



Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Escuela de Ingeniería Industrial



Propuesta de sistema de gestión de mantenimiento en la empresa IGA Ingeniería

Autores:

BOLATTI, Martín

Matrícula: 37.732.578

DEMICHELIS, Juan Pablo

Matrícula: 38.183.019

Tutor: Ing. GANGI, Sergio



AGRADECIMIENTOS

Dedicado a nuestros padres, que con su esfuerzo, amor y paciencia nos han dado todo lo necesario para llegar hasta esta instancia.

A nuestra hermanas, amigos y novias que nos apoyaron y acompañaron siempre que los necesitamos.

A la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba; que además del conocimiento brindado a través de cada asignatura nos ha dejado enseñanzas superadoras.

A nuestros compañeros, profesores y en especial al Ing. Sergio Gangi, tutor de este proyecto, que con paciencia siempre estuvieron presentes para brindarnos ayuda en el camino a lograr el título de Ingeniero Industrial.



RESUMEN

Este proyecto surge mientras uno de los autores realizaba la Práctica Profesional Supervisada (PPS) durante el año 2018 en la empresa IGA Ingeniería, dedicada a la limpieza y secado de cañerías troncales de gas natural en la Provincia de Córdoba.

En el presente trabajo se llevará a cabo un análisis de la gestión de mantenimiento de la compañía. El objetivo es aplicar distintas herramientas para obtener una perspectiva de la situación, en la cual se presentan algunos inconvenientes relacionados a la falta de registros y procedimientos definidos. La metodología a llevarse a cabo consiste en la búsqueda de datos ligados a los equipos durante los periodos 2017 y 2018 e identificar las fallas críticas, para luego proponer mejoras al plan de mantenimiento y alternativas de rediseño del sistema como medidas preventivas.

Para finalizar, se elabora un estudio de factibilidad económica con las diferentes soluciones planteadas. Una vez desarrollado el proyecto de inversión, se concluye teóricamente que la puesta en marcha de las medidas es viable y rentable, siendo una oportunidad de mejora para la gerencia de la empresa.



ABSTRACT

This project arose while one of the authors was doing the Supervised Professional Practice (PPS) during the year 2018 in the company IGA Ingeniería, dedicated to the cleaning and drying of natural gas trunk pipes in the Province of Córdoba.

In this thesis, an analysis of the company's maintenance management will be carried out. The objective is to apply different tools to obtain a perspective of the situation in which there are some problems related to the lack of records and defined procedures. The implemented methodology consists in searching for data linked to the equipment during the years 2017 and 2018 and identifying their critical failures in order to propose improvements for the maintenance plan and redesigning alternatives as preventive measures.

Finally, an economic feasibility study is prepared with the different solutions proposed. Once the investment project has been analyzed, it is theoretically concluded that the implementation of the measures is economically viable and profitable, being a great opportunity for improvement.



ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y PROPÓSITOS DEL TRABAJO	8
Introducción.....	8
Objetivos del Proyecto.....	10
Objetivos Generales.....	10
Objetivos Específicos.....	10
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	11
Historia.....	11
Ubicación.....	11
Actividades realizadas por la empresa.....	13
Clientes y competencia.....	14
Organigrama.....	15
Misión y Visión.....	16
Situación actual de la empresa.....	16
Factores a tener en cuenta para el año 2019.....	19
CAPÍTULO 3: DEFINICIONES TÉCNICAS	20
Conceptos relacionados a las tareas de limpieza y pruebas neumáticas de gasoductos.....	21
Gas natural en Argentina.....	24
Bases legales.....	26
CAPÍTULO 4: PROCESO PRODUCTIVO	29
Introducción.....	29
Forma de trabajo y división por grupos.....	29
Descripción de los servicios prestados.....	31
1. Preparación de los equipos y de la zona de trabajo.....	31
2. Limpieza del gasoducto.....	32
3. Carga de gasoducto.....	35
4. Prueba neumática de resistencia y hermeticidad.....	36
5. Secado del gasoducto.....	38
Descripción y funcionamiento de los equipos.....	38
Grupo electrógeno.....	38
Compresor de baja presión.....	40
Secadora de aire comprimido.....	42
Compresor de alta presión.....	43
CAPÍTULO 5: SISTEMA DE MANTENIMIENTO ACTUAL	46
Responsabilidades.....	46
Mantenimiento autónomo.....	47
Mantenimiento basado en la rotura.....	48
Mantenimiento preventivo.....	48
Mantenimiento basado en tiempo.....	48
Mantenimiento basado en la condición.....	49
Registro de las tareas efectuadas.....	49



