

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR

VIDA NUEVA



CARRERA:

TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

TEMA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:

**MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE UN COMPRESOR TIPO TORNILLO
INGERSOLL-RAND DE 650CFM**

AUTOR:

PACHACAMA CUSHICONDOR JAIME RENE

TUTOR:

ING.RUIZ GUANGAJE CARLOS RODRIGO

FECHA:

ENERO 2019

QUITO – ECUADOR

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, **PACHACAMA CUSHICONDOR JAIME RENE** portador/a de la cedula de ciudadanía **171521450 - 6**, facultado/a de la carrera **TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA**, autor/a de esta obra certifico y proveo al Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva, usar plenamente el contenido plasmado en este escrito con el tema **“MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE UN COMPRESOR TIPO TORNILLO INGERSOLL-RAND DE 650CFM”**, con el objeto de aportar y promover la lectura e investigación, autorizando la publicación de mi trabajo de titulación en la colección digital del repositorio institucional bajo la licencia de Creative Commons: Atribución-NoComercial-SinDerivadas.

En la ciudad de Quito, al mes de Enero de 2019

Pachacama Cushicondor Jaime Rene

C.I.: 1715214506

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto: de Aplicación Práctica presentado por el estudiante Pachacama Cushicondor Jaime Rene, para optar por el título de Tecnólogo en Electromecánica, certifico que dicho proyecto ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal que se designe.

Tutor: Ing. Ruiz Guangaje Carlos Rodrigo

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe del Proyecto de Aplicación Práctica, con el tema:

Mantenimiento Correctivo de un Compresor Tipo Tornillos Ingersoll-Rand de 650cfm

Del Sr. estudiante: Pachacama Cushicondor Jaime Rene

De la Carrera, Tecnología en Electromecánica.

Para constancia firman:

.....

.....

.....

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Pachacama Cushicondor Jaime Rene, estudiante del Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva, declaro que he realizado este trabajo de titulación tomando en consideración citas bibliográficas que se nombran en este texto.

El Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva puede utilizar este trabajo de titulación como una ayuda bibliográfica.

Pachacama Cushicondor Jaime Rene

C.I 1715214506

AGRADECIMIENTO

Me complace sobre manera a través de este trabajo exteriorizar mi sincero agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva y en él a los distinguidos docentes quienes con su profesionalismo y ética puesta de manifiesto en las aulas; enrumban a cada uno de los que acudimos a ellas, con sus conocimientos que nos servirán para ser útiles a la sociedad.

A mi Tutor el Ingeniero Carlos Ruiz, quien con su experiencia como docente ha sido la guía idónea, durante el proceso que ha llevado el realizar este proyecto; me ha brindado el tiempo necesario, como la información para que este anhelo llegue a ser felizmente culminado.

Pachacama Cushicondor Jaime Rene

C.I 171521450

DEDICATORIA

Mi trabajo de grado dedico con inmensa gratitud a Dios, por darme la vida, sabiduría, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y haber puesto en mi camino a personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis queridos padres Alfredo y Rosa quienes con mucho cariño, amor y ejemplo han hecho de mí una persona de bien, inculcándome buenos valores, para poder desenvolverme como: esposo, padre y profesional.

A mis familiares, hermanos, cuñados, sobrinos que de una u otra manera estuvieron presentes en mi largo caminar apoyando con palabras de afecto y cariño.

A las motivaciones más grandes de mi vida mi esposa Rocío, mis hijos Neymar y Nataly que han estado a mi lado dándome cariño, confianza, apoyo incondicional para seguir adelante, ellos fueron quienes me dieron su amor y comprensión en los momentos más difíciles para poderlos superar todos los obstáculos logrando mis metas trazadas, cumpliendo otra etapa de mi vida por mi bien y de nuestra familia.

A los representantes de la empresa Acero de los Andes, al señor Hernán Vargas y la licenciada Patricia Cuenca quienes me dieron todo su apoyo durante mi carrera, por motivarme siempre a seguir adelante, brindarme sus consejos y regaños que siempre han sido importantes para poder culminar mi carrera.

Quiero también dejar una enseñanza:

Que cuando se quiere superarse en la vida, no existe edad, tiempo ni obstáculo que impida poder lograrlo.

Pachacama Cushicondor Jaime Rene

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. OBJETIVOS	1
1.1. OBJETIVO GENERAL	1
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
2. DESARROLLO	2
2.1. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL	2
2.1.1. El aire	2
2.1.2. Aire comprimido	3
2.1.2.1. <i>Propiedades del aire comprimido</i>	3
2.1.3. Compresor	4
2.1.4. Clasificación de los compresores	5
2.1.4.1. <i>Compresores de flujo intermitente</i>	5
2.1.4.1.1. <i>Reciprocantes</i>	5
2.1.4.1.2. <i>Rotativos</i>	5
2.1.4.2. <i>Compresor de paletas deslizantes</i>	5
2.1.4.3. <i>Compresor de pistón líquido</i>	6
2.1.4.4. <i>Compresor de Lóbulo recto</i>	7
2.1.4.5. <i>Compresor de Tornillo Rotativo</i>	7
2.1.4.6. <i>Compresor de doble tornillo</i>	8
2.1.4.6.1. <i>Principio de funcionamiento de compresor de doble tornillos</i>	9
2.1.4.6.2. <i>Compresores sin flujo de aceite a través de la máquina</i>	10
2.1.4.6.3. <i>Compresores con flujo de aceite a través de la máquina</i>	10
2.1.4.6.4. <i>Partes de un compresor de doble tornillo</i>	11
2.1.4.7. <i>Compresor monotornillo</i>	13
2.1.4.7.1. <i>Compresor monotornillo portadores de energía</i>	13
2.2. PROCEDIMIENTOS – METODOLOGÍA	14
2.2.1. Diseño	14
2.2.1.1. <i>Aspectos generales</i>	14
2.2.1.2. <i>Características del compresor</i>	15
2.2.1.3. <i>Especificaciones técnicas</i>	16
2.2.1.4. <i>Diagramas eléctricos, neumáticos e hidráulicos</i>	16
2.2.1.5. <i>Diagnóstico del motor eléctrico</i>	17
2.2.1.5.1. <i>Motor eléctrico de 156 HP</i>	18
2.2.1.5.2. <i>Estator o bobinas de campo</i>	18
2.2.1.5.3. <i>Rotor jaula de ardilla</i>	19
2.2.1.5.4. <i>Presostato de control</i>	20
2.2.1.5.5. <i>Contactos con sulfatamiento en los contactores</i> :	20

2.2.1.6.	<i>Diagnóstico mecánico en la unidad de aire del compresor</i>	21
2.2.1.6.1.	<i>Unidad generadora de aire.</i>	21
2.2.1.6.2.	<i>Carcasa de la unidad.</i>	22
2.2.1.6.3.	<i>Rotores helicoidales extraídos de la unidad:</i>	22
2.2.1.6.4.	<i>Tapas laterales y alojamientos de los rodamientos:</i>	23
2.2.1.6.5.	<i>Filtro separador:</i>	23
2.2.1.6.6.	<i>Bomba hidráulica</i>	24
2.2.1.6.7.	<i>Empaquetadura y sellos</i>	24
2.2.1.6.8.	<i>Engranajes de sincronización:</i>	25
2.2.1.6.9.	<i>Válvula de aspiración:</i>	25
2.2.1.6.10.	<i>Lubricación</i>	26
2.2.2.	<i>Construcción.</i>	26
2.2.2.1.	<i>Descripción generales</i>	26
2.2.2.2.	<i>Recolección de datos</i>	27
2.2.2.3.	<i>Verificación de piezas, accesorios y componentes del compresor</i>	27
2.2.2.4.	<i>Listado de repuestos mecánicos para la unidad de aire</i>	27
2.2.2.5.	<i>Desmontaje y desacoplamiento de la unidad de aire y motor.</i>	28
2.2.2.6.	<i>Descripción del sistema eléctrico</i>	28
2.2.2.6.1.	<i>Desarmado del motor eléctrico.</i>	28
2.2.2.6.2.	<i>Desmontaje del eje de la jaula de ardilla.</i>	29
2.2.2.6.3.	<i>Construcción del nuevo eje y chaveteros</i>	30
2.2.2.6.4.	<i>Montaje del eje en la jaula de ardilla</i>	30
2.2.2.6.5.	<i>Realizar el balanceo del rotor</i>	31
2.2.2.6.6.	<i>Armado de rodamientos en el rotor</i>	32
2.2.2.6.7.	<i>Limpieza y barnizado de las bobinas de campo</i>	32
2.2.2.6.8.	<i>Armado general del motor</i>	33
2.2.2.6.9.	<i>Reajuste general y torque</i>	34
2.2.2.6.10.	<i>Pruebas de funcionamiento del motor eléctrico</i>	34
2.2.2.7.	<i>Descripción del sistema mecánico</i>	36
2.2.2.7.1.	<i>Desmontaje y desarmado de la unidad</i>	36
2.2.2.7.2.	<i>Desmontaje de las tapas laterales</i>	36
2.2.2.7.3.	<i>Desmontaje de rodamientos atascados</i>	37
2.2.2.7.4.	<i>Corrección de desgaste de los perfiles convexos y cóncavos</i>	37
2.2.2.7.5.	<i>Comprobación de los tornillos macho y hembra</i>	38
2.2.2.7.6.	<i>Corrección de las torcedoras de las puntas del perfil cóncavos</i>	39
2.2.2.7.7.	<i>Corrección de rayaduras en la cilindros internos.</i>	39
2.2.2.7.8.	<i>Armado general de la unidad de aire</i>	40
2.2.2.7.9.	<i>Empaquetadura de la unidad y sistema de generación</i>	41
2.2.3.	<i>Implementación.</i>	42
2.2.3.1.	<i>Descripción del Montaje del sistema eléctrico y mecánico</i>	42

