



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERIA

---

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

“MEJORA DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y LA EFICIENCIA  
EN LAS PLANTAS CONCENTRADORAS DE ÁCIDOS DE LA  
EMPRESA EXSA S.A”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Industrial**

**Autor:**

Paul Adalberto Torres Tucto

**Asesor:**

Mg. Ing. Miriam Bravo Orellana

Lima – Perú

2016

## APROBACIÓN DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** el trabajo de suficiencia profesional desarrollado por el (la) Bachiller **Paul Adalberto Torres Tucto**, denominada:

“MEJORA DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y SU RELACIÓN CON LA EFICIENCIA EN LAS PLANTAS CONCENTRADORAS DE ÁCIDOS DE LA EMPRESA EXSA S.A.”

---

Ing. Nombres y Apellidos

**ASESOR**

---

Ing. Nombres y Apellidos

**JURADO**

**PRESIDENTE**

---

Ing. Nombres y Apellidos

**JURADO**

---

Ing. Nombres y Apellidos

**JURADO**

## DEDICATORIA

A Dios por ser lo que soy, por darme la voluntad para terminar mis estudios con éxito, la fuerza para levantarme en cada caída, la paz en los momentos difíciles, y la sabiduría para tomar las mejores decisiones.

A mis padres Ricardo y Yolanda, por su gran amor, paciencia, apoyo incondicional, por creer en mí, sobre todo por sus oraciones que me dieron paz cuando más lo necesitaba.

A toda mi familia, que de una u otra forma estuvieron pendientes durante mi desarrollo profesional, motivándome a seguir adelante.

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecer a Dios por guiarme y darme las fuerzas para seguir cumpliendo mis metas.

Agradecer también a mi asesor Mirian Bravo por su apoyo incondicional durante el desarrollo de la tesis, así mismo por sus consejos y conocimiento.

También dar un sincero agradecimiento a nuestros profesores que a lo largo de nuestra carrera nos alcanzaron todos sus conocimientos y consejos para el buen desempeño de nuestra profesión.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL .....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.1. Antecedentes .....	15
1.2. Realidad Problemática .....	18
1.2.1. <i>Formulación del Problema</i> .....	19
1.2.2. <i>Problema general</i> .....	19
1.2.3. <i>Problema Específico</i> .....	19
1.2.4. <i>Problema Específico 1</i> .....	19
1.2.5. <i>Problema Específico 2</i> .....	20
1.2.6. <i>Problema Específico 3</i> .....	20
1.2.7. <i>Problema Específico 4</i> .....	21
1.3. Justificación .....	22
1.3.1. <i>Justificación Teórica</i> .....	22
1.3.2. <i>Justificación Práctica</i> .....	22
1.3.3. <i>Justificación Cuantitativa</i> .....	23
1.3.4. <i>Justificación Académica</i> .....	23
1.4. Objetivo .....	24
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	24
1.4.2. <i>Objetivo Específico</i> .....	24
1.4.3. <i>Objetivo específico 1</i> .....	24
1.4.4. <i>Objetivo específico 2</i> .....	24
1.4.5. <i>Objetivo específico 3</i> .....	24
1.4.6. <i>Objetivo específico 4</i> .....	24
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
2.1. Innovación Tecnológica .....	25
2.1.1. <i>Eficiencia energética</i> .....	25
2.1.2. <i>Cultura Energética</i> .....	25

2.1.3.	<i>Control Energético</i> .....	25
2.2.	Concepto de optimización de procesos .....	26
2.2.1.	<i>Plan de Acción</i> .....	26
2.2.1.1	<i>Principios que orientan la elaboración de un plan de acción</i> .....	26
2.3.	Herramientas de la calidad .....	26
2.3.1.	<i>Círculos de calidad</i> .....	27
2.3.2.	<i>Ciclo de Deming</i> .....	27
2.3.3.	<i>Diagrama Ishikawa</i> .....	28
2.3.4.	<i>El diagrama de Pareto</i> .....	29
2.3.5.	<i>Matriz del Problema</i> .....	30
2.4.	Parámetros de control en procesos. ....	30
2.5.	Torres de absorción de gases. ....	31
2.5.1.	<i>Compresores</i> .....	32
2.5.2.	<i>Compresores de anillo líquido</i> .....	33
2.6.	Motor de inducción trifásico. ....	34
2.6.1.	<i>Clasificación de los motores de inducción trifásicos</i> .....	34
2.6.2.	<i>Motores de Alta eficiencia</i> .....	35
2.6.3.	<i>Arranque de un motor de inducción</i> .....	37
2.6.4.	<i>Arrancadores en estado sólido</i> .....	38
2.6.5.	<i>Variadores de frecuencia</i> .....	38
2.6.5.1.	<i>Aplicaciones según tipo de carga</i> .....	38
2.6.6.	<i>Opción Tarifaria</i> .....	40
2.7	<i>Mantenimiento de equipos eléctricos</i> .....	40
2.7.1	<i>Mantenimiento Predictivo</i> .....	40
2.8.	Definición de términos básicos. ....	41
	<b>CAPÍTULO 3. DESARROLLO</b> .....	<b>43</b>
3.1.	Situación Energética Actual de la Empresa .....	43
3.1.1.	<i>Costo de Energía Eléctrica por Áreas</i> .....	43
3.1.1.	<i>Descripción del Proceso Productivo</i> .....	45
3.1.1.1.	<i>Producción en Planta de Nitroglicerina</i> .....	45

3.1.1.2.	<i>Producción en plantas concentradoras de ácidos.</i>	45
3.2.	Ratios de Consumo de Energía	48
3.2.1.	<i>Análisis de Consumo Energético de la Planta de Ácidos.</i>	51
3.3.	<i>Alternativas de ahorro de energía eléctrica</i>	55
3.3.1.	<i>Objetivo.</i>	55
3.3.2.	<i>Alcance.</i>	55
3.3.3.	<i>Responsables.</i>	55
3.3.4.	<i>Desarrollo de la Mejora.</i>	56
	• <i>Matriz de selección de problemas.</i>	56
	• <i>Diagrama Ishikawa.</i>	57
3.3.4.1.	<i>Estrategias del Ahorro Energético.</i>	60
A.	<i>Cambio del arrancador de estado sólido por un variador de frecuencia en el motor eléctrico del compresor de gases aplicando la ley de proporcionalidad.</i>	61
B.	<i>Reemplazo de motor estándar por un motor de alta eficiencia.</i>	61
C.	<i>Cambio de parámetros de producción en torre de absorción de gases.</i>	62
3.4.	Cuantificar la mejora del proceso.	64
3.4.1.	<i>Reemplazo del arrancador de estado sólido en el compresor de gases por un variador de frecuencia.</i>	64
3.4.2.	<i>Cambio de un motor estándar por uno de alta eficiencia.</i>	68
3.4.3.	<i>Estandarización de parámetros de trabajo en torre de absorción de gases.</i>	71
3.5.	<i>Validación de Resultados.</i>	73
3.5.1.	<i>Acciones de garantía del proceso.</i>	73
3.5.2.	<i>Análisis vibracional del compresor de gases.</i>	73
	<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>	<b>75</b>
4.1.	RESULTADOS	75
4.2.	CONCLUSIONES.	83
4.3.	RECOMENDACIONES.	84
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>85</b>
	<b>ANEXOS</b> ..... Error! Bookmark not defined.	
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>88</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n°. 2-1 Ciclo de Deming .....	28
Figura n°. 2-2 Diagrama Causa – Efecto .....	29
Figura n°. 2-3 Diagrama de Pareto .....	30
Figura n°. 2-4 Torres de absorción de gases .....	32
Figura n°. 2-5 Clases de compresores.....	33
Figura n°. 2-6 Las equivalencias en nuevos tipos de eficiencia.....	36
Figura n°. 2-7 Motores de alta eficiencia.....	37
Figura n°. 2-8 . Ley de la proporcionalidad .....	39
Figura n°. 3-1 Distribución de los costos de energía eléctrica por áreas de la empresa.....	44
Figura n°. 3-2 Plantas concentradoras de ácidos .....	46
Figura n°. 3-3 Consumo de energía eléctrica vs producción de ácidos.....	49
Figura n°. 3-4 Diagrama de Pareto .....	51
Figura n°. 3-5 Calentador eléctrico.....	52
Figura n°. 3-6 Ratio de consumo de energía vs consumo en compresor de gases .....	53
Figura n°. 3-7 Producción de ácidos vs consumo de energía en compresor de gases.....	55
Figura n°. 3-8 Matriz de selección de problema.....	57
Figura n°. 3-9 Diagrama Ishikawa .....	58
Figura n°. 3-10 Poder de absorción en el compresor de gases.....	59
Figura n°. 3-11 Parámetros de trabajo en torre de absorción de gases .....	63
Figura n°. 3-12 Variación de potencia consumida, por reducir el poder de absorción .....	67
Figura n°. 3-13 Pérdida por potencia absorbida.....	71
Figura n°. 3-14 Espectro en cascada muestra picos de alta frecuencia .....	74
Figura n°. 4-1 Ahorro de energía consumida por cambio de arrancador.....	75
Figura n°. 4-2 Ahorro de energía por cambio de motor .....	76
Figura n°. 4-3 Ahorro de energía por cambio de parámetros .....	77
Figura n°. 4-4 Reducción del costo de energía - torre de absorción de gases, Año 2016 .	79
Figura n°. 4-5 Costo de producción anual de Nitroglicerina - 2016 .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n°. 2-1 Clasificación NEMA para motores de inducción trifásicos .....	35
Tabla n°. 3-1 Costos promedios de energía eléctrica por áreas de la empresa .....	44
Tabla n°. 3-2 Equipos del proceso NAC.....	47
Tabla n°. 3-3 Consumo en KW/h de planta de ácidos vs producción en kg .....	48
Tabla n°. 3-4 Equipos de mayor relevancia en planta concentradora de ácidos .....	50
Tabla n°. 3-5 Ratio de costo energético de la Planta de Ácidos .....	54
Tabla n°. 3-6 Regla de eficiencia energética en compresores.....	64
Tabla n°. 3-7 Reducción de energía por variación de frecuencia .....	67
Tabla n°. 3-8 Nuevos parámetros de control en torre de absorción de gases.....	72
Tabla n°. 3-9 Variación de temperaturas en motor y compresor de gases.....	73
Tabla n°. 4-1 Forecast de producción en planta de ácidos y factor costo soles/Kg .....	78
Tabla n°. 4-2 Ahorro en costos de producción de Nitroglicerina .....	80
Tabla n°. 4-3 Ahorro de costos de producción en planta de Nitroglicerina.....	81
Tabla n°. 4-4 Reducción de costo de producción en planta de nitroglicerina .....	81

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad mejorar el consumo de energía eléctrica y la eficiencia en los procesos, ubicados en las plantas concentradoras de ácidos en la Empresa química de explosivos, Exsa S.A.

En el trabajo de estudio se analiza el comportamiento de los principales indicadores energéticos y su relación con la demanda actual de producción de la empresa. El cual comprende de una fase inicial que identifica de manera global la estructura energética de la empresa, a nivel de gestión y administración de la energía, detectando el mayor consumo de energía eléctrica en el área de producción de Nitroglicerina, la cual comprende de dos plantas concentradoras de ácidos, y de éstos que son de mayor relevancia está abocado, éste trabajo.

En el trabajo de mejora de procesos, utilizamos herramientas de la calidad a través del ciclo de mejora continua de Deming, donde se seleccionó el problema que era el de mayor consumo de energía eléctrica, ubicado en las torres de absorción de gases, pertenecientes a las plantas concentradoras de ácidos.

Se sub dividió los problemas, analizando la causa raíz de cada uno de ellos, detectando el sobredimensionamiento de la torre de absorción de gases, la deficiencia de su proceso por no llevar un control de parámetros estandarizados y flexibles, según carga; así como, también el uso de un motor estándar de baja eficiencia, generando pérdidas por energía consumida; luego de analizar y evaluar la situación energética de cada uno de estos problemas, se plantearon soluciones de oportunidad de mejora, elaborados a partir de los resultados, que conducen a la reducción de los costos energéticos.

Dentro de los resultados obtenidos tenemos un ahorro de 93 915,6 KW anuales por la aplicación de un variador de frecuencia, que controle el poder de la torre de absorción de gases, la reducción de costos de energía por cambios de parámetros se dio llevando un control de carga variable, facilitado por la instalación de un variador de frecuencia, aplicando la relación existente con las reglas de eficiencia energética y la dependencia de éstas con la presión y temperatura del compresor como equipo rotatorio, se obtuvo un control del consumo en base a la producción requerida, generando un ahorro de 61 200 KW anuales; y el ahorro por la instalación de un motor Premium de alta eficiencia, fue por la reducción de pérdidas por energía consumida que equivale a un 8,8% de ahorro representado en 99 856,8 KW anuales.

Adicionalmente a esto se aplicaron garantías para mantener el proceso, obteniendo beneficios de ahorro por mantenimiento, disponibilidad y confiabilidad de equipos, aún no cuantificados.

También se realizó un análisis del ahorro, en cada problema específico y de cómo repercute éstos en los costos de producción en la Planta de ácidos y a nivel global, en Planta de nitroglicerina.

Si bien es cierto el proyecto es específico, la metodología utilizada para encontrar la solución al problema, es replicable ya que involucra una serie de criterios, utilizable para un proyecto que busca generar ahorro de consumo de energía.

## ABSTRACT

The present work aims to improve power consumption and efficiency in processes, located in the concentrator plants of acids in the chemical explosives, Exsa S.A. company.

The Studio work analyzes the behavior of the main energy indicators and their relationship with the current demand for the company's production. Which includes an initial phase that identifies in a comprehensive manner the energy of the company, management structure and energy management, detecting increased consumption of electrical energy in the area of production of nitroglycerin, which comprises of two concentrator plants of acids, and these which are of greater relevance is doomed, this work.

Quality tools we use in the process improvement work, through the continuous improvement cycle of Deming, was selected where the problem which was the greater consumption of electrical energy, located in the towers of gas absorption, belonging to the concentrator plants of acids.

Is sub divided the problems, analyzing the cause root of each one of them, detecting the oversizing of the Tower of gas absorption, deficiency of its process for failing a standardized and flexible parameters depending on load control; as well as, also the use of a standard engine of low efficiency, creating losses of energy consumed; After analyzing and evaluating the energy of each of these problems situation, raised solutions of opportunity for improvement, elaborated from the results, which lead to the reduction of energy costs.

Within the results obtained have 93 915,6 annual KW savings by application of a frequency inverter, that controls the power of the Tower of gas absorption, reducing costs of energy by changes of parameters was carrying a variable load control, facilitated by the installation of a frequency inverter, applying the existing relationship with the energy efficiency rules and with pressure and temperature dependence of the compressor as Rotary equipment, obtained control of consumption based on the required production, generating savings of 61 200 annual KW; and saving by the installation of a Premium high-efficiency engine, was by reducing losses by energy consumed is equivalent to 8.8% represented in 99 856,8 annual KW savings.

In addition to this guarantees were applied to keep the process, obtaining benefits of savings for maintenance, availability and reliability of equipment, not yet quantified; also analysis a saving, on each specific problem and how it affects these costs of production plant acids and globally, on ground of nitroglycerin.

If it is true the project is specific, the methodology used to find a solution to the problem, is replicable since it involves a series of criteria, can be used for a project that seeks to generate savings of energy consumption.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico del país en los últimos años, y la apertura del mercado local hacia el mundo, lograron inyectar un gran impulso a las actividades mineras. En la actualidad este segmento está siendo golpeado por la desconfianza del sector privado y por el proceso de confrontación regional y política que está sucediendo en nuestro País. Como consecuencia todos los proveedores del sector minero están compartiendo el periodo de crisis económica debido a la baja de los precios de los metales, es por ello que las empresas dedicadas a este rubro, han optimizado sus operaciones enfocándose a la reducción de costos, flexibilizando sus procesos y potenciando los atributos de diferenciación en sus productos para ganar mayor ventaja competitiva.

EXSA S.A esta dedicada a la fabricación de explosivos, agentes de voladura y dar servicios de soluciones exactas para la fragmentación de roca; hoy en día el mercado de los explosivos se ha vuelto más competitivo y mucho de esto depende de los clientes que cada vez son más exigentes y cambiantes, buscando productos de calidad y bajos precios; es por ello que EXSA S.A, busca la mejora continua de sus procesos y la optimización de sus recursos energéticos.

Se puede afirmar que esta empresa tiene un consumo considerable de energía en términos cuantitativos; este hecho ha sido uno de los motivos para realizar el presente trabajo de mejora, ya que la reducción de energía impacta enormemente en la eficiencia, gestión ambiental y el sobre costo que genera el uso de este recurso.

Se realizó un análisis energético del consumo eléctrico de la empresa, detectando, a las plantas concentradoras de ácidos como las de mayor consumo de energía, que representa hasta el 32% del consumo global; se identificaron las causas del uso ineficiente de la energía eléctrica y el origen del problema fue encontrando en las torres de absorción de gases como las de mayor relevancia la cual forman parte de la Planta de Ácidos; se evaluaron la eficiencia energética en los motores eléctricos, el sobredimensionamiento de equipos, variadores de frecuencia y su relación con las leyes de proporcionalidad, reglas de eficiencia energética en compresores y factores que influyen para llevar acabo un buen control del consumo de energía eléctrica.

Se optimizó el sistema detectando las medidas apropiadas de ahorro de energía, obteniendo un costo de energía menor a los costos actuales, y creando oportunidades de mejora en el funcionamiento de equipos consumidores de energía, en la empresa.

El estudio está enfocado a utilizar herramientas de la calidad, nuevas tecnologías, implementación de nuevos procedimientos y control de indicadores, a fin de mejorar el proceso sin afectar la calidad del producto terminado, logrando una reducción de costos energéticos innecesarios.

### **1.1. Antecedentes.**

La Empresa Exsa S.A, es una empresa peruana perteneciente al grupo BRECA, se dedica al rubro químico en la fabricación de explosivos para la minería e infraestructura, se encuentra ubicada en la antigua panamericana sur Km 38, Pampas de Huarangal, Lurín, Lima 16 – Perú, cuenta con un número poblacional de 800 trabajadores distribuidos en tres plantas industriales localizadas en Lima, Tacna y Trujillo; asimismo cuenta con polvorines, centros de almacenamiento y distribución en Lurín, Trujillo, Tacna, Arequipa, Cusco y una serie de activos a nivel nacional.

Exsa S.A. se constituye con el nombre de Explosivos S.A. y en 1956 inicia sus operaciones en Lurín, utilizando los más exigentes niveles de seguridad y tecnología, ofreciendo una completa gama de soluciones exactas en fragmentación de roca, que la ha posicionado como el principal fabricante de explosivos del Perú, con presencia regional en Panamá, Colombia y Chile.

Su desarrollo y vigencia en el mercado se sustentan debido a la calidad de sus productos, elaborados con tecnología de punta, y respaldados por un permanente servicio de post-venta y asistencia técnica de primer nivel, todo ello enmarcado dentro de su política empresarial siguiendo los más estrictos estándares internacionales.

En el ámbito global competitivo Exsa S.A, cuenta con una participación: nacional, regional y global, manteniendo su liderazgo, con una participación de un 41% del total, en lo que respecta a voladura subterránea y tajo abierto a nivel nacional. (Paiva, 2014)

El objeto social de Exsa S.A. está ligado a la fabricación, transformación, explotación industrial, representación, desarrollo, investigación, comercialización, distribución, transporte, importación y exportación de explosivos y otros productos químicos; así como de sus insumos, accesorios y derivados. Teniendo como visión, ser líderes globales en soluciones de fragmentación de roca.

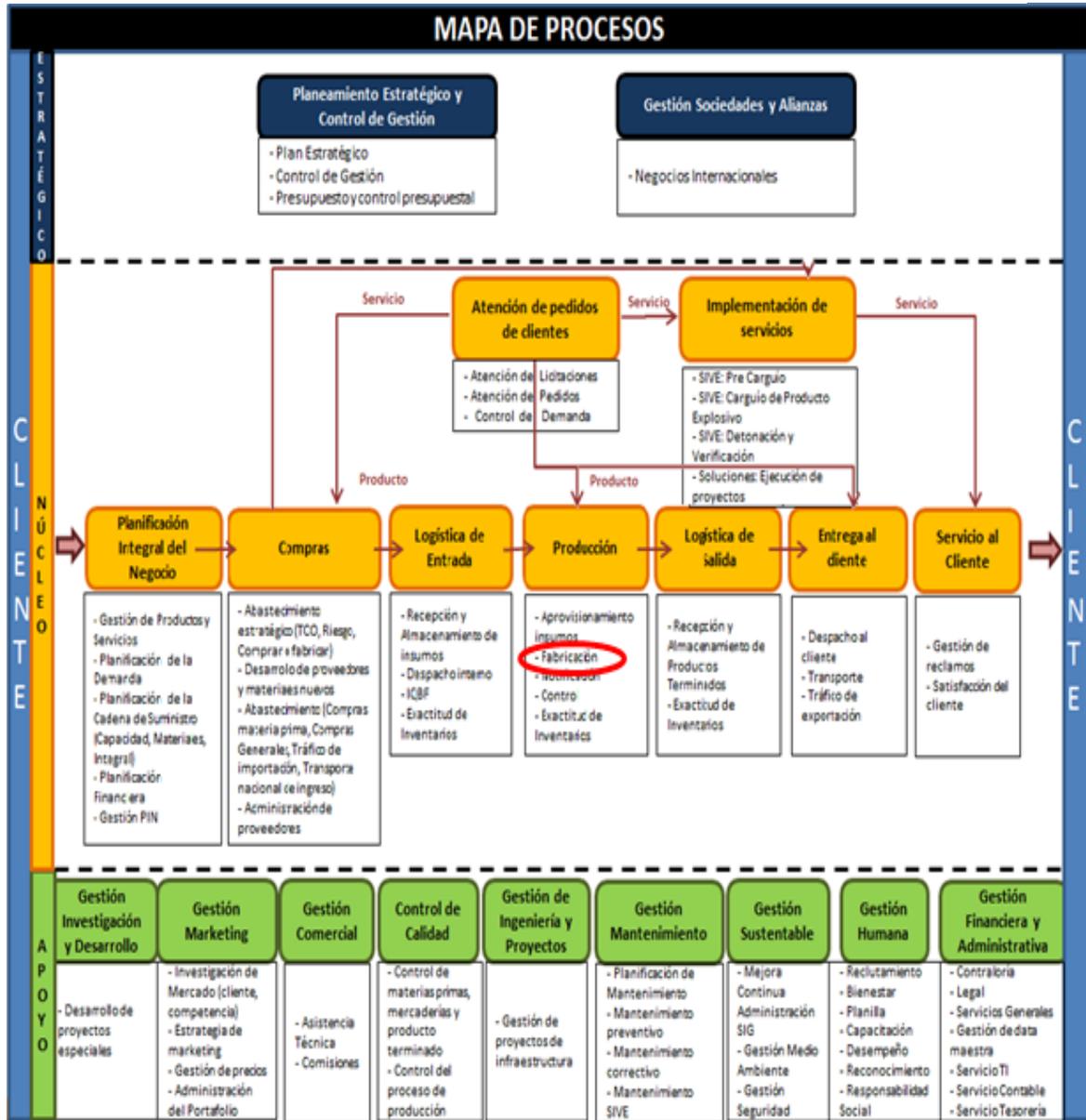
Exsa S.A, mantiene un sistema de gestión y certificación de seguridad, salud ocupacional OHSAS 18001:2007, calidad ISO 9001:2008, cuidado del medio ambiente ISO 14001:2004 y un sistema de gestión de control y seguridad BASC, su política está orientada a identificar, fomentar y desarrollar actividades de carácter sostenible para todos los grupos de interés de la empresa, de manera ética y más allá de lo que el marco legal establece, utilizando como fortaleza la seguridad para generar un mayor impacto en la aplicación de las acciones de RSE, la cual cuenta con los siguientes grupos de interés: comunidad, medio ambiente y clientes; como asimismo promueve la participación de sus colaboradores a través de los programas “Equipos de Mejora Continua”, la cual se encuentra alineado, el siguiente trabajo de mejora de procesos.