Desventajas del sistema de registro actual.....	50
Inventario de herramientas y repuestos.....	50
Análisis y diagnóstico de la situación actual.....	52
Medidas a llevar a cabo.....	53
CAPÍTULO 6: MARCO TEÓRICO.....	54
Definición y objetivos del mantenimiento.....	54
Tipos de mantenimiento.....	55
Mantenimiento Preventivo (PM).....	55
Mantenimiento basado en el tiempo (TBM)	56
Mantenimiento basado en la condición (CBM)	57
Mantenimiento correctivo o de rotura.....	58
Mantenimiento de mejora.....	59
Organización del mantenimiento.....	59
Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o Fiabilidad (RCM).....	60
Objetivo.....	60
Siete conceptos clave.....	60
Fases del RCM.....	62
Diagrama de decisión.....	62
Análisis Modal de Fallos y Efectos.....	64
CAPÍTULO 7: RELEVAMIENTO DE LOS EQUIPOS.....	69
Utilización de los equipos.....	69
Registro de intervenciones de mantenimiento.....	69
Estudio de causas de fallas.....	70
Implementación del AMFE por equipos.....	71
Resultados del AMFE.....	71
Hoja de Decisión RCM.....	73
CAPÍTULO 8: PROPUESTAS DE MEJORA.....	74
1. Plan de mantenimiento de los equipos.....	74
1.1. Sustitución de prefiltros de la secadora de aire comprimido	74
Mantenimiento basado en el tiempo: sustitución cíclica.....	80
1.2. Renovación de los filtros de combustible y limpieza del tanque del grupo electrógeno.....	83
Mantenimiento basado en el tiempo: reacondicionamiento.....	84
1.3. Limpieza del radiador del grupo electrógeno.....	88
Mantenimiento basado en el tiempo: reacondicionamiento.....	88
2. Propuestas de rediseño.....	90
2.1. Análisis de vibraciones sobre los rodamientos de los ejes.....	90
Selección de elementos antivibratorios.....	91
2.2. Corrección en el sistema eléctrico de protecciones del compresor de alta presión y de su respectivo sistema de refrigeración.....	96
CAPÍTULO 9: ANÁLISIS ECONÓMICO.....	99
Análisis económico del plan de mantenimiento.....	100
Inversión inicial.....	100
Capacitaciones.....	101



Costos operativos.....	101
Reducción de paradas no programadas.....	102
Costos corrientes por pérdida de función.....	103
Flujo de fondos y análisis de rentabilidad.....	105
Análisis económico de la instalación de elementos antivibratorios en el tráiler de traslado de equipos.....	105
Inversión inicial.....	106
Reducción de costos por cambio de rodamientos.....	106
Flujo de fondos y análisis de rentabilidad.....	106
Otras consideraciones.....	108
CONCLUSIÓN FINAL.....	109
BIBLIOGRAFÍA.....	110
ANEXOS.....	112
Flujograma del proceso.....	112
AMFE.....	113
Grupo electrógeno.....	113
Compresor de baja presión.....	116
Compresor de alta presión.....	118
Secadora de aire comprimido.....	121
Análisis económico: Sistema Antivibraciones.....	123



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y PROPÓSITOS DEL TRABAJO

Introducción

El presente Proyecto Integrador se basa en la empresa familiar IGA Ingeniería, que cuenta con más de 15 años de antigüedad y se dedica a realizar servicios de limpieza, prueba y secado de gasoductos de media y alta presión. Sus clientes son empresas constructoras a cargo de obras públicas de construcción de gasoductos a lo largo de todo el territorio nacional, principalmente en la provincia de Córdoba.

A partir del año 2015, la continua necesidad de atender al mercado exigió a la empresa crecer en personal e infraestructura a un ritmo que volvió impráctica e ineficiente la forma en la cual se gestiona el mantenimiento de la maquinaria, los instrumentos de medición y herramientas en general. Actualmente el plan de mantenimiento se basa en reemplazar los componentes a medida que se rompen o degradan y carece de un procedimiento definido, así como de un responsable a cargo de las tareas. De esta forma se pierde el seguimiento del estado de las máquinas, representando un conflicto en el momento de la falla y un retraso de los tiempos de producción.

Debido a que los servicios que brinda la empresa se realizan en la última etapa de la construcción de los gasoductos, se trabaja generalmente con tiempos acotados y bajo estrictas normativas técnicas. Cualquier demora de la tarea puede afectar el cumplimiento del contrato en el plazo establecido, generando una pérdida de confiabilidad por parte del cliente en la empresa, afectando el nombre e imagen de la misma.