2.2.3.2.	<i>Montaje de la unidad generador de aire.</i>	42
2.2.3.3.	<i>Montaje del Motor eléctrico.</i>	43
2.2.3.4.	<i>Instalación de accesorios.</i>	43
2.2.3.5.	<i>Colocación del lubricante en el tanque separador.</i>	44
2.2.3.6.	<i>Circuito de potencia y Conexiones eléctricas del motor</i>	45
2.2.3.7.	<i>Presentación y pintura de la estructura.</i>	45
2.2.3.8.	<i>Pruebas de funcionamiento y puesta en marcha del compresor</i>	46
3.	CONCLUSIONES	48
4.	RECOMENDACIONES	49
5.	BIBLIOGRAFÍA	50
6.	ANEXOS	52

ÍNDICE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Clasificación de los compresores.....	4
<i>Figura 2:</i> Compresor de paletas deslizantes	6
<i>Figura 3:</i> Compresor de pistón liquido	6
<i>Figura 4:</i> Compresor de lóbulos rectos	7
<i>Figura 5:</i> Compresor de tornillos rotativos	8
<i>Figura 6:</i> Disposición de doble tornillos rotativos.....	8
<i>Figura 7:</i> Fases de trabajo	9
<i>Figura 8:</i> Perfil de los rotores	11
<i>Figura 9:</i> Partes de un compresor	11
<i>Figura 10:</i> Fases de trabajo: Aspiración, compresión y descarga	14
<i>Figura 11:</i> Diagrama del circuito hidráulico	16
<i>Figura 12:</i> Motor eléctrico.	18
<i>Figura 13:</i> Estator del motor eléctrico.....	19
<i>Figura 14:</i> Rotor jaula de ardilla.....	20
<i>Figura 15:</i> Presostato de control.....	20
<i>Figura 16:</i> Terminales sulfatados.....	21
<i>Figura 17:</i> Unidad generación de aire comprimido.	22
<i>Figura 18:</i> Carcaza de la unidad.	22
<i>Figura 19:</i> Rotores helicoidales.	23
<i>Figura 20:</i> Tapas laterales y alojamientos de los rodamientos.	23
<i>Figura 21:</i> Filtro separador.....	24
<i>Figura 22:</i> Bomba de piñones.....	24
<i>Figura 23:</i> Brida y sello de la tapa del motor.	25
<i>Figura 24:</i> Engranajes del motor y unidad.	25
<i>Figura 25:</i> Válvula de aspiración.....	26
<i>Figura 26:</i> Compresor antes del desmontaje.	28
<i>Figura 27:</i> Desarmado del motor.	29
<i>Figura 28:</i> Desmontaje del eje del inducido	29
<i>Figura 29:</i> Fabricación del eje para el inducido.....	30

<i>Figura 30:</i> Montaje del eje en la jaula de ardilla.....	31
<i>Figura 31:</i> Balanceo del inducido jaula de ardilla.	31
<i>Figura 32:</i> Montaje de rodamientos.	32
<i>Figura 33:</i> Limpieza y barnizado del estator.	33
<i>Figura 34:</i> Montaje del rotor en el estator	33
<i>Figura 35:</i> Ajuste manual y torque del motor eléctrico.....	34
<i>Figura 36:</i> Manipulación del motor eléctrico de 150 Hp	34
<i>Figura 37:</i> Prueba de funcionamientos en vacío.....	35
<i>Figura 38:</i> Desmontaje de la unidad.	36
<i>Figura 39:</i> Rectificado de tapas laterales y alojamiento del rodamiento.....	37
<i>Figura 40:</i> Extracción de rodamientos	37
<i>Figura 41:</i> Corrección de perfiles convexos y cóncavos.....	38
<i>Figura 42:</i> Comprobación de tornillos.	39
<i>Figura 43:</i> Rellenado y maquinado del eje del perfil cóncavo.	39
<i>Figura 44:</i> Corrección de desgastes en cilindros.	40
<i>Figura 45:</i> Armado general de la unidad de aire.....	41
<i>Figura 46:</i> Empaques de asbesto	41
<i>Figura 47:</i> Montaje de la unidad de aire.....	42
<i>Figura 48:</i> Montaje y acoplamiento del motor y la unidad.	43
<i>Figura 49:</i> Montaje de la válvula, filtro separador.....	44
<i>Figura 50:</i> Colocación del lubricante iso 68.....	44
<i>Figura 51:</i> Circuitos de potencia.....	45
<i>Figura 52:</i> Pintado de la estructura	46
<i>Figura 53:</i> Prueba de funcionamiento	47

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Figural 1:</i> Datos del compresor Ingersoll-Rand.....	52
<i>Figural 2:</i> Compresor antes de la reparación.	53
<i>Figural 3:</i> Presupuesto.....	54
<i>Figural 4:</i> Sistema de trasmisión (Piñones)	55
<i>Figural 5:</i> Montaje del sistema mecánico y eléctrico.....	55
<i>Figural 6:</i> Armado de estructura de protección.	56
<i>Figural 7:</i> Proyecto aplicación practica desarrollada.	56

ÍNDICE DE TABLA

<i>Tabla 1:</i> Valores de tensión y corriente del motor eléctrico	35
--	----

INTRODUCCIÓN

La generación del aire comprimido inicia en una empresa de venta de explosivos, con la necesidad de mejorar sus procesos poniendo a prueba con el simple funcionamiento de una perforadora de roca.

A medida que avanza los años, la empresa LAFFIN Y RAND basándose a esta experiencia única y comprobada, toma la confianza para la fabricación de compresores y equipos de aire comprimido.

La falta de flujo constante en los procesos de producción de la empresa Acero de los Andes ocasiona la variación de flujo y presión de aire comprimido, son condiciones reales y actuales de la empresa en donde el compresor Ingersoll-Rand cumple un rol muy importante, en el funcionamiento de equipos neumáticos los cuales nos permiten realizar diferentes actividades de fabricación, reparación, ensamblaje de estructuras y recipientes del sector petrolero.

Se pretende realizar un mantenimiento correctivo con el fin de mejorar el sistema de funcionamiento del compresor Ingersoll-Rand dando nuevas alternativas de mejora que garantice un mejor método de trabajo en los procesos de la empresa.

Como se mencionó anteriormente al darse una mayor eficiencia en el sector de maquinaria, logrará que la empresa mejore el funcionamiento de los equipos neumáticos, por lo tanto mejorara la calidad en la fabricación de los productos, este objetivo se cumplirá con el funcionamiento del compresor Ingersoll-Rand; todo esto permite que la empresa alcance a una respuesta favorable en la entrega de sus producto a tiempo brindándole seguridad y confianza a sus clientes.

ANTECEDENTES

La historia de éxito en aire comprimido comienza con la invención del primer compresor de tornillo rotativo libre de aceite en los años 50, su origen se remonta al año 1758, con la fundación de la Cabaña de St. Anthony en el corazón industrial de Alemania, en Oberhausen.

Según Clark (2017), el compresor INGERSOLL RAND, no apareció en el sector de un día para otro, si no que dio sus primeros pasos en el año de 1870, cuando sus fundadores, Simón Ingersoll y Henry Clark Sergeant, empezaron a ver las posibilidades de una simple perforadora de roca y del uso del aire comprimido para facilitar el día a día del trabajo.

Según Carnicer (1990), la empresa LAFFIN Y RAND, especializados en fabricación y venta de explosivos, se dieron cuenta que una perforadora más eficaz les haría el trabajo más fácil en explotaciones profundas. Su perforadora denominada “pequeño gigante” fue durante mucho tiempo la mejor del mundo en su clase.

En 1905, ambas compañías se fusionaron y formaron lo que ahora es INGERSOLL RAND, complementando sus productos y logrando grandes ventajas en diseño, fabricación y venta, haciendo suyo el dicho “la unión hace la fuerza”.

Actualmente, INGERSOLL RAND tiene delegaciones en todo el mundo y es un referente en cuanto a equipos de aire comprimido, desde grandes máquinas para soluciones empresariales a otros más pequeños de uso más cotidiano.

Según Thomson (2014), la planta de Acero de los Andes empezó a funcionar en mayo de 1975, desde esa fecha ha cumplido con las funciones como la fabricación de productos de

contenido metalmecánico, pero debido al paso de los años y el avance de la tecnología los equipos existentes no están en capacidad de cubrir las demandas que exige la empresa.

La falta de flujo constante en los procesos de producción de la empresa ocasiona la variación de flujo y presión de aire comprimido la cual es una barrera para cumplir con la filosofía tecnología confiable de la empresa. La repotenciación del compresor que se encuentra deshabilitado es necesaria para mejorar la producción. El adecuado proceso de generación de aire comprimido optimiza el rendimiento de la maquinaria, mejora tiempos de respuesta y producción brindando seguridad y garantía a los clientes en sus productos.

RESUMEN

El mantenimiento en la industria permite desarrollar actividades de carácter técnico y organizativo que buscan condiciones óptimas para el funcionamiento de equipos y máquinas, las actividades de mantenimiento pueden ser ejecutadas y planificadas previamente estableciendo de esta manera una planificación, es importante considerar que el mantenimiento correctivo sobre las máquinas busca dar soluciones a problemas que se han presentado provocando que la producción se detenga, y esto representa una pérdida económica para la empresa, existe dos tipos de mantenimiento el planificado y no planificado, el primero es el mantenimiento de emergencia este debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de, aplicación de normas legales, etc.) y en el segundo se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuesto y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente. Es por esto que el presente proyecto está basado en desarrollar y ejecutar una planificación de mantenimiento sobre un compresor tipo tornillo con la finalidad de que la empresa tenga un sistema de pack up cuando el compresor principal se detenga por averías, para ejecutar este mantenimiento primero se desarrollará un análisis y reparación considerando la siguiente sistematización de pasos; diagnóstico del motor eléctrico de 156 HP, análisis de la unidad generadora de aire, reconstrucción de los rotores helicoidales extraídos de la unidad, cambios de filtros, reconstrucción de engranajes de sincronización, diseño de válvulas de aspiración y cambio de rodamientos autoalineables, construcción de piñones y kit de empaques para el sellado.