Exsa S.A, cuenta con dos líneas de negocio:

- Productos: Dinamitas, Emulsiones encartuchadas y a granel, Anfo, Nitrato de amonio y accesorios de voladura.
- Servicios: Asistencia técnica en minería subterránea y a tajo abierto, Servicio integral de voladura SIVE, servicio de mezclado de agentes de voladura y Servicio de ingeniería.

En la siguiente figura se observa una representación gráfica de los procesos que están presentes en la organización, mostrando la relación entre ellos y sus relaciones con el exterior, y a su vez se identifica con un círculo de color rojo el área de producción, la cual comprende de la elaboración de sus productos ya mencionados, donde parte, en la preparación de sus insumos como la Nitroglicerina, que es materia prima para la fabricación de dinamitas, y es en donde vamos a centrar nuestro trabajo, ya que de ella parte el mayor consumo de energía eléctrica, por tener como sub áreas a las plantas de concentración de ácidos, se sugiere alternativas de mejora en cuanto al consumo de energía eléctrica, en las plantas concentradoras de ácidos, las que actualmente promedian un consumo del 32% en la participación global de la empresa.

Figura n°. 1-1 Mapa de Procesos.



Fuente: Elaboración propia

## 1.2. Realidad Problemática

La apertura de nuevos mercados y los procesos de globalización han originado una ardua competencia a nivel mundial; la necesidad de las empresas en ser cada día mejor contempla el uso eficiente de sus recursos energéticos, cuidando el medio ambiente que los rodea y generando procesos productivos al menor costo posible.

Actualmente el consumo energético se desarrolla impulsado por el crecimiento socioeconómico de las naciones. El aumento de la población mundial, se estima a los 9 100 millones en el año 2050, las abundantes reservas mundiales de combustibles fósiles seguirán siendo utilizadas durante muchos años. No obstante existe un límite que impone la protección y cuidado del medio ambiente ante la amenaza del Calentamiento Global. (Pasquevich, 2016).

Hoy en día las empresas apuntan a una cultura de eficiencia energética y evalúan su consumo de energía eléctrica, planteando estrategias de ahorro dentro de sus procesos.

Es por ello que la empresa Exsa S.A, no es la excepción y busca la mejora continua de sus procesos y la optimización de sus recursos energéticos; se puede afirmar que la empresa tiene un consumo considerable de energía en términos cuantitativos, ya que en su evaluación energética, se detecta el mayor consumo de energía eléctrica en el área de las plantas concentradoras de ácidos, llegando hasta un 32% del consumo global de la empresa. (Exsa S.A, 2015)

Este incremento en su consumo de energía eléctrica no va relacionado en proporción directa con la producción de ácidos, lo cual evidenció el problema de sobreconsumo de energía, evidenciando la falta de control en sus indicadores energéticos, tanto del área como a nivel global de toda la organización.

Los problemas que se suscitan en la Planta de ácidos de la empresa, están relacionados básicamente a las malas prácticas a nivel global: como el desconocimiento de la importancia del consumo de energía eléctrica ,dado los picos de demanda máxima; los que generan el incremento del costo de la energía que afecta enormemente en los costos de operación; así como también os métodos tradicionales como se trabajaban antes, como la filosofía del sobredimensionar los equipos eléctricos instalados, debidos a planes futuros inciertos, lo que hace, un desaprovechamiento eficaz del equipo, a sí mismo la falta de una política de innovación tecnológica, que respalde la sustitución de equipos de baja eficiencia y poder aplicar la eficiencia

energética en el consumo de energía eléctrica, tanto en diferentes escenarios, como dentro de sus procesos de concentración de ácidos; las que representan una mayor relevancia en las pérdidas significativas de la empresa.

Estos sobrecostos en el alto consumo de energía ha repercutido de una manera significativa dentro de la organización y afectando de manera directa, a su sistema de gestión de la energía y huella de carbono.

### **1.2.1. Formulación del Problema**

#### **1.2.2. Problema general**

¿De qué manera la mejora del consumo energético influye en la eficiencia de las plantas concentradoras de ácidos de la empresa Exsa S.A?

#### **1.2.3. Problema Específico**

#### **1.2.4. Problema Específico 1**

El problema actual surge del análisis de los indicadores energéticos de la empresa y su estructura del consumo general de energía eléctrica, donde se detecta un escaso control dentro sus áreas productivas, por desconocimiento del uso eficiente de la energía eléctrica.

Identificado el área de mayor consumo de energía eléctrica, se detecta el problema en las plantas concentradoras de ácidos y en específico en las torres de absorción de gases, las que trabajan siempre al 100% de su capacidad del poder de absorción. Pese a la variabilidad de la demanda de producción de ácidos.

La condición de seguridad del proceso requiere que la torre de absorción de gases, se encuentre siempre en funcionamiento, la función principal de ésta, es la de capturar todos los gases sulfonítricos que escapan del proceso y reciclarlos, para su reutilización.

Este equipo trabaja principalmente con un compresor de gases, el cual no cuenta con un control automático de ejecución eficiente de alta y baja carga, debido a que su sistema no lo permite, lo que lo hace, ideal para mejorar su eficiencia.

### **1.2.5. Problema Específico 2**

Dentro de los factores que influyen en la variación de los indicadores energéticos de la empresa son los siguientes:

- Sobredimensionamiento de Equipos.
- Motores de baja eficiencia.
- Inadecuados parámetros de control en el proceso, tales como velocidad del equipo, presión y temperatura en la torres de absorción.

### **1.2.6. Problema Específico 3**

Al analizar la capacidad de producción de gases generados en las plantas de concentración de ácidos, se detecta el sobredimensionamiento del poder de las torres de absorción. Esto es debido a que en la fecha de instalación de estas plantas, la empresa se proyecta a futuro en el crecimiento de ella y de su producción; es por ello que opta sobredimensionar este equipo por ser muy crítico dentro del proceso de concentración.

En la actualidad se dio el incrementó de la producción estimada pero éstas, llegaron con nuevas tecnologías y eficientes procesos de concentración de ácidos; lo que ocasiona el desaprovechamiento del equipo.

La política de la empresa limita al área de mantenimiento a no sustituir equipos, como los motores de inducción eléctrica, los que actualmente son reparados y mantenidos como backup, con las mismas características técnicas, pese a que éstos en la industria ya hacen referencia al sustituible por categoría de eficiencia energética y las pérdidas económicas que éstas generan al mantenerlos.

La falta de estandarización de parámetros de control en la torre de absorción de gases, hacen que el proceso sea ineficiente, ya que éstas trabajan siempre al 100% de su capacidad, pese a la variabilidad de la demanda en el proceso de concentración de ácidos.

#### **1.2.7. Problema Específico 4**

El presente trabajo tiene como finalidad mejorar el consumo de energía eléctrica, y la eficiencia en los procesos ubicados esencialmente en las plantas concentradoras de ácidos.

Se analizó el comportamiento de los principales indicadores energéticos y su relación con la demanda actual de producción de la empresa; el cual comprende de una fase inicial que identifica de manera global, la estructura energética de la empresa, a nivel de gestión y administración de la energía, detectando el mayor consumo de energía eléctrica en el área de producción de Nitroglicerina, la cual comprende de dos plantas concentradoras de ácidos, y de éstos que son de mayor relevancia está abocado, éste trabajo.

En el trabajo de mejora de procesos, se aplicaron herramientas de la calidad a través del ciclo de mejora continua de Deming.

Gracias a la identificación de todos aquellos indicadores que repercuten de manera negativa en la eficiencia energética, se aplicaron estrategias de mejora que ayudaron a reducir el alto consumo energía eléctrica, los que afectan directamente en los costos de la empresa y no generan valor a la organización.

### **1.3. Justificación**

El crecimiento global de las empresas hacen; que hoy en día la eficiencia energética sea una forma muy asertiva de aumentar la seguridad del abastecimiento en energía eléctrica y de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; es por ello que Exsa S.A., toma acciones y medidas en rumbo, al incremento de su eficiencia energética, atendiendo principalmente a objetivos económicos, de seguridad y calidad; así como también el cuidado del medio ambiente.

El presente trabajo tiene como finalidad mejorar el consumo de energía eléctrica y la eficiencia en los procesos ubicados en las plantas concentradoras de ácidos, la cual promoverá a la organización el manejo responsable y uso racional de la energía eléctrica, empleando en la práctica, teorías de innovación tecnológica, conocimientos en la materia de absorción de gases, factores que influyen en un potencial ahorro de energía eléctrica; y el uso de herramientas de la calidad, la cual nos va permitir analizar el comportamiento de los principales indicadores energéticos a nivel global y del área en estudio, fomentando una cultura de eficiencia energética entre los colaboradores de planta y cuantificar el ahorro y viabilidad de la mejora.

#### **1.3.1. Justificación Teórica**

La estrategia de acción del presente trabajo promoverá a la organización el manejo responsable y racional de la energía eléctrica, la empresa disminuirá su consumo energético y contribuirá de manera responsable al uso eficiente de sus recursos. Ahorrar energía eléctrica nos permite disponer de esa energía para satisfacer otras necesidades y aumentar la calidad de vida.

#### **1.3.2. Justificación Práctica**

El proyecto responde a las necesidades inmediatas del uso racional de la energía eléctrica. La investigación tendrá una aplicación práctica, empleando teorías de eficiencia energética en la medida que se conozcan los detalles de sus resultados, esto permitirá al usuario identificar las fuentes de ahorro de energía eléctrica y evaluar el proceso productivo en las plantas concentradoras de ácidos.

Utilizando herramientas de la calidad, conocimientos de innovación tecnológica y factores que influyen en un potencial ahorro de energía eléctrica, se consigue realizar los cálculos de estimación del ahorro de energía eléctrica consideraron factores como: motores de alta eficiencia, variadores de frecuencia, reglas de eficiencia energética y tarifas eléctricas.

Las que en la práctica de la implementación, el ahorro y el retorno de inversión fueron muy favorables. Por lo que se obtendrá una disminución en el consumo y por ende una disminución en sus costos de producción.

### **1.3.3. Justificación Cuantitativa**

En el trabajo de estudio analiza el comportamiento de los principales indicadores energéticos y su relación con la demanda actual de la empresa; el que comprende de una fase inicial, que identifica de manera global la estructura energética a nivel de gestión y administración de la energía, detectando el mayor consumo de energía eléctrica en el área de producción de ácidos, la cual comprende de dos plantas concentradoras de ácidos, llamadas “Plantas DENI-NAC-SAC”, en ellas se concentran: Ácido nítrico al 99% y ácido sulfúrico al 98%.

Se implementó este sistema para una mayor demanda de producción en nitroglicerina, que en consecuencia da un incremento del consumo de ácido nítrico y ácido sulfúrico, éste último proveniente de un ácido residual, generado como un sub-producto al elaborar la nitroglicerina.

Todo éste proceso demanda el 32% del consumo de energía eléctrica en la empresa, lo que afecta directamente el costo del producto terminado.

El trabajo responde a mejorar la eficiencia de energía eléctrica en esta área de mayor relevancia, generando equipos de trabajo encargados del análisis, monitoreo, toma de decisiones operativas, evaluación de resultados, manejo de variables, la identificación de nuevos potenciales de ahorro y el incremento de la eficiencia dentro de éste proceso.

### **1.3.4. Justificación Académica**

Cabe mencionar que no existe referencia sobre estudios relacionados con la eficiencia energética en plantas concentradoras de ácidos. Por lo que, como antecedentes al presente trabajo, solo tenemos estudios de eficiencia energética en plantas industriales, los que son de gran ayuda y respaldan nuestro sustento; a continuación citamos algunos de ellos:

(Pachamango, Perez & Villanueva, 2015), evalúa la situación energética de la Empresa Cemento Pacasmayo Cajamarca con la finalidad de proponer cambios técnicos y operativos que podrán disminuir los costos, mejorando el proceso de producción y optimizando su productividad, para ello se recopiló información realizando mediciones en los diferentes equipos eléctricos y evaluando el estado energético de los indicadores.

El trabajo de estudio académico, se realiza con el objeto de aportar la información adecuada a los futuros profesionales de la ingeniería, en el área de la eficiencia de la energía eléctrica para sus distintas aplicaciones; haciendo especial énfasis en los fundamentos técnicos y las nuevas tendencias de este campo, centrandó su interés en impartir la formación del conocimiento y en las habilidades relacionadas con los procesos en una planta concentradora de ácidos.

## **1.4. Objetivo**

### **1.4.1. Objetivo General**

Demostrar la mejora del consumo energético y su relación con la eficiencia en las plantas concentradoras de ácidos de la empresa Exsa S.A.

### **1.4.2. Objetivo Específico**

#### **1.4.3. Objetivo específico 1**

Dar a conocer los ratios del consumo de energía eléctrica en Planta de ácidos de la empresa Exsa S.A.

#### **1.4.4. Objetivo específico 2**

Determinar los ratios de sobrecostos por consumos energéticos y los parámetros estandarizados que influyen en ellos.

#### **1.4.5. Objetivo específico 3**

Dar a conocer las alternativas de mejora en ahorro de energía eléctrica dentro de la empresa Exsa S.A.

#### **1.4.6. Objetivo específico 4**

Cuantificar la mejora del proceso con la finalidad de determinar el ahorro de energía, realizando una evaluación económica.

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Innovación Tecnológica**

En lo que refiere a las nuevas tecnologías de uso eficiente de la energía, se tiene bajos conocimientos del uso de variadores de velocidad, Control de fugas en aire comprimido, utilización de sistemas de regulación de iluminación, reguladores de control de alta demanda y desconocimiento de categorías de motores de alta eficiencia.

#### **2.1.1. Eficiencia energética**

La eficiencia energética se define como, “El gasto de energía menor del habitual”, es decir, consiste en reducir el consumo de energía mediante actuaciones concretas, pero manteniendo el mismo nivel de confort, cuidando el medio ambiente que nos rodea, se debe asegurar el abastecimiento y uso consciente de nuestros recursos, la reducción del consumo de energía se intensifica como un objetivo prioritario para cualquier economía en el mundo. (Rodríguez, 2008)

#### **2.1.2. Cultura Energética**

La cultura energética son todos los conocimientos, comportamientos y actitudes con referencia a la energía, se dice que una de cada cuatro empresas tiene conocimientos sobre ahorro y eficiencia energética, menos del 95% consultan información relacionada con estos temas (Fenosa, 2007).

#### **2.1.3. Control Energético**

Una de las principales funciones de un control energético es el poder responder a preguntas como: ¿Cuál es la situación energética general de la empresa?, ¿Cuánta energía está siendo utilizada y cuánto es el costo?, ¿En qué procesos o equipos se utiliza la energía? ¿Cuáles son los consumos de energía más relevantes?, ¿Es posible detectar pérdidas e ineficiencias en su uso? ¿Dónde están las mayores pérdidas de energía?, ¿Es posible identificar oportunidades de mejora?

Las empresas no suelen contratar servicios de controles energéticos como auditorías o diagnósticos. Aunque un 25% de ellas, realizan algún tipo de control para identificar excesos de consumo de energía. (Agencia Chilena de Eficiencia Energética, 2013)

## 2.2. Concepto de optimización de procesos

Los argumentos para emplear eficientemente la energía, es el ahorro económico, que se traduce al reducir la facturación del servicio energético dentro de una línea de producción, sin alterar ni disminuir las actividades de fabricación.

La optimización de procesos, se origina a partir de la disminución de las pérdidas de energía y nuevas metodologías de uso de nuestros recursos con el fin de disponer de energía abundante y barata, obteniendo costos de energía muchos menores a los costos actuales.

### 2.2.1. Plan de Acción.

Un plan de acción es un tipo de plan que prioriza iniciativas más importantes para cumplir con ciertos objetivos y metas. Dentro de una empresa, un plan de acción puede involucrar a distintas áreas. El plan establece quienes serán los responsables que se encargaran de su cumplimiento en tiempo y forma.

#### 2.2.1.1 Principios que orientan la elaboración de un plan de acción

Para la efectividad a un plan de acciones se deben ser:

Consensuadas: las propuestas de acción deben realizarse bajo el consenso y participación de los involucrados.

- **Coherentes:** las acciones propuestas deben guardar coherencia con lo realizado en el diagnóstico de la situación actual.
- **Operatividad:** las acciones de propuestas deben ser estructuradas: es decir, tienen que identificarse los objetivos clave que las unidades consideren prioritarios y tiene que instrumentalizarse por medio de un conjunto de acciones concretas, con determinados recursos, y responsables para llevar a cabo su ejecución.
- **Realistas y viables:** las acciones que se formulan tiene que ser viables en el contexto en el que se plantean para poder cumplir con los objetivos establecidos. (Pachamango, Perez & Villanueva, 2015)

## 2.3. Herramientas de la calidad

Son herramientas y técnicas de la Calidad, que ayudan a las empresas a medir la calidad de sus servicios y a planificar mejor sus procesos para llevar a cabo una mejora de su productividad y

servicio al cliente, considerando la filosofía del servicio, el análisis de decisiones, la calidad en el servicio y el marketing estratégico, como herramientas clave.

### 2.3.1. Círculos de calidad

Un círculo de calidad es un grupo reducido de personas que se congregan voluntariamente para analizar y detectar errores que se producen en la empresa, y buscar las soluciones apropiadas a los problemas que surgen en su área de trabajo.

El objetivo de los círculos de calidad, es que los trabajadores compartan con la administración la responsabilidad de definir y resolver problemas, propiciando la integración y compromiso del colaborador a la empresa, ya sea mejorando los productos, procesos o servicios.

### 2.3.2. Ciclo de Deming

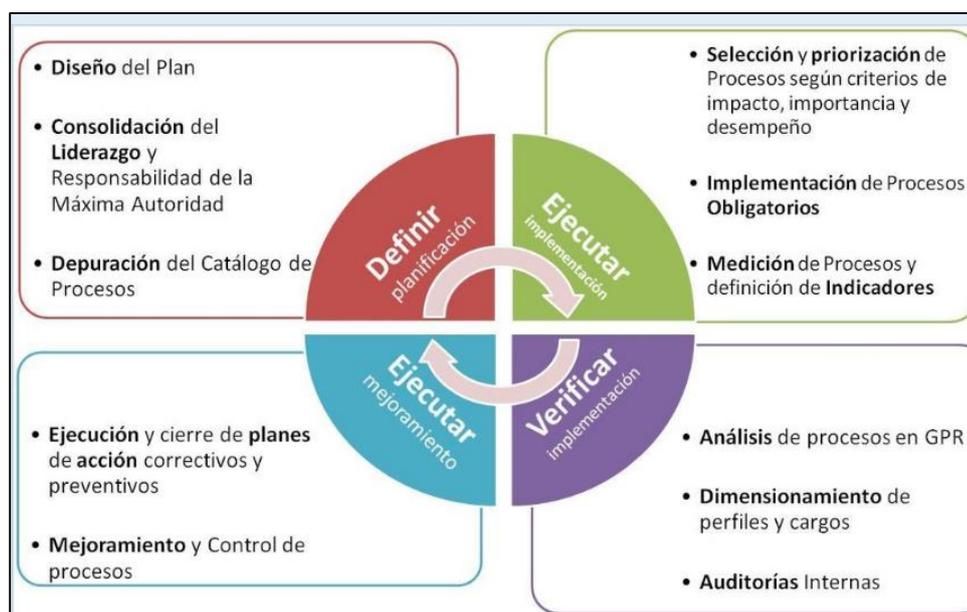
Esta herramienta de la calidad, fue difundida por Walter Shewhart en 1930 quien lo define como “un proceso metodológico elemental, aplicable en cualquier campo de la actividad, con el fin de asegurar la mejora continua de dichas actividades.”

Este ciclo tiene como objetivo controlar los procesos, identificar los fallos, planificar acciones correctivas y preventivas, además de involucrar al personal haciéndolos partícipes del proceso de mejora, lo que los motiva y genera identificación con el trabajo, todo esto finalmente logra equipos y recursos de alto desempeño. (Camero taboada, 2014)

- **Planear:** En esta etapa se definen los objetivos, se identifica el proceso a mejorar, para ello se coleccionan datos para conocer mejor el proceso, se interpretan y se analiza la información disponible, se entra en detalle de los resultados a los que se aspiran, y finalmente se definen los procesos necesarios para llegar a los resultados esperados verificando toda la información, se establece un cronograma de trabajo.
- **Hacer:** Se ejecutan el plan con el cronograma de trabajo establecido en la etapa anterior, se sustentan y documentan las actividades realizadas. Se suele hacer una prueba piloto antes de realizar cambios significativos en la organización.
- **Controlar:** Ejecutado el plan se deja un periodo de prueba verificando su correcta aplicación y funcionamiento, se analizan los resultados de los indicadores de control y se comparan con los objetivos esperados con el plan y podrá corroborar si hubo una mejora.

- Actuar:** En función al análisis y resultados de la etapa anterior se implementa la mejora en forma definitiva, caso contrario se modifican el plan de acción proponiendo y aplicando nuevas mejoras; documentar el proceso. nuevas mejoras; documentar el proceso.

Figura n°. 2-1 Ciclo de Deming.

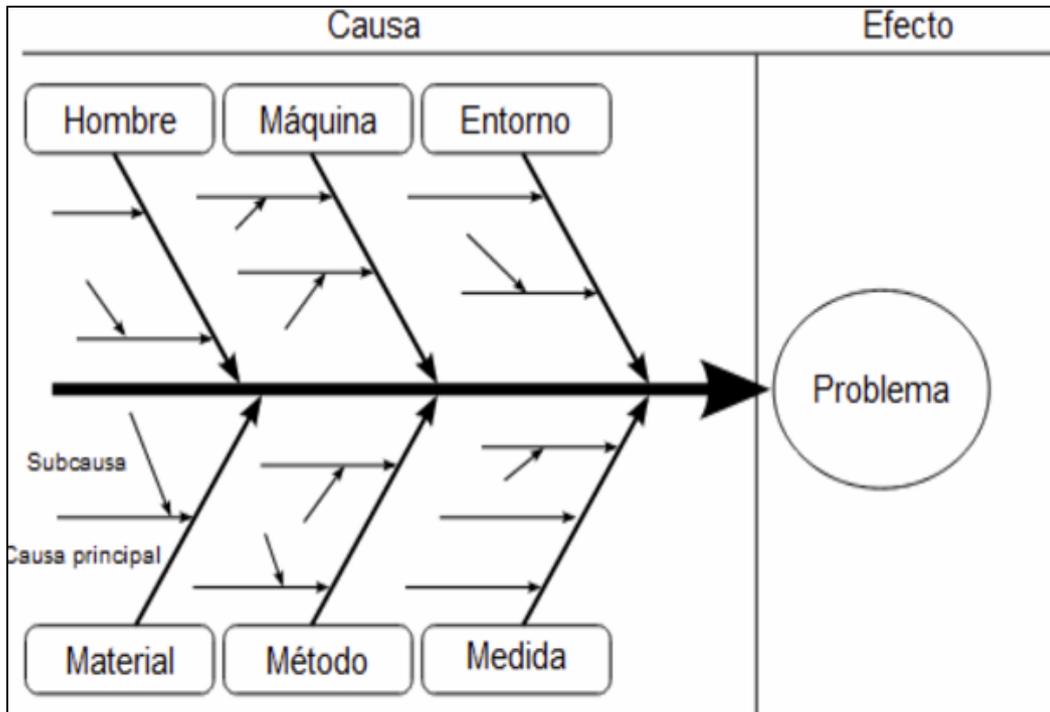


Fuente: <https://books.google.es/books?isbn=9588325293>

### 2.3.3. Diagrama Ishikawa

En honor al Profesor Kaoru Ishikawa, quien lo desarrolló en 1943, conocido también como diagrama de espina de pescado, o diagrama Causa – Efecto, esta herramienta se utiliza para identificar las causas potenciales de un problema específico del proceso. Se deben incluir las causas y la pregunta sobre el porqué de ellas. Estas causas se representan de más general a más particular en las “espinas del pescado” de manera de organizar y mostrar gráficamente todas las causas del problema en particular, hasta encontrar la causa raíz del problema que es la que se debe solucionar. (Aiteco Consultores,SI., 2016)

Figura n°. 2-2 Diagrama Causa – Efecto.



Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/10831/Capitulo5.pdf>

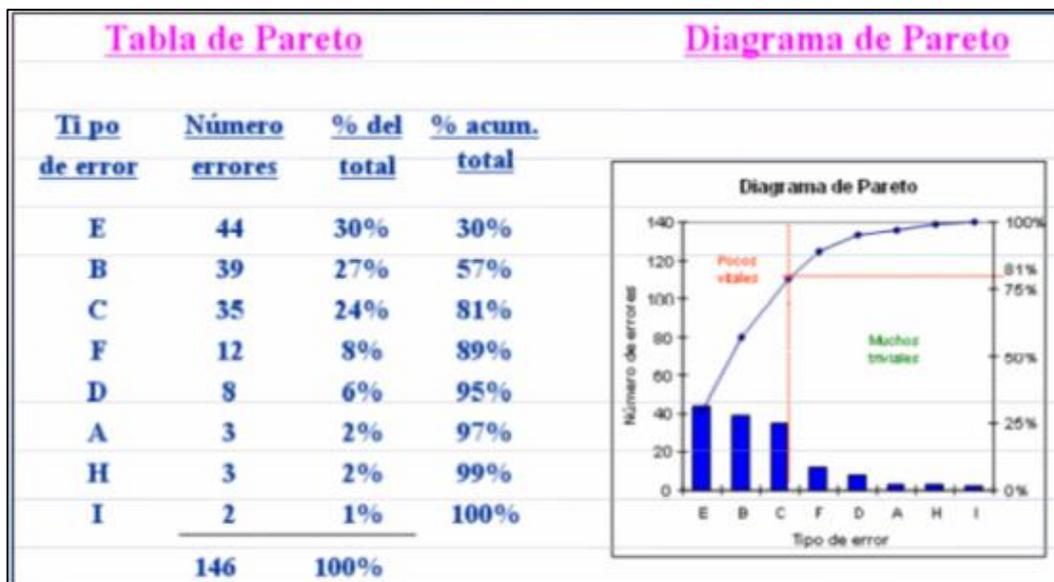
#### 2.3.4. El diagrama de Pareto

El Diagrama de Pareto es una gráfica en donde se establecen diversas clasificaciones de datos por orden descendente de izquierda a derecha y por medio de barras sencillas, se reúne los datos para calificar las causas de modo que se asigne un orden de prioridades.

El Análisis de Pareto es una técnica que separa los “pocos vitales” de los “muchos triviales” y es utilizada para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema desde los triviales de manera que un equipo sepa dónde dirigir sus esfuerzos para mejorar o reducir los problemas más significativos.

El Dr. Juran aplicó este concepto a la calidad, obteniéndose lo que hoy se conoce como la regla 80/20. Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, podemos decir que el 20% de las causas resuelven el 80% del problema y el 80% de las causas solo resuelven el 20% del problema.

Figura n°. 2-3 Diagrama de Pareto.



Fuente: C Rovira - [www. el prisma. Com/apuntes/ingeniería industria](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria-industria)

### 2.3.5. Matriz del Problema

La matriz de problema es una herramienta que permite la selección de opciones sobre la base de la ponderación y aplicación de criterios, ésta hace posible, determinar alternativas y los criterios a considerar para adoptar una decisión, priorizar y clarificar problemas, oportunidades de mejora y proyectos y en general establecer prioridades entre un conjunto de elementos para facilitar la toma de decisiones. (Aiteco Consultores,Sl., 2016)

### 2.4. Parámetros de control en procesos

El objeto de todo proceso industrial será la obtención de un producto final, y una de las características que determinan la forma de cumplir las especificaciones y niveles de calidad exigidos por el mercado.

La misión del sistema de control de proceso será corregir las desviaciones surgidas en las variables en respecto a valores determinados, que se consideran óptimos para conseguir las

propiedades requeridas en el producto producido. El sistema de control nos permitirá una operación del proceso más fiable y sencilla, al encargarse de obtener unas condiciones de operación estables, y corregir toda desviación que se pudiera producir en ellas respecto a los valores de ajuste. Las principales características que se deben buscar en un sistema de control serán (Mavainsa, 2009):

- Mantener el sistema estable, independiente de perturbaciones y desajustes.
- Conseguir las condiciones de operación objetivo de forma rápida y continua.
- Trabajar correctamente bajo un amplio abanico de condiciones operativas.
- Manejar las restricciones de equipo y proceso de forma precisa.

La implantación de un adecuado sistema de control de proceso, que se adapte a las necesidades de nuestro sistema, significará una sensible mejora de la operación. Principalmente los beneficios obtenidos serán:

- Incremento de la productividad.
- Mejora de los rendimientos.
- Mejora de la calidad.
- Ahorro energético.
- Control medioambiental.
- Seguridad operativa.
- Optimización de la operación del proceso/ utilización del equipo.
- Fácil acceso a los datos del proceso.

## **2.5. Torres de absorción de gases**

Las torres de absorción son equipos a contracorriente, en donde el gas entrante a la columna realiza un contacto discontinuo en los cuales se lleva a cabo el contacto entre la fase líquida y gaseosa. Realizando la operación de absorción 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 la solución.

El contacto entre las dos fases produce la transferencia del soluto, debido a que el soluto presenta una mayor afinidad por el disolvente. Lo que se busca en este proceso, es que el contacto entre ambas corrientes sea lo máximo posible, así como que el tiempo de residencia sea suficiente para que el soluto pueda pasar en su mayor parte de una fase a otra. (Rangel Morales, 2011)

En la siguiente figura se aprecia la torre de absorción de gases, ubicado en plantas concentradoras de ácidos.

Figura n°. 2-4 Torres de absorción de gases.



Fuente: Elaboración propia

### 2.5.1. Compresores

Los compresores son máquinas que aportan una energía a los fluidos compresibles, para aumentar la presión y desplazarla.

Lo más común es que se comprima aire, pero en la industria es frecuente la necesidad de comprimir otros gases, esto se realiza mediante un trabajo interno del compresor donde transfiere la sustancia que pasa por él, convirtiéndola en energía de flujo, aumentando la presión y energía cinética del fluido.

La energía necesaria para efectuar este trabajo la proporciona un motor eléctrico o de combustión interna. (Toapanta cunalata, 2009)

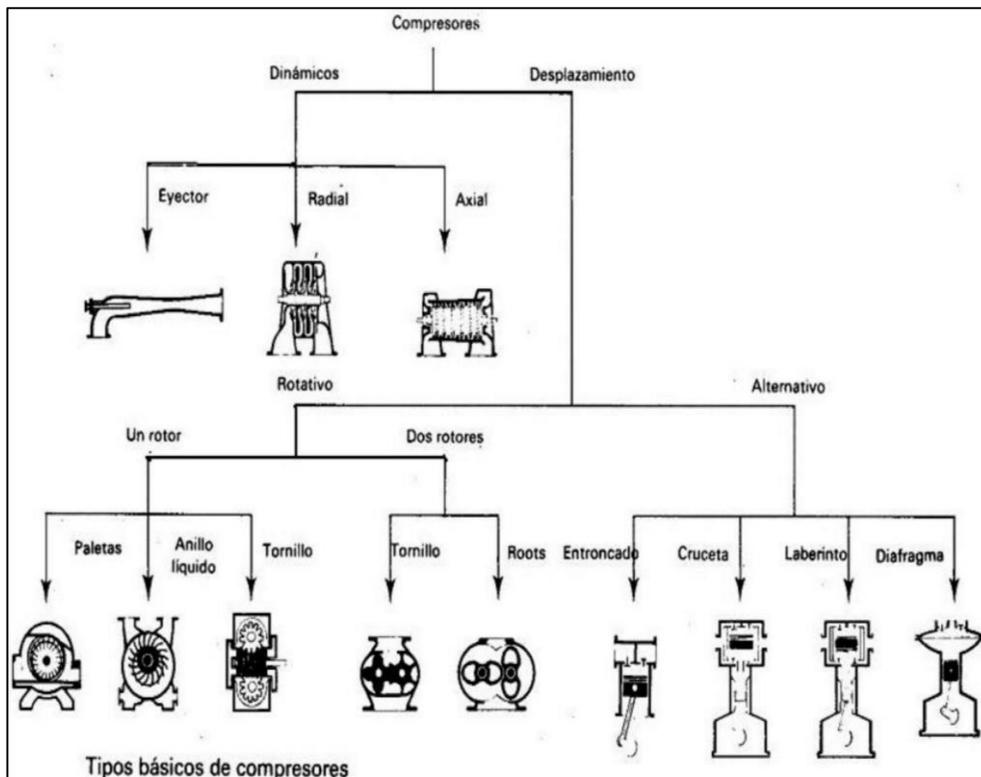
El fluido en estado gaseoso comprimido tiene diferentes usos:

- Transmisión de potencia (generación eléctrica).

- Proporcionar aire para la combustión.
- Circulación neumática a través de un proceso.
- Operación de instrumentos.

En la siguiente figura muestra, la clasificación de los compresores por tipo y principio de funcionamiento, donde podemos apreciar al compresor de gases, que es un compresor de anillo líquido.

Figura n°. 2-5 Clases de compresores.



Fuente: es.slideshare.net/petergp86/aire-comprimido

### 2.5.2. Compresores de anillo líquido

Son compresores exentos de aceite y sin válvulas, con relación de compresión fija. Este tipo de compresores están constituidos por un rotor con alabes fijos, montados excéntricamente dentro de una cámara circular.

El cilíndrico está parcialmente lleno de un líquido que durante el funcionamiento y por la acción de la fuerza centrífuga, es proyectado contra las paredes del cilindro, formándose un anillo líquido que presenta respecto al rotor, la misma excentricidad que la carcasa, la compresión del gas se logra por la reducción del volumen entre dos álabes, actuando el líquido como sello.

La refrigeración de estos compresores es directa, debido el íntimo contacto entre el gas y el líquido, pudiéndose mantener la temperatura de descarga muy próxima a la de entrada del líquido. Sin embargo, el gas se encuentra saturado con el líquido del anillo, a la temperatura de descarga. El líquido por lo general es agua, aunque se puede utilizar otro para la obtención de resultados específicos durante el proceso de compresión. (Jose, 2013)

## 2.6. Motor de inducción trifásico

Es llamado así por la corriente que alimenta directamente al devanado del estator y al devanado del rotor por inducción. Esta máquina es la más resistente y la más utilizada en la industria, además de que puede operar como motor o generador. Los motores de inducción se pueden clasificar de acuerdo con su tipo de rotor:

- **Rotor devanado:** El rotor devanado tiene tres grupos de devanados aislados con conexiones llevadas al exterior a tres anillos rozantes, montados sobre el eje. Las conexiones externas a la parte rotatoria se hacen a través de escobillas montadas sobre los anillos rozantes.
- **Rotor jaula de ardilla:** El rotor jaula de ardilla comprende un grupo de barras de cobre o aluminio instaladas dentro de las ranuras, las cuales están conectadas a un anillo en los extremos del rotor. La construcción de los devanados del rotor asemeja a una “jaula de ardilla”.

### 2.6.1. Clasificación de los motores de inducción trifásicos

La National Electrical Manufacturers Association (NEMA) estableció cierta clasificación para los motores de inducción basándose en sus características de par intensidad y velocidad.

Tabla n°. 2-1 Clasificación NEMA para motores de inducción trifásicos.

DESIGNACIÓN NEMA	DESCRIPCIÓN
A	Para motores diseñados con un par de arranque normal aproximadamente 15 % del de régimen su corriente de arranque es de 5 a 7 veces la nominal y el deslizamiento a plena carga es menor al 5 % y en el caso de los motores grandes es menor a 2%.
B	Motor con un par de arranque normal y baja corriente de arranque entre 4 a 5 veces su corriente nominal. Deslizamiento a plena carga entre 1.5 % y 3 %, en motores de más de 200 HP menor a 1%.
C	Motor con alto par de arranque, baja corriente de arranque y deslizamiento bajo a plena carga.
D	Motor con alto par de arranque, baja corriente de arranque y un alto deslizamiento.
E	Motor de bajo par de arranque, 130% del nominal y un bajo deslizamiento cercano al 2%.
F	Motor de bajo par de arranque y bajo corriente de arranque presenta un deslizamiento mayor que los de clase E.

Fuente: National Electrical Manufacturers Association

### 2.6.2. Motores de Alta eficiencia

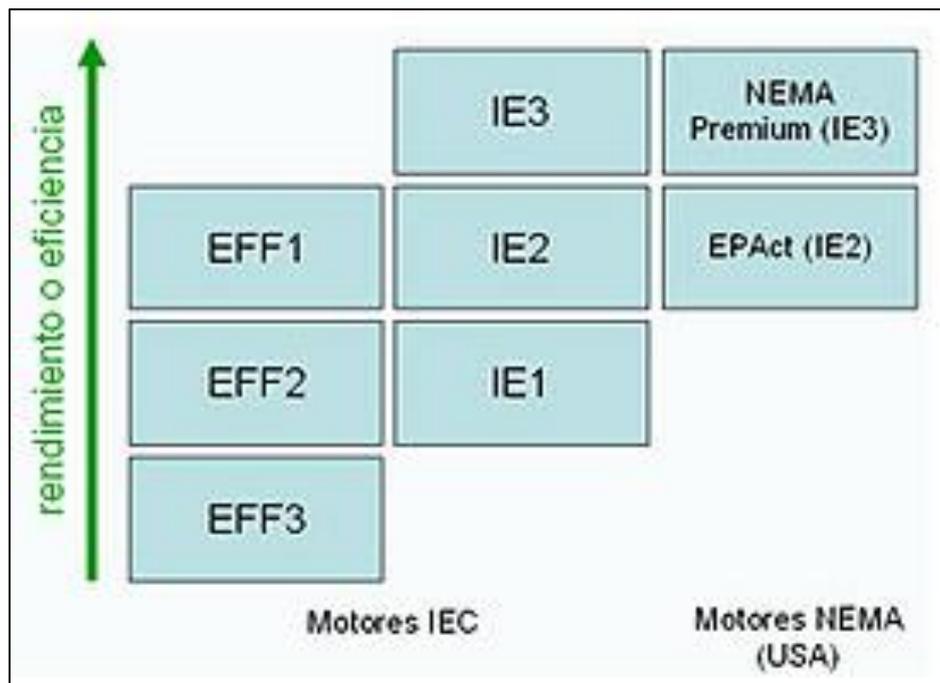
Los motores de alta eficiencia, reducen los requerimientos energéticos, una característica importante de los motores en general es que el costo operacional suele ser superior a su costo de adquisición, dependiendo del tiempo de funcionamiento, la potencia y de su rendimiento, éstos se aplican favorablemente en la industria como en los siguientes casos como:

Motor a carga constante muy cerca del punto de operación, motor sustituto por sobredimensionamiento, motor con variador de frecuencia; conclusión éstos motores en instalaciones nuevas son parte de un programa de uso eficiente de energía eléctrica.

Una mayor eficiencia disminuye los costos de operación del motor y se puede recuperar la inversión en un tiempo razonable. Recuerde que en un año “*el costo de la energía es aproximadamente seis veces el costo de compra del motor*”, se sabe también, que si se sustituye un motor tradicional EFF3, por un motor de alta eficiencia EFF1, se reduciría el costo del consumo de energía a un 20%, teniendo un retorno de inversión de 20 meses. (Quispe & Mantilla, 2014)

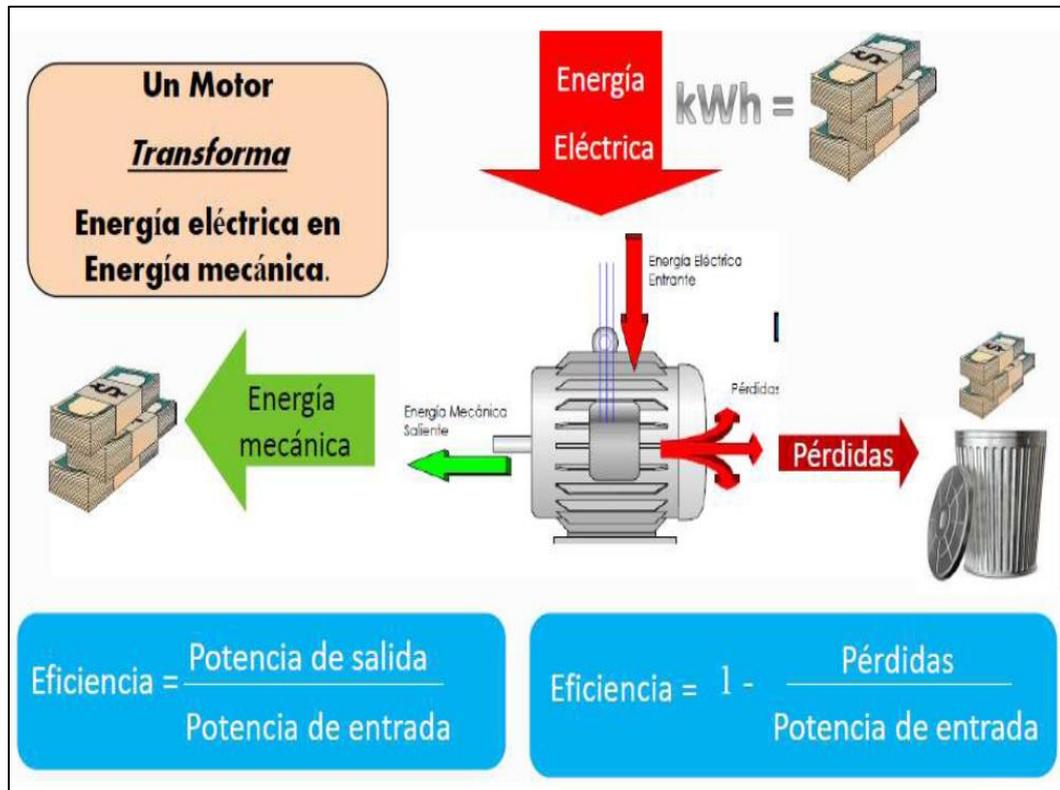
Las nuevas normas IEC 60034-2-1:2007 y 60034-30:2008 armonizó a nivel mundial el criterio de medición del rendimiento de los motores de baja tensión, con rotor de jaula de 0,75 a 375kW de 2, 4 y 6 polos, y fijó las nuevas clases de eficiencia (IE= International Efficiency).

Figura n°. 2-6 Las equivalencias en nuevos tipos de eficiencia.



Fuente: <http://w5.siemens.com/>

Figura n°. 2-7 Motores de alta eficiencia.



Fuente: Filiberto Bojaca Y Cce

### 2.6.3. Arranque de un motor de inducción

El arranque de un motor trifásico es el proceso por el cual se pone en marcha una máquina eléctrica. La principal característica para que el arranque de un motor pueda llevarse a cabo es que el par de arranque debe ser superior al par resistente de la carga.

Durante el proceso de arranque se da una elevación de corriente lo que puede llegar a ocasionar caídas de tensión en el suministro de energía, las que pueden ser notorias en la iluminación, así como afectar a otros equipos que se encuentren conectados en las mismas líneas de suministro.

Debido a la gran elevación de corriente, se han implementado diferentes arrancadores que se encargan de manipular el arranque y paro de los motores. Cabe señalar que motores pequeños de

bajas capacidades pueden conectarse directamente a la línea de alimentación, pero en los motores grandes es necesario utilizar arrancadores para evitar las subidas de corriente durante el arranque. Los arrancadores pueden ser de tipo manual, automático, de estado sólido o los más nuevos, que son con variador de frecuencia. A continuación vamos a tratar los dos últimos. (Ivan Erick, 2013)

#### **2.6.4. Arrancadores de estado sólido**

Los arrancadores en estado sólido tanto para Corriente alterna, como para continua, utilizan los llamados SCR (Rectificadores Controlado de Silicio). La mayoría de los arrancadores de estado sólido operan durante el arranque del motor. Los arrancadores de estado sólido se enfocan en que la corriente del motor dependerá del voltaje y la velocidad; mientras que el par mecánico del motor será proporcional al cuadrado del voltaje, ocasionando un arranque suave y limitando la corriente, en momento de arranque.

#### **2.6.5. Variadores de frecuencia**

Los variadores de frecuencia son dispositivos que permiten variar la velocidad y el acople de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

Se utilizan estos equipos cuando las necesidades de la aplicación sean:

- Dominio de torque y velocidad.
- Regulación sin golpes mecánicos.
- Movimientos complejos.
- Mecánica delicada.

##### **2.6.5.1. Aplicaciones según tipo de carga**

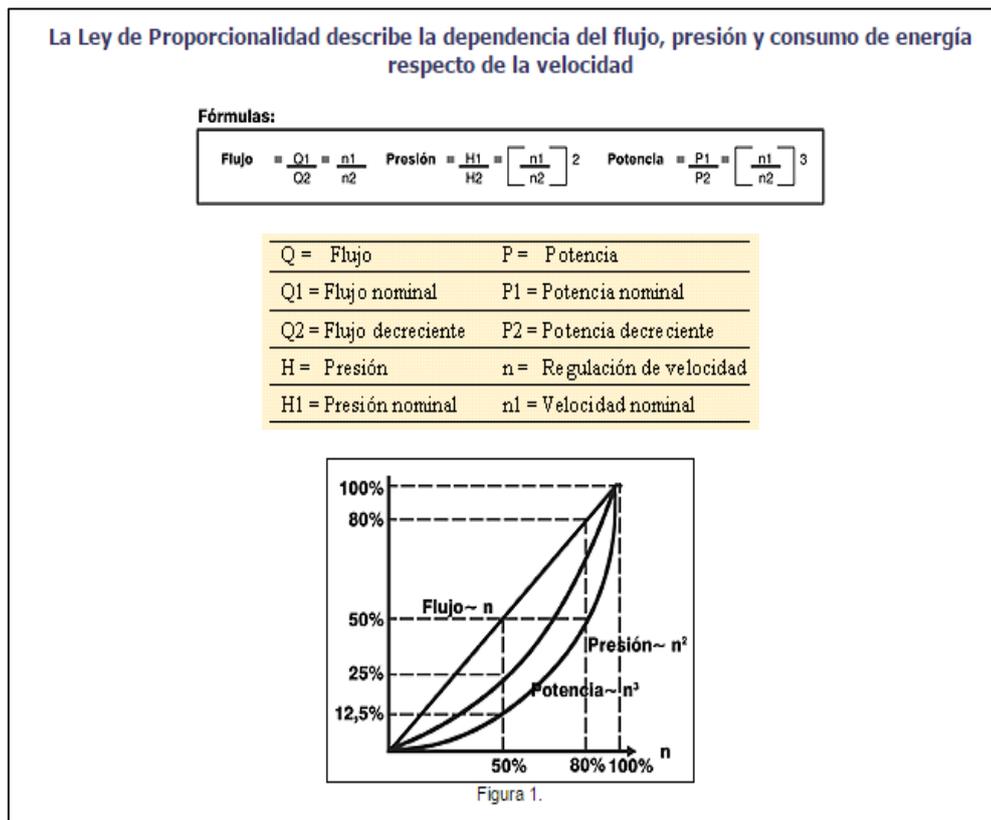
- **Carga y Velocidad Constante:** No permiten ahorro de energía, estas requieren una potencia constante, sin Par decreciente, como procesos de enrollado y desenrollado de un determinado materia (telas, papel, etc.), todas estas requieren una tensión constante, para que el material no sufra ningún tipo de daño.
- **Cargas de Par y Velocidad Variable:** son las producen ahorro de energía. Estas sacan partido a las leyes de proporcionalidad como:

Ley lineal, es cuando la potencia varia linealmente con la velocidad, las cargas de torque constante, como compresores, bandas transportadoras, etc.

