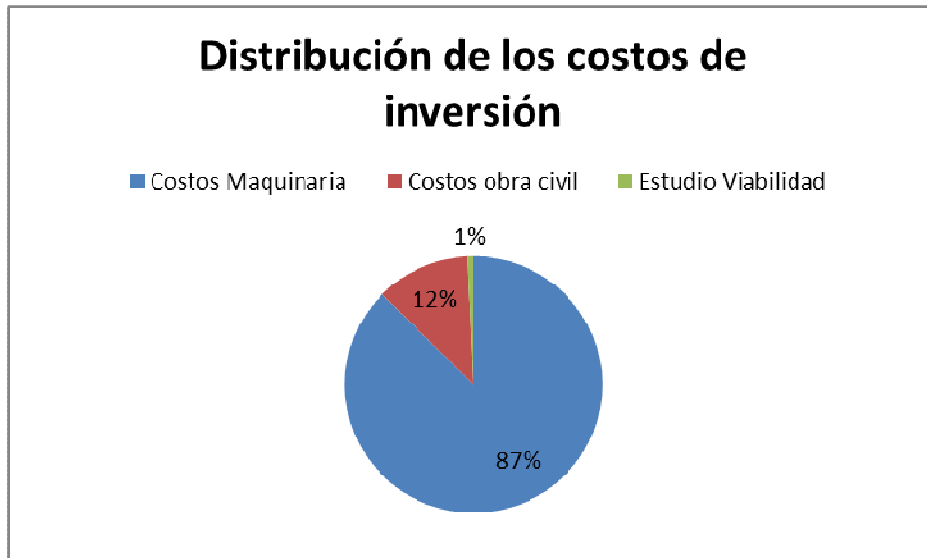
## Distribución costos de inversión

**Figura 5. Distribución de costos de inversión.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

**Figura 6. Distribución porcentual de los costos de inversión.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

De las anterior grafica se puede observar que la participación más elevadas dentro de los costos de inversión es la de maquinaria y equipos con un 87%, y un valor de \$ 867.276.000,00, pesos colombianos, seguido de los costos de obra civil que representan un 12% de la inversión y por ultimo con 1% por concepto de estudio de viabilidad.

Por lo tanto los costos totales de inversión son de \$ 1.109.592.000,00 pesos colombianos.

#### **COSTOS DE PRODUCCIÓN DE OXIGENO MEDICINAL *IN SITU*:**

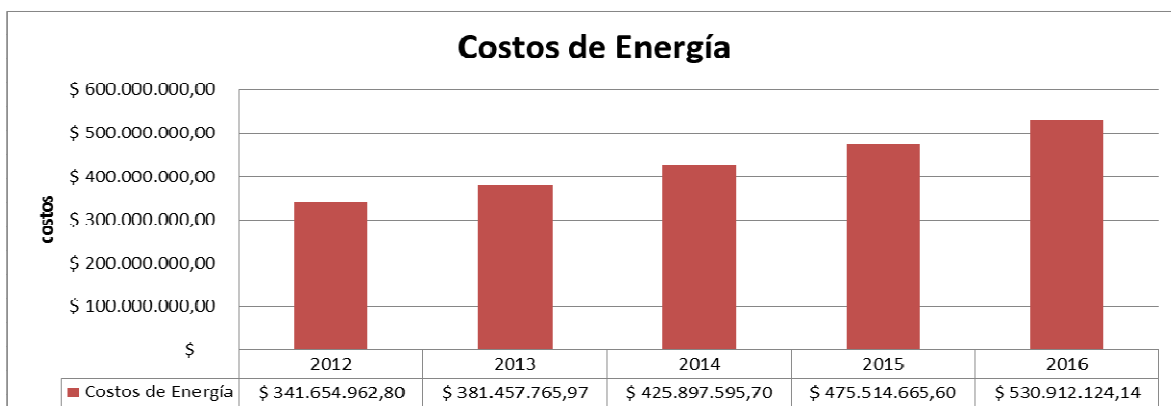
Los costos de producción se dividen en: Costos variables de producción, costos indirectos de producción, Gastos operacionales, otros gastos operacionales.

Dentro de los costos variables de producción tenemos, costo de energía y costo reserva tanque.

Los costos de energía se determinan a partir del consumo de kw/horas que se estima para producir 30000 m<sup>3</sup> de oxigeno medicinal mensual, es decir 360000 m<sup>3</sup> de oxigeno medicinal anual, este consumo de kw/h, se multiplica por el valor del kw/h y así se obtienen los costos por energía. (Ver Anexo CD, archivo Estados Financieros, hoja costos de producción).



**Figura 7. Costos de energía.**

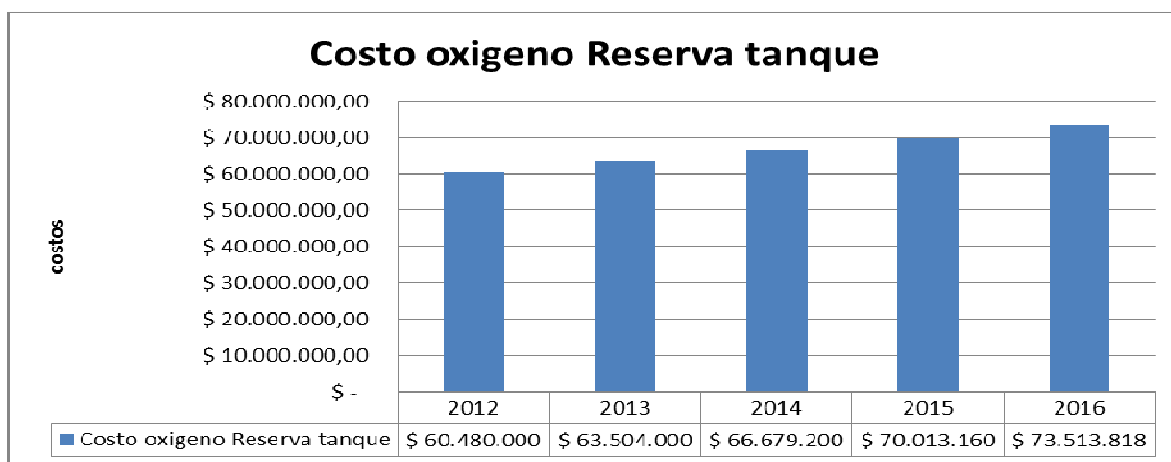


Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

En la anterior gráfica se puede observar que los costos de energía incrementan, esta variación se debe a que los servicios públicos de energía eléctrica crecen alrededor de un 10% anual.

Los costos de reserva de oxígeno tanque se determina, a partir del valor esperado del consumo medicinal del tanque de reserva debido a la vaporización normal e inevitable que corresponde a 0,5% diario, es decir, 15% mensual de la capacidad del tanque, aproximadamente 1.500 m<sup>3</sup>, es decir 18000 m<sup>3</sup> de oxígeno medicinal anual. Este valor se multiplica por el precio del m<sup>3</sup> de oxígeno medicinal, y así se obtiene el costo de reserva de oxígeno. (Ver Anexo CD, archivo Estados Financieros, hoja costos de producción).