PALABRAS CLAVE:

Compresor tipo tornillo, mantenimiento correctivo, tornillo Ingersoll-Rand, Sistema neumática.

ABSTRACT

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

Ejecutar el mantenimiento correctivo y puesta en funcionamiento de un sistema generador de aire comprimido de 650cfm, ubicado en la Industria Acero de los Andes durante el ciclo abril 2018 – octubre 2018.

1.2. Objetivos específicos

- Implementar un nuevo sistema eléctrico en el compresor INGERSOLL RAND de 650cfm de capacidad.
- Modificar el sistema mecánico del compresor de 650cfm, para abastecer de aire comprimido a los equipos neumáticos de la empresa.
- Verificar el proceso de alineación y balanceo en la construcción del eje en el rotor jaula de ardilla.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del compresor a través de la carga y descarga en un recipiente de 5m cúbicos.

2. DESARROLLO

2.1. Marco Teórico – Conceptual

A continuación, se definen los conceptos teóricos en los que se fundamenta el proyecto aplicación práctica y que se utilizarán constantemente, de tal forma que se puedan relacionar fácilmente con el desarrollo del proyecto y se logre alcanzar los objetivos planteados, con la propuesta de mejorar la situación actual de la empresa.

2.1.1. *El aire*

El aire es una mezcla de gases homogénea que conforma la atmósfera terrestre y es indispensable para la vida. Principalmente está compuesto por nitrógeno y oxígeno en un porcentaje de volumen del 78 % y 21 % respectivamente; el 1 % restante corresponde a una mezcla de otras sustancias como dióxido de carbono. Como es característico en los gases, el aire no tiene una forma determinada y adopta la forma de los recipientes que lo contienen o la del ambiente. Se puede comprimir y tiene la tendencia a expandirse. Estos fenómenos se justifican mediante la ley de Boyle que relaciona el volumen y la presión de una cierta cantidad de gas mantenida a temperatura constante. (Cantero, 2015)

Matemáticamente se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

Donde:

P1 = presión inicial

P2 = presión final

V1= volumen inicial

V2= volumen final

2.1.2. Aire comprimido

Es aire que se toma del ambiente para aumentar su presión mediante una máquina llamada compresor para transportarlo mediante una red de distribución al punto de consumo en una planta industrial.

Mediante el aire comprimido se pueden almacenar grandes cantidades de energía de forma segura y efectiva, por lo tanto, se considera un medio energético ventajoso. Características como su limpieza e inocuidad, fácil almacenamiento y transporte lo hacen útil para una gran variedad de aplicaciones industriales: la propulsión de herramientas neumáticas para crear movimientos y elevaciones, o para limpiar, desplazar y enfriar materiales.

2.1.2.1. Propiedades del aire comprimido

Según Majumdar (1998), el aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas conocidas por el ser humano y con sus propiedades ha contribuido a su popularidad siendo esta aprovechada para reforzar los recursos físicos y estas son:

- **Abundancia:** prácticamente está disponible para ser comprimido en cantidades ilimitadas en cualquier parte del mundo.
- **Almacenaje:** se puede almacenar en depósitos y puede ser transportado en recipientes.
- **Transporte:** puede transportarse fácilmente a grandes distancias mediante tuberías.
- **Incombustible:** a diferencia de otros gases, el aire comprimido no tiene riesgo de incendio; por lo tanto, no es necesario instalar medidas de seguridad contra incendio.
- **Velocidad:** el aire comprimido alcanza velocidades muy altas de trabajo

- **Temperatura:** posee insensibilidad a los cambios de temperatura.

2.1.3. Compresor

La compresión del aire se realiza generalmente mediante máquinas llamadas compresores, su función principal es aumentar la presión en un fluido o gas y desplazarlo para su uso inmediato en elementos neumáticos o para su almacenaje en tanques. Esto mediante la conversión de la energía mecánica en energía de flujo que aumenta la presión y energía cinética del fluido, impulsándolo a fluir. (Atlas Copco , 1998)

En la actualidad existen una gran variedad de compresores, los cuales realizan la misma función solo que emplean distintos principios de funcionamiento, debido a esto, lo compresores se pueden clasificar de la siguiente manera. Ver en figura 1

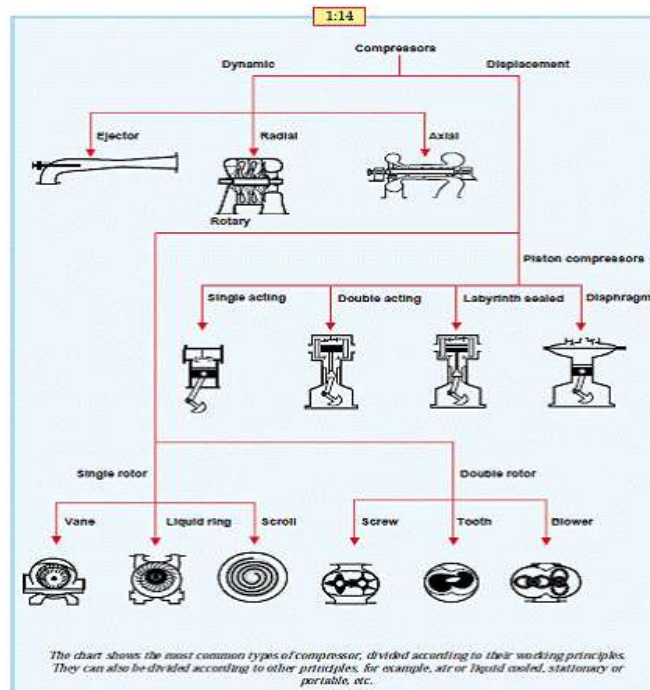


Figura 1: Clasificación de los compresores
 Fuente: (Atlas Copco , 1998)
 Consulta: 5 de octubre de 2018

2.1.4. Clasificación de los compresores

2.1.4.1. Compresores de flujo intermitente

También son conocidos como compresores de desplazamiento positivo. Son máquinas cuya principal característica de operación consiste en atrapar cantidades consecutivas de aire u otro gas en cámaras que reducen el volumen y por consecuencia aumentan la presión. Los compresores de flujo intermitente a su vez se dividen en reciprocantes y rotativos.

2.1.4.1.1. Reciprocantes

Están compuestos básicamente por un émbolo que se desplaza con movimiento recíproco en dirección axial, dentro de un cilindro o varios para comprimir el gas y desplazarlo hasta el punto de uso o almacenaje. Este tipo de compresores son los más utilizados en equipos de refrigeración, aunque también se utilizan rotativos y centrífugos. (Cunalata, 2010)

2.1.4.1.2. Rotativos

Son máquinas en las que la compresión y el desplazamiento son realizados por el movimiento de diversos elementos que están en rotación. La rotación reduce el volumen de la célula y aumenta la presión del aire. Se clasifican mediante su componente principal rotativo.

2.1.4.2. Compresor de paletas deslizantes

Es una máquina rotativa compuesta de una carcasa cilíndrica y un rotor excéntrico que hace deslizarse a las paletas radialmente lo que permite que el gas fluya hacia la cámara interior para ser comprimido y desplazado. Durante la rotación, la fuerza centrífuga extrae las paletas de las ranuras para formar células individuales de compresión. El calor que genera

la compresión se controla mediante la inyección de aceite a presión. Fue inventado por Charles C. Barnes quien lo patentó el 16 de junio de 1874. Ver figura 2 (Balcarce, 2010)

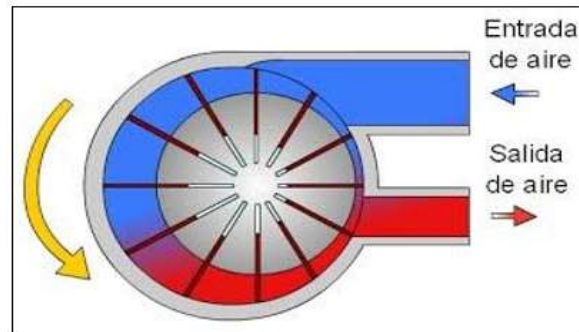


Figura 2: Compresor de paletas deslizantes
Fuente: (Balcarce, 2010)
Consulta: 5 de octubre de 2018.

2.1.4.3. Compresor de pistón líquido

También, es conocido como de anillo líquido, utiliza un rotor con paletas curvadas que actúan sobre un anillo de fluido atrapado en el interior de una carcasa generalmente de forma elíptica. Su principio de operación es similar al del compresor de paletas deslizantes.

El líquido de servicio, generalmente agua, casi llena el compresor de anillo líquido, que produce simultáneamente un proceso de aspiración y compresión durante cada revolución y establece la acción de un pistón sobre el aire atrapado en las cámaras que comprime y desplaza el aire. Ver figura 3

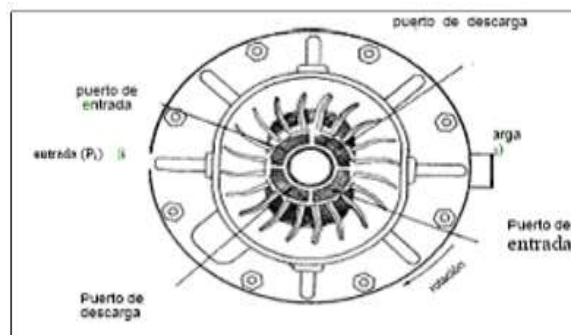


Figura 3: Compresor de pistón líquido
Fuente: (Matley, 2010)
Consulta: 5 de octubre de 2018.