Ley cuadrática, es cuando el torque es lineal y varia en relacionado a la velocidad, lo que genera que la potencia se encuentre en función cuadrática a la velocidad, tales equipos como transmisiones, transportadoras y otro tipo de maquinarias semejantes que requieren un torque constante.

Ley cubica, la potencia varia con el cubo de la velocidad, si se reduce la velocidad en un 20%, resulta una disminución del 50% en la potencia requerida. La ley cubica cubre muchas aplicaciones asociadas a equipos centrífugos: bombas, ventiladores, compresores y mezcladoras. (Galván, 2010)

Figura n°. 2-8 . Ley de la proporcionalidad.



Fuente: [www.emb.cl/electroindustria/articulo](http://www.emb.cl/electroindustria/articulo)

### 2.6.6. Opción Tarifaria

Los usuarios se clasifican en cliente regulado y cliente libre:

- **Cliente regulado:** Para usuarios con demanda mensual menores a 200 kW, los precios son regulados por OSINERGMIN.
- **Cliente libre:** son todos los usuarios cuyo consumo de potencia sea mayor a los 2500 kW. Este tipo de usuarios pueden negociar directamente con las distintas empresas distribuidoras y generadoras de energía.
- **Cliente libre – regulado:** Son aquellos usuarios con demanda entre 200 kW a 2500 kW puede escoger entre ser usuario del mercado libre o del mercado regulado.

### 2.7. Mantenimiento de equipos eléctricos

El objetivo del mantenimiento de un equipo, es asegurar la confiabilidad operacional y disponibilidad, bajo condiciones preestablecidas de funcionamiento; las empresas en la actualidad dedican pocos recursos a las labores de mantenimiento, pese a que se sabe, que se debe determinar el nivel de sensibilidad existente de los equipos, con el motivo de lograr su máximo aprovechamiento, respetando los requerimientos de calidad y seguridad (Centro Tecnológico De Eficiencia Y Sostenibilidad De Energía, 2010)

#### 2.7.1 Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento consta de una serie de ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen anomalías en trabajo. A través de este tipo de mantenimiento, se puede programar de manera oportuna las reparaciones sin que se afecte el proceso de producción y prolongar con esto, la vida útil de las máquinas. (Universidad Tecnológica de Pereira, 2010)

Los ensayos que más utilizan en las industrias son los siguientes:

- **Análisis de Vibraciones:** Esta técnica se basa en el estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas a través del comportamiento de sus vibraciones. Todas las máquinas presentan ciertos niveles de vibración aunque se encuentren operando correctamente, sin embargo cuando se presenta alguna anomalía, estos niveles normales de vibración se ven alterados. Para que este método tenga validez, es indispensable conocer ciertos datos de

la máquina como lo son: su velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de correas, el número de alabes, palas, etc.

También es muy importante determinar los puntos de las máquinas en donde se tomarán las mediciones y el equipo analizador más adecuado para la realización del estudio.

- **Termografía:** Es una técnica que estudia el comportamiento de las temperaturas en las máquinas, desde su superficie. Estas temperaturas son emitidas en forma de ondas electromagnéticas; y su energía es directamente proporcional a su temperatura, lo cual implica que a mayor calor, mayor cantidad de energía emitida. Un incremento de esta variable, por lo general representa un problema de tipo electromecánico en algún componente de la máquina.
- **Análisis por Ultrasonido:** Está basado en el estudio de las ondas de sonido de alta frecuencia producidas por las máquinas cuando presentan algún tipo de problema, el sonido que se produce cuando alguno de los componentes de una máquina se encuentra afectado, no puede ser captado por el hombre; sino por un instrumento especializado que analiza su comportamiento.
- **Análisis de Aceite:** El análisis de aceites determina el estado de operación de las máquinas a partir del estudio de las propiedades físicas y químicas de su aceite lubricante. La técnica de análisis de aceites permite cuantificar el grado de contaminación y/o degradación del aceite por medio de una serie de pruebas que se llevan a cabo en laboratorios especializados.

## 2.8. Definición de términos básicos

- **PAY BACK:** Es la duración de tiempo necesario para recuperar el coste de una inversión o proyecto determinado; es así un determinante de si debe llevarse a cabo la inversión, ya que períodos de recuperación muy largos no suelen ser deseables en las posiciones de inversión.
- **ROI:** Es un indicador financiero que mide la rentabilidad de una inversión, es decir, la relación que existe entre la utilidad neta o la ganancia obtenida, y la inversión.
- **Energía Activa:** Energía capaz de producir trabajo, se mide normalmente en kilowatt-hora (KWh).

- **Energía Reactiva:** energía requerida por algunos equipos eléctrico, para mantener flujos magnético. Esta energía no produce trabajo útil y se mide en kilo volt-Ampere reactivo hora (KVARh).
- **Gases de efecto invernadero:** Están presentes en la atmósfera de manera natural, aunque su concentración puede verse modificada por la actividad humana, son los gases cuya presencia en la atmósfera contribuyen al efecto invernadero.
- **Carga o Potencia Instalada:** corresponde a la suma de las potencias de todos los equipos existentes en una instalación en algún instante.
- **Factor de Potencia:** El factor de potencia es indicativo de la eficiencia con que se está utilizando la energía eléctrica para producir un trabajo útil. Se puede definir como el porcentaje de la relación de la potencia activa (KW) y la potencia aparente o toda (KVAR).
- **Indicador energético:** Valor cuantitativo o medida del desempeño energético tal como lo defina la organización.
- **Armónicos:** Son cargas no lineales que absorben de la red corrientes periódicas no senoidales. Estas corrientes están formadas por un componente fundamental de frecuencia 50 ó 60 Hz, más una serie de corrientes superpuestas de frecuencias, que generan costes técnicos y económicos importantes.

## **CAPÍTULO 3. DESARROLLO**

### **3.1. Situación Energética Actual de la Empresa**

La empresa Exsa S.A. está dedicada a la fabricación de explosivos, agentes de voladura y brinda asesoramiento técnico en la fragmentación de roca.

Esta empresa es la tercera en la región y única en el Perú, en producir explosivos desde la fase inicial, ya que cuenta con una planta capaz de producir 1200 kg/h de Nitroglicerina, bajo estándares estrictos de seguridad y cuidado del medio ambiente; pese a que la empresa es líder en su rubro e innovadora en productos y procesos, solo da prioridad al cumplimiento de las metas de producción, sin dar hincapié al control y moderación de sus consumos energéticos.

Exsa S.A, es alimentada de energía eléctrica por la empresa concesionaria luz del sur, con una tensión de 22.9 kilovoltios, a través del suministro N° 0501681-9, con una potencia conectada de 2 450 Kilovatios y una potencia mínima en horas punta a 500 kilovatios, bajo la modalidad de cliente libre, cuenta con diferentes áreas de producción, tanto de dinamitas como de emulsiones, las cuales generalizan altos consumos de energía eléctrica. (Ver Anexo n°.1)

#### **3.1.1. Costo de Energía Eléctrica por Áreas.**

En la siguiente tabla se aprecian los costos promedios mensuales de energía eléctrica en las principales áreas de la empresa, estos costos provienen en su mayoría del parque motor de planta, donde existen muchas pérdidas por eficiencia en equipos y control del proceso, lo que hace, de éste el uso, inadecuado de la energía y por ende los excesos en su facturación. (Ver Anexo n°.2)

El costo promedio mensual del consumo de energía eléctrica es de S/. **91 993,72**.

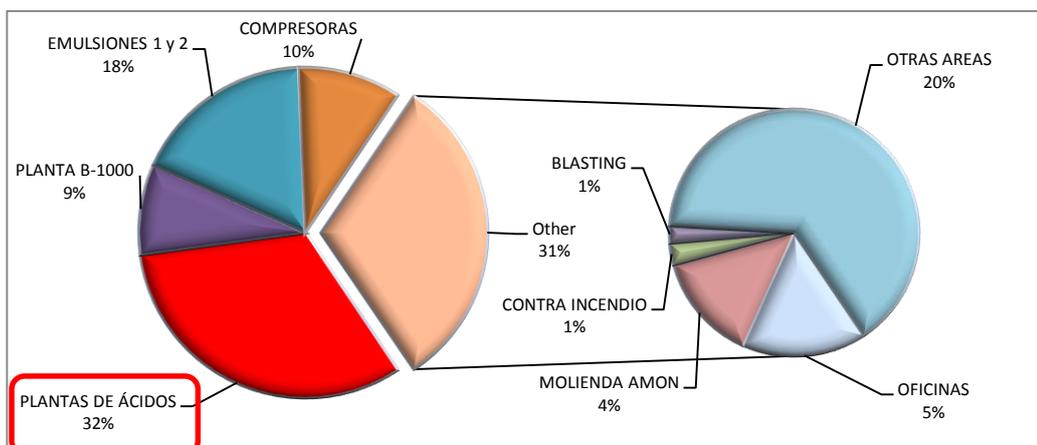
Tabla n°. 3-1 Costos promedios de energía eléctrica por áreas de la empresa.

AREAS		Costo (S./mes)	% Costo Energético
NITROGLICERINA	PLANTAS DE ÁCIDOS	29 670,21	32
	PLANTA B-1000	8 138,43	9
EMULSIONES 1 y 2		16 246,81	18
COMPRESORAS		9 214,56	10
OFICINAS		4 623,36	5
MOLIENDA AMON		4 050,42	4
CONTRA INCENDIO		821,02	1
BLASTING		645,65	1
OTRAS AREAS		18 583,27	20
<b>TOTAL</b>		<b>91 993,72</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura podemos apreciar la distribución de los costos promedios de energía eléctrica por áreas de la empresa e identificar al área de mayor relevancia que son las **Plantas concentradoras de ácidos**, que representa un **32 %** del total del consumo global.

Figura n°. 3-1 Distribución de los costos de energía eléctrica por áreas de la empresa.



Fuente: Elaboración propia

Las plantas concentradoras de ácidos, son dependientes de la producción de nitroglicerina, debido a que éstas procesan un ácido residual proveniente de la elaboración de nitroglicerina, las que como función principal es concentrar y reutilizar este ácido por motivos de seguridad, el tiempo prolongado de almacenamiento de éste, es peligroso; es por ello que dada la alta demanda de producción, se trabaja las 24 horas del día en turnos rotativos en la empresa.

### **3.1.1. Descripción del Proceso Productivo**

#### **3.1.1.1. Producción en Planta de Nitroglicerina**

La producción de nitroglicerina se centra básicamente, en la mezcla de elementos orgánicos como la glicerina y el glicol, y de elementos inorgánicos, como son el ácido nítrico y el ácido sulfúrico, este último ingresa como un agente catalizador.

Como resultado de la reacción se forma la nitroglicerina y un sub-producto denominado ácido residual, proveniente del ácido sulfúrico que sólo actúa como un agente deshidratante, los que son separados por densidad, en un separador estático y decantado hacia los lavadores, que son los que van a garantizar la neutralización del ácido de la nitroglicerina, agregando a esta, una solución de carbonato de sodio y dejándola estable para su uso.

Cabe resaltar que el ácido residual que se genera en éste proceso, tiene trazas de nitroglicerina, lo que lo hace reactivo y de poco periodo de almacenamiento por lo tanto es indispensable descomponerlo, concentrarlo y reutilizarlo en las plantas concentradoras de ácidos.

#### **3.1.1.2. Producción en plantas concentradoras de ácidos**

Exsa S.A, cuenta con dos plantas concentradoras de ácidos denominadas DENI NAC SAC 1 y 2. Ambos procesos trabajan conjuntamente con una torre de absorción de gases, la que se encarga de extraer y reciclar todos los gases provenientes del proceso de concentración; y para ello cuenta con un compresor de gases, cuya capacidad del motor es 45 Kw/h y una bomba centrífuga de agua desmineralizada, con un motor de capacidad de 1,75 Kw/h.

Figura n°. 3-2 Plantas concentradoras de ácidos.



Fuente: Elaboración propia

En ambas plantas el proceso de concentración de ácido nítrico (Proceso NAC), se inicia impulsando el ácido diluido con agua al 68%, por medio de una bomba centrífuga, con un motor de capacidad de 2 Kw/h, ésta ubicada en las instalaciones auxiliares de planta, la que hace dar ingreso a un calentador de vapor saturado, éste ácido es evaporado, condensado y concentrado a un 99%.

Para ello es necesario el ácido sulfúrico al 85% dentro del sistema, ya que éste va actuar como agente catalizador separando el ácido nítrico del agua; donde se utiliza los siguientes equipos del proceso:

Tabla n°. 3-2 Equipos del proceso NAC.

EQUIPOS DEL PROCESO NAC	CONSUMO EN KW/H
MOTOR DE BOMBA AS85 - P301	4
MOTOR DE BOMBA AS85 - P302	3
MOTOR DE BOMBA VACIO - V301	3,45
MOTOR DE BOMBA EFLUENTES - P14	3,6
MOTOR DE BOMBA AS85 - P16	4
MOTOR DE BOMBA AS70 - P31	5,5
MOTOR DE BOMBA DE VACIO - P18	17,3

Fuente: Elaboración propia

El proceso de concentración de ácido sulfúrico se realiza en el Proceso SAC de planta, y parte desde un ácido residual que se genera en la planta de nitroglicerina; en este ácido predomina un 70 % de ácido sulfúrico.

Que al igual, de la concentración del ácido nítrico, también ingresa por medio de una bomba centrífuga de con un motor de capacidad de 2 Kw/h, ésta ubicada en las instalaciones auxiliares de planta, la que hace dar ingreso a un calentador evaporador de agua, pero a diferencia del anterior, este calentador es de resistencias eléctricas, las que suman 103 Kw/h de capacidad energética, generando una temperatura de 210°C y sometida a presión de vacío de 12 mbar, deja al ácido sulfúrico en una concentración de 98%; para luego pasar por un proceso de enfriamiento y recirculación por medio de una bomba centrífuga con un motor de capacidad de 5,5 Kw/h.

### 3.2. Ratios de Consumo de Energía

Se selecciona las oportunidades de mejora; basándonos en un análisis energético a nivel global de la planta concentradora de ácidos, donde nos refleja los indicadores de consumo de energía eléctrica y la relación que existe con la producción de ácidos. (Ver Anexo n°.3)

En la Tabla n° 3-3, se muestra el historial de producción de ácidos en el año 2015, obteniendo un factor de consumo de energía expresado en Kwh/Kg, donde podemos apreciar la variabilidad del consumo y la no proporcionalidad que existe con la producción de ácidos.

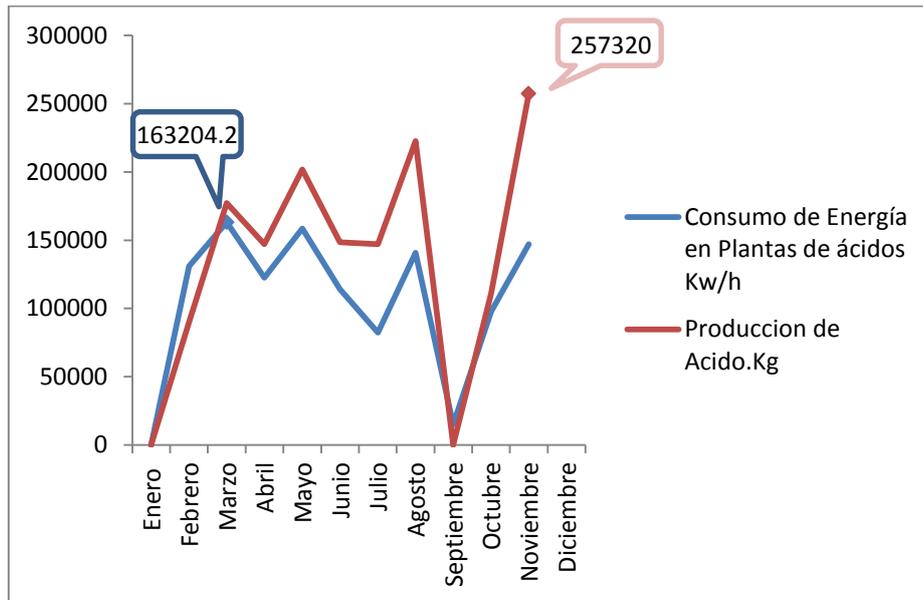
Se puede observar que el mes de Marzo es el mes de mayor consumo de energía eléctrica y el mes de Noviembre es el mes de mayor producción de ácidos, los cuales deberían coincidir de manera proporcional, pero eso no sucede así, evidenciando un descontrol del uso adecuado de la energía y la deficiencia del proceso.

Tabla n°. 3-3 Consumo en KW/h de planta de ácidos vs producción en kg.

Año	Mes	Consumo en Kw/h (Plantas de ácidos)	Produccion de Acido.Kg	Productividad	Factor de consumo (KwH/Kg)
2015	Enero	Planta en mantenimiento			
	Febrero	130 843,8	90 070	3,19	0,31
	Marzo	163 204,2	177 260	4,8	0,2
	Abril	122 465,4	147 040	5,74	0,17
	Mayo	158 466,2	201 773	5,59	0,17
	Junio	114 119	148 520	4,87	0,2
	Julio	82 233,39	147 010	6,81	0,14
	Agosto	140 662	222 590	6,05	0,16
	Septiembre	14 936,4	0,00	0,00	0,00
	Octubre	97 749,79	110 960	5,07	0,19
	Noviembre	146 993,6	257 320	8,29	0,12
	Diciembre	No se cuenta con información			

Fuente: Elaboración Propia

Figura n°. 3-3 Consumo de energía eléctrica vs producción de ácidos.



Fuente: Elaboración Propia

En la tabla n°3-4 se da a conocer los consumos globales de energía en la planta concentradora de ácidos, se tomaron en cuenta el consumo de cada uno de los equipos eléctricos empleados en determinado proceso.

Se muestra la distribución de cargas eléctricas instaladas en las plantas concentradoras de ácidos, de las cuales en el mapeo se considera esencialmente el parque motor por ser el de mayor consumo energético; las tomas de potencia consumida de cada equipo y la subdivisión de éstos, nos va servir para detectar y dar prioridad al mayor consumo de energía eléctrica en planta; es donde así, se identificó al calentador eléctrico y compresor de gases como los de mayor consumo eléctrico.

Tabla n°. 3-4 Inventario de equipos de mayor relevancia en planta concentradora de ácidos.

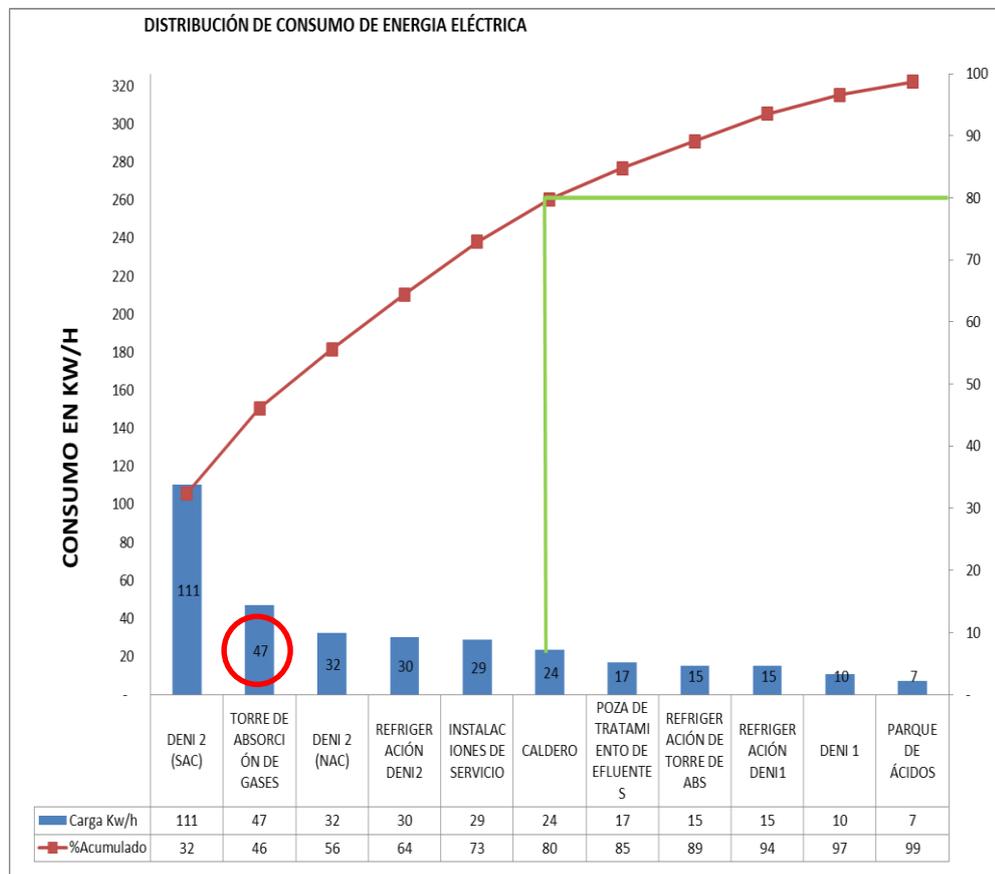
DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN PLANTA DE ÁCIDOS			
AREA	SECCIÓN	EQUIPOS	CONSUMO EN KW/H
DENI 1	NAC	MOTOR DE BOMBA AS85 - P302	3
		MOTOR DE BOMBA AS85 - P301	4
		MOTOR DE BOMBA VACIO - V301	3,45
	SIST. REF	MOTOR DE BOMBA DE AGUA N° 2	15
DENI 2	NAC	MOTOR DE BOMBA EFLUENTES - P14	3,6
		MOTOR DE BOMBA AS85 - P16	4
		MOTOR DE BOMBA AS70 (P31)	5,5
		MOTOR DE BOMBA DE VACIO - P18	17,3
		MOTOR DE BOMBA RUTSCHI AN68	2
	SAC	MOTOR DE LA BOMBA DE AS98 - P28	5,5
		CALENTADOR ELECTRICO	103
	SIST. REF	MOTOR RUTSCHI DE AWNG	2
		MOTOR DE BOMBA DE AGUA N° 4	15
TORRE DE ABSORCIÓN	PROCESO	BOMBA DE AGUA DESMINERALIZADA	1,75
		MOTOR DE COMPRESOR DE GASES	45
	SIST. REF	MOTOR DE BOMBA DE AGUA N° 1	15
POZA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES		MOTOR DE BOMBA	16
		DOSIFICADOR	1
PARQUE DE ÁCIDOS	ENVÍO	MOTOR DE BOMBA DE ÁCIDO MEZCLADO	2
	MEZCLADO	MOTOR DE BOMBA DE ÁCIDO SULFURICO	1,5
		MOTOR DE BOMBA DE ÁCIDO NITRICO	1,5
	SIST. REF	MOTOR DE BOMBA DE AGUA	1,5
CALDERO	MOTOR DE BOMBA DE GASOLEO		1,5
	MOTOR DE BOMBA DE GASOLEO (TK. PRINCIPAL)		1
	QUEMADOR		5
	DOSIFICADOR		1
	MOTOR DE BOMBA DE AGUA		15
INSTALACIONES DE SERVICIOS	COMPRESOR DE AIRE(NAC/SAC)		5,5
	MOTOR DE BOMBA CHILLER		3,73
	VENTILADOR DE TORRE DE REFRIGERCIÓN		11
	EQUIPO ABLANDADOR DE AGUA		1,7
	EQUIPO DE OSMOSIS		3
	SISTEMA DE COMPUTO Y CCTV		4
LUMINARIA DE PLANTA (Equipos fluorescentes)	DENI1		2
	DENI2		2

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.1. Análisis de Consumo Energético de la Planta de Ácidos

Mediante un Diagrama de Pareto se determinó gráficamente los procesos que representan el mayor consumo de energía eléctrica en la planta de ácidos, siendo la sección del Proceso de Concentración de Acido Sulfúrico (SAC) la que consume mayor energía, le sigue la Torre de absorción de gases; ambos son de mayor relevancia dentro de la Planta Concentradora de ácidos.