**Figura 8. Costo de oxígeno medicinal reserva tanque.**

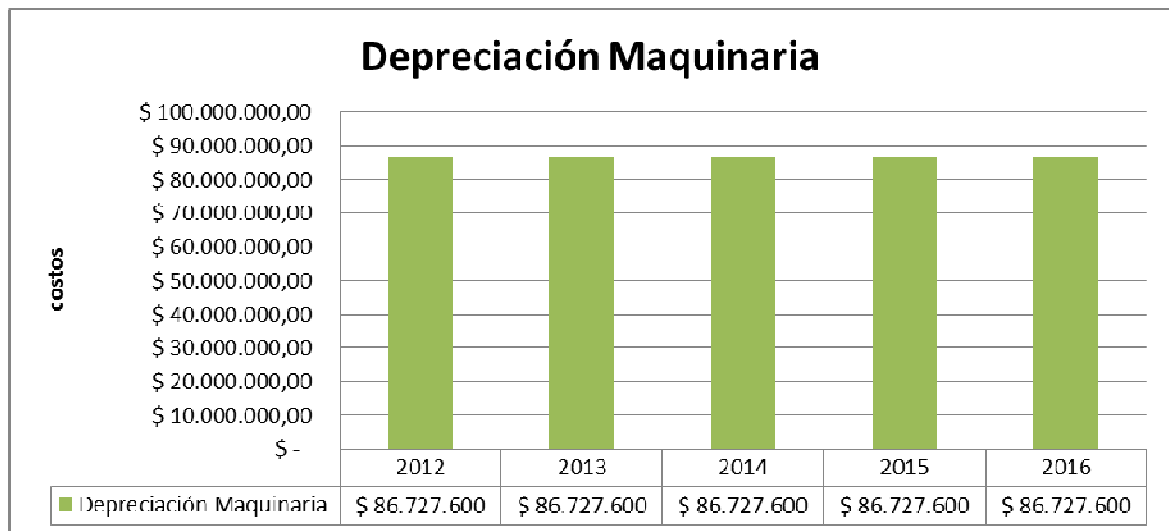


Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

Al analizar las variaciones en la anterior grafica se puede observar que los cotos de reserva de oxigeno tanque, presentan un incremento, este valor crece con respecto a la inflación año a año.

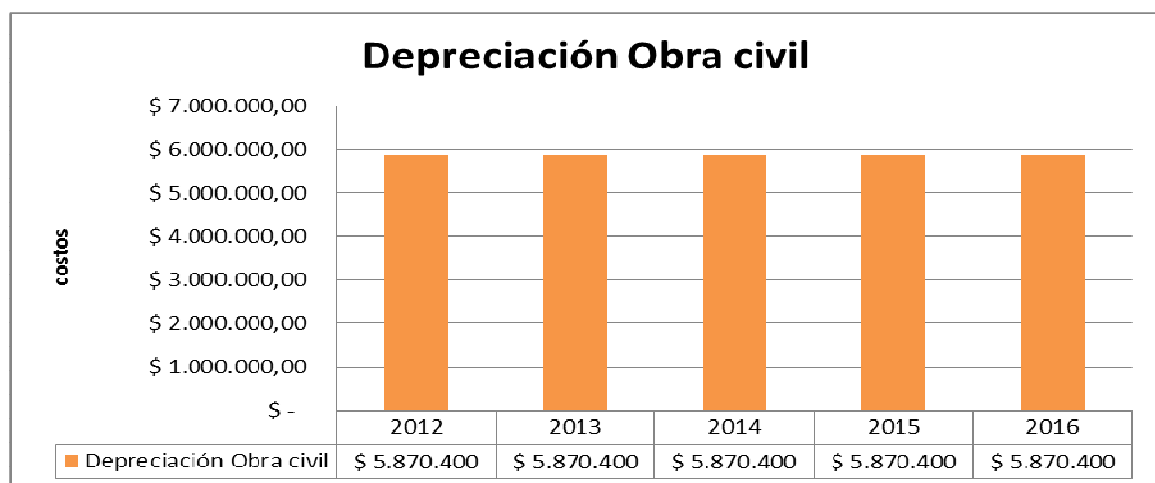
En los Costos indirectos de producción, se encuentran las depreciaciones de maquinaria y depreciaciones de obra civil, la maquinaria y equipos están depreciados a 10 años, y la obra civil a 20 años. (Ver Anexo CD, archivo Estados Financieros, hoja datos generales).

**Figura 9. Depreciación maquinaria.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

**Figura 10. Depreciación obra civil.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

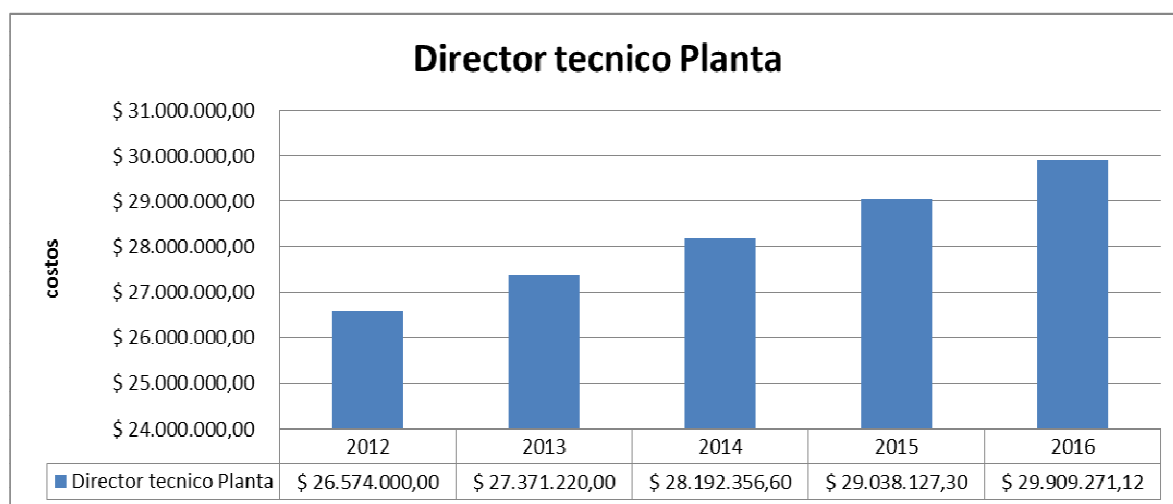
En las anteriores gráficas se puede observar que la depreciación es de un valor fijo durante todos los años en que se hayan depreciado tanto maquinaria como obra civil. Los costos en depreciación se pueden interpretar como un ahorro programado para volver a invertir en maquinaria y obra civil después de cumplido ciclo de depreciación.

Ahora analizamos los gastos operacionales, que están conformados por: Director técnico planta, control de calidad, aseo cuarto de planta, contrato mantenimiento técnico (proveedor), pruebas calidad impurezas.

### *Director técnico planta*

El valor del salario del director técnico, es el Salario integral de la químico farmacéutica que debe ejercer el cargo de director técnico de gases medicinales. Este valor se determinó a partir del salario de químicos farmacéuticos en cargos similares a este. (Ver Anexo CD, archivo Estados Financieros, hoja costos de producción). El director técnico debe ser un Químico farmacéutico porque así lo estipula la normativa NTC 5127.