2.1.4.4. *Compresor de Lóbulo recto*

Según Llorente (1985), también, llamado de doble impulsor y de émbolos rotativos, consta de una carcasa que contiene dos rotores idénticos simétricos cuya sección transversal 10 tiene forma de ocho. Los rotores empleados pueden ser bilobulares o trilobulares. También, existe una ejecución similar que utiliza unos rotores de uña. Estos están encajados en fase y rotan en sentidos opuestos. Los rotores atrapan el gas y lo trasladan desde la admisión hasta la descarga. El aumento de presión no se debe a la reducción de volumen para una cantidad fija de gas, sino al aumento en el número de moléculas de gas presentes en un volumen fijo. Este proceso es llamado contraflujo. Ver figura 4 (Llorente, 1985)

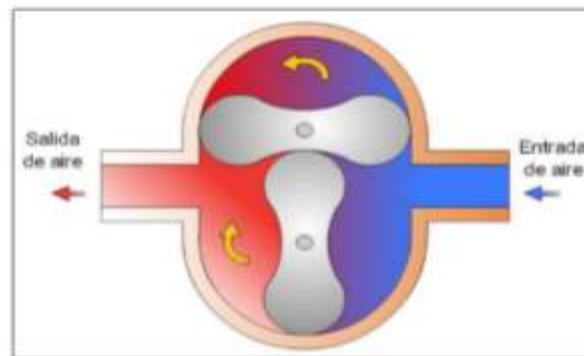


Figura 4: Compresor de lóbulos Rectos
Fuente: (Llorente, 1985)
Consulta: 5 de octubre de 2018.

2.1.4.5. *Compresor de Tornillo Rotativo*

Según Robledo (2012), también llamado de lóbulos helicoidales, es una máquina que posee dos rotores helicoidales que comprimen el gas en las cámaras que se forman entre las caras de los lóbulos encajados y la carcasa. El rotor macho o guía tiene una forma que coincide en la cavidad del rotor hembra o guiado. Estas unidades tienen compresión interna. La relación de compresión está determinada por la localización de los bordes de las entrantes, la abertura de descarga y el ángulo de enrollamiento de los lóbulos. Usualmente, el rotor

principal tiene menos lóbulos que el guiado y, por lo tanto, opera a mayor velocidad. Ver figura 5

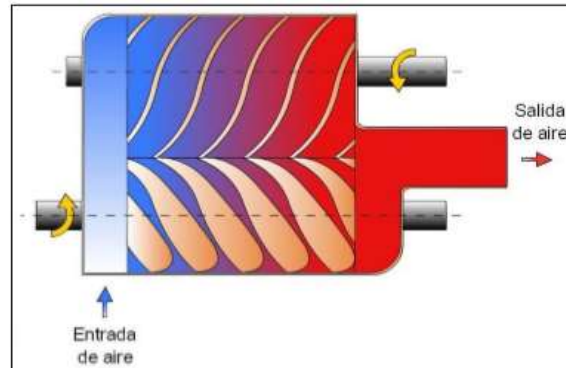


Figura 5: Compresor de tornillos Rotativos
Fuente: (Robledo, 2012)
Consulta: 5 de octubre de 2018.

En este caso se va analizar al compresor de tornillo, el cual tiene algunas variantes, cada una para condiciones de trabajo distintas.

2.1.4.6. *Compresor de doble tornillo*

Está compuesto por dos rotores de perfiles conjugados: uno de ellos se denomina macho y posee lóbulos (perfil convexo), mientras que el otro se llama hembra y posee alvéolos (perfil cóncavo). En general, el rotor macho posee 4 lóbulos y el rotor hembra consta de 6 alveolos; sin embargo, existen relaciones de $3/5$ y $5/7$. Su disposición Ver figura 6



Figura 6: Disposición de doble tornillos Rotativos
Fuente: (Sanchez, 2015)
Consulta: 5 de octubre de 2018.

2.1.4.6.1. *Principio de funcionamiento de compresor de doble tornillos*

Según Torella (1996), el principio de funcionamiento se explica mediante la distinción de las siguientes fases de trabajo: Ver figura 7.

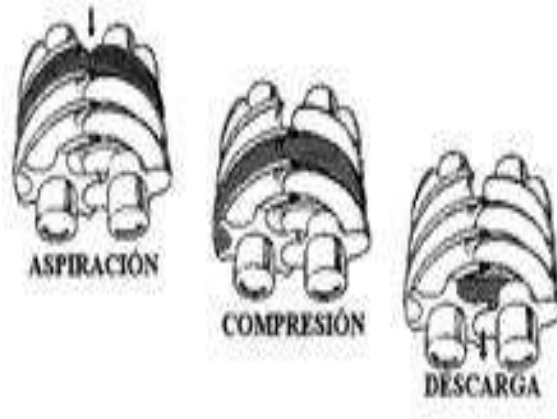


Figura 7: Fases de trabajo
Fuente: (Torella, 1996)
Consulta: 5 de octubre de 2018.

- **Aspiración.** - El fluido penetra a través de la entrada de aspiración y llena el espacio creado entre los lóbulos, los alveolos y la carcasa. El espacio aumenta progresivamente en longitud durante la rotación a medida que el engrane de los rotores se aproxima hacia el lado de descarga. Esta fase acaba una vez el fluido ha ocupado toda la longitud del rotor.
- **Compresión.** - El fluido disminuye su volumen debido al engrane final de los rotores y en consecuencia aumenta su presión.
- **Descarga.** - El fluido es descargado continuamente hasta que el espacio entre los lóbulos de los rotores desaparece.

Debido a la geometría de los rotors el flujo es axial y circunferencial. El punto en el que el fluido alcanza la lumbrera de salida determina la relación de presiones del equipo.

Por otro lado los compresores de doble tornillo se subdividen en dos grupos:

2.1.4.6.2. *Compresores sin flujo de aceite a través de la máquina.*

Presenta las siguientes características:

- En este caso se tiene un juego entre los rotores que en ninguno momento entran en contacto. La sincronización de giro se logra mediante engranajes exteriores.
- En los compresores de tornillo libres de aceite el perfil utilizado para los rotores es simétrico.
- Debido a que estos compresores no operan con aceite presentan limitaciones en su funcionamiento impuestos por la temperatura y la diferencia de presión
- La acción de estos compresores operando a altas velocidades genera altos niveles de ruido. Por lo tanto, siempre deben contar con silenciadores.

2.1.4.6.3. *Compresores con flujo de aceite a través de la máquina.*

Según Fernández (2007), Se descartan los engranajes sincronizadores y se transmite el movimiento por contacto directo de los rotores lubricados. El uso de aceite cambia las características del compresor de tornillo:

- Incrementa la capacidad de relación de presiones
- No hay necesidad de una chaqueta de diseño alrededor de la carcasa.
- Reduce los niveles de ruido y por ende, se descartan el uso de silenciadores.
- Se utiliza un filtrador de aceite a la salida del compresor.

El perfil de los rotores puede ser asimétrico y simétrico. El perfil asimétrico mejora el rendimiento del compresor. Ver figura 8.

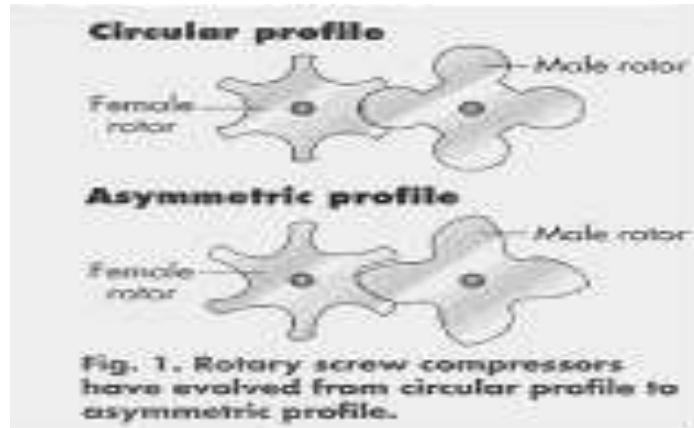


Figura 8: Perfil de los rotores
 Fuente: (Torella, 1996)
 Consulta: 5 de octubre de 2018.

2.1.4.6.4. Partes de un compresor de doble tornillo.

Visualizar cómo funciona un compresor de tornillo con doble rotor es un poco más difícil que visualizar un compresor recíprocante. Las ranuras helicoidales de los rotores y las formas poco habituales de los puertos complican el panorama. (Robledo, 2012)

El compresor de tornillo o helicoidal, está conformado por las siguientes partes. Ver figura

9

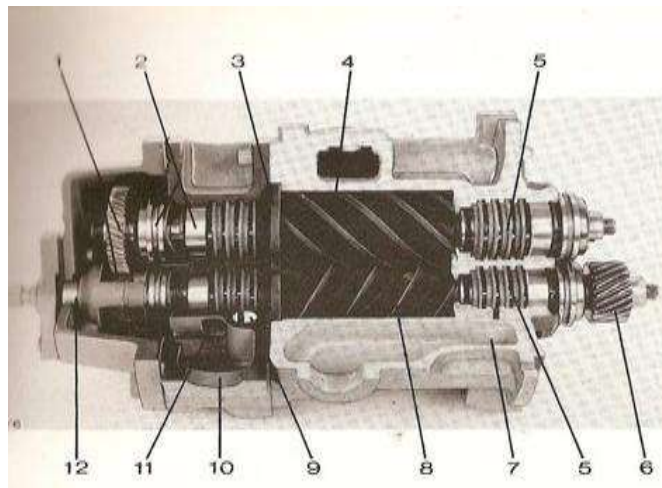


Figura 9: Partes de un compresor
 Fuente: (Robledo, 2012)
 Consulta: 5 de octubre de 2018.