Figura n°. 3-4 Diagrama de Pareto.



Fuente: Elaboración propia

## A. Análisis del Consumo Energético-Proceso SAC

A realizar el análisis, se observa que el proceso SAC de las plantas concentradoras de ácidos, tienen el mayor consumo de energía eléctrica que asciende a 111 KW/h, debido esencialmente a un calentador de resistencias eléctricas, que no se puede intervenir debido a que de ello depende la calidad del producto concentrado, la cual ya cuenta con un sistema de control automático de consumo de energía en función a la demanda requerida.

En la siguiente figura se observa al calentador eléctrico, que dentro de sus 8 resistencias, suman una potencia eléctrica de 103 Kwh.

Figura n°. 3-5 Calentador eléctrico.



Fuente: Elaboración propia

## B. Análisis del Consumo Energético -Torre de absorción de gases

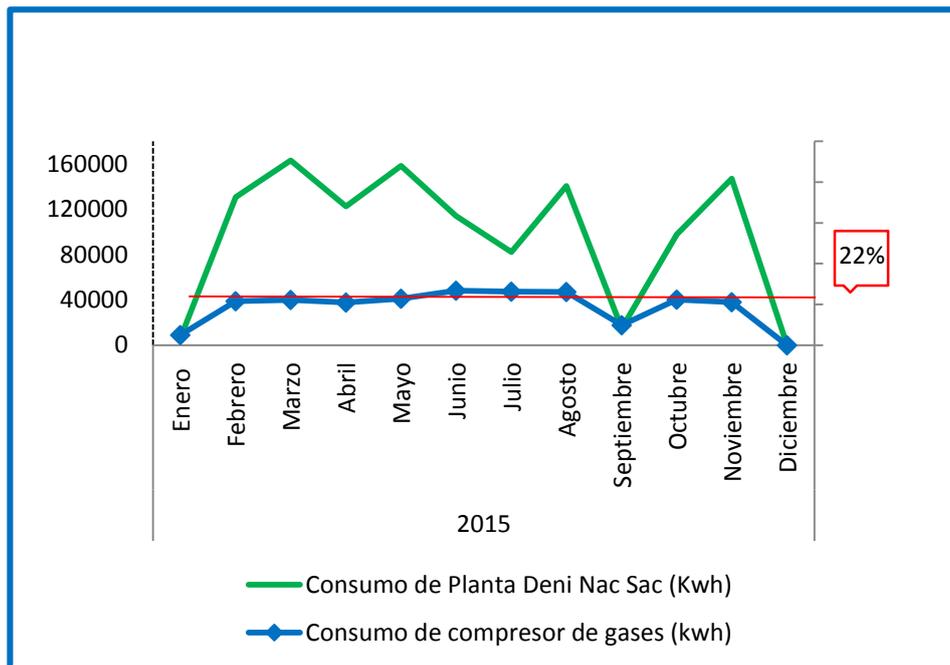
En la torre de absorción de gases, se encuentra el segundo equipo de mayor consumo de energía eléctrica (**Compresor de Gases**), la cual cuenta con un motor eléctrico de 45 Kwh de potencia, que representa el 22% del consumo total de energía de la planta de ácidos.

Esta sección de la planta concentradora de ácidos es crítica, debido a que su funcionamiento está condicionado de manera directa a la seguridad y operación en planta, teniendo como objetivo

principal capturar los gases generados y reprocesarlos, para devolverlos a su fase inicial del proceso, es por ello que es inevitable el funcionamiento del Compresor de gases, dado las condiciones de operación de la planta.

En la siguiente figura se observa el ratio de consumo de energía actual del compresor de gases vs el consumo de energía global de planta de Ácidos, donde se evidencia claramente la falta de control y flexibilidad en el consumo de energía, debido a que éste trabaja de manera independiente y no mantiene una relación proporcional con el consumo de energía en planta; así como también indica que el compresor cuenta con una participación de **22%** del consumo global de planta.

Figura n°. 3-6 Ratio de consumo de energía en planta ácidos vs consumo en compresor de gases.



Fuente. Elaboración propia

En la siguiente tabla n°3-5, se muestra la data de la empresa, indicando el consumo de energía eléctrica en base a la producción en kilogramos de ácidos, tomando como referencia datos estimados, según pronóstico de producción del año 2016 (forecast – 2016), donde se indica el ratio de costo energético, expresado en soles por kilogramo producido en la torre de absorción de gases.

Tabla n°. 3-5 Ratio de costo energético de la Planta de Ácidos.

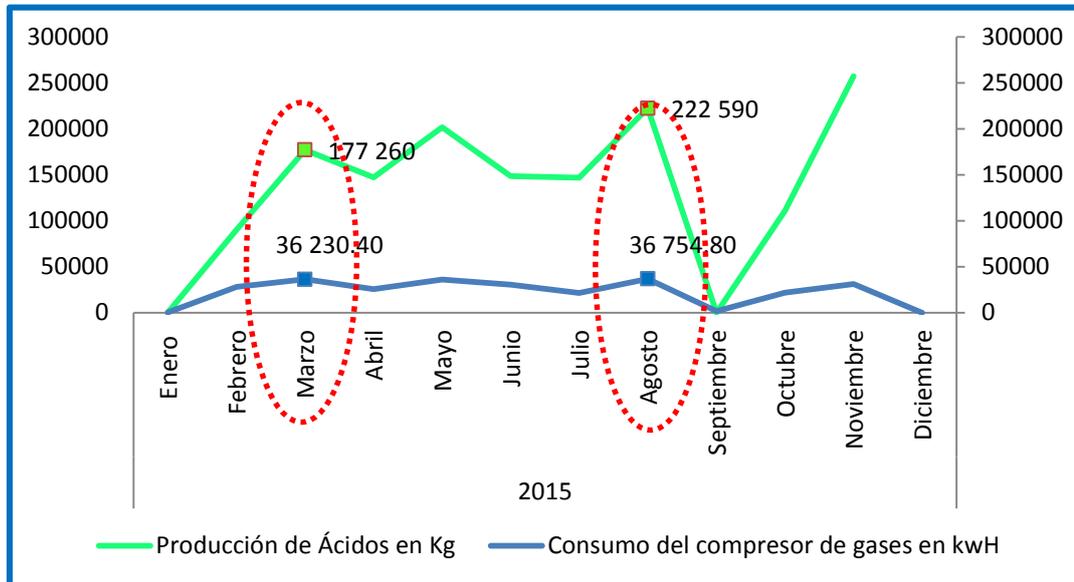
Forecast de Producción de Ácidos, en Planta Deni-Nac/Sac 2016 (kg)												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Acido Nitrico		72 500	77 500	75 000	77 500	75 000		77 500	75 000	77 500	75 000	77 500
Acido Sulfurico	M	238 628,57	12 7542,85	123 428,57	127 542,85	123 428,57	M	255 085,71	123 428,57	127 542,85	123 428,57	127 542,85
Prod. Acidos totales	a	311 128,57	205 042,85	198 428,57	205 042,85	198 428,57	a	332 585,71	198 428,57	205 042,85	198 428,57	205 042,85
Consumo total de energia electrica (60 hz/6 bar)	n	31 112,85	30 756,42	31 748,57	30 756,42	31 748,57	n	29 932,71	31 748,57	30 756,42	31 748,57	30 756,42
Costo total de energia	t	10 267,24	10 149,62	10 477,02	10 149,62	10 477,02	t	9 877,79	10 477,02	10 149,62	10 477,02	10 149,62
Factor costo ( Soles/Kg.) Antes de la mejora												
Promedio 0.47 Soles/Kg		0,033	0,049	0,052	0,049	0,052		0,029	0,052	0,049	0,052	0,049

Fuente: Exsa S.A.

De acuerdo al comportamiento de los indicadores de producción vs el consumo de energía, en las plantas concentradoras de ácidos, se detecta la cadencia de una proporción directa del consumo de energía con la producción generada, ya que al producir una menor cantidad el consumo energético no se reduce ,permaneciendo constante independientemente de la producción , generando pérdidas por eficiencia.

En la siguiente figura se cita como ejemplo los meses de marzo y agosto dónde los valores han sido más alarmantes, donde se indica la gran diferencia en producción de ácidos y el comportamiento del consumo energético en el compresor de gases.

Figura n°. 3-7 Producción de ácidos en planta vs consumo de energía en compresor de gases.



Fuente. Elaboración propia

### 3.3. Alternativas de ahorro de energía eléctrica

#### 3.3.1. Objetivo

Optimizar el consumo de energía eléctrica en la planta concentradora de ácidos y mejorar la eficiencia energética dentro de sus procesos.

#### 3.3.2. Alcance

El proyecto de ahorro de energía, se centra básicamente en las plantas concentradoras de ácidos, específicamente en las torre de absorción de gases, que es donde se genera el mayor ratio de consumo de energía eléctrica del área, las que afectan al costo de producción de la planta.

#### 3.3.3. Responsables

Los responsables de la ejecución y desarrollo de este proyecto son: Jefatura y/o Supervisores de planta.

Jefe de Planta: Ing. Omar Portugal Apaza

Supervisor de Planta: Paul Torres Tucto

### 3.3.4. Desarrollo de la Mejora

Para desarrollar el proyecto se utilizaron herramientas de mejora continua como el ciclo de Deming, diagrama Pareto, matriz de selección de problemas y análisis de causa raíz.

Se proponen las mejoras de acuerdo al diagnóstico energético realizadas a las instalaciones eléctricas de la empresa, las mejoras que se formulan están plenamente justificadas técnica y económicamente, por lo cual Exsa S.A, podrá obtener alternativas de ahorros en su implementación.

- **Matriz de selección de problemas.**

Se realizó una matriz de selección de problemas y un análisis de causa raíz, para tomar decisiones tácticas, utilizando criterios ponderados.

En la figura 3-8, se observa la matriz de selección del problema, donde el objetivo es establecer cuál es la causa crítica del problema central que se pueda intentar resolver con más probabilidades de éxito, para ello se colocaron los tres problemas más relevantes en la Planta de Ácidos, dando prioridad en base a una ponderación alineada al ahorro económico que éste genere, tomando como elementos fundamentales el tiempo de implementación, la inversión requerida y el alcance de la mejora, los que nos va servir para definir un proyecto adecuado para ello; lo cual dio como resultado reducir el alto consumo de energía en la Torre de Absorción de Gases.

Figura n°. 3-8 Matriz de selección de problema.

Problema	Duración de la implementación de contramedidas	Implicancia de las solución del problema	Inversión requerida para implementar las contramedidas	Resultados esperados	Puntaje Total
Alto consumo de energía en la torre de absorción de gases.	Hasta 2 meses	Afecta el área, clientes internos e impacto directo a los clientes externos	Media inversión y/o gastos moderados	Moderado impacto económico o intangible	350
Las NO conformidades en la mezcla de ácidos en la Planta Deni NacSac.	10	45	175	40	270
Consumo inadecuado del agua osmotizada en Planta Deni Nac Sac.	50	15	105	40	210

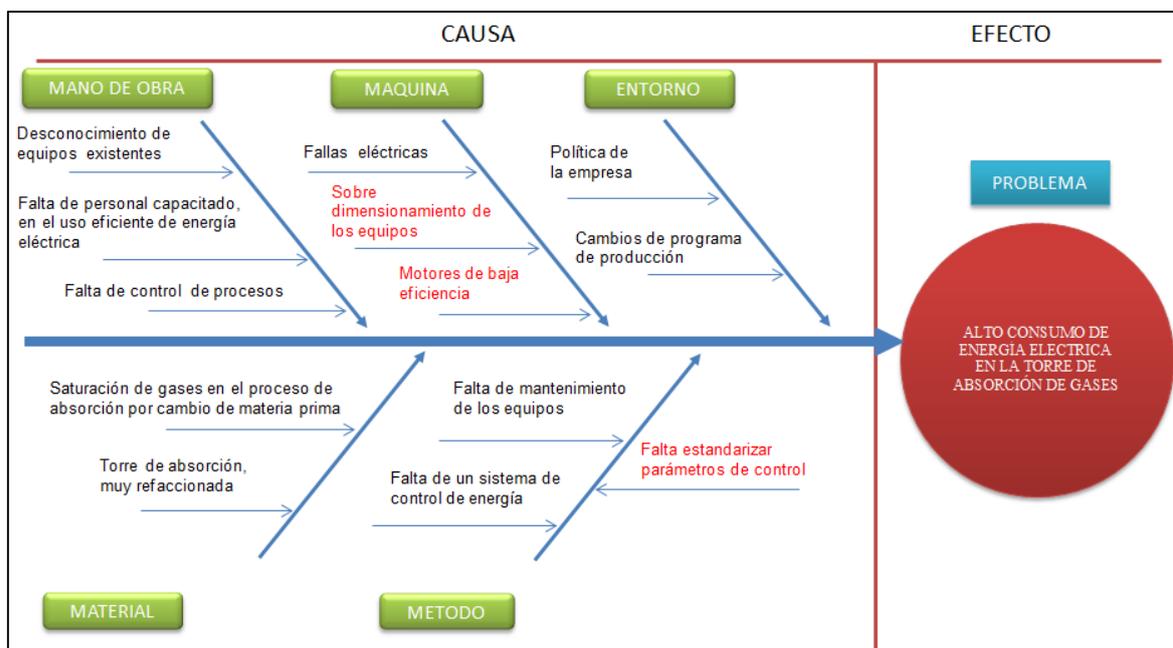
Duración de la implementación de contramedidas		Implicancia de las solución del problema		Inversión requerida para implementar las contramedidas		Resultados esperados	
Hasta 2 meses	50	Afecta solo el área	15	Baja inversión	175	Bajo impacto económico o intangible	40
De 2 a 6 meses	30	Afecta el área y una parte de los clientes internos	45	Media inversión y/o gastos moderados	105	Moderado impacto económico o intangible	120
Más de 6 meses	10	Afecta el área, clientes internos e impacto directo a los clientes externos	75	Alta inversión	35	Alto impacto económico o intangible	200

Fuente: Elaboración propia

- **Diagrama Ishikawa**

Se realiza un diagrama Causa – Efecto, para determinar la relación de las causas que inciden en el origen del problema, donde dada la implicancia y alcance se seleccionan las causas más significativas.

Figura n°. 3-9 Diagrama Ishikawa.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis del problema, se detectó que el alto consumo de energía eléctrica en la torre de absorción de gases está relacionado a diferentes causas, tales como:

- **Sobredimensionamiento del compresor de gases.**

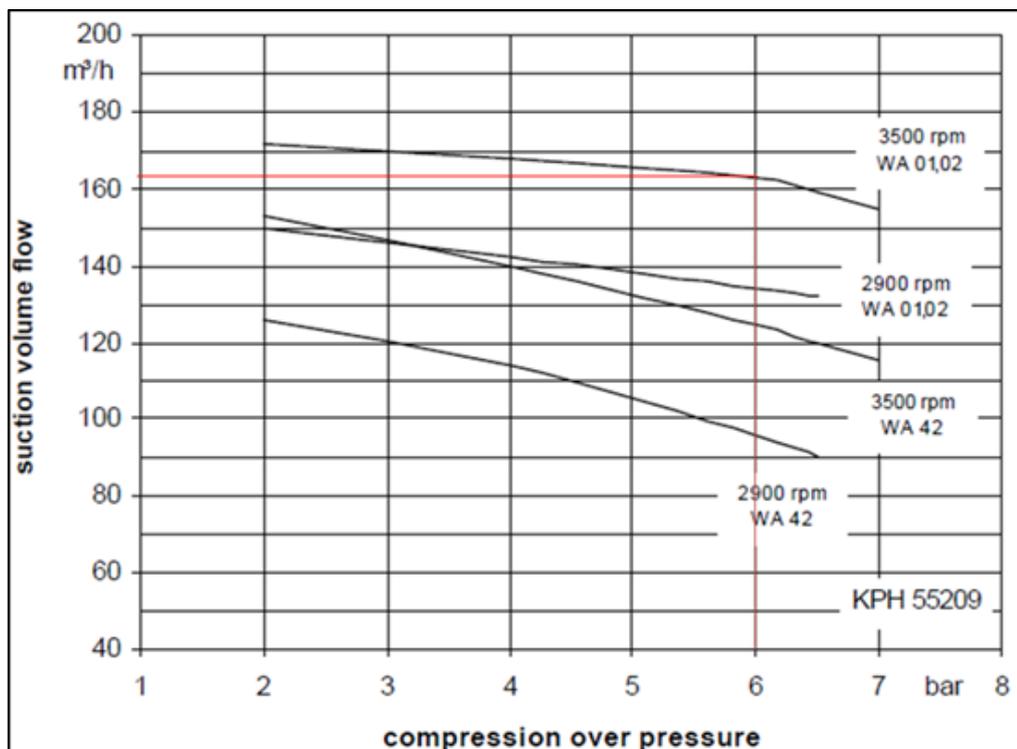
Al analizar la capacidad de producción de gases generados en las plantas concentradoras de ácidos, se observa que éstas solo suman a 100 m<sup>3</sup>/h según especificaciones técnicas de planta.

En la actualidad la torre de absorción de gases, se encuentra trabajando con un poder de absorción de 163 m<sup>3</sup>/h, lo que evidencia que estamos ante un claro escenario de sobredimensionamiento de un equipo.

La necesidad de poder reducir la carga del poder de absorción, responde a la ley de la proporcionalidad en equipos rotatorios de carga variable; lo que refiere a la aplicación de un arranque y control con un variador de frecuencia, el cual urge ver las condiciones adecuadas y la factibilidad del proyecto para llevarlo a condiciones de eficiencia aceptables de trabajo.

En la siguiente figura mostramos la curva de eficiencia del equipo, el poder de absorción y presión de trabajo permisibles según manual del fabricante, lo que nos va a servir para limitar nuestros cambios de parámetros, considerando sus principios básicos de funcionamiento.

Figura n°. 3-10 Poder de absorción en el compresor de gases.



Fuente: Manual SIHI

- **Motor de inducción eléctrica de baja eficiencia.**

En la actualidad el proceso cuenta con un motor estándar de baja eficiencia, con una antigüedad de 16 años de instalado, éste ya ha pasado por muchos mantenimientos, los que en teoría repercuten en su eficiencia, las horas de trabajo mínimas de éste motor es 7 320 horas de trabajo, lo cual según características técnicas justifica la sustitución por uno de alta eficiencia.

### - **Parámetros de producción en la torre de absorción de gases, Inadecuados.**

La necesidad actual de la demanda de producción de ácidos, refiere a que los parámetros de control, en las planta concentradoras de ácidos sean más flexibles, lo que nó se puede realizar en la torre de absorción de gases; debido a que ésta no cuenta con un sistema de control de carga variable, necesaria para realizar la mejora; lo cual urge la instalación de un sistema que controle el funcionamiento del equipo según su carga.

De acuerdo al análisis de causa raíz de la evaluación del consumo de energía en la Planta de ácidos (Ver Anexo n°.4) se puede observar, el resultado de los cinco porque de cada problema específico, ya que éstos ocasionan el alto consumo de energía eléctrica, ubicado en la torre de absorción de gases, donde se hace hincapié a las causas raíces del problema, detectando que el diseño de la torre, excede necesidad actual de producción, y la deficiencia de sus equipos provienen principalmente, a que en su momento de diseño no se contaba con equipos de mejor tecnología.

#### **3.3.4.1. Estrategias del Ahorro Energético**

Las estrategias de mejora, van alineados en referencia a los causales de los problemas mencionados, cabe indicar que el **sobredimensionamiento del compresor de gases**, va de la mano con la de la torre de absorción de gases, que es en esencia la causa principal del problema, donde deriva las siguientes alternativas de soluciones; tales como:

- La sustitución de un arrancador de estado sólido por un variador de frecuencia.
- El remplazo de un motor estándar de baja eficiencia por uno Premium de alta eficiencia.
- La estandarización de parámetros de control en la torre de absorción de gases.

### **A. Cambio del arrancador de estado sólido por un variador de frecuencia en el motor eléctrico del compresor de gases aplicando la ley de proporcionalidad.**

Un arrancador de estado sólido, solo se limita a suavizar el par y reducir la corriente en momento de arranque; mas no lleva un control del proceso, lo que lo hace muy diferente a un variador de frecuencia, los que responden a la ley de la proporcionalidad. Esta ley describe la dependencia del flujo, presión y consumo de energía respecto de la velocidad.

Veamos que potencia reduciría el compresor, si con un variador de frecuencia fijamos un 20% menos su velocidad nominal, es decir se reduciría de 3 555 rpm a 2 844 rpm, lo que hace, que según manual del compresor de gases, el poder de absorción se reduzca a 140 m<sup>3</sup>/h; donde aplicando las leyes de la proporcionalidad tendremos:

#### **Ley cúbica:**

$$\frac{Pot1}{Pot2} = \left(\frac{Q1}{Q2}\right)^3 \rightarrow \frac{45kw}{Pot2} = \left(\frac{163 \text{ m}^3/\text{h}}{130,4 \text{ m}^3/\text{h}}\right)^3 \therefore Pot2 = 23,1 \text{ kw}$$

Por lo tanto en teoría, si reducimos la velocidad un 20% con respecto a la velocidad nominal, el caudal también se reduce un 20%; sin embargo, el consumo de energía eléctrica se reduce un 51,2 %. Si el sistema en cuestión, sólo tiene que suministrar un caudal correspondiente al 100% durante unos días al año, mientras que el promedio es inferior al 80% del caudal nominal para el resto del año, el ahorro de energía puede fácilmente superar el 50%.

Como es en el caso de las plantas de concentración de ácidos, ya que estas dependen de la demanda de producción, que a medida no siempre ha sido estable, porque de esta depende la producción de nitroglicerina.