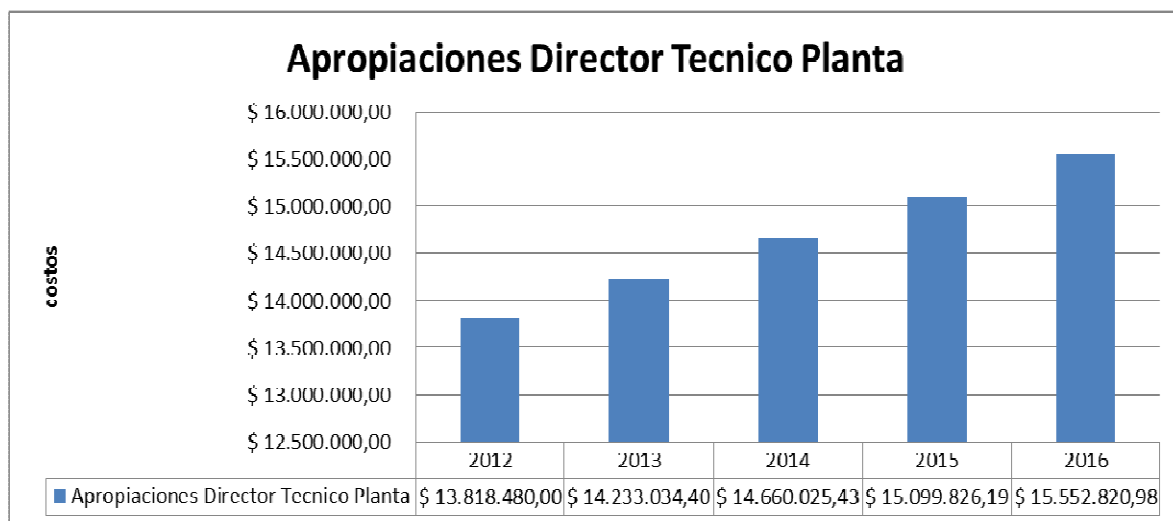
**Figura 11. Costos director técnico planta.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

Se puede observar que los costos del salario del director técnico incrementan año a año, esto se debe a que varían con respecto a la inflación.

**Figura 12. Costos apropiaciones director técnico planta.**



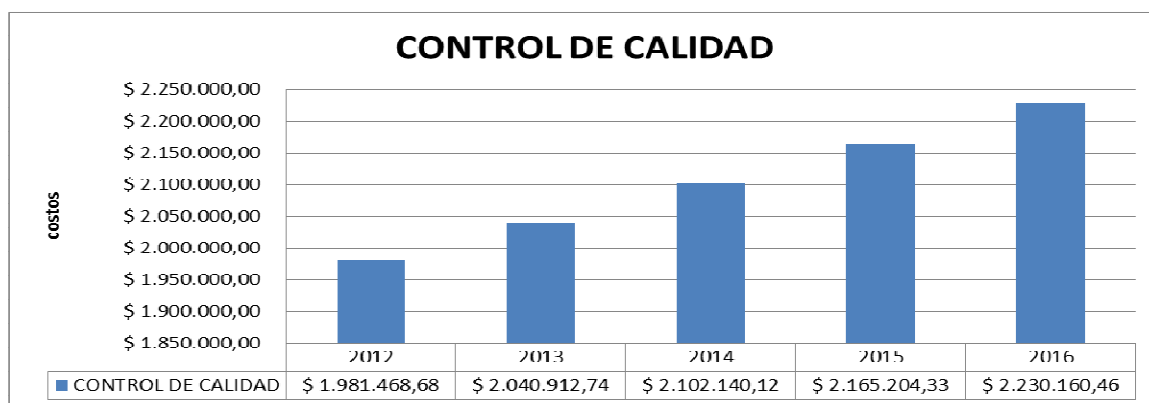
Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

Estas apropiaciones corresponden al 52% de salario del director técnico planta. Estas apropiaciones también incrementan con respecto a la inflación.

*Profesional control de calidad*

El salario del profesional de control de calidad, equivale a 12 horas mensuales del salario del químico farmacéutico encargado del control de la planta. (Ver Anexo CD, archivo Estados Financieros, hoja costos de producción). Este profesional es requisito de la normativa NTC 1409.

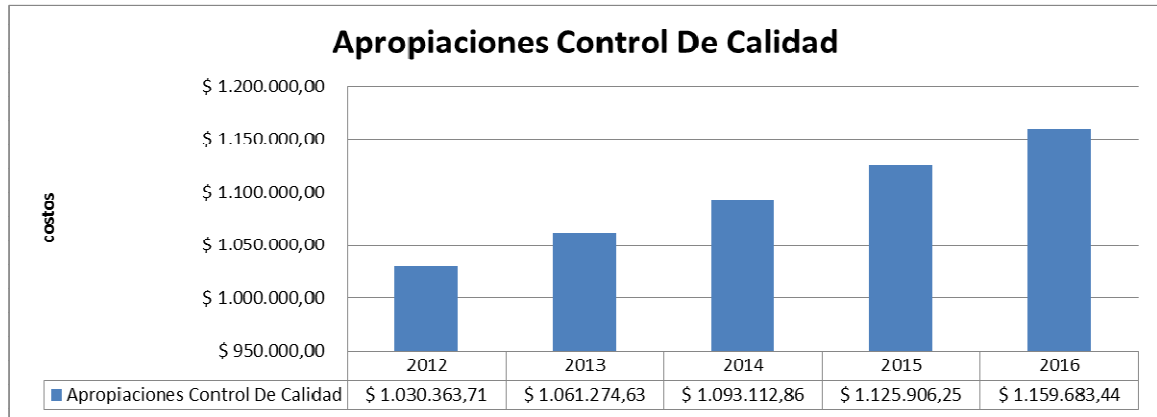
**Figura 13. Costo profesional control de calidad.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

Se puede observar que los costos del salario del profesional de control de calidad incrementan año a año, esto se debe a que varían con respecto a la inflación.

**Figura 14. Apropriaciones profesional control de calidad.**



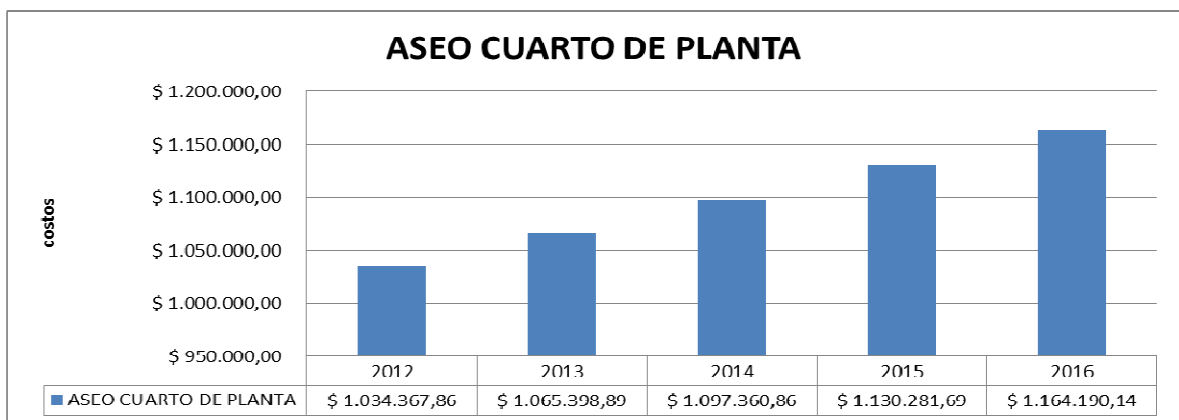
Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

Estas apropiaciones corresponden al 52% de salario del profesional de control de calidad. Estas apropiaciones también incrementan con respecto a la inflación.