1.-Engranaje de sincronización

2.-Rodamiento del rotor

3.-Separador

4.-Rotor hembra

5.-Empaquetaduras

6.-Piñón

7.-Chaqueta refrigeradora

8.-Rotor macho

9.-Agujero de ventilación

10.-Puerto de salida de aceite

11.-Agujero de drenaje

12.-Pistón de equilibrio

- **Engranaje de sincronización:** Los dos tornillos no se encuentran en contacto, por ello es necesario este engranaje para que ambos giren en el sentido correspondiente.
- **Rodamiento del rotor:** Permite el movimiento del eje del rotor.
- **Separador:** Mantiene separados la zona de compresión (lugar donde se encuentran los tornillos) y la zona de transmisión (lugar donde se encuentran los rodamientos, engranajes de sincronización, etc.)
- **Rotor hembra:** Es el que se encuentra formado por alvéolos (cavidades).

- **Empaquetaduras:** No permite que el aceite salga de la zona de compresión.
- **Piñón:** Transmite el movimiento al sistema.
- **Chaqueta refrigeradora:** Mantiene la temperatura del sistema constante, ya que esta aumenta cuando el equipo se encuentra trabajando.
- **Rotor macho:** Es el que se encuentra formado por lóbulos.
- **Agujero de ventilación:** Permite regular, conjuntamente con la chaqueta refrigeradora, la temperatura del equipo.
- **Puerto de salida de aceite:** Permite la salida de aceite al exterior del equipo.
- **Agujero de drenaje:** Permite la salida del aceite de la cámara de compresión.
- **Pistón de equilibrio:** Mantiene a los dos ejes a la misma distancia.

2.1.4.7. *Compresor monotornillo*

Consta de un rotor helicoidal y dos satélites opuestos, con ejes de rotación paralelos y situados en un plano perpendicular al eje del tornillo. Un motor hace girar el tornillo y consecuentemente girar a los satélites, siendo el engrane de estos los que proporcionan la necesaria reducción de volumen y por consiguiente el aumento de presión.

2.1.4.7.1. *Compresor monotornillo portadores de energía*

Según Llorente (1985), el compresor de tornillo es principalmente usado para proveer aire comprimido en la industria de construcción; alimenticia; farmacéutica; metalúrgica y en transporte neumático.

También son ampliamente utilizados para la compresión de refrigerantes para sistemas de aire acondicionado y de hidrocarburos en la industria química. Ver figura 10.

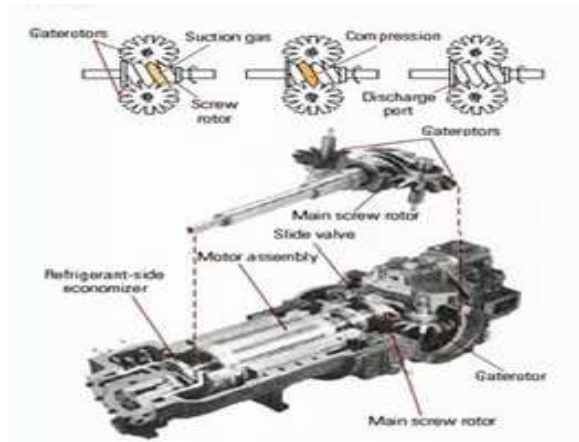


Figura 10: Fases de trabajo: Aspiración, compresión y descarga
 Fuente: (Llorente, 1985)
 Consulta: 5 de octubre de 2018.

2.2. Procedimientos – Metodología

2.2.1. Diseño

De lo investigado en el ámbito industrial lo más relevante en el mejoramiento de sistemas eléctricos y mecánicos del compresor Ingersoll-Rand, hace que el flujo de aire comprimido sea constante y por ende los equipos neumáticos funcionen correctamente evitando pérdidas, gastos en los reprocesos disminuyendo proporcional y progresivamente, además de que el resultado de procesos de la maquina aumente con mayor precisión y se obtengan un producto de mayor calidad.

2.2.1.1. Aspectos generales

Para el desarrollo del proyecto se investigó el ambiente natural en el cual conviven tanto personal operativo como de mantenimiento de la empresa Acero de los Andes de los cuales se obtendrán los datos más relevantes a ser analizados de esa manera poder dar una solución óptima y eficaz a la ausencia de flujo constante la cual nos permitirá el funcionamiento correcto de los equipos, para poner en marcha la investigación de campo que proporciona la información más exacta, un alto grado de confiabilidad y por

consecuencia un bajo margen de error, a continuación se enumera información importante a tener en cuenta en el mantenimiento correctivo del compresor Ingersoll-Rand para desarrollar con éxitos los objetivos planteados:

- Aspectos generales.
- Características del compresor.
- Especificaciones técnicas utilizadas.
- Diagramas eléctricos, neumáticos e hidráulicos.
- Diagnóstico del sistema eléctrico.
- Diagnóstico del sistema mecánico.

2.2.1.2. Características del compresor

- Marca: Ingersoll-Rand
- Modelo: SSR 650LAH3
- Serie: 293650818J
- Capacidad de generación: 650 cfm metros pies /segundos
- Capacidad de presurización: 100psig
- Capacidad de descarga: 103psig
- Motor eléctrico: 154HP
- Voltaje motor 460V
- Fases 3
- Voltaje de alimentación del sistema de control 115VAC

2.2.1.3. Especificaciones técnicas.

Según lo investigado se determinó que dentro de este parámetro se desarrollaba inspecciones periódicas sobre las vibraciones existentes en el sistema de transmisión entre el motor y la unidad, encontrando daños en los sistemas mecánicos de transmisión como son: los desgastes punta de eje y rotura de dientes de los piñones tanto en el motor como en la unidad, para este procedimiento de mediciones se utilizaba un Analizador de vibraciones FLUKE 810.

Otro instrumento que utilizaba era Medidor de temperatura laser DEWAL, este instrumento permitía monitorear la temperatura del lubricante y la temperatura de los rodamientos en el motor eléctrico y en todo el sistema mecánico.

2.2.1.4. Diagramas eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

Los diagramas eléctricos neumáticos e hidráulicos se localizaron en el manual de la máquina, esto permitirá realizar la conexión de las mangueras hidráulicas, tuberías neumáticas y la conexión del sistema eléctrico. Ver figura 11.

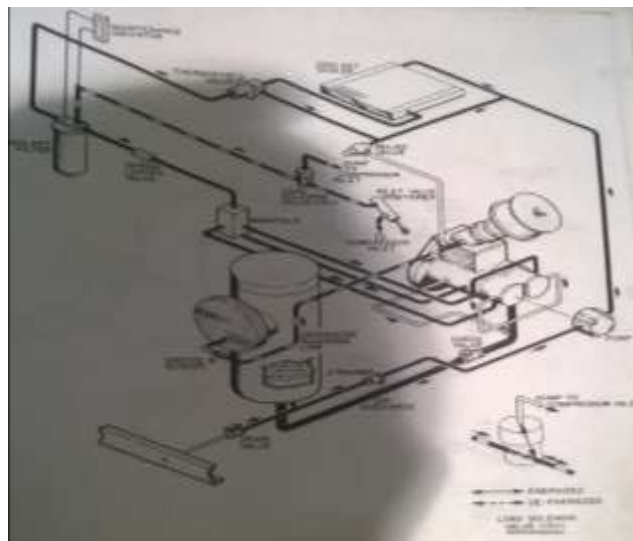


Figura 11: Diagrama del circuito hidráulico
Fuente: (Ingersoll Rand, 1992)
Consulta: 5 de octubre de 2018

2.2.1.5. *Diagnóstico del motor eléctrico.*

En la industria Acero de los Andes cuenta con maquinaria de generaciones pasadas que permite realizar trabajos de elaboración de equipos pesados para el sector petrolero. La deshabilitación de este equipo se debe a que los componentes del motor eléctricos (Véase Figura 12) ya cumplieron con su ciclo de vida útil y presenta ciertas dificultades el momento de transmitir el movimiento a la unidad de generación.

La ausencia del compresor Ingersoll-Rand presenta serie de reprocesos y riesgos industriales, debido a varios factores como son:

- Funcionamiento inadecuado de los equipos neumáticos.
- Variación de flujo constante en las cabinas de granallado.
- Deficiencia en los equipos de pintura

El diagnóstico que presenta el motor y todos los componentes del sistema eléctrico son causantes de fallas en su funcionamiento, entre estos factores se determinaron las siguientes:

- El principal factor de deterioro es, el tiempo de vida útil de cada uno de los elementos que está compuesto el sistema eléctrico y el sistema mecánico.
- Falta de mantenimiento preventivo debido a que es una máquina de constante funcionamiento, que necesitan revisiones periódicas, el objetivo es desarrollar un plan de mantenimiento y sus periodos de ejecución.
- El sistema de arranque directo provoca sobre intensidades y sobretensiones en el bobinado del estator y en la fricción en la jaula de ardilla

2.2.1.5.1. *Motor eléctrico de 156 HP*

- Falta de un mantenimiento preventivo
- Falta de protección contra el ambiente, con presencia de oxidación y polvo.
- Remordimiento de rodamientos del eje del rotor. Ver figura 12.



Figura 12: Motor eléctrico.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.1.5.2. *Estator o bobinas de campo.*

- Falta de mantenimiento e incremento de conexiones inadecuadas.
- Humedad en el interior de sus bobinas.



- Sulfatamiento en las conexiones de las bobinas y terminales de salida. Ver figura 13.

*Figura 13: Estator del motor eléctrico.
Elaboración: Fuente propia (2018)*

2.2.1.5.3. *Rotor jaula de ardilla.*

- Falta de mantenimiento en alineación y balanceo.
- Punta de eje de transmisión deteriorado y desgastado.
- Chavetero punta de eje en mal estado. Ver figura 14.



Figura 14: Rotor jaula de ardilla.
Elaboración: Fuente propia. (2018)

2.2.1.5.4. *Presostato de control.*

- Falta de mantenimiento y ajustes inadecuado en los terminales
- Falta de protección contra los factores naturales. Ver figura 15.