### **B. Reemplazo de motor estándar por un motor de alta eficiencia**

Un motor de mayor eficiencia o rendimiento consume menos energía para desarrollar la misma potencia mecánica. Si un motor se utiliza más de 2 000 horas al año, el tiempo de amortización de la diferencia de precios es relativamente rápido.

Si uno analiza los costos totales durante la vida útil de un motor de baja tensión, verá que los costos energéticos representan un 97%, el coste de adquisición del motor un 2% y los costes de mantenimiento un 1% de los costes totales.

En referencia al equipo que tenemos en la torre de absorción de gases, es un motor eléctrico de inducción trifásica estándar de 45 Kwh, con un factor de eficiencia 86%, que trabaja como mínimo 7 200 horas al año, lo que lo hace factible para la sustitución, por uno de alta eficiencia.

### **C. Cambio de parámetros de producción en torre de absorción de gases**

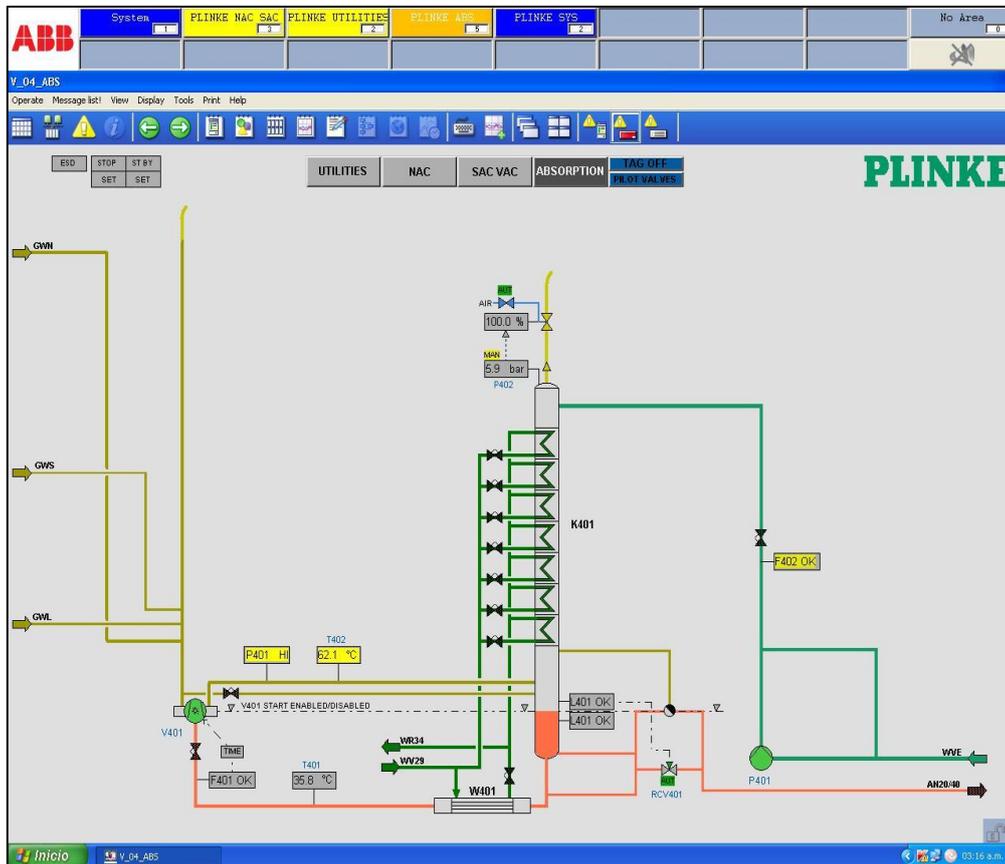
Otro problema de mayor relevancia, es la falta de estandarización de parámetros de control en la torre de absorción de gases; debido a que ésta, no tenga un comportamiento flexible e eficiente hacia la demanda. Las plantas concentradoras de ácidos trabajan siempre al 100% de su capacidad; pese a la variabilidad de la demanda en el proceso de concentración de ácidos.

Para la mejora, lo primero que se buscó fue el punto de equilibrio y balance necesario para la dilución de los gases en la torre de absorción, los que son reprocesados en las plantas manteniendo una concentración de 20% a 40% medible dentro del proceso.

Se sugiere realizar cambios de parámetros permitidos por la instalación de un variador de frecuencia, considerando la capacidad del compresor y motor en base a su curva de eficiencia, se aplicaron las reglas de eficiencia energética, en relación a la conducta en presión y temperatura del compresor de gases al variar su carga y el ahorro en costes que representa por estos cambios, tanto en facturación como en el mantenimiento.

Como se puede apreciar en siguiente figura, la presión de trabajo en torre es de 6 bar, la temperatura de gases es 62 °C y temperatura de ácido re circulante es 35,8 °C, todas estas directamente relacionadas al consumo de energía eléctrica en el compresor de gases.

Figura n°. 3-11 Parámetros de trabajo en torre de absorción de gases.



Fuente: Exsa S.A.

En la siguiente tabla se aprecia la relación existente entre la eficiencia energética y el cambio de parámetros del proceso e indicando el ahorro correspondiente al reducir la presión y temperatura de trabajo; en donde tan solo por reducir 14,5 PSI de presión se obtiene un ahorro de energía de hasta el 11,4% y al reducir un 1°C, se obtiene un 0.34% de energía consumida.

Tabla n°. 3-6 Regla de eficiencia energética en compresores.

REGLA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PRESIÓN Y TEMPERATURAS DE COMPRESORES		
Por cada 1 PSI el incremento de energía eléctrica consumida equivale.	0.5%	Regla aplicable en Aire comprimido (Densidad del aire 1g/ml)
Ahorro de energía al disminuir 14.5 PSI de presión en Torre de Absorción.	11.4%	Regla Aplicado al Nox (Densidad del Nox 1.58 g/ml)
TEMPERATURA EN LINEA DE SUCCIÓN DE COMPRESORES		
Por cada 1°C el incremento de energía eléctrica consumida equivale.		0.34%

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4. Cuantificar la mejora del proceso

#### 3.4.1. Reemplazo del arrancador de estado sólido en el compresor de gases por un variador de frecuencia

Lo que se realiza a continuación es el cálculo económico de la viabilidad del proyecto en base al cambio del arrancador de estado sólido por un variador de frecuencia, manteniendo sus características técnicas iniciales de operación, pese que no existe precedente alguno que nos indique, el comportamiento de un compresor de anillo líquido con carga variable, sometido a este cambio de control.

Este cálculo se realiza en dos fases: en teoría y en la práctica

- **Cálculo teórico.**

Se asume datos de potencia adquirida en placa de motor y ley cubica de proporcionalidad, basándonos en reducir la velocidad en un 20% del equipo, donde según el manual del compresor de gases el flujo del poder de absorción, actualmente es de 163 m<sup>3</sup>/h. (Ver Anexo n°.5)

Condición de trabajo actual			
Potencia activa	P	45	KW
Voltaje	U	220	VAC
Corriente	I	120	AMP
Velocidad	V	3555	RPM
Horas de trabajo	H	24	h
Equipo trabaja	D	335	d
Tarifa eléctrica	t	0.26	S/

- **Consumo actual.**

$$E = P \times h \times d \times t$$

$$E_1 = 361\,800 \text{ Kwh/Anual}$$

$$E_1 = 94\,068 \text{ Soles/Anual}$$

- **Consumo después de la mejora.**

Asumiendo que este equipo solo trabaje en un 80% de su capacidad todo el año.

$$\frac{Pot1}{Pot2} = \left(\frac{Q1}{Q2}\right)^3 \quad \frac{45kw}{Pot2} = \left(\frac{163 \text{ m}^3/\text{h}}{130,4 \text{ m}^3/\text{h}}\right)^3 \quad \therefore Pot2 = 23,1 \text{ kw}$$

$$E_2 = 185\,724 \text{ Kwh/Anual}$$

$$E_2 = 48\,288,24 \text{ Soles/Anual}$$

- **Ahorro energético.**

$$A = E_2 - E_1$$

$$A_E = 45\,779,76 \text{ Soles/Anual}$$

- **Inversión.**

Costos de la instalación de un variador frecuencia de capacidad 45 Kw (En soles)	
Precio del variador	15 000
Instalación	10 000
Inv.	S/ 25 000

- **Ahorro económico.**

$$A_{EC} = \frac{A_E}{d}$$

$$A_{EC} = 4161,79 \text{ Soles/Mensuales}$$

- **Análisis económico.**

$$ROI = \left( \frac{A_{EC}}{Inv.} \right) 100 = 16,6\%$$

$$PAYBACK = \left( \frac{Inv.}{A_{EC}} \right) = 6 \text{ Meses}$$

- **Datos obtenidos en la Práctica.**

Se realiza un promedio del consume de energía eléctrica en el compresor de gases, éstos registrados como data de la empresa en el año 2015 equivalente a 42.63 Kwh, lo que se considerara como potencia del compresor.

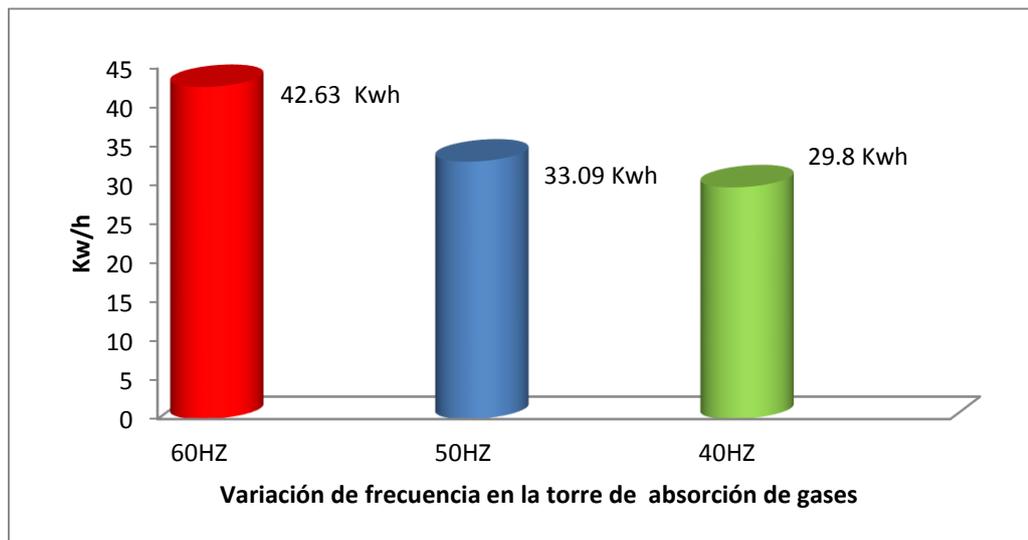
Efectuando pruebas en la variación de frecuencia, se obtiene la reducción del consumo de energía, pero No en relación a la ley de la proporcionalidad, lo que nos permitió variar más los parámetros establecido, manteniendo el cuidado y curva de eficiencia del equipo tanto en el motor como el compresor.

Tabla n°. 3-7 Reducción de energía por variación de frecuencia.

Variación de frecuencia y Presión en la torre de absorción de gases	Resultados de las Pruebas realizadas		Horas Anuales (24 h*305 días)	Costo Kw/h S/.	Ahorro anual S/.	Ahorro mensual S/.
Condición Actual (60HZ - 6 bar)	Potencia Kw/h	E= 42,63	7 320	0,26	0,0 Datos Actuales	0,0 Datos Actuales
	Consumo anual	E= 312 051,6				
	Costo en soles	E= 81 133,416				
1° Prueba (50HZ - 6 bar)	Potencia Kw/h	E= 33,09	7 320	0,26	18 156,528	1 815,6528
	Consumo anual	E= 242 218,8				
	Costo en soles	E= 62 976,888				
2° Prueba (40HZ - 6 bar)	Potencia Kw/h	E= 29,8	7 320	0,26	24 418,056	2 441,8056
	Consumo anual	E= 218 136				
	Costo en soles	E= 56 715,36				

Fuente: Elaboración Propia

Figura n°. 3-12 Variación de potencia consumida, por reducir el poder de absorción.



Fuente: Elaboración Propia

En conclusión el Proyecto de inversión aún es viable, generando un ahorro Anual de s/ 24 418,06 por torre de absorción, y la inversión a recuperarse en 10.2 meses.

### 3.4.2. Cambio de un motor estándar por uno de alta eficiencia

La eficiencia de un motor es relevante a la hora de determinar la eficiencia total del proceso, el cambio de un motor de baja eficiencia, requiere de un cálculo para determinar la potencia real requerida en base a su factor de eficiencia.

#### 1. Evaluación Energética del Motor Actual (45 KW )

Características del Motor estándar de baja eficiencia			
Potencia activa	P	45	KW
Voltaje	U	220	VAC
Corriente	I	120	AMP
Horas de trabajo	H	24	h
Equipo trabaja	D	335	d
Tarifa eléctrica	t	0,26	S/
Potencia Absorbida	P <sub>ABS</sub>	-	KW
Potencia Útil	P <sub>UTIL</sub>	-	KW
Pérdida de potencia	P <sub>P</sub>	-	KW
Eficiencia Motor Estandar	NP <sub>1</sub>	0,86	%
Eficiencia Motor Primium	NP <sub>2</sub>	0,95	%

- Cálculo de la potencia real absorbida por el motor de 45 KW

$$P_{abs} = \frac{\sqrt{3} \times U \times I \times Np1}{1000}$$

$$P_{abs} = 39,32 \text{ KW}$$

- Cálculo de la potencia útil por el motor:

$$P_{util} = P_{abs} \times Np1$$

$$P_{util} = 33,81 \text{ KW}$$

- **Pérdida de potencia en el motor:**

$$P_p = P_{abs} - P_{util}$$

$$P_p = 5,51 \text{ KW}$$

- **Resultados:**

Potencia Absorbida	$P_{ABS}$	39,32	KW
Potencia Útil	$P_{UTIL}$	33,81	KW
Pérdida de potencia	$P_p$	5,51	KW
		14	%

La potencia que absorbe el motor seleccionado de 45 KW, es de 39,32 kW, cuya eficiencia es de 86%, lo cual absorbe una potencia que no se utiliza, estas pérdidas se evidenciaron el cálculo, donde se da el resultado en pérdida de 5,51 kW, representando un 14% de la potencia que absorbe el motor; asimismo el factor de carga del motor es de 65% por lo que prácticamente se estaría necesitando un motor de 34 kW.

## 2. Evaluación Energética del Motor Premium (34 KW )

Los motores de alta eficiencia generan muy poca pérdida por energía, debido a que éstos tienen un alto factor de potencia, como es el caso de los motores Premium con un factor de 0.95.

- **Cálculo de la potencia absorbida por el motor Premium:**

$$P_{absp} = \frac{P_{util}}{n_p^2}$$

$$P_{absp} = 26,9 \text{ Kw}$$

- **Pérdida de potencia en el motor:**

$$P_p = P_{absp} - P_{util}$$

$$P_p = 1,4 \text{ Kw}$$

- Resultados

Potencia Absorbida	$P_{ABSP}$	26,9	KW
Potencia Útil	$P_{UTIL}$	25,5	KW
Pérdida de potencia	$P_p$	1,4	KW
		5,2	%

- Ahorro de potencia consumida por cambio de motor estándar:

$$A_E = P_{absp} - P_{abs} \times d$$

$$A_E = 99\,856,8 \text{ Kw Anual}$$

- Ahorro de Económico

$$A_{EC} = A_E \times t$$

$$A_{EC} = 25\,962,76 \text{ Soles Anuales}$$

$$A_{EC} = 2\,360,25 \text{ soles Mensual}$$

- Análisis de la Inversión

Los ahorros potenciales que se lograría por el reemplazo del motor estándar del compresor de gases por otro de alta Eficiencia sería:

Costos de la instalación de un motor Premium de 34 Kw (En soles)	
Precio del Motor	62 900
Instalación	-
Inv.	S/ 62 900

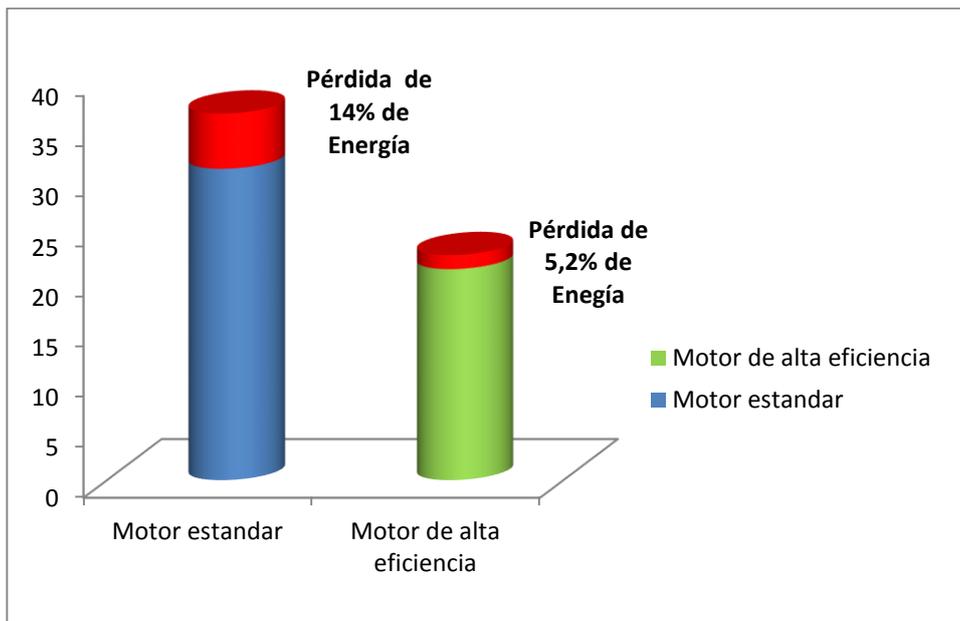
- Análisis económico.

$$ROI = \left( \frac{A_{EC}}{Inv.} \right) 100 = 3,6 \%$$

$$\text{PAYBACK} = \frac{\text{Inv.}}{\text{AEC}} = 2,2 \text{ Años}$$

En la siguiente figura se muestra el comparativo de pérdidas de consumo de energía, del motor estándar y el motor Premium, éstas pérdidas evidencian el ahorro estimado, que se generaría por sustituir este equipo, que como resultado tendríamos un ahorro anual de 25 962,76 kwh.

Figura n°. 3-13 Pérdida por potencia absorbida.



Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.3. Estandarización de parámetros de trabajo en torre de absorción de gases

La instalación de un variador de frecuencia en el compresor de gases, hace del equipo, un equipo flexible y controlado. Lo que nos permite variar el poder de absorción en función a la demanda, y por ende, parámetros de control correspondientes al ahorro de energía eléctrica según las reglas de eficiencia energéticas.

El comportamiento de los parámetros de control en la torre de absorción de gases, se realizan manteniendo ciertos principios de funcionamiento, tanto de la torre de absorción, así como del variador de frecuencia y motor eléctrico, se procedió a ejecutar los cambios según la demanda de producción, en su presión de trabajo y temperatura, obteniendo los siguientes resultados de ahorro de energía.

En la siguiente figura se observa la relación de los cambios de parámetros, tanto en presión, como en temperatura, donde se aplica las reglas de eficiencia energética, indicando en la práctica un ahorro de 4% por reducir en 12°C y 16% por reducir 1 bar de presión en la torre de absorción de gases. Los que representa en total un ahorro anual de S/ 15 912, por cambio de parámetros.

Tabla n°. 3-8 Nuevos parámetros de control en torre de absorción de gases.

Frecuencia	Presión	Temperatura	Ahorro de energía eléctrica consumida			
60HZ	6 bar	57°C	----			
50HZ	6 bar	48°C	----			
40HZ	5 bar	45°C	Ahorro de energía al reducir 14.5 PSI de presión en Torre de Absorción.		16 %	
			Se redujo 12 °C en Torre de Absorción		4.0%	
Cambios de parámetros de control.	Consumo en Kw/h	Reducción % de energía	Ahorro en Kw/h	Horas de trabajo anual	Ahorro anual en potencia consumida en Kw/h	Ahorro anual en S/.
Se redujo 1 bar de presión	26,63	16	6,8	7 200	48 960	12 729,6
Se redujo 12°C de temperatura	38,63	4	1,7	7 200	12 240	3 182,4

Fuente: Elaboración Propia

Los cambios de parámetros se pudieron lograr por la instalación de un variador de frecuencia, sin generar algún coste adicional, lo cual lo hace muy factible.

### 3.5. Validación de Resultados.

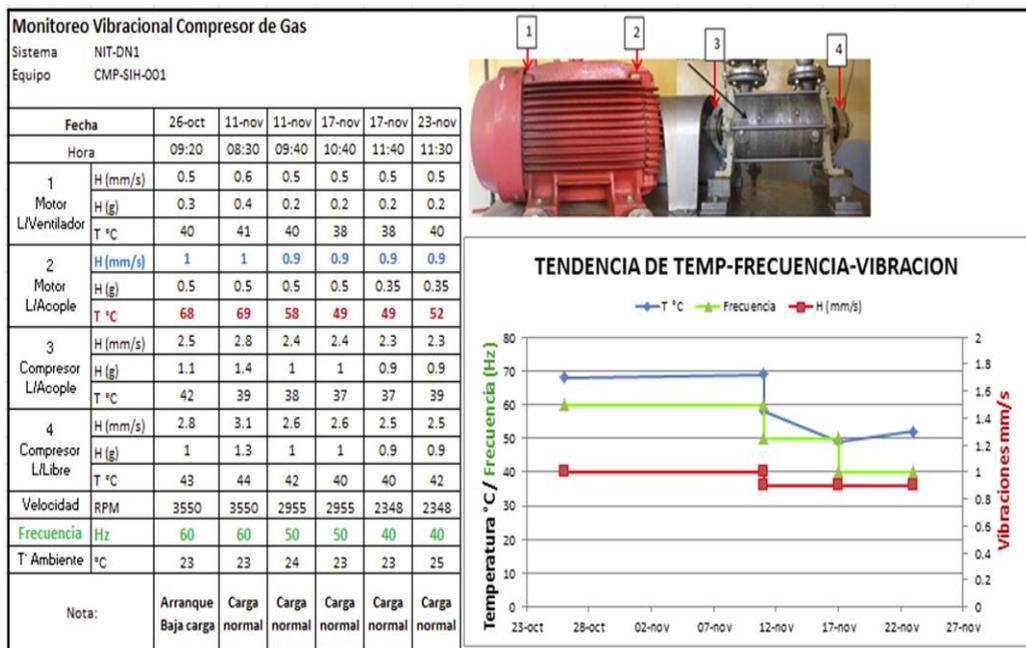
#### 3.5.1. Acciones de garantía del proceso

La estandarización de los parámetros y la instalación del variador de frecuencia vino de la mano con la elaboración de un nuevo procedimiento de arranque y control necesario del equipo (Ver Anexo n°.6), monitoreando su comportamiento y resultados obtenidos para la validación del proceso; asimismo cumplir con el objetivo de mejorar la disponibilidad, confiabilidad y productividad de los equipos en planta, se procede a desarrollar los trabajos alineadas a la estrategia actual de la empresa.

#### 3.5.2. Análisis vibracional del compresor de gases

El cambio de Frecuencia del motor, ocasionó que la temperatura en los rodamientos se redujera en 17°C, al reducir la velocidad del eje a un 34%, la vibración en velocidad y aceleración se redujo en promedio de 4.5 mm/s a 2.3 mm/s.