Persona aseo cuarto de planta

El salario de esta persona corresponde, al resultado de 7 horas semanales, tomando como referencia un salario mínimo mensual legal vigente. La normativa NTC 1409 también exige, este tipo de labores de aseo dentro del cuarto de la planta.

**Figura 15. Costos aseo cuarto de maquinas.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

Se puede observar que los costos del salario de la persona que realiza el aseo incrementan año a año, esto se debe a que varían con respecto a la inflación.

**Figura 16. Apropriaciones persona aseo cuarto de maquinas.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

Estas apropiaciones corresponden al 52% de salario de la persona que hace el aseo. Estas apropiaciones también incrementan con respecto a la inflación.

Contrato mantenimiento técnico.

Este contrato se firma con el proveedor al cual se le compró las maquinarias, se realiza un mantenimiento preventivo cada 2 meses, es decir se realizan 6 mantenimientos al año, este tipo de mantenimiento además de garantizar el buen funcionamiento de las maquinas es una exigencia en la normativa NTC1409 y en la NTC ISO 10083.

A continuación se detalla lo que incluye el mantenimiento preventivo por parte del proveedor (Ver Tabla 4).

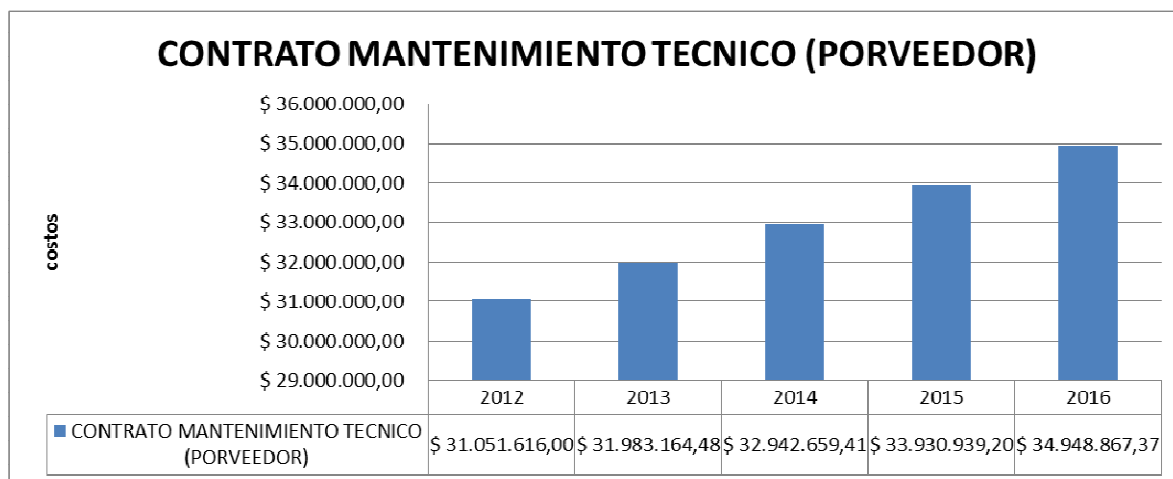
**Tabla 4. Costos mantenimiento en detalle.**

COSTOS MANTENIMIENTO							
TIEMPO DE OPERACIÓN DE LA PLANTA 12 HORAS/DIA						4.320	HORAS/AÑO
REPUESTO	PERIODO DE CAMBIO	CANTIDAD ANUAL	COSTO USD	TRM	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	PARTICIPACION
Estera filtro de armario	2000 HORAS	8,0	\$ 2,5	\$ 1.800,00	\$ 4.500,00	\$ 36.000,00	0,12%
Filtro aceite	5000 HORAS	2,0	\$ 202,0		\$ 363.600,00	\$ 727.200,00	2,41%
Filtro de aire	2000 HORAS	4,0	\$ 145,0		\$ 261.000,00	\$ 1.044.000,00	3,46%
Cartucho separador	5000 HORAS	2,0	\$ 647,0		\$ 1.164.600,00	\$ 2.329.200,00	7,73%
Aceite (galones)	5000 HORAS	40,0	\$ 82,0		\$ 147.600,00	\$ 5.904.000,00	19,58%
Kit mantenimiento válvula presión mínima	5000 HORAS	2,0	\$ 198,0		\$ 356.400,00	\$ 712.800,00	2,36%
Kit mantenimiento válvula de admisión	5000 HORAS	2,0	\$ 102,0		\$ 183.600,00	\$ 367.200,00	1,22%
Kit mantenimiento válvula combinada	5000 HORAS	2,0	\$ 134,0		\$ 241.200,00	\$ 482.400,00	1,60%
Kit mantenimiento válvula solenoide	5000 HORAS	2,0	\$ 128,0		\$ 230.400,00	\$ 460.800,00	1,53%
Kit de mantenimiento válvula de despres	5000 HORAS	2,0	\$ 156,0		\$ 280.800,00	\$ 561.600,00	1,86%
Acople Omega	5000 HORAS	2,0	\$ 195,0		\$ 351.000,00	\$ 702.000,00	2,33%
Rodamientos motor	5000 HORAS	2,0	\$ 235,0		\$ 423.000,00	\$ 846.000,00	2,81%
Rodamientos ventilador	5000 HORAS	2,0	\$ 145,0		\$ 261.000,00	\$ 522.000,00	1,73%
Kit mantenimiento filtro de particulas	5000 HORAS	2,0	\$ 350,0		\$ 630.000,00	\$ 1.260.000,00	4,18%
Kit mantenimiento filtro de condensado	5000 HORAS	2,0	\$ 350,0		\$ 630.000,00	\$ 1.260.000,00	4,18%
Kit mantenimiento filtro de aceite	5000 HORAS	2,0	\$ 350,0		\$ 630.000,00	\$ 1.260.000,00	4,18%
Kit mantenimiento drenaje condensado	5000 HORAS	2,0	\$ 205,0		\$ 369.000,00	\$ 738.000,00	2,45%
Mantenimiento PSA	5000 HORAS	2,0	\$ 1.000,0		\$ 1.800.000,00	\$ 3.600.000,00	11,94%
Análisis de vibraciones	5000 HORAS	2,0	\$ 150,0		\$ 270.000,00	\$ 540.000,00	1,79%
Análisis de aceites	5000 HORAS	2,0	\$ 150,0		\$ 270.000,00	\$ 540.000,00	1,79%
Análisis de termografía	5000 HORAS	2,0	\$ 150,0		\$ 270.000,00	\$ 540.000,00	1,79%
MANO DE OBRA PROVEEDOR		78	\$ 35,0		\$ 63.000,00	\$ 4.914.000,00	16,30%
INPREVISTOS		1			\$ 800.000,00	\$ 800.000,00	2,65%
<b>TOTAL MANTENIMIENTO ANUAL</b>						<b>\$ 30.147.200,00</b>	<b>100%</b>

Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

De la anterior tabla se puede observar que la incidencia más elevada dentro de los costos de mantenimiento se la lleva el cambio de aceite con una participación del 19,58%, mano de obra con una participación del 16,30% y mantenimiento de las PSA con una participación del 11,94%.