Hoy en día, las empresas deben enfrentarse a diferentes desafíos para alcanzar una mayor competitividad, por lo cual se busca continuamente la mejora de los procesos internos. Aumentar la calidad del producto implica, entre otras cosas, eliminar o reducir los desperdicios en todas las actividades que no añaden valor al producto o servicio, es decir aquellas que consumen recursos de la empresa, pero que el cliente no está dispuesto a pagar. Se busca constantemente formas más eficientes en los procesos, por lo cual definir un Plan de Mantenimiento es un factor básico en cualquier estrategia de mejora continua que persiga el crecimiento de la organización.



Analizando objetiva y metodológicamente la situación actual de IGA Ingeniería, se plantea la elaboración de un Sistema de Gestión de Mantenimiento de los activos que garantice la confiabilidad de los procesos productivos y otorgarle así la capacidad de llevar a cabo una correcta planificación y proyección de las tareas de mantenimiento.

Todos los datos con los que se realizó este trabajo están comprendidos entre comienzos del año 2016 y fines del año 2018. La información mostrada es meramente con fines educativos. A partir de este punto se referirá a la empresa IGA Ingeniería como IGA o simplemente la “empresa” o la “compañía”.





Objetivos del Proyecto

Objetivos Generales

El objetivo general es realizar un sistema de gestión de mantenimiento que permita obtener un beneficio económico por medio de un procedimiento eficiente del cuidado de los equipos. Para ello se analizaron los diferentes tipos de trabajo, el abastecimiento de insumos, los posibles eventos de fallo, se determinaron sus respectivos niveles de criticidad, tipos de mantenimiento requeridos para cada equipo, para luego modelar una rutina de inspección que facilite el control integral.

Objetivos Específicos

Con el Sistema de Gestión de Mantenimiento se busca:

- Describir y analizar la situación actual de la empresa
- Aumentar la fiabilidad de las máquinas
- Reducir las fallas y tiempos de parada de los equipos
- Obtener beneficios económicos gracias al uso más eficiente del tiempo y a la reducción de costos del sistema actual
- Mejora continua de la calidad del servicio prestado



CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Historia

IGA Ingeniería es una empresa familiar localizada en el sureste de la Ciudad de Córdoba que se dedica a realizar servicios especializados en gasoductos de alta presión en todo el territorio argentino. Comenzó sus actividades en el año 2005 como unipersonal realizando tareas varias en el rubro de gases comprimidos como instalaciones de cañerías de alta presión en clínicas y laboratorios, producción de equipos de autoabastecimiento de oxígeno y fabricación de equipos móviles de secado e inertización de ductos.

Desde su inicio, IGA tuvo una tendencia de crecimiento estable que le permitió proyectar a mediano y largo plazo con la incorporación de personal y equipos. Esto le brindó la posibilidad de ejecutar tareas de mayor envergadura con buena rentabilidad en un sector en donde no había mucha competencia. Gracias a la estabilidad en el crecimiento y a su forma de trabajar, IGA fue ganando respeto y confianza en el rubro. Para el año 2015 la empresa ya estaba conformada por 6 personas y tenía una buena posición en el mercado de servicios de limpieza, pruebas neumáticas y secado de cañerías destinadas al transporte de gas natural.

Entre los años 2015 y 2018 hubo un abrupto crecimiento de obras de gasoductos troncales interurbanos en la provincia de Córdoba por lo que la empresa tuvo un repentino crecimiento que posibilitó aumentar como nunca antes su capacidad productiva. La misma repuntó en el mercado y para el año 2018 se situaba como líder provincial en los servicios de pruebas neumáticas, con una fuerte influencia en los trabajos en provincias aledañas.

Ubicación

La sede de las oficinas de IGA Ingeniería está situada en barrio Colón, en el sureste de la ciudad de Córdoba. A un par de cuadras de ésta, la empresa alquila un pequeño galpón de 250 m² que sirve como depósito de sus equipos mientras no están siendo utilizados. Este espacio también se usa para hacer los controles de los equipos, guardar el inventario de los consumibles de obra, elementos de protección personal y otras herramientas.



Barrio Colón en la Ciudad de Córdoba. Fuente: Google Maps.



Localización de IGA Ingeniería en la Ciudad de Córdoba. Fuente: Google Maps.



La cercanía de la organización al centro de la ciudad brinda grandes facilidades para ir a las oficinas de los clientes y proveedores. Si bien es una comodidad, la dificultad que tienen los camiones para entrar al barrio con sus pequeñas calles genera una cierta necesidad de trasladar en un futuro los recintos de trabajo a un espacio común a las afueras de la ciudad, preferentemente en las cercanías de la circunvalación para facilitar el acceso para los camiones con acoplado.