Figura 15: Presostato de control
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.1.5.5. *Contactos con sulfatamiento en los contactores:*

- Desgaste de contactos fijos y móviles.
- Falta de mantenimiento en el sistema eléctrico.
- Ajuste inadecuado de terminales
- Falta de protección del medio ambiente
- Selección inadecuada del contactor (capacidad inferior). Ver figura 16



Figura 16: Terminales sulfatados.
Elaboración: Fuente propia. (2018)

2.2.1.6. Diagnóstico mecánico en la unidad de aire del compresor

2.2.1.6.1. Unidad generadora de aire.

- Falta de protección en el ingreso de lubricante.
- Fugas de aceite
- Empaques recalentados
- Piñón del eje de transmisión en mal estado.
- Trabamiento de rotores
- Rodamientos autoalineables de cobre atascados. Ver figura 17.



Figura 17: Unidad generación de aire comprimido.
Elaboración: Fuente propia. (2018)

2.2.1.6.2. *Carcasa de la unidad.*

- Rotura en la entrada de la cámara de aspiración de aire.
- Aislamiento de los hilos de la rosca en la perforación de sujeción.
- Desgaste y ralladuras en la cámara de compresión. Ver figura 18.
- Guías de lubricación obstruidas o taponadas.



Figura 18: Carcasa de la unidad.
Elaboración: Fuente propia. (2018)

2.2.1.6.3. *Rotores helicoidales extraídos de la unidad:*

- Desgaste y ralladuras en los rotores helicoidales. Ver figura 19.
- Torcedura en las puntas de ejes.

- Desgaste de las puntas de alojamientos interno de los rodamientos



Figura 19: Rotores helicoidales.
Elaboración: Fuente propia. (2018)

2.2.1.6.4. *Tapas laterales y alojamientos de los rodamientos:*

- Rotura del alojamiento externo de los rodamientos.
- Rodamientos autoalineables atascados.
- Hilos de las tuercas de sujeción y centrado aislados.
- Guías de lubricación de rodamientos obstruidos o taponados. Ver figura 20.



Figura 20: Tapas laterales y Alojamiento de los rodamientos.
Elaboración: Fuente propia. (2018)

2.2.1.6.5. *Filtro separador:*

- Malla de protección obstruido.
- Felpa interna desgastada y obstruida

- Sello y empaques en mal estado. Ver figura 21.



Figura 21: Filtro Separador.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.1.6.6. *Bomba hidráulica*

- Fugas de aceite por las tapas laterales.
- Desgaste en los sellos. Ver figura 22.
- Ausencia de presión.



Figura 22: Bomba de piñones.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.1.6.7. *Empaquetadura y sellos*

- Fugas en el sistema de transmisión del motor y la unidad de generación.
- Desgaste en el sistema de sellado. Ver figura 23.

- Material de empaque de mala calidad y espesor inadecuado.



Figura 23: Brida y sello de la tapa del motor.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.1.6.8. *Engranajes de sincronización:*

- Falta de lubricación en la cámara de transmisión.
- Material para la construcción de piñones inadecuado.
- Desgaste en los engranajes de los piñones. Ver figura 24.
- Ajuste inadecuado del diámetro interno del piñón con relación al eje.



Figura 24: Engranajes del motor y unidad.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.1.6.9. *Válvula de aspiración:*

- Regulación de la válvula para el accionamiento del cilindro principal.
- Empaque y sello en malas condiciones.
- Filtros de aire obstruidos.

- Desgaste en los bocines del eje para la sujeción de la aleta. Ver figura 25.



Figura 25: Válvula de aspiración.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.1.6.10. *Lubricación*

Según normas del fabricante:

- Mantener el aceite en el nivel del visor estipulado por el fabricante.
- Utilizar el lubricante recomendado en el manual de mantenimiento
- Realizar revisiones rutinarias del sistema hidráulico
- Realizar el mantenimiento de acuerdo al número de horas en uso estipulado en el manual del usuario.

2.2.2. *Construcción.*

2.2.2.1. *Descripción generales*

Para el desarrollo de este proyecto se realizó una serie de procedimientos los cuales permitirá cumplir con los objetivos planteados, y se describirá a continuación, el proceso a desarrollarse es desde la recolección de datos hasta la prueba de funcionamiento y puesta en marcha del compresor Ingersoll-Rand de 650 CFM para la empresa Acero de los Andes.

2.2.2.2. *Recolección de datos*

La recolección de datos representa la parte primordial e importante de este proceso, ya que permite la recolección de manuales existentes, datos importantes del equipo, además se debe buscar información sobre la venta de repuestos y proveedores de acuerdo a la marca del equipo.

Para la recolección de datos se realizó la búsqueda de manuales del compresor en los archivos existentes en el departamento de mantenimiento, además la información que se pudo obtener del personal que realizaba el mantenimiento obteniendo resultados favorables.

2.2.2.3. *Verificación de piezas, accesorios y componentes del compresor*

Una vez obtenidos los resultados de la recolección de datos, se procede a verificar las piezas que componen los sistemas del compresor de acuerdo al manual proporcionado en el paso anterior, para realizar la inspección necesaria y se determina el faltante o el estado de las mismas.

2.2.2.4. *Listado de repuestos mecánicos para la unidad de aire*

En este procedimiento se realiza un listado de repuestos, en este caso se requiere de:

1. Rodamientos autoalineables
2. Construcción de piñones
3. Kit de empaques para el sellado

2.2.2.5. *Desmontaje y desacoplamiento de la unidad de aire y motor*

En este proceso será útil seguir ciertos procedimientos, ya que se inicia a realizar el desacoplamiento del motor eléctrico de 156 HP de la unidad de aire y desmontaje del compresor para su reparación.

Se inicia desconectando el sistema eléctrico, las mangueras hidráulicas y neumáticas las que aún se encuentran instaladas en el sistema, luego que todo el sistema se encuentre desconectado se procede a sacar los pernos de 12mm que anclan el motor y la unidad a la estructura del compresor y finalmente se realiza el desmontaje con la ayuda de un tecele mecánico. Ver figura 26.



Figura 26: Compresor antes del desmontaje.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.6. *Descripción del sistema eléctrico*

2.2.2.6.1. *Desarmado del motor eléctrico.*

Cuando se tiene el motor desmontado se realiza una inspección visual, donde se encuentra con el piñón y el eje en malas condiciones para lo cual se procede a extraer el piñón de transmisión en mal estado mediante un extractor, se realiza unas guías en las tapas laterales y

la carcasa y se procede a aflojar los pernos que sujetan las mismas, una vez sacado estos pernos se procede a retirar las tapas laterales y desmontar la jaula del estator. Ver figura 27.



Figura 27: Desarmado del motor.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.6.2. *Desmontaje del eje de la jaula de ardilla*

Una vez que el inducido se encuentra desmontado se procede a movilizar a una prensa para extraer el eje de la jaula de ardilla, construyendo una base que se coloca en la parte inferior del inducido finalmente realizar una presión de 800 psi de forma vertical dejando libre al eje de la jaula de ardilla. Ver figura 28



Figura 28: Desmontaje del eje del inducido
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.6.3. *Construcción del nuevo eje y chaveteros*

Con el eje de la jaula en malas condiciones se procede a tomar sus respectivas medidas, para su construcción se requiere de un eje de acero 705 maquinable de dimensiones 1.50m x 6", el mecanizado de este eje se lo realiza en un torno horizontal CNC, para el mecanizado de sus chaveteros es necesario movilizarlo a un taller de fresado. Ver figura 29.



Figura 29: Fabricación del eje para el inducido
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.6.4. *Montaje del eje en la jaula de ardilla*

Antes de realizar este procedimiento se realiza una comprobación de medidas del eje nuevo con relación al eje deteriorado, con todas las medidas correctas movilizamos al eje y la jaula a la prensa hidráulica para lo cual se coloca un soporte en la base de la jaula y el eje en la parte superior de forma vertical y procede a aplicar una presión de 800 psi hasta alcanzar una presión de 1200psi. Ver figura 30.



Figura 30: Montaje del eje en la jaula de ardilla.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.6.5. *Realizar el balanceo del rotor*

Una vez que el eje se encuentra armado en la jaula se procede a realizar el respectivo balanceo, el cual consiste en hacer girar la jaula sujetando de los extremos del eje y colocando pequeñas pesas en los extremos del inducido, esto evitara vibraciones, consumos excesivos de corrientes y descentramiento en el acoplamiento entre los piñones de trasmisión. Ver figura 31.



Figura 31: Balanceo del Inducido jaula de ardilla.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.6.6. *Armado de rodamientos en el rotor*

Cuando se tenga el inducido jaula de ardilla en óptimas condiciones se procederá a realizar el acoplamiento de los rodamientos en sus respectivas puntas del eje esto se realiza con la ayuda de un eje de bronce y un combo de 5 libras, la cual permite introducir los rodamientos en el eje sin causar daños en el momento de insertar los golpes. Ver figura 32.



Figura 32: Montaje de rodamientos.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.6.7. *Limpieza y barnizado de las bobinas de campo*

Antes del montaje del rotor es importante realizar un mantenimiento general de las bobinas de campo, para lo cual se realiza una limpieza general con combustible (gasolina) y aire comprimido, una vez que se encuentre totalmente limpio se sujeta las bobinas y finalmente se coloca el barniz con una brocha o un soplete se introduce en un horno para su respectivo secado. Ver figura 33.