**Figura 17. Contrato mantenimiento técnico.**



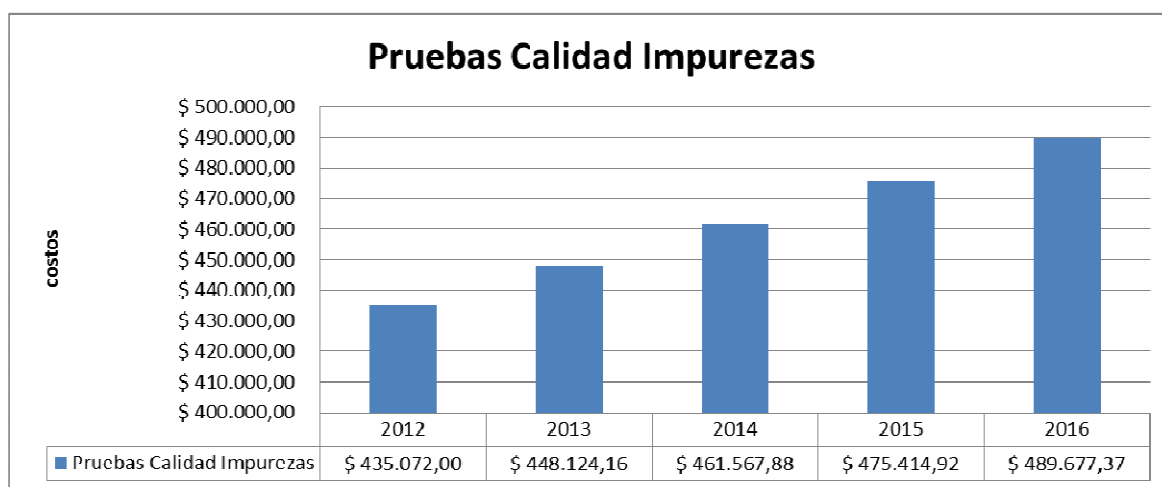
Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

En la anterior gráfica se observa que el costo del mantenimiento técnico incrementa año a año, debido a que este varía con respecto a la inflación. (Ver Anexo CD, archivo Estados Financieros, hoja costos de producción).

*Pruebas de impureza*

Representa el valor de dos tubos Draeger, mensual para realizar pruebas de impurezas.

**Figura 18. Pruebas de calidad impureza.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

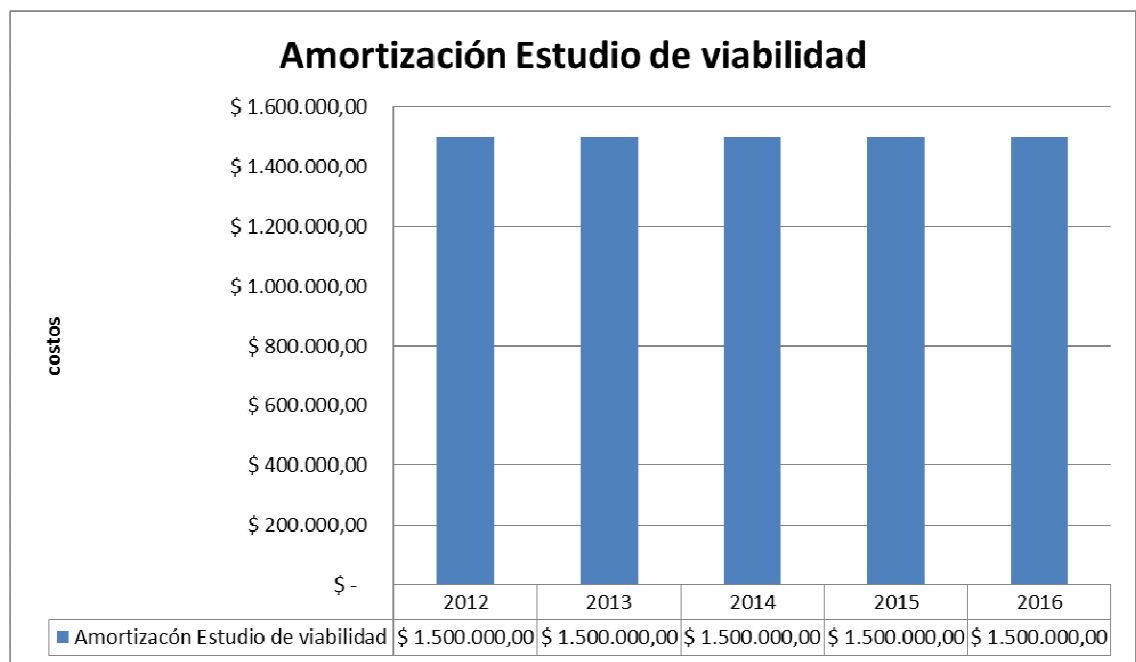


En la anterior gráfica se observa que los costos respecto a las pruebas de impureza, incrementan, y estos se debe a las variaciones por inflación.

Otros gastos operacionales hacen referencia a las amortizaciones del estudio de viabilidad.

Este estudio de viabilidad el cual costos \$ 7500000 pesos colombianos es amortizado en 5 años, en la siguiente gráfica se puede observar que los costos por concepto de amortización de estudio de viabilidad son de \$ 1500000 pesos colombianos, y son fijos durante el periodo de la amortización, no presentan ningún tipo de variación.

**Figura 19. Amortización estudio de viabilidad.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

A continuación realizamos un análisis de estructuras para observar la participación de cada uno de los costos dentro del total de costos de producción.

**Tabla 5. Análisis estructural. Participación en los costos.**

	2012	2013	2014	2015	2016
<b>COSTOS DE PRODUCCION IN SITU</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100%
<b>COSTOS VARIABLES DE PRODUCCIÓN</b>	70,22%	72,02%	73,76%	75,43%	77,04%
COSTOS DE ENERGIA	59,66%	61,74%	63,78%	65,75%	67,67%
COMPRA OXIGENO RESERVA TANQUE	10,56%	10,28%	9,98%	9,68%	9,37%
<b>COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN</b>	16,17%	14,99%	13,87%	12,80%	11,80%
Depreciación Maquinaria	15,14%	14,04%	12,99%	11,99%	11,05%
Depreciación Construccion	1,03%	0,95%	0,88%	0,81%	0,75%
<b>GASTOS OPERACIONALES</b>	13,35%	12,75%	12,15%	11,55%	10,97%
DIRECTOR TECNICO PLANTA	4,64%	4,43%	4,22%	4,02%	3,81%
Apropiaciones Director Tecnico Planta	2,41%	2,30%	2,20%	2,09%	1,98%
CONTROL DE CALIDAD	0,35%	0,33%	0,31%	0,30%	0,28%
Apropiaciones Control De Calidad	0,18%	0,17%	0,16%	0,16%	0,15%
ASEO CUARTO DE PLANTA	0,18%	0,17%	0,16%	0,16%	0,15%
Apropiaciones Aseo Cuarto de Oxigeno	0,09%	0,09%	0,09%	0,08%	0,08%
CONTRATO MANTENIMIENTO TECNICO (PORVEEDOR)	5,42%	5,18%	4,93%	4,69%	4,45%
Pruebas Calidad Impurezas	0,08%	0,07%	0,07%	0,07%	0,06%
<b>OTROS GASTOS OPERACIONALES</b>	0,26%	0,24%	0,22%	0,21%	0,19%
Amortización Estudio de viabilidad	0,26%	0,24%	0,22%	0,21%	0,19%

Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

Al realizar un análisis vertical a los costos, se puede observar que la incidencia más grande, dentro de los costos de producción, la tiene los costos variables de producción, en lo que hacen parte los costos de energía eléctrica y los costos de reserva tanque, si observamos en el año 2012, tenemos que los costos variables tienen una participación del 70,22%, seguidos de los costos indirectos de producción y los gastos operacionales, con una participación del 16,17% y 13,85% respectivamente. Se puede observar que particularmente los costos por energía eléctrica son los de mayor incidencia sobre los costos totales de producción, con un 59,66%. Estos comportamientos son similares para los años 2013, 2014, 2015 y 2016.