Actividades realizadas por la empresa

IGA Ingeniería brinda servicios especializados en gasoductos destinados al transporte de gas o hidrocarburos. Los gasoductos sobre los que se trabaja son de media y alta presión (entre 30 y 120 Bar), empleados en redes de distribución, líneas de transmisión interurbanas e instalaciones complementarias. La empresa no interviene en los tejidos urbanos de gasoductos ni tampoco en cañerías de instalaciones domiciliarias o industriales.

Los gasoductos en general son propiedad del Estado, por lo que para realizar el trabajo se necesita experiencia profesional, capacitación, contar con los equipos especializados y cumplir con todas las normativas nacionales y provinciales referidas a la metodología de trabajo, operación y mantenimiento, sumado a las regulaciones de higiene, seguridad y cuidado del medioambiente.

Los servicios que brinda la empresa se ejecutan en la etapa final de la construcción del gasoducto, luego de que la empresa constructora coloque todas las piezas de la cañería con las costuras realizadas, con sus respectivos ensayos no destructivos y antes de la realización de las pruebas de protección catódica, entierro y conexión final con la red.

IGA Ingeniería ofrece 4 servicios especializados que el cliente puede contratar de forma independiente, según sus necesidades y su propia capacidad para realizarlos por sí mismos. Las actividades son:

- 1) Inspección y limpieza del gasoducto
- 2) Carga del gasoducto a la presión de prueba
- 3) Ejecución de la prueba de resistencia mecánica y hermeticidad
- 4) Secado del gasoducto

Estas actividades serán descritas con mayor detalle en el Capítulo N°4 del presente trabajo.



Clientes y competencia

Los clientes de IGA Ingeniería son grandes empresas constructoras encargadas de la instalación de cañerías troncales. Estas empresas generalmente obtienen el trabajo por medio de licitaciones públicas que la Provincia o la Nación les otorgan, siendo muy estricta la naturaleza de los controles de registros, de calidad del trabajo y de los tiempos de ejecución.

El rubro de la construcción de grandes gasoductos depende directamente de las políticas de Estado y de sus intenciones en realizar inversiones en obra pública e infraestructura en la provincia o el país. Esto es un fuerte inconveniente para IGA debido a las diferentes posturas que tienen los dirigentes de uno u otro partido respecto a la obra pública, dificultando enormemente la posibilidad de establecer estrategias de mediano o largo plazo. Este factor es tenido en cuenta al momento de analizar la infraestructura interna de la compañía, para evaluar si es conveniente o no realizar inversiones en nuevas maquinarias, vehículos e incorporación de personal.

Necesidades del cliente

Por otro lado, debido a que estas obras tienen en general una duración de varios meses, normalmente se ven afectadas negativamente por retrasos en los tiempos productivos como fenómenos climáticos, cuestiones burocráticas o incluso problemas sindicales. En este contexto, debido a que IGA trabaja en la última etapa de la obra, el cumplimiento con las expectativas del cliente varía fuertemente según los tiempos de ejecución. Esto ocasiona que el ambiente general de trabajo de la empresa sea de mucha exigencia para que se realice la tarea en el menor tiempo posible.

Algunos clientes de IGA Ingeniería son: Electroingeniería, Supercemento, Contreras Hermanos, Chediak, FBC, MEGA, Sacde, Install.

Diferenciación respecto a la competencia

Es notable destacar que IGA Ingeniería es líder reconocido a nivel local en servicios referidos a la limpieza de cañerías gracias a su alta participación en el mercado. Si bien, dentro de la provincia manejan una relación muy estrecha y positiva con los clientes y los organismos públicos de regulación, en el resto del país no se da de igual forma, siendo más difícil mantener un lugar competitivo en el mercado nacional.

Otro aspecto a destacar de IGA, se da en su alto nivel de flexibilidad y confianza que genera por su correcta ejecución de trabajos en tiempo y forma. Para esto, los operarios deben tener conocimientos técnicos y habilidades que les permita tener cierto nivel de independencia, como así también tener una