Figura 33: Limpieza y barnizado del estator.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.6.8. *Armado general del motor*

Para realizar este procedimiento se debe tener en cuenta que el barniz que se aplicó en el bobinado se encuentre totalmente seco, los rodamientos estén completamente introducidos en el eje del inducido una vez verificado se procede a colocar la punta del eje del rodamiento en el alojamiento de la tapa lateral izquierda o derecha a continuación se realiza el montaje del inducido jaula de ardilla en las bobinas de campo, se coloca la tapa en el otro extremo y finalmente se centra con las guías señaladas inicialmente y se coloca los perno de sujeción. Ver figura 34.



Figura 34: Montaje del rotor en el estator
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.6.9. *Reajuste general y torque*

Después de realizar un ajuste en forma de cruz para lograr un centramiento de forma adecuada se procede a realizar un reajuste con una herramienta denominada tacómetro la cual nos permitirá dar el ajuste de acuerdo a la denominación del perno. Ver figura 35.



Figura 35: Ajuste manual y torque del Motor eléctrico.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.6.10. *Pruebas de funcionamiento del motor eléctrico*

Al finalizar con el ensamblaje del motor eléctrico se procede a realizar las pruebas de funcionamiento en vacío. Ver figura 36.



Figura 36: Manipulación del Motor eléctrico de 150 Hp
Elaboración: Fuente propia (2018)

Para lo cual se realiza la conexión en triangulo las salidas de las bobinas del motor, esta se conecta a los terminales de un contactor y es alimentado con una tensión de 440V y es controlado desde un tablero de distribución, se procede a dar el primer arranque al motor y se realiza las mediciones de tensiones y corrientes por cada fase obteniendo los siguientes resultados. Ver figura 37.



Figura 37: Prueba de funcionamiento en vacío
Elaboración: Fuente propia (2018)

Terminales del bobinado	Tensión en arranque	Tensión de trabajo en vacío	Corrientes de arranque	Corrientes de trabajo en vacío
U - Z			250 A	65.1 A
V - X			252 A	66.3 A
W - Y			258 A	66.5 A
R - S	455.4 V	456.3 V		
S - T	454.5 V	454.8 V		
T - R	454.5 V	455.1 V		

Tabla 1: Valores de tensión y corriente del motor eléctrico
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.7. Descripción del sistema mecánico

2.2.2.7.1. Desmontaje y desarmado de la unidad

Para iniciar con el mantenimiento correctivo de la parte mecánica, se inicia con el desmontaje de la unidad, para realizar este procedimiento se desconecta las mangueras del sistema hidráulico, posteriormente se extrae la bomba hidráulica, se extrae los pernos de sujeción, con la ayuda de un tecele mecánico se procede al desmontaje, posteriormente cuando ya se encuentre libre se procede al desarmado general de la unidad. Ver figura 38.



Figura 38: Desmontaje de la Unidad.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.7.2. Desmontaje de las tapas laterales

Es necesario realizar unas guías en las carcasas y en las tapas, esto permitirá armar de forma adecuada cuando se lo requiera, el siguiente paso es aflojar y extraer los pernos $\frac{3}{4}$ " y mediante un extractor realizando presión en el eje se desacopla la tapa lateral. Ver figura 39.



Figura 39: Rectificado de tapas laterales y Alojamiento del rodamiento.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.7.3. *Desmontaje de rodamientos atascados*

Para extraer los rodamientos sin causar mayores daños en los alojamientos de los mismos, se debe seguir ciertos pasos.

1. Calentar en forma simultánea en la parte posterior de los bocines a una temperatura de 150 grados centígrados.
2. Colocar un extractor que permite roscar la tuerca y hacer presión sobre los rodamientos hacia su exterior.

Ver figura



40.

Figura 40: Extracción de rodamientos
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.7.4. *Corrección de desgaste de los perfiles convexos y cóncavos*

La corrección de los perfiles de los rotores se realiza bajo un procedimiento.

- Verificación de torcedura de las puntas del eje de los rotores macho y hembra en un torno horizontal.
- Con un pegamento metálico de dos componentes rellenamos los sectores que se encuentran rayados y desgastados de los perfiles cóncavos y convexos después de rellenarlo se le ingresa a un horno para su secado durante 24 horas, posteriormente se rectifica con un disco de lija finalmente se pule manualmente con lija fina hasta obtener los perfiles de una forma uniforme. Ver figura 41.



Figura 41: Corrección de perfiles convexos y cóncavos.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.7.5. *Comprobación de los tornillos macho y hembra*

Esta comprobación se realizó en un taller de mecanizado, colocando en un torno horizontal y sujetando su eje entre puntos colocando el reloj palpador sobre el porta cuchillas y haciendo girar a 30 rpm, después de realizar las comprobaciones en los dos tornillos se encontró que la punta del tonillo hembra se encuentra torcido. Ver figura 42.



*Figura 42: Comprobación de tornillos.
Elaboración: Fuente propia (2018)*

2.2.2.7.6. Corrección de las torcedoras de las puntas del perfil cóncavos

La corrección de la punta torcida del rotor hembra se realizó de la siguiente manera, rellenando con una suelda especial denominado 8018 y con un torno horizontal se realizó su respectivo maquinado permitiendo de esta manera corregir la torcedura. Ver figura 43.



*Figura 43: Rellenado y maquinado del eje del perfil cóncavo.
Elaboración: Fuente propia (2018)*

2.2.2.7.7. Corrección de rayaduras en la cilindros internos.

Para corregir las rayaduras internas de la chaqueta inicialmente se realiza una limpieza general con combustible (gasolina), posteriormente se hace un cepillado con un disco de grata la cual permite quitar todas las impurezas, una vez que se encuentre totalmente limpio

procedemos a rellenar las rayaduras con la pega metálica, para posteriormente secarle en un horno a una temperatura de 120 grados centígrados durante 24 horas y finalmente realizar el proceso del rectificado. Ver figura 44.



Figura 44: Corrección de desgastes en cilindros.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.7.8. Armado general de la unidad de aire

Una vez rectificado los rotores, las tapas laterales y la carcasa de la unidad se procede a realizar el armado general para lo cual se ubica sobre tacos de madera los dos rotores en forma paralela, y se coloca el respectivo empaque en la tapa principal, una vez realizado esto se hace el montaje respectivo de la tapa en los tornillos seguido se arma los rodamientos autoalineables en las puntas de los rotores, se sujeta la carcasa sobre una estructura y con la ayuda de un montacargas se manipula los rotores y se procede al montaje respectivo finalmente se procede al armado de la segunda etapa, la colocación de pernos y el ajuste general se realiza con un tacómetro, la cual nos permite dar el ajuste adecuado según las especificaciones del perno. Ver figura 45.



Figura 45: Armado General de la Unidad de Aire
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.2.7.9. *Empaquetadura de la unidad y sistema de generación*

Este proceso consiste en construir los empaques del sistema mecánico.

Para esto se necesita sacar moldes de la unidad de aire, del sistema de acoplamiento y una parte del sistema hidráulico, una vez desarmado los sistemas se aprovecha para tomar los moldes en la cartulina, una vez con los moldes se necesita 5 metros de empaque tipo asbesto, sobre la cual se fabrica los empaques nuevos. Ver figura 46.



Figura 46: Empaques de Asbesto
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.3. Implementación.

2.2.3.1. Descripción del Montaje del sistema eléctrico y mecánico

Las siguientes descripciones que se desarrolla a continuación para realizar el montaje de cada equipo, ayudara a tener mejor claridad del proceso que se encuentra planteando.

2.2.3.2. Montaje de la unidad generador de aire.

Con el servicio de un montacargas se traslada la unidad hasta la zona de generación y con la ayuda de un tecele mecánico se manipula hasta colocar sobre la estructura anclando a los dos soportes con pernos de 12 mm, esta máquina posee dos rotores helicoidales realiza la función de comprimir el gas en las cámaras que se forman entre las caras de los lóbulos encajados y la carcasa. El rotor macho o guía tiene una forma que coincide en la cavidad del rotor hembra o guiado. Estas unidades tienen compresión interna. La relación de compresión está determinada por la localización de los bordes de las entrantes, la abertura de descarga y el ángulo de enrollamiento de los lóbulos. Usualmente, el rotor principal tiene menos lóbulos que el guiado y, por lo tanto, opera a mayor velocidad. Ver figura 47.



Figura 47: Montaje de la unidad de aire.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.3.3. *Montaje del Motor eléctrico*

De igual manera con la ayuda del montacargas se moviliza el motor eléctrico desde el taller de la empresa hasta la zona de generación, con la ayuda de coche hidráulico se manipula hasta el lugar indicado se procede a izar con el tecele mecánico de forma manual hasta ubicarse cerca de la unidad, seguida se coloca el empaque respectivo con una capa de silicón de temperatura posteriormente se realiza el acoplamiento y centrado en la unidad de aire que ya se encuentra instalada. Ver figura 48.



Figura 48: Montaje y Acoplamiento del motor y la unidad.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.3.4. *Instalación de accesorios*

Este procedimiento se realiza una vez que el motor y la unidad ya se encuentran acoplados, sujetos y ajustados, para lo cual se hace la instalación de la válvula de aspiración que va instalada sobre la unidad, su objetivo es regular el ingreso del aire a los tornillos. A continuación, se instala el filtro separador, el sistema hidráulico iniciando desde la bomba de paletas y la manguera metálica flexible. Ver figura 49.



Figura 49: Montaje de la Válvula, Filtro separador.
Elaboración: Fuente propia (2018)

2.2.3.5. Colocación del lubricante en el tanque separador

La función del lubricante es circular por el sistema permitiendo una mezcla de aire y una película de aceite para el generando el aire comprimido, este lubricante es ubicado el tanque separador hasta un visor que nos indica el nivel del lubricante. Ver figura 50.

El lubricante colocado se denomina aceite hidráulico amarillo ISO 68 la cantidad colocada es de 40 galones que circulara por todo el sistema en exclusivo por el radiador permitiendo un enfriamiento adecuado al sistema.