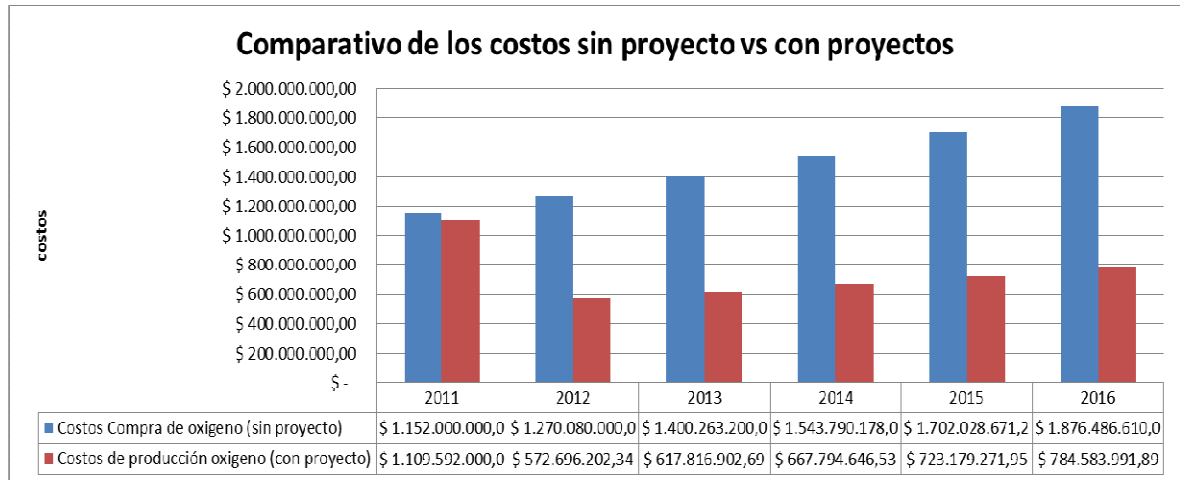
## 7.4 ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero de este proyecto se reduce a un comparativo entre la situación actual de los costos de oxígeno medicinal en el Hospital Militar Central de Bogotá o situación sin proyecto, y la situación con proyecto, en un mismo horizonte, que para este caso es de 5 años, la idea es determinar cuánto dinero se

ahorra con la entrada del proyecto de generar oxígeno medicinal *in situ*. (Ver Anexo CD, archivo Estados Financieros, hoja estado de resultados, hoja flujo de efectivo).

A continuación se muestra un comparativo de la situación sin proyecto y con proyecto en un horizonte de 5 años.

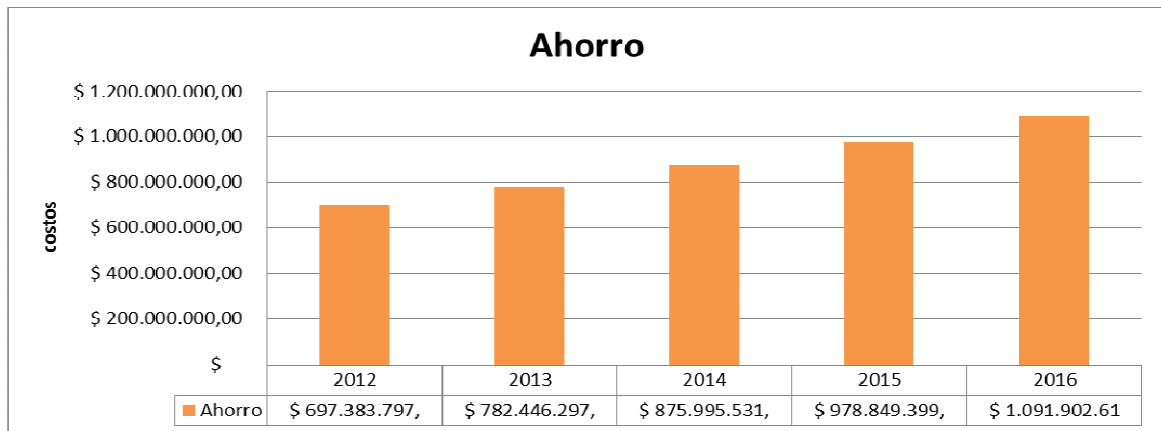
**Figura 20. Comparativos de costos situación sin proyecto y vs con proyecto.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

De la anterior gráfica se puede observar que el 2011 aparecen los costos de inversión, pero a partir del 2012 cuando el nuevo proyecto entra en funcionamiento, se observan los ahorros significativos año a año. De esta manera se pueden observar las bondades del proyecto.

**Figura 21. Ahorro con la entrada del nuevo proyecto.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

En la anterior gráfica se observan que los ahorros en el 2012 están cerca a los 700 millones pesos y en el 2016 los ahorros superan los 1000 millones de pesos. En términos porcentuales tenemos que el ahorro en el 2012 es del 54,91% y en el año 2016 el ahorro supera el 58%. (Ver Anexo CD, archivo Estados Financieros, hoja estado de resultados).

Ya conociendo el ahorro significativo del proyecto podemos determinar los costos por m3 cubico de oxígeno, el cual se determina tomando los costos de producción por año y dividiéndolos por el consumo de m3 de oxígeno por año.