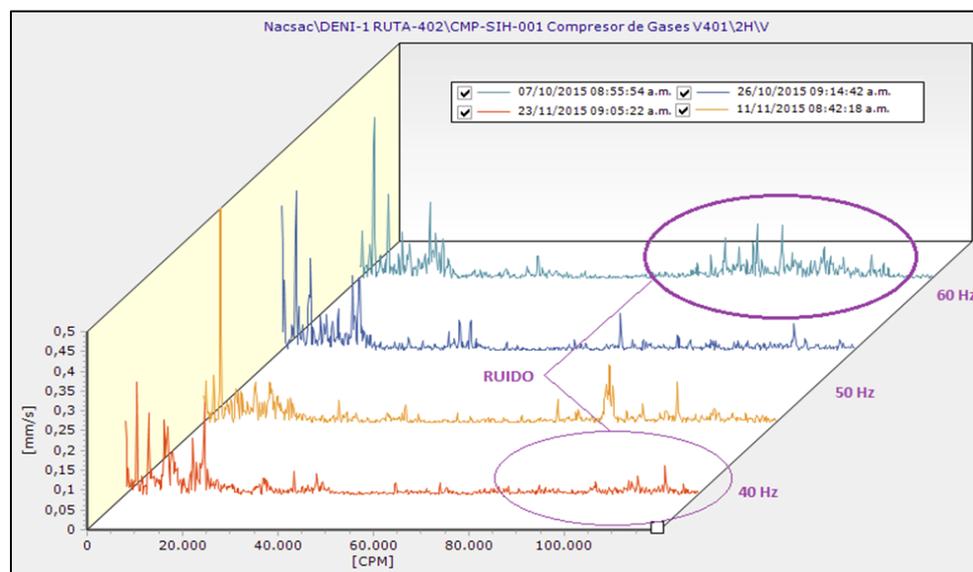
Tabla n°. 3-9 Variación de temperaturas en motor y compresor de gases.



Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente figura se observa el espectro en cascada donde no se visualiza picos de fallas e incluso cuando trabaja con menor frecuencia (40Hz) el espectro está en mejores condiciones, lo que alarga la vida útil del equipo y reduce costos de mantenimiento anual en: rodamientos, sellos mecánicos, ejes, impulsor y lubricación, generando un ahorro aproximado en costes de S/ 10 000 anual.

Figura n°. 3-14 Espectro en cascada muestra picos de alta frecuencia.



Fuente: Exsa S.A

Lo que alarga la vida útil del equipo y reduce costos de mantenimiento anual en: rodamientos, sellos mecánicos, ejes, impulsor y lubricación, generando un ahorro aproximado en costes de S/ 10 000 anual.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 4.1. RESULTADOS

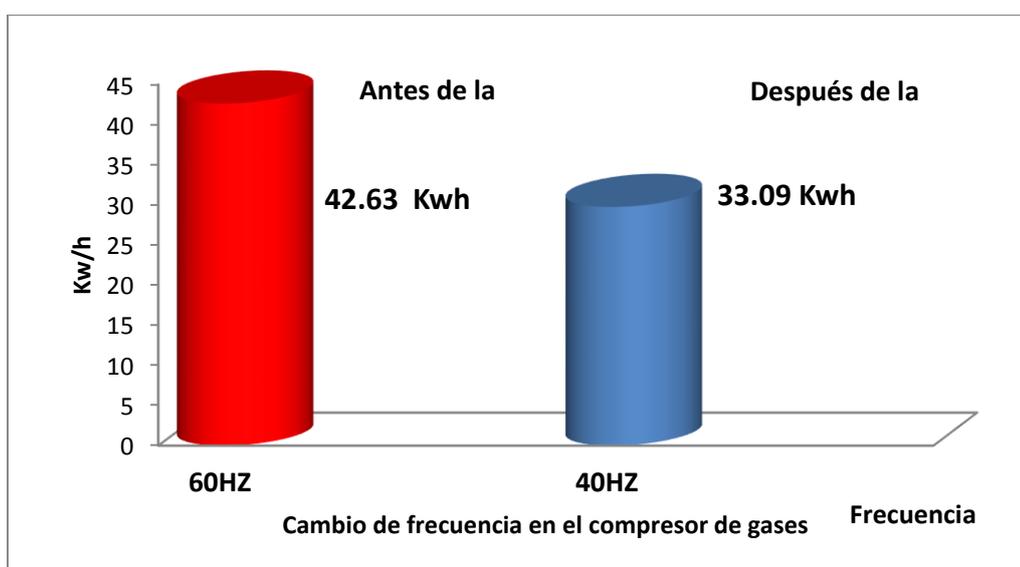
De acuerdo a la mejora en la gestión energética de la Planta de Ácidos de la empresa Exsa S.A. se obtuvieron los siguientes resultados:

#### 4.1.1. Reemplazo del arrancador por un variador de frecuencia.

La sustitución de un arrancador de estado sólido por un variador de frecuencia que controle el poder de absorción de gases en la torre ha sido viable generando un ahorro de 93 915,6 KW anual (S/ 24 418,06) y lo que representa una reducción de potencia del compresor de gases en 9,54 Kwh y con un PAYBACK de 10 meses, generando una reducción del consumo de energía muy considerable, los cuales se evidencian en nuestros indicadores energéticos.

En la siguiente figura se muestra el ahorro anual, por la reducción de consumo de energía en el compresor de gases, según Forecast – 2016.

Figura n°. 4-1 Ahorro de energía consumida por cambio de arrancador.

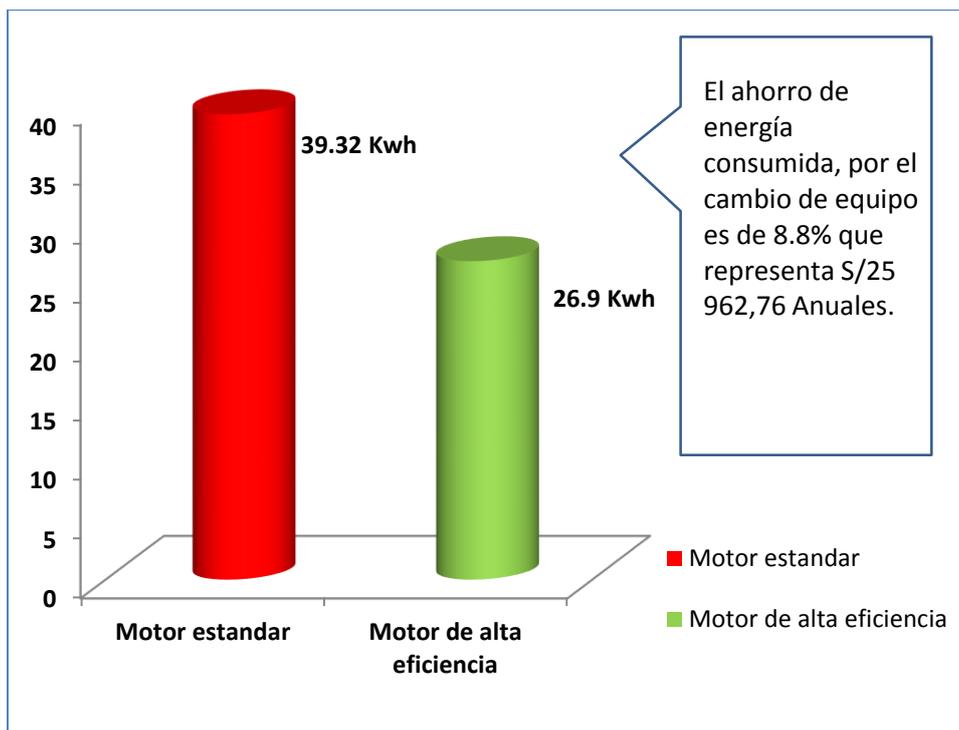


Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2. Cambio de un motor estándar por uno de alta eficiencia

La empresa Exsa S.A. aún cuenta con barreras financieras las que establecen cortos periodos de retorno de inversión, ésta dificulta la implementación de algunos equipos; tales como la sustitución de un motor estándar por uno Premium de alta eficiencia, ya que éste en su evaluación económica generó una reducción del 8.8 % en pérdidas por energía consumida, representando un ahorro anual de S/ 25 962,76; muy considerable, pero NO resultado viable por tener PAYBACK de 2.2 años, no alineado a los objetivos y metas próximas de la empresa.

Figura n°. 4-2 Ahorro de energía por cambio de motor.



Fuente: Elaboración Propia

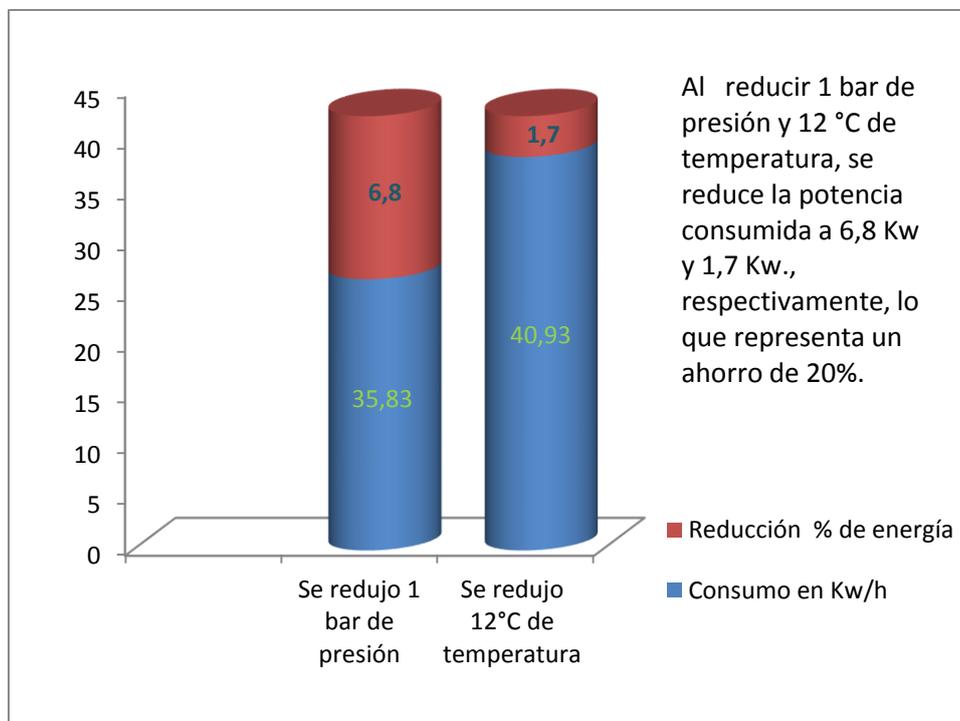
#### 4.1.3. Estandarización de parámetros de trabajo en torre de absorción de gases.

La estandarización de parámetros de trabajo en la torre de absorción de gases, se realizó gracias a tener instalado un variador de frecuencia, lo cual hizo flexible el control de la demanda y permitió realizar cambios de presión y temperatura, basándonos en reglas de eficiencia energética de los compresores.

Tanto es así, que por reducir 12°C en ingreso de gases a la torre de absorción, se ahorró S/ 3 182,40 Anuales (12 240 Kw) y por reducir 1 bar a la presión de trabajo de la torre se logró ahorrar S/ 12 729,60 Anuales (48 960 Kw).

De la potencia nominal del consumo energético del Compresor de gases que es 42,63 KWh se genera un ahorro de 8,5 Kwh que representa el 20% del consumo en torre de absorción de gases.

Figura n°. 4-3 Ahorro de energía por cambio de parámetros.



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.4. Resultado Global de la mejora.

- **Reducción de Costo de Producción de Ácidos.**

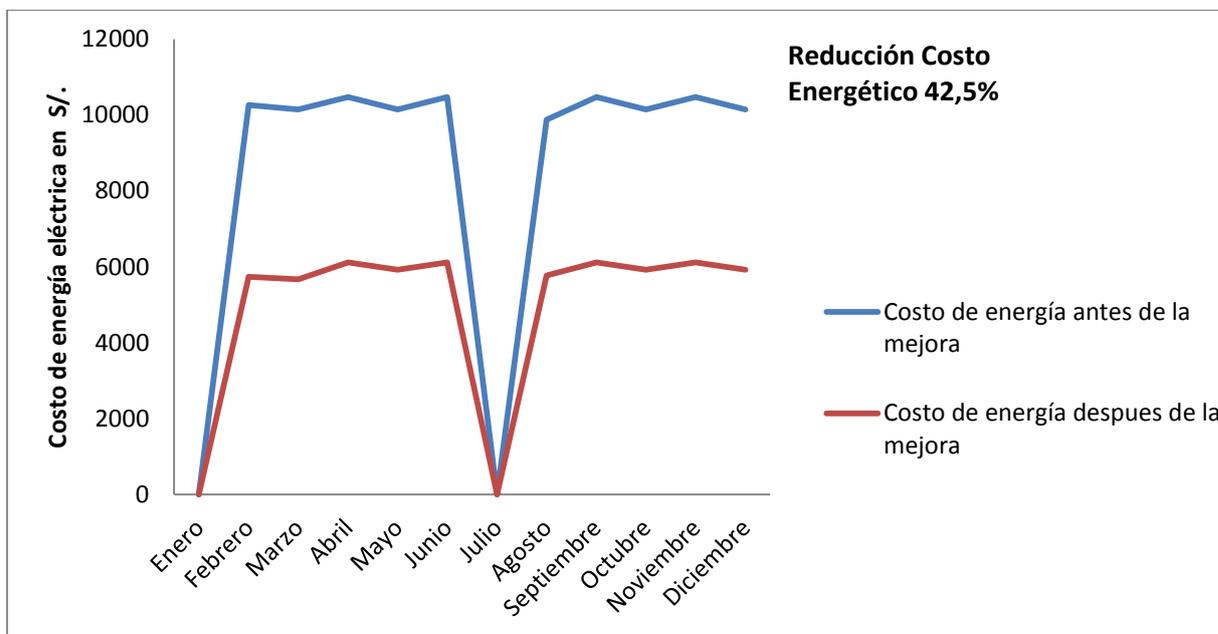
Como resultado global de la mejora de la gestión energética se puede apreciar una reducción del costo energético de producción de ácidos de **0,47 Soles/Kg** a **0,27 Soles/Kg**, este indicador representa un ahorro de 42,5 % de los costos directos de energía eléctrica en la torre de absorción de gases.

Tabla n°. 4-1 Forecast de producción en planta de ácidos y factor costo soles/Kg.

Forecast de Producción de Ácidos, en Planta Deni-Nac/Sac 2016 (kg)												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Acido Nitrico (Kg).	M a n t e	72 500	77 500	75 000	77 500	75 000	M a n t e	77 500	75 000	77 500	75 000	77 500
Acido Sulfurico (Kg).		238 628,57	12 7542,85	123 428,57	127 542,85	123 428,57		255 085,71	123 428,57	127 542,85	123 428,57	127 542,85
Prod. Acidos totales (Kg).		311 128,57	205 042,85	198 428,57	205 042,85	198 428,57		332 585,71	198 428,57	205 042,85	198 428,57	205 042,85
Consumo total de energia electrica (60 hz/6 bar)		31 112,85	30 756,42	31 748,57	30 756,42	31 748,57		29 932,71	31 748,57	30 756,42	31 748,57	30 756,42
Costo total de energia		10 267,24	10 149,62	10 477,02	10 149,62	10 477,02		9 877,79	10 477,02	10 149,62	10 477,02	10 149,62
Factor costo ( Soles/Kg.) Antes de la mejora												
Promedio 0.47 Soles/Kg	n	0,033	0,049	0,052	0,049	0,052	n	0,029	0,052	0,049	0,052	0,049
Nuevo consumo total de energia electrica (40 Hz/ 5 bar)	i	17 392,08	17 192,84	18 541,16	17 961,75	18 541,16	i	17 480,70	18 541,16	17 961,75	18 541,16	17 961,75
Nuevo costo total de energia	m	5 739,38	5 673,63	6 118,58	5 927,37	6 118,58	m	5 768,63	6 118,58	5 927,37	6 118,58	5 927,37
Factor costo ( Soles/Kg.) Despues de la mejora												
Promedio 0.27 Soles/Kg	t	0,018	0,027	0,030	0,028	0,030	t	0,017	0,030	0,028	0,030	0,028

Fuente: Exsa S.A.

Figura n°. 4-4 Reducción mensual del costo de energía en la torre de absorción de gases, Año 2016.



Fuente: Elaboración Propia

- **Reducción de Costo de Producción de Nitroglicerina.**

La reducción de los costos de producción de ácidos repercute directamente en los costos de producción de la Planta Nitroglicerina ya que ésta es materia prima para su elaboración.

Dada esta condición el uso de ésta materia prima, redujo en el costo de producción de **Nitroglicerina** debido al ahorro energético, realizado en el proyecto que repercutió de la siguiente manera:

Tabla n°. 4-2 Ahorro en costos de producción de Nitroglicerina.

<b>Costo de producción de ácidos en \$</b>			
Cambio \$		<b>S/. 3,32</b>	
Producto		Costo \$	
Ácido Nítrico		2,20	
Ácido Sulfúrico		0,60	
Nitroglicerina		4,30	
<b>Cantidad utilizada para producir 1Kg NGL</b>			
	Ácidos	Kg	Costo \$
Ácido mezclado	AS	1,305	0,78
	AN	0,9450	2,08
Costo total			2,86
<b>Costo de Energía por Kg Producido de Acido</b>			
Costo de energía antes de la mejora		S/. 0,045	
Costo de energía después de la mejora		S/. 0,027	
<b>Ahorro por Kilo producido de NGL</b>		<b>S/. 0,018</b>	
Costo de Ácido mezclado por Kg, antes de la mejora		S/. 9,50	
Costo de Ácido mezclado por Kg, después de la mejora		S/. 9,48	
<b>Ahorro</b>		<b>S/. 0,02</b>	
Costo de Nitroglicerina por kg, antes de la mejora		S/. 14,28	
Costo de Nitroglicerina por kg, después de la mejora		S/. 14,26	

Fuente: Exsa S.A

La capacidad de producción instalada en la planta de nitroglicerina es de 1 200 Kg/h, por jornal de trabajo de 8 horas diarias, dada esta referencia podemos observar que el ahorro en la producción diaria sería 172,8 soles, esto quiere decir existe un ahorro de 21,6 soles por hora de producción. Muy significativo.

Tabla n°. 4-3 Ahorro de costos de producción en planta de Nitroglicerina.

Capacidad de Producción de Planta 1200 kg/h de NGL				
	Jornal de trabajo	kg/h	Producción total	Costo
Costo de Nitroglicerina antes de la mejora	8	1 200	9 600	S/. 137 049,60
Costo de Nitroglicerina después de la mejora	8	1 200	9 600	S/. 136 876,80
<b>Ahorro por Producción</b>				<b>S/. 172,80</b>

Fuente: Exsa S.A

➤ **Ahorro Anual de producción de Nitroglicerina.**

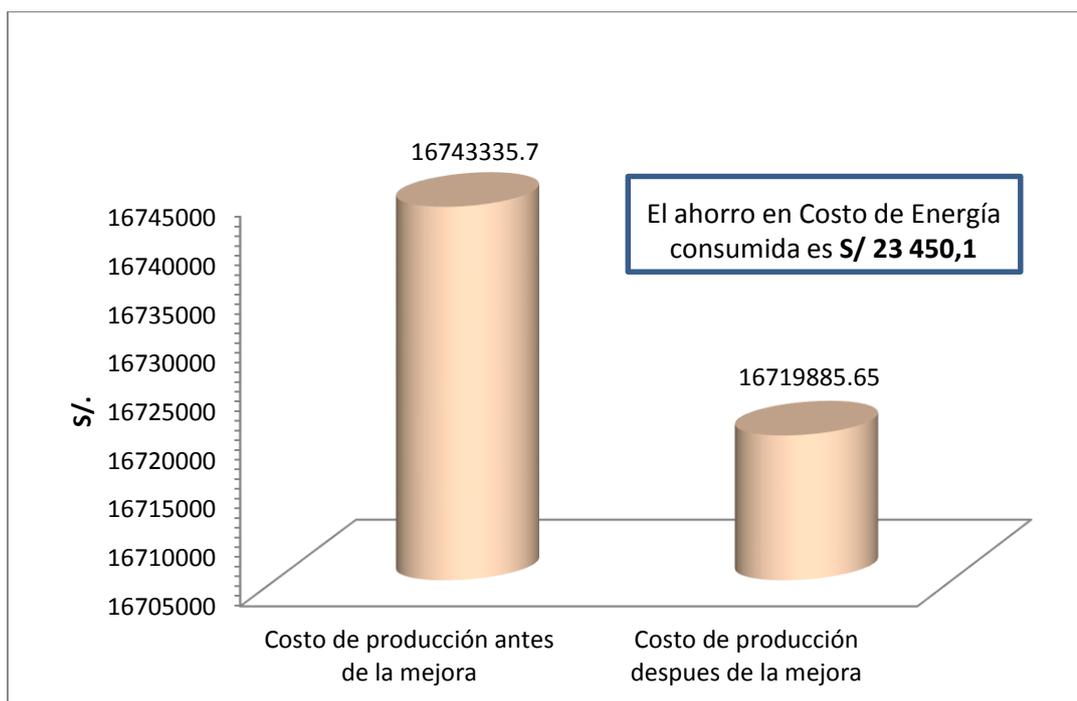
En la siguiente figura, se muestra el ahorro obtenido, según lo proyectado en producción de nitroglicerina para el Año 2016 (forecast-2016), donde la mejora se ve reflejada en un ahorro de S/ 23 450,1 anuales.

Tabla n°. 4-4 Reducción de costo de producción en planta de nitroglicerina.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL ANUAL
Producción de NGL (Kg)	38 400	55 217,5	124 390	124 390	100 890	99 715	102 725	110 435	126 740	99 715	99 715	90 170	1 172,503
Costo de energía antes de la mejora S/.	548 352	788 505,9	1 776 289,2	1 776 289,2	1 440 709,2	1 423 930,2	1 466 913	1 577 011,8	1 809 847,2	1 423 930,2	1 423 930,2	1 287 627,6	16 743 335,7
Costo de energía después de la mejora S/.	547 584	787 401,5	1 773 801,4	1 773 801,4	1 438 691,4	1 421 935,9	1 464 858,5	1 574 803,1	1 807 312,4	1 421 935,9	1 421 935,9	1 285 824,2	16 719 885,65
<b>Ahorro S/.</b>	<b>768</b>	<b>1 104,3</b>	<b>2 487,8</b>	<b>2 487,8</b>	<b>2 017,8</b>	<b>1 994,3</b>	<b>2 054,5</b>	<b>2 208,6</b>	<b>2 534,8</b>	<b>1 994,3</b>	<b>1 994,3</b>	<b>1 803,3</b>	<b>23 450,05</b>

Fuente: Exsa S.A

Figura n°. 4-5 Costo de producción anual de Nitroglicerina – 2016.



Fuente: Exsa S.A

## 4.2. CONCLUSIONES.

La implementación de un variador de frecuencia, en la torre de absorción de gases, logra el control del proceso a carga variable, primero reduciendo el poder de absorción innecesario del equipo, por estar sobredimensionado; y luego se procedió a estandarizar nuevos parámetros de control, en base al cuidado y principio de funcionamiento de cada equipo, para hacer de éste, un proceso eficiente y controlado en función a la demanda.