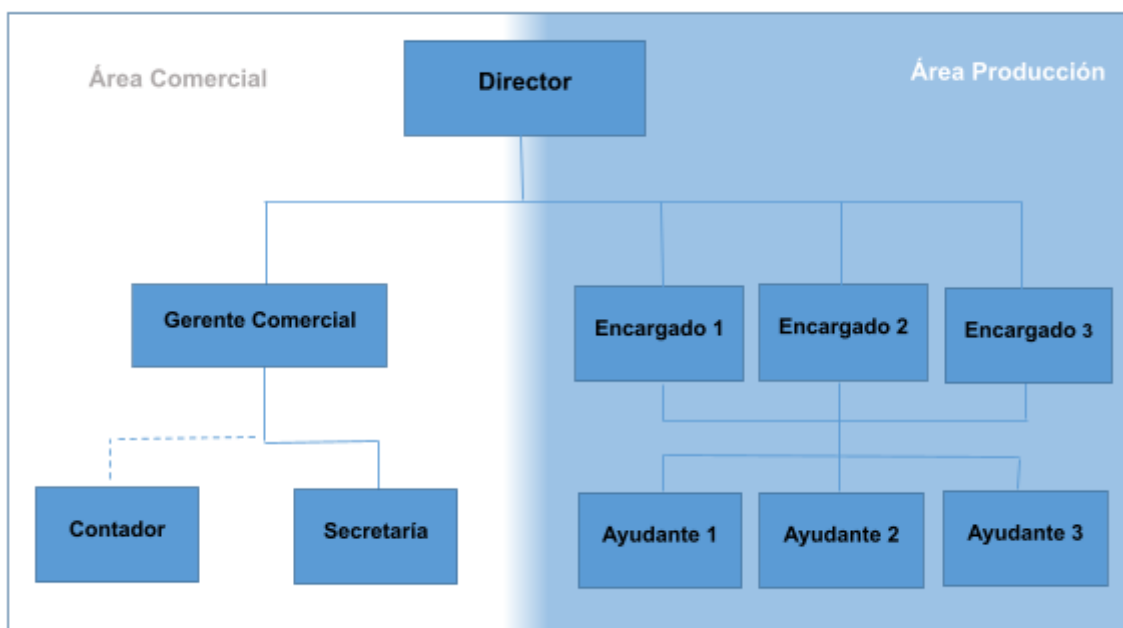
completa disponibilidad horaria para una repentina confirmación y ejecución de los trabajos, pudiendo durar desde algunos días o hasta inclusive meses.

Otras ventajas respecto a competidores de otras provincias, se da debido a que la localización de la empresa está en una provincia central, teniendo la posibilidad de postularse en obras que se presenten en todo el territorio argentino, con costos menores de movilidad de los equipos.

Algunas de las empresas que compiten con IGA en la limpieza y mantenimiento de cañerías son: Gedeón, Grupo CEOSA, BJA Construcciones, Odebrecht, entre otras.

Organigrama

La empresa IGA Ingeniería está conformada por 10 personas, 3 en el área comercial, 6 en el área productiva y el director que está involucrado en ambas. En el siguiente organigrama se muestra la estructura general de la empresa y organización del personal:



Organigrama de la empresa IGA Ingeniería.

La organización es relativamente simple, siendo ésta una característica general de una empresa de carácter familiar. Las áreas comercial y operativa parecen en el organigrama estar bien diferenciadas, pero en realidad cuentan con la practicidad de que los roles son flexibles según necesidades puntuales.

En la parte comercial, el gerente y el director se encargan de las relaciones con los clientes y los proveedores, con ayuda de una secretaria. Se tercerizan las tareas contables y legales a un estudio jurídico en el centro de la



ciudad. Tanto el gerente comercial como el director, están capacitados para ayudar en la parte operativa cuando se necesite.

En el área productiva, 3 encargados con vasta experiencia y conocimientos técnicos lideran los trabajos con ayuda de 3 operarios. Todos tienen capacidades técnicas básicas y formación en las medidas de higiene y seguridad, dándole a la empresa la posibilidad de poder realizar los trabajos de forma segura.

El director lidera ambos sectores organizando las tareas a realizar y siendo moderador entre las partes. Su rol se entremezcla entre actividades propias de la alta gerencia, desarrollando estrategias competitivas y analizando objetivos de mediano y largo plazo, con actividades sumamente operativas, incluso en ocasiones, participando de la ejecución de las mismas. Esto hasta cierto punto es beneficioso para la empresa, pero en momentos de mucha carga laboral, el director puede perder nuevas oportunidades comerciales por estar concentrado en problemas meramente operativos que podrían ser resueltos por los empleados.

Misión y Visión

Misión: Brindar servicios especializados de gasoductos en la República Argentina de forma segura y confiable cumpliendo las expectativas del cliente y respetando todas las especificaciones de las regulaciones propias del rubro.

Visión: Ser líder nacional de las tareas de limpieza, prueba neumática y secado en la construcción de gasoductos.

Situación actual de la empresa

Para finales del año 2018, IGA Ingeniería se encontraba en una etapa de crecimiento, producto del aumento de la demanda de construcción de