**Tabla 6. Valor m3 de oxígeno medicinal sin proyecto vs m3 oxígeno con proyecto.**

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Costo m3 de oxígeno (sin proyecto)</b>	\$ 3.200,00	\$ 3.360,00	\$ 3.528,00	\$ 3.704,40	\$ 3.889,62	\$ 4.084,10
<b>Costo m3 de oxígeno (con proyecto)</b>	\$ 3.200,00	\$ 1.515,07	\$ 1.556,61	\$ 1.602,41	\$ 1.652,67	\$ 1.707,62
<b>Ahorro</b>		54,91%	55,88%	56,74%	57,51%	58,19%

Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

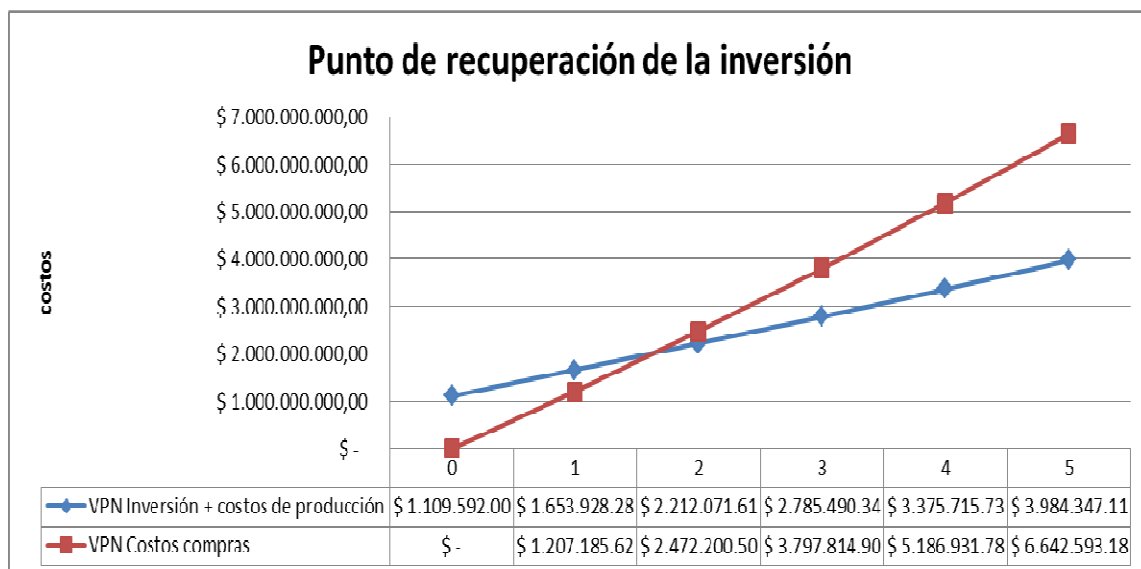
**7.4.1 Recuperación de la Inversión.** El punto de equilibrio o tiempo de recuperación de la inversión se refiere al período de tiempo necesario para que los costos actuales de compra de oxígeno medicinal sean iguales a los costos del nuevo proyecto (inversión inicial más costos de operación). Esto significa que el ejercicio se hace con el acumulado de estos conceptos. El deflactor<sup>10</sup> utilizado para el cálculo de los VPN<sup>11</sup> fue el CDT<sup>12</sup>. La tasa de interés para el CDT utilizado fue del 5,21% efectivo anual.

<sup>10</sup> Deflactor es un ejercicio que se hace con el fin de actualizar el valor monetario de futuros movimientos financieros.

<sup>11</sup> VPN: Valor presente neto. Convertir valores de movimientos futuros en presente y determinar el valor neto en el punto presente.

<sup>12</sup> CDT: Certificado de depósito a término fijo.

**Figura 22. Punto de recuperación de la inversión. Deflactor utilizado CDT.**



Fuente: MORRÓN CABALLERO, Jesús Emel; NORATO WILCHES, Juan Felipe. Autores del presente Trabajo de Grado. 2011.

En el anterior grafico se puede observar que el periodo de recuperación de la inversión es de un poco menos de 2 años. Este periodo de recuperación de la inversión, es el resultado de comparar los VPN de la inversión más los costos de producción y el VPN de los costos de compra. Deflactor utilizado: CDT.

## 7.5 ANÁLISIS COSTO – EFECTIVIDAD

La evaluación económica mide la utilidad del proyecto en cuanto a los aportes a la sociedad o el sector económico en el cual está inmerso el proyecto. En este sentido, busca la medición del impacto del respectivo proyecto respecto al bienestar económico de la sociedad o el sector [6].

Esto significa establecer la totalidad de los beneficios y costos asociados al comportamiento de una franja social o una muestra representativa de los agentes o actores del sector en el cual actúa el proyecto.

Los beneficios y costos en esta evaluación se adelanta estableciendo el impacto en el conjunto de entidades que integran el sector, en el caso específico del proyecto se refiere a una aproximación que se hace del sector, con base en una muestra de IPS de Alta Complejidad en Bogotá [1],[2].

En otro sentido, establece el impacto del proyecto respecto a recursos reales que suministran satisfacción o bienestar económico a los consumidores, en este caso a la población que constituyen los usuarios del oxígeno medicinal: los pacientes.

La decisión de aplicar el análisis costo-efectividad en esta investigación se tomó considerando que es un marco para medir la eficiencia relativa de técnicas con resultados homogéneos.

El análisis costo-efectividad (ACE) es una técnica analítica que compara los costos de un proyecto con los beneficios resultantes, no expresados en la misma unidad de medida. El ACE debe proveer no sólo la información de los menores costos para alcanzar cierto objetivo, o conjunto de objetivos, mediante diferentes sistemas alternativos. De esta manera, la toma de decisiones es más objetiva. Algunos enfoques los componentes básicos del ACE demuestran la efectividad relativa de nuevas tecnologías o terapias comparadas con anteriores. En esta investigación el costo efectividad se mide en términos del ahorro marginal o del ahorro total que significa comparar los costos de producir el oxígeno medicinal in situ, contra los costos de adquisición al oligopolio de las multinacionales [2].

El ACE es sólo uno de los métodos empleados en decisiones de inversión. Elementos de equidad, necesidades y prioridades deberían formar parte de este tipo de procesos. El ACE es una técnica que compara el valor relativo de varias estrategias clínicas. En la forma más común, una nueva estrategia es comparada con las prácticas corrientes. Esto es la “alternativa de menor costo” en el cálculo de la relación costo efectividad [2].

En el caso del Hospital Militar Central Bogotá y según el estado de resultado del proyecto, se estimó un ahorro superior al 54 %, durante los próximos 5 años, entre los costos de compra directa y los costos de producción de oxígeno in situ.

Este ahorro que se logra puede ser utilizado para satisfacer necesidades de tipo social: aumentar y/o fortalecer brigadas y campañas de salud, de tipo tecnológico: invertir en equipos Biomédicos, aumentar las reservas farmacológicas en los hospitales, etc.

También cabe destacar el beneficio en la capacidad de producción del sistema que se propone en el proyecto, ya que el sistema propuesto puede producir el doble de oxígeno que consume el hospital, con esto se pueden mitigar futuras demandas en el oxígeno, debido a posibles crecimiento en el hospital o picos de demanda.

Y desde el punto de vista ambiental la mayoría de los impactos son positivos y los impactos negativos son de baja incidencia y pueden ser mitigables. Como por ejemplo el ruido producido por las maquinas, que es controlado por medio de reductores de ruido. Y el drenaje de aceite que es controlado por medio de un tratamiento adecuado como los exigen las buenas practica de mano factura.

## 8. CONCLUSIONES

Los principales conceptos, análisis y conclusiones de este estudio demuestran que el proyecto es sostenible, porque la producción in situ de oxígeno medicinal representa ahorros importantes en el Hospital Militar Central Bogotá.

Este modelo de producción puede ser aplicable a la situación actual de las demás instituciones prestadoras de servicios de salud, con lo cual se contribuye a mejorar la eficiencia de la red hospitalaria del país.

Actualmente se están pagando en el Hospital Militar Central por un metro cúbico de oxígeno \$ 3200 pesos colombianos, al implementar el sistema de generación de oxígeno in situ, costaría en el 2012 \$ 1.515,07. Esto equivale a un ahorro del 54,91%, para los años 2013, 2014, 2015, 2016, se presentan comportamientos similares con ahorros superiores a los presentados en el 2012.

En síntesis el proyecto es viable desde el punto de vistas financiero ya que los ahorros de implementar la producción de oxígeno medicinal *in situ*, en el Hospital Militar central son superiores al 54%, y los costos de inversión se recuperan en un poco menos de 2 años. Desde el punto de vista económico y social el proyecto también produce alta eficiencia ya que estos ahorros pueden traer beneficios para la comunidad, porque estos dineros que se ahorran pueden ser invertidos en brigadas de salud, tecnología biomédica, etc. Y desde el punto de vista ambiental la mayoría de los impactos son positivos y los impactos negativos son de baja incidencia y pueden ser mitigables. Como por ejemplo el ruido ambiental, que es controlado por medio de reductores de ruido. Y el drenaje de aceite que es controlado por medio de un tratamiento adecuado como dicen las buenas practica de mano factura.

## 9. RECOMENDACIONES

- Se recomiendan a la gerencia del Hospital militar central de Bogotá implementar el sistema de generación de oxígeno medicinal *in situ*, dado que los estudios y conclusiones de este trabajo arrojan que los ahorros al implementar el sistema son superiores al 54%.
- También se sugiere que estos ahorros significativos, sean utilizados para satisfacer necesidades de tipo social: aumentar y/o fortalecer brigadas y campañas de salud, de tipo tecnológico: invertir en equipos Biomédicos, aumentar las reservas farmacológicas en el hospital central, etc.
- Otro beneficio importante por el cual se debe implementar este sistema de generación de oxígeno *in situ*, es la capacidad de producción del sistema que se propone en el proyecto, ya que el sistema propuesto puede producir el doble de oxígeno que consume el hospital, con esto se pueden mitigar futuras demandas en el oxígeno, debido a posibles crecimientos en el hospital o picos de demanda.
- Otra recomendación de porque implementar este proyecto es porque también genera 3 empleos de manera directa, que son el director técnico de la planta, Profesional de calidad, y persona de servicios de aseo.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] LÓPEZ CABALLERO, Juan. El nuevo aire para clínicas y hospitales. En: Revista Dinero. Edición de: Mayo 22 de 2008. [en línea]. Disponible en Internet en: [http://www.dinero.com/edicion-impresas/negocios/nuevo-aire-para-clinicas-hospitales\\_48293.aspx](http://www.dinero.com/edicion-impresas/negocios/nuevo-aire-para-clinicas-hospitales_48293.aspx). Consultado en: Abril de 2011.

[2] RAMÍREZ NIETO, Raúl. Evaluación de los beneficios de la producción *in situ* de oxígeno medicinal de la ESE Hospital Universitario La Samaritana de Bogotá, por el Sistema PSA (Adsorción por Fluctuaciones de Presión). Estimación de posibles efectos en el sector de la salud. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias Económico – Administrativa. 2008.

[3] HOSPITAL UNIVERSITARIO CLÍNICA SAN RAFAEL. Generación Oxígeno. [en línea]. Junio 10 de 2008. Disponible en Internet en: <http://www.clinicasanrafael.com.co/contenido.asp?tabla=Investigaciones2&t=InvestigaciónClínica>. Consultado en: Abril de 2011.

[4] Medidores Técnica y Equipo. Sistemas de generación de oxígeno medicinal e industrial “In-Situ” (PSA). [en línea]. Disponible en Internet en: <http://www.verifylab.com/c/sgomi.htm>. Consultado en: Mayo de 2011.

[5] INNOVATIVE GAS SYSTEM. Tecnología PSA. [en línea]. Disponible en Internet en: [http://www.igs-global.com/espanol/oxigeno\\_tech\\_psa.php](http://www.igs-global.com/espanol/oxigeno_tech_psa.php). Consultado en: Mayo de 2011.

[6] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Por la cual se establecen los sistemas masivos de oxígeno en la instalación del consumidor final. NTC 5127. Bogotá D. C. 1992. p. 13.

[7] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Establece los requisitos de calidad que debe cumplir el oxígeno gaseoso o líquido para ser suministrado correctamente. NTC 1409. Bogotá D. C. 1992. p. 7.

[8] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Por la cual se establecen los requerimientos para instalar un sistema, para uso médico mediante compresión de aire y tecnología PSA. NTC-ISO 10083. Bogotá D. C. 1992. p. 15.

[9] PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. República de Colombia. Decreto 677 (26, abril, 1995). Por lo cual se reglamenta parcialmente el Régimen de Registros y

Licencias, el Control de Calidad, así como el Régimen de Vigilancia Sanitarias de Medicamentos, Cosméticos, Preparaciones Farmacéuticas a base de Recursos Naturales, Productos de Aseo, Higiene y Limpieza y otros productos de uso doméstico y se dictan otras disposiciones sobre la materia. Bogotá D. C. 1995.

[10] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. República de Colombia. Resolución 04410 (22, marzo, 2009). Por la cual se expide el Reglamento Técnico que contiene el Manual de Buenas Prácticas de Manufactura de los Gases Medicinales. Ed. El Ministerio. Bogotá, D. C. 2009. p. 2-10.

[11] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. República de Colombia. Resolución 3183 (02, abril, 1995). Por la cual se adopta el informe 32 de la OMS, relacionada con buenas prácticas de manufactura. Ed. El Ministerio. Bogotá, D. C. 2009. p. 2- 8.

[12] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD - OMS. Establece las buenas prácticas de manufactura para la fabricación de productos farmacéuticos. Informe de un Grupo Científico de la OMS. Serie de Informe Técnicos. Ginebra, Suiza. 1994. p. 32.

[13] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. República de Colombia. Resolución 001672 (28, mayo, 2004). Por la cual se adopta el Manual de Buenas Prácticas de Manufactura de los Gases Medicinales. Ed. El Ministerio. Bogotá, D. C. 2009. p. 3-6.

[14] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Higiene y seguridad. Identificación de tuberías y servicios. NTC 3458. Ed. El Instituto. Bogotá D.C. 1992. p. 10.

[15] STANDARD FOR HEALTH CARE FACILITIES. Instalaciones medicinales, sistemas de gas y vacío. NFPA 99. Ed. NFPA. Ginebra, Suiza. 2002. p. 11.

[16] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Sistemas de tubería de gases medicinales no inflamables. ISO 7396: 1987. Ed. ISO. Ginebra, Suiza. 1987. p. 13.

[17] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Principios fundamentales de las instalaciones eléctricas. IEC 364-2: Ginebra, Suiza. 1970. p. 7.

[18] The United States Pharmacopeial Convention. USP DI 1997. Volume I: Drug Information for the Health Care Professional. Rockville. 17th edition. The Convention Ed. 1997. p. 15-22.

[19] INSTITUTO NACIONAL DE VIGILANCIA DE MEDICAMENTOS Y ALIMENTOS. Resolución 270072 noviembre 2000. Gases medicinales de la FDA. Bogotá D. C. 1992. p. 20.

[20] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. República de Colombia. Resolución 3862 (03, noviembre, 2005). Guía de inspección de buenas prácticas de manufactura para la fabricación, llenado y distribución de gases medicinales. Ed. El Ministerio. Bogotá, D. C. 2009. p. 2- 8.