El cambio de un motor de baja eficiencia, por uno Premium de alta eficiencia en el compresor de gases, genera una reducción de pérdidas de energía consumida, muy significativa, todos éstos reflejados en los siguientes resultados de ahorro:

- El control del proceso a carga variable con un variador de frecuencia, redujo el consumo de energía de **312 051,6 Kw** a **218 136 Kw**, generando un ahorro ANUAL de **S/. 24 418,06**.
- La estandarización y nuevos parámetros de control establecidos en planta, redujo el consumo de energía de **306 939 Kw** a **245 592 Kw**, lo cual generó un ahorro ANUAL de **S/.15 914**.
- El cambio de un motor estándar de baja eficiencia por uno Premiun de alta eficiencia, reduce el consumo de energía de **316 132,8 Kw** a **216 276 Kw**, generando un ahorro ANUAL de **S/.25 962,76**.
- La vibración motor/compresor se redujo de 4.5 mm/s a 2.3 mm/s promedio, reduciendo costos de mantenimiento mecánico y eléctricos, alargando la vida útil del equipo, tanto en sellos, rodamientos, ejes, impulsor, lubricación y eliminando las corrientes parásitas de campo del motor, generando ahorro por mantenimiento de equipo, aún no cuantificado.

### 4.3. RECOMENDACIONES.

En todos los procesos de manufactura existe una oportunidad de mejora. Un correcto análisis y previa identificación de los problemas, nos permitir plantear y desarrollar estrategias orientadas a mejorar la eficiencia energética de los procesos y generar ahorros de diferentes categorías dentro de las organizaciones.

Por ese motivo se recomienda a la empresa:

- Crear e implementar una cultura energética dentro de la política empresarial de Exsa S.A que promueva planes de ahorro energético de corto, mediano y largo plazo.
- Todos los responsables de una unidad productiva deben tomar parte activa en la generación de proyectos de ahorro de energía eléctrica.
- Es necesario que se maneje ratios de energía eléctrica en las principales unidades productivas para evidenciar cualquier mejora en la eficiencia que se desee implementar.
- Todo equipo eléctrico que ingrese a planta debe tener un registro e inscripción energética por mantenimiento donde deberá verificarse los datos de placa, con el objetivo de medir el crecimiento global de la empresa.
- Los equipos eléctricos que culminen su periodo de vida útil deben ser borrados de la carga energética de la planta, ya que éstos en la práctica son retirados, pero en su mayoría existe aún en el sistema.
- Todo equipo eléctrico debería presentar un sticker que muestre la potencia del equipo y su voltaje de manera visible.
- Para la realización de proyectos nuevos, es indispensable la consideración de motores eficientes en la mayoría de sus aplicaciones, y el estudio de utilización de variadores de frecuencia.
- Los sistemas de control y automatización en procesos que tienen algún grado de deficiencia o que sean controlados manualmente, se debe asignar a un personal que se dedique exclusivamente, en la búsqueda de opciones de mejora y optimización de procesos en forma continua, que vaya de la mano con el conocimiento de los procesos operacionales.

## REFERENCIAS

- Agencia Chilena de Eficiencia Energética. (2013). *Guía para la Calificación de Consultores en eficiencia energética*. Santiago: Guía para la Calificación de Consultores en eficiencia energética.
- Aiteco Consultores,Sl. (2016). *herramientas de la calidad*. Recuperado el 2016, de [www.aiteco.com](http://www.aiteco.com): <http://www.aiteco.com/herramientas-de-la-calidad/>
- Camero taboada, C. M. (2014). *Análisis y Mejora del Proceso de Suministros de MRO, Servicios y CAPEX en la Empresa Siderúrgica del Perú. (Tesis para optar el grado de Magister en dirección de operaciones y logística)* Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Peru.
- Centro Tecnológico De Eficiencia Y Sostenibilidad De Energia. (2010). *Eficiencia energética en la producción de aridos*. madrid: Eficiencia Energetica En La Produccion De Aridos.
- Exsa S.A. (2015). *Análisis Energético*. Lima.
- Fenosa, G. N. (2007). *Estudio de Eficiencia de la pyme*. Colombia: ©Copyright Gas Natural SDG, S.A.
- Galván, A. A. (2010). *Aplicación de Convertidores de Frecuencia Variable para Ahorro de Energía*. PERU: FONAM.
- Ivan Erick, L. D. (2013). *Manual De Control Para Motores Electricos Trifasicos.(Tesis para optar el titulo de Ingeniero Mecanico Electricista)* Universidad Veracruzana. XALAPA.
- Jose, M. A. (Abril de 2013). *Tipos de Compresores de Aire*. Obtenido de [temariosformativosprofesionales.wordpress.com](http://temariosformativosprofesionales.wordpress.com)
- Mavainsa. (01 de 09 de 2009). Control de procesos. VIRTUALPRO.

Pachamango, Perez, J., & Villanueva, C. K. (2015). *Evaluación Energética Del Proceso De Elaboración De Concreto Premezclado Para Reducir Costos De Producción En La Empresa Cemento Pacasmayo S.R.L – Sede Cajamarca En El 2015. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial)* Univeridad Privada del Norte. Cajamarca.

Paiva, M. (04 de Abril de 2014). *Mega Proyectos impulsan sector de los explosivos*. ProActivo.

Pasquevich, D. (2016). *La Creciente Demanda Mundial De Energía Frente A Los Riesgos Ambientales*. Argentina: Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable Comision Nacional De Energía Atómica.

Quispe, E., & Mantilla, L. (2014). *Motores Eléctricos de Alta Eficiencia.(Grupo de investigación en energías)* Universidad Autónoma De Occidente. Cantabria.

Rangel Morales, F. M. (2011). *Absorción de Gases Metodo de Calculo en Contanto Discontinuo. (Informe final del instituto de investigación de ingeniería química)* Universidad Nacional del Callao. Callao, Perú.

Rodríguez, J. S. (2008). *Energías Renovables Y Eficiencia Energética*. Canarias: InstitutoTecnológico de Canarias, S.A.

Toapanta cunalata, O. G. (2009). *Implementación De Un Análisis De Mantenimiento Basado En Condición De Los Compresores Reciprocantes Y De Tornillo.(Tesis para optar el grado de Ingeniero Mecanico)* Escuela Superior Politecnica De Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Universidad Tecnologica de Pereira. (2010). *Tecnicas de mantenimiento predictivo aplicados en la industria*.

## ANEXOS

Anexo n°.1 Área de Plantas concentradoras de ácidos.....	88
Anexo n°.2 Consumo de energía eléctrica de la empresa Exsa S.A y su participación por áreas de trabajo.....	89
Anexo n°.3 Datos históricos en producción de ácidos, su consumo de energía eléctrica, productividad, factor consumo y participación de consumo eléctrico del compresor de gases en planta.....	90
Anexo n°.4 Análisis causa raíz.....	91
Anexo n°.5 Sustitución del arrancador de estado sólido por un variador de frecuencia en el compresor de gases.....	92
Anexo n°.6 Nuevo Procedimiento de arranque y proceso de control de la torre de absorción de gases.....	93

## ANEXOS

### Anexo n°. 1 Área de Plantas concentradoras de ácidos.



Fuente: Exsa S.A

## Anexo n°. 2 Consumo de energía eléctrica de la empresa Exsa S.A y su participación por áreas de trabajo.

Áreas de Planta	ene-15		feb-15		mar-15		abr-15		may-15		jun-15		jul-15		ago-15		sep-15		oct-15		nov-15	
	kWh	Part	kWh	Part	kWh	Part	kWh	Parti.	kWh	Partic.	kWh	Parti	kWh	Parti	kWh	Partic.	kWh	Partic.	kWh	Partic.	kWh	Partic.
DENI-1	5,760.00	3%	45,813.00	15%	54,469.00	15%	38,081.00	13%	50,939.00	14%	32,223.00	11%	25,263.00	11%	36,836.00	11%	10,506.00	6%	29,471.00	12%	37,392.00	11%
DENI-2	0	0%	56,836.80	18%	72,504.80	20%	58,794.40	20%	71,479.20	19%	51,440.00	17%	35,401.60	15%	67,071.20	20%	2,959.20	2%	46,394.40	18%	78,596.00	24%
COMP. GASES	297.6	0%	28,194.00	9%	36,230.40	10%	25,590.00	9%	36,048.00	10%	30,456.00	10%	21,568.80	9%	36,754.80	11%	1,471.20	1%	21,884.40	9%	31,005.60	9%
NGL	8,394.00	5%	9,628.80	3%	13,017.60	4%	12,187.20	4%	12,372.00	3%	12,794.40	4%	12,802.80	5%	11,073.60	3%	10,808.40	6%	11,367.60	5%	11,071.20	3%
MOL. AMON.	3,673.60	2%	4,542.40	1%	8,710.40	2%	8,096.00	3%	9,568.00	3%	7,856.00	3%	9,059.20	4%	6,176.00	2%	2,779.20	1%	2,779.20	1%	2,387.20	1%
PLANETAR.	3,529.20	2%	5,166.00	2%	8,040.00	2%	7,285.20	2%	6,555.60	2%	5,626.80	2%	6,105.60	3%	5,464.80	2%	5,619.60	3%	5,619.60	2%	5,644.80	2%
COMPRES. AIRE	9,275.20	6%	9,880.00	3%	11,776.00	3%	9,456.00	3%	10,937.60	3%	9,712.00	3%	10,129.60	4%	12,190.40	4%	10,001.60	5%	11,289.60	4%	13,185.60	4%
OFICINAS	15,535.20	9%	20,307.60	7%	20,072.40	5%	15,860.40	5%	13,478.40	4%	11,320.80	4%	10,778.40	5%	11,172.00	3%	11,535.60	6%	11,863.20	5%	13,376.40	4%
BOMBAS DE AGUA	2,354.40	1%	2,648.00	1%	3,127.20	1%	2,617.20	1%	2,312.40	1%	2,244.80	1%	2,105.60	1%	2,305.60	1%	2,038.80	1%	2,186.40	1%	2,294.40	1%
GRUPO A,B,C,D	21,022.00	12%	15,550.00	5%	19,862.00	5%	15,795.00	5%	18,639.00	5%	16,037.00	5%	14,336.00	6%	13,334.00	4%	14,576.00	8%	17,926.00	7%	12,567.00	4%
ACCESOR.	3,633.30	2%	4,509.30	1%	9,357.90	3%	10,688.40	4%	11,295.60	3%	7,447.80	3%	6,633.90	3%	6,989.10	2%	9,775.20	5%	11,588.40	5%	10,786.20	3%
PLANTA EMULS. No	20,400.00	12%	24,700.00	8%	24,960.00	7%	21,560.00	7%	22,540.00	6%	25,580.00	9%	22,720.00	10%	24,500.00	7%	23,420.00	12%	18,920.00	8%	21,700.00	7%
LABORAT.	3,019.20	2%	2,853.00	1%	3,411.60	1%	3,457.20	1%	3,153.60	1%	3,295.20	1%	3,082.80	1%	3,462.00	1%	2,780.40	1%	2,317.20	1%	2,814.60	1%
ASERRIN	2,610.60	2%	3,141.60	1%	4,741.80	1%	4,425.00	1%	3,554.40	1%	3,507.60	1%	2,897.40	1%	2,908.80	1%	2,814.00	1%	2,365.80	1%	2,312.40	1%
COCINA	6,085.60	4%	6,396.80	2%	6,536.80	2%	7,005.60	2%	7,777.60	2%	7,711.20	3%	7,141.60	3%	7,962.40	2%	7,540.80	4%	7,640.00	3%	7,919.20	2%
PLANTA EMULS. No	29,700.00	18%	29,340.00	10%	29,940.00	8%	28,260.00	9%	38,820.00	10%	27,510.00	9%	11,820.00	5%	45,870.00	14%	28,980.00	15%	23,310.00	9%	32,160.00	10%
CHILLER TRANE	32,973.49	20%	38,138.02	12%	38,263.47	10%	31,363.50	10%	51,122.51	14%	39,204.38	13%	36,381.66	15%	36,758.02	11%	41,065.28	22%	24,191.71	10%	43,616.17	13%
	168,263.39	100%	307,645.32	100%	365,021.37	100%	300,522.10	100%	370,592.91	100%	293,966.98	100%	238,227.96	100%	330,828.72	100%	188,671.28	100%	251,114.51	100%	328,828.77	100%

Fuente: Exsa S.A

Anexo n°. 3 Datos históricos en producción de ácidos, su consumo de energía eléctrica, productividad, factor consumo y participación de consumo eléctrico del compresor de gases en planta.

	Mes	DENI 1 (Kwh)	DENI2 (Kw/h)	Compresor de gases consumo en kWh	Consumo en Kwh (Plantas de ácido)	AN 99%	AS 98%	Producción de Acidos.en Kg	Produc tividad	Partic. del compresor en planta	Factor: Kwh/Kg
						Prod kg.	Prod kg.				
2013	Enero	74187	807112	36268.8	154898.2	89560	178250	267810	7.4	19%	0.11
	Febrero	67143	67504	33162.4	134647	102470	149290	251760	7.6	20%	0.13
	Marzo	28045	27117.6	14860.8	55162.6	17190	60133	77323	5.2	21%	0.19
	Abril	63847	79945.6	37278	143792.6	11010	196080	307090	8.2	21%	0.12
	Mayo	58282	656016	36585.6	123883.6	134550	130610	265160	7.2	23%	0.11
	Junio	56112	65740	34880.4	121852	126020	165600	291620	8.4	22%	0.12
	Julio	58894	63967.2	38005.2	122861.2	78590	142430	221020	5.8	24%	0.17
	Agosto	60335	61312	34330.8	121666.2	16453	224640	340093	9.9	22%	0.1
	Septiembre	65640	73054.4	38198.4	138694.4	135260	197560	332820	8.7	22%	0.11
	Octubre	59719	43888.8	33330	103607.8	100750	118500	219250	6.6	24%	0.15
	Noviembre	61834	64772.8	39447.6	126606.8	106973	212460	319433	8.1	24%	0.12
	Diciembre	55901	56224	33584.4	112125	99900	142590	242490	7.2	23%	0.11
2014	Enero	15527	12525.6	106716	28052.6	6130	10050	16180	15	0.28	0.66
	Febrero	59452	57590.4	34982.4	117042.4	7110	165380	236790	6.8	0.23	0.15
	Marzo	72711	68466.4	40300.8	141177.4	100200	208390	308590	7.7	0.22	0.13
	Abril	43205	37890.4	21902.4	81095.4	48060	110600	158660	7.2	0.21	0.14
	Mayo	35324	17756.8	17632.8	53080.8	30010	27930	57940	3.3	0.25	0.3
	Junio	61273	25334.4	31960.8	86607.4	46770	66177	12947	3.5	0.27	0.28
	Julio	48682	23048.8	23985.6	71730.8	32030	94240	126270	5.3	0.25	0.19
	Agosto	72302	63699.2	35794.8	136001.2	65340	165800	231140	6.5	0.21	0.15
	Septiembre	76437	84969.6	40428	161406.6	84620	198380	283000	7	0.2	0.14
2015	Enero	5760	0	297.6	5760	0	0	0	0	0.05	-
	Febrero	45813	56836.8	28194	102649.8	20290	69780	90070	3.2	0.22	0.31
	Marzo	54469	72504.8	36230.4	126973.8	80170	97090	17260	4.9	0.22	0.2
	Abril	38081	58794.4	25590	96875.4	49770	97270	147040	5.7	0.21	0.17
	Mayo	50939	71479.2	36048	122418.2	65923	135850	201773	5.6	0.23	0.18
	Junio	32223	51440	30456	83663	56280	92240	148520	4.9	0.27	0.21
	Julio	25263	354016	21568.8	60664.6	50350	96660	147010	6.8	0.26	0.15
	Agosto	36836	670712	36754.8	103907.2	78980	143610	222590	6.1	0.26	0.17
	Septiembre	10506	2959.2	14712	13465.2	0	0	0	0	0.1	-
	Octubre	29471	46394.4	21884.4	75865.4	37910	73050	10960	5.1	0.22	0.2
	Noviembre	37392	78596	31005.6	115988	97370	159950	257320	8.3	0.21	0.2
	Diciembre	No hay datos									

Fuente: Exsa S.A

## Anexo n°. 4 Análisis causa raíz.

 <b>SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN</b> <b>ANÁLISIS CAUSA - RAÍZ</b>		<b>SG-F-171</b> <b>EDICIÓN 03</b>			
<b>1.- Problema</b>					
¿Qué ocurrió?: <b>Alto consumo de energía eléctrica.</b>					
¿Cómo ocurrió?: <b>Para concentrar ácidos se necesita de energía eléctrica</b>					
¿Cuándo ocurrió?: <b>Año 1997</b>					
¿Dónde ocurrió?: <b>En torre de absorción de gases</b>					
<b>2.- Acción inmediata</b>					
<b>Evaluación del consumo de energía en Planta Denl Nac Sac</b>					
<b>3.- Determinación de Causas Principales</b>					
N°	POSIBLES CAUSAS	5'M	FRECUENCIA (F)	IMPACTO (I)	RESULTADO (F*I)
1	Sobre dimensionamiento del motor del compresor	Máquina	9	9	81
2	Baja eficiencia del motor	Máquina	1	3	3
3	Trabajo del compresor no está en relación a la producción	Máquina	9	9	81
Frecuencia: ¿Que tan reiterada o frecuencia se presenta la "posible causa"?					
Impacto: Si la "posible causa" ocurrirá, ¿Que tanto Impacta en la generación del "problema"?					
Escala	Frecuencia	Impacto			
1	Se presenta pocas veces	Cuando se presenta impacta poco en el problema	5' M	Mano de obra	
3	Se presenta varias veces	Cuando se presenta impacta de forma media en el problema		Medio ambiente	
9	Se presenta permanentemente	Cuando se presenta impacta mucho en el problema		Método	
				Máquina	
				Materiales	
Causa Principal: es la "posible causa" que tiene el resultado de mayor valor					
<b>4.- Determinación de Causa Raíz</b>					
Causa Principal: Sobre dimensionamiento del motor del compresor					
¿ POR QUÉ N° 1 ?	Por estimación de mayor capacidad requerida				
¿ POR QUÉ N° 2 ?	Proyección de mayor porcentaje de ventas				
¿ POR QUÉ N° 3 ?	Por criticidad del equipo en el proceso				
¿ POR QUÉ N° 5 ? - CAUSA RAÍZ	Diseño de fabricante excede necesidades actuales				
Causa Principal: Baja eficiencia energética del motor					
¿ POR QUÉ N° 1 ?	Porque en su momento no se contaba con motores de mayor eficiencia				
¿ POR QUÉ N° 2 ?	Por diseño de la planta				
¿ POR QUÉ N° 5 ? - CAUSA RAÍZ	El equipo cumplía requerimiento de diseño en su momento.				
Causa Principal:					
¿ POR QUÉ N° 1 ?	El compresor trabaja siempre a su máxima capacidad				
¿ POR QUÉ N° 2 ?	Compresor no cuenta con un sistema de control para regular el flujo de producción				
¿ POR QUÉ N° 5 ? - CAUSA RAÍZ	El compresor está diseñado para una producción constante y máxima.				
<b>5.- Plan de acción</b>					
Causa Raíz	Actividades	Responsable	Entregable	Plazo	
El compresor esta diseñado para una producción constante y máxima	Consultar viabilidad de instalación con diseñador de torre y del compresor	O. Portugal	Respuesta de fabricante	31-ene-15	
	Seleccionar tipo de variador (analizar condiciones técnicas actuales: corriente de red, características de motor, comunicación con sistema de control, medición de emisiones gaseosas)	P. Torres	Propuesta de tipo de variador	28-feb-15	
	Validar con Plinke los cambios al proceso y equipos	O. Portugal	Respuesta de fabricante	15-mar-15	
	Cotizar instalación del variador	W. Morales	Cotización	27-jun-15	
	Instalar variador	W. Morales	Variador instalado	28-jun-15	
	Optimizar parámetros de producción (pruebas de operación)	P. Torres	Informe de resultados	05-jul-15	

Fuente: Elaboración propia

Anexo n°. 5 Sustitución del arrancador de estado sólido por un variador de frecuencia en el compresor de gases.

**Cálculo teórico.**

Se asume datos de potencia adquirida en placa de motor y ley cubica de proporcionalidad, basándonos en reducir la velocidad en un 20% del equipo.

**Consumo actual.**

$$E = 45 \text{ KW} \times 24\text{h} \times 335 \text{ días}$$

$$E = 361\,800 \text{ KW} \times S/0,26 = S/ 94\,068 \text{ (Anual)}$$

**Consumo después de la mejora.**

Asumiendo que este equipo solo trabaje en  
Un 80% de su capacidad todo el año

$$E = 23.1 \text{ KW} \times 24\text{h} \times 335 \text{ días}$$

$$E = 185\,724 \text{ KW} \times S/0.26 = S/ 48\,288,24 \text{ (Anual)}$$

**Ahorro energético.**

$$\text{Ahorro} = S/ 48\,288,24 - S/ 94\,068$$

$$\text{Ahorro} = S/ 45\,779,76 \text{ (Anual)}$$

Potencia de Motor:	45 KW
Voltaje:	220 VAC
Corriente:	120 AMP
Velocidad:	3555 RPM
Horas de trabajo:	24 H/día
Equipo trabaja:	335 días al año
Tarifa eléctrica: Kwh	S/ 0.26

Inversión	
Variador de Velocidad:	45 KW
Precio:	s/ 15 000
Materiales e Instalación:	s/ 10 000
Total:	s/ 25 000

$$\text{Ahorro} = \frac{S/ 45\,779,76 \text{ (Anual)}}{11 \text{ meses}}$$

$$\text{Ahorro} = s/4161,79 \text{ (Mensual)}$$

$$\text{ROI} = \left( \frac{s/4161,79}{s/25\,000} \right) * 100 = 16,64\%$$

$$\text{PAYBACK} = \frac{s/25\,000}{s/4161,79} = 6 \text{ Meses}$$

Fuente: Elaboración Propia

Anexo n°. 6 Nuevo Procedimiento de arranque y proceso de control de la torre de absorción de gases.

	PRODUCCIÓN NGL - NAC SAC		PNG-I-064
			EDICIÓN 02
	ARRANQUE Y PARADA DEL SISTEMA DE LA TORRE DE ABSORCIÓN DE GASES		VALIDO DESDE: 25/11/2016
			Página 1 de 7

**1.- OBJETIVO Y ALCANCE**

- Esta instrucción tiene como finalidad establecer los pasos a seguir para el arranque y parada del sistema de la Torre de Absorción de gases. Esta instrucción es aplicada a la Producción de Ácidos Concentrados.

**2.- DEFINICIONES**

- No aplica.

**3.- RESPONSABILIDADES**

- Jefe de Producción NGL.-** Es el responsable de la emisión, control y aplicación del presente documento.
- Supervisor de Producción NGL.-** Es el responsable del cumplimiento del presente documento.
- Contramaestre de Producción.-** Son los responsables del cumplimiento y ejecución del presente documento.

**4.- DESCRIPCION**

A continuación se detallan las instrucciones que se deben seguir para poner en operación la Torre de Absorción de Gases.

**4.1.- ESTANDAR DE OPERACIONES**

I.- ARRANQUE			
	Operación	Qué observar	Acción requerida en caso de falla:
1	Verificar que el suministro de aire que llega a la planta sea de 6 bar. El aire suministrado por el compresor GA 5.	5,0 - 6,5 bar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificar si compresor de aire GA5 está encendido</li> <li>Verificar si válvulas de alimentación de aire están abiertas</li> <li>Descartar fuga de aire en el sistema</li> </ul>
2	Habilitar el sistema de osmosis inversa para llenar con agua osmótica al tanque B501.	Nivel lleno de tanque B501	-----

Fuente: Elaboración Propia