Figura 50: Colocación del lubricante iso 68
Fuente: elaboración propia (2018)

2.2.3.6. *Circuito de potencia y Conexiones eléctricas del motor*

Concluido el montaje del motor, la unidad, el sistema hidráulico y neumático se realiza el sistema eléctrico de potencia que consiste en el circuito de arranque estrella - triángulo el cual nos permite dar un arranque con un torque elevado después de 30 segundos pasa a trabajar el bobinado del motor en triángulo permitiendo menor consumo de corriente.

Mientras que en el circuito de control del arranque estrella – triángulo se realiza mediante un taimer que se encuentra instalado en una tarjeta electrónica y esta a su vez en un módulo de control del compresor que nos permite monitorear el circuito del compresor; Finalmente se realiza las conexiones del motor al tablero de control. Ver figura 51.



Figura 51: Circuitos de Potencia
Fuente: elaboración propia (2018)

2.2.3.7. *Presentación y pintura de la estructura*

Para desarrollar este paso lo primero se realiza una limpieza general con desengrasante y con la lija N°140 se procede a retirar la pintura en mal estado, posteriormente se procede a aplicar un fondo, y se cubre una capa con pintura esmalte de color verde. Ver figura 52



Figura 52: Pintado de la estructura
Fuente: elaboración propia (2018)

2.2.3.8. Pruebas de funcionamiento y puesta en marcha del compresor

Para desarrollar esta última fase del proyecto es necesario realizar una verificación final que consiste en inspección visual y un reajuste general del sistema eléctrico y mecánico.

Una vez concluido con la verificación e inspección se procede a realizar las pruebas de funcionamiento para lo cual se da el primer arranque del Compresor Ingersoll-Rand durante un periodo de 5 a 10 minutos, después de este periodo de funcionamiento se realiza una nueva inspección en una forma general, y se procede a dar el segundo arranque en vacío durante las 8 horas, en este proceso se realiza la medición de tensiones y corrientes de arranque y trabajo en vacío obteniendo los resultados esperados y cumpliendo con los objetivos planteados.

Concluido con las pruebas de funcionamiento en vacío se instala la válvula check al sistema de un pulmón de 5 metros cúbicos que distribuye al circuito neumático del sistema de trabajo de la empresa de esta manera se procede a realizar la pruebas con carga.

En la actualidad la maquina se encuentra operativa permitiendo el flujo adecuado del aire comprimido para el funcionamiento de los equipos neumáticos, con lo cual se ha reducido considerablemente los reprocesos logrando mayor producción y entrega del producto a tiempo. Ver figura 53.



Figura 53: Prueba de funcionamiento
Fuente: elaboración propia (2018)

3. CONCLUSIONES

- Un buen sistema eléctrico permitirá un arranque adecuado del motor eléctrico y reducirá la fricción y los desgastes en los componentes mecánicos de transmisión.
- Al modificar el sistema mecánico del compresor se obtuvo un flujo constante del aire comprimido que permite el funcionamiento adecuado de los equipos neumáticos.
- El sistema de generación y distribución de aire comprimido se encuentra operando en condiciones aceptables, ya que no posee caídas de presión y equipos neumáticos se encuentran funcionando en condiciones estables; sin embargo hay algunas oportunidades de mejora que se pueden aprovechar para optimizar los recursos y mejorar el desempeño en general.

4. RECOMENDACIONES

- Aplicar un método de control, con formatos de registro de mantenimiento que permitirá llevar un control adecuado de los mantenimientos correctivos y preventivos realizados por los colaboradores del departamento.
- Implementar un sistema de mantenimiento programado adecuado para evitar desgastes en los sistemas, tanto mecánicos como eléctricos y darles una mayor durabilidad en la vida útil de cada uno de estos componentes.
- Realizarse inspecciones periódicas con técnicos calificados para garantizar un funcionamiento adecuado del compresor y evitar los mantenimientos correctivos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, A. (2014). empresa industrial acero de los andes. Obtenido de <http://empresaaceroandesaa.blogspot.com/?m=0>
- Atlas Copco . (1998). Fundamentos Del Aire Comprimido. Obtenido de Belgian: Airpower Marketing Training Department: <http://www.atlascopco.com.pe/pees/products/ProductAreas/compressors/index.asp>
- Balcarce, M. (2010). Instalacion de aire comprimido . Obtenido de Produccion de Aire comprimido en la Industria : <https://sites.google.com/site/642primertrabajo/>
- Cantero, E. (14 de enero de 2015). Estacion de aire comprido . Obtenido de Compresores de tornillo: <https://compresoresblog.wordpress.com/2015/01/14/como-funciona-un-compresor-de-tornillo/>
- Carnicer, E. (1990). Aire comprimido Teria y calculo de las instalaciones. Madrid: Primera edicion Paraninfo.
- Clark, H. (21 de abril de 2017). La historia de Ingersoll Rand. Obtenido de <http://www.vader.es/blog/general/ingersoll-rand-aire-comprimido>
- Coprimido, F. (1998). A koyacevic. N Stosic, I Smith. Obtenido de Belgian;Airpower Marketing Training Departament: <https://sites.google.com/site/642primertrabajo/compresores>
- Cunalata, T. (2010). Implementación de un Análisis de Mantenimiento. Obtenido de Basado en Condición de los Compresores Reciprocantes y de Tornillo : http://rraae.org.ec/Record/0005_17fd048d96b3aae6c1c591aab3a4f168
- Cusenza, P. (30 de 04 de 2018). aire comprimido. Obtenido de <https://condorgroup.com.ar/5-consejos-para-el-mantenimiento-de-los-compresores-de-aire-a-tornillo/>

- Fernandez, P. (2007). Rotary Screw Air Compressor. Ingersoll Rand. Obtenido de Screw Compressors: http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/compresores-y-ventiladores.pdf
- Ingersoll Rand. (1992). Manual del profesional del aire comprimido . Madrid España : Company Limited 16 p.
- Kovacevic, A., Stosic, N., & Smith, I. (2007). Rotary Screw Air Compressor. Ingersoll Rand. Obtenido de Screw Compressors : <http://air.ingersollrand.com/products/rotary/index.aspx>
- Llorente, V. (1985). Equipos para la industria quimica. Obtenido de Guia neumatica: <http://m.automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/NEUMATICA%20GUIA%203.pdf>
- Majumdar, S. (1998). Aire comprimido. Obtenido de Sistemas neumaticos, principios y mantenimiento: <https://es.scribd.com/document/364855770/Sistemas-Neumaticos-Principios-y-Mantenimiento-S-R-majumdar-149>
- Matley, J. (30 de junio de 2010). Equipos para la industria alimentaria. Obtenido de Sistemas mecanicos: <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/3633.htm>
- Mora, F. (2017). Manual de manejo y mantenimiento. En F. M. J, manual de manejo y mantenimiento (págs. 5-15). ingersoll rand
- Robledo, G. (16 de Marzo de 2012). todo en automatizacion, climatizacion . Obtenido de Componentes del compresor de tornillo: <https://www.acrlatinoamerica.com/201203164710/articulos/refrigeracion-comercial-e-industrial/componentes-del-compresor-de-tornillo.html>
- Sanchez, G. (15 de Agosto de 2015). Proceso y Tecnologia de maquinas. Obtenido de funcionamiento de un compresor de tornillos: <https://compresoresblog.wordpress.com/2015/01/14/como-funciona-un-compresor-de-tornillo/>
- Torella, E. (1996). Sistemas de produccion en frio. Obtenido de Estudio de sistema de refrigeracio: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5070/fichero/CAPITULO+2%252FCAP%C3%8DTULO+2.0+SPC+y+SPF.pdf>
- Thomson, A. (2014). Manual de identidad corporativa de la empresa. Acero de los Andes 40 Años, 1-10

6. ANEXOS



Figural 1: Datos del compresor Ingersoll-Rand.
Fuente: Elaboración propia (2018)



Figura 2: Compresor antes de la reparación.
Fuente: Elaboración propia (2018)

PRESUPUESTO

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Recursos Técnicos			
Construcción de mangueras hidráulicas	3 unid	45	135.00
Construcción del eje y chaveteros	1 unid	550	550.00
Construcción de piñones	2 unid	750	1500.00
Balanceo del inducido	1 vez	150	150.00
Recursos Materiales			
Eje de acero 1.50m x 6"	1 unid	250	250.00
Rodamientos	6 unid	350	2100.00
Aceite hidráulico iso 68	35 gal	25	875.00
Lija N°80- N°240	40 unid	0.60	24.00
Silicón de temperatura	5 unid	4.50	22.50
Pega metálica de dos componentes	5 unid	6.50	32.50
Fresa cónica	3 unid	14	42.00
Brocha	2 unid	3.50	7.00
Plancha de Asbesto	3 m	80	240.00
Pliegos de cartulina	5 unid	1.10	5.50
Barniz	½ galón	15	15.00
Transporte			
Compra de materiales		300	300.00
Movilización del personal	120 días	120 mens	480.00
Alimentación			
Refrigerios	80 unid	2.00	160.00
Almuerzos	80 unid	3.50	280.00
Materiales de oficina			
Papel von	2 retmas	4.50	9.00
Impresiones	400 unid	0.10	40.00
Copias	300 unid	0.5	150.00
Corrector	2 unid	3.50	7.00
Computador e internet	120 días	25 mensual	100.00
Esferos	4 unid	0.50	2.00
Otros			
Tramites y solicitudes			200
TOTAL			7676.5\$

Figura 3: Presupuesto.
Fuente: Elaboración propia (2018)



Figural 4: Sistema de transmisión (Piñones)
Fuente: Elaboración propia (2018)



Figural 5: Montaje del Sistema Mecánico y Eléctrico
Fuente: Elaboración propia (2018)



Figural 6: Armado de estructura de protección.
Fuente: Elaboración propia (2018)



Figural 7: Proyecto aplicación practica desarrollada.
Fuente: elaboración propia (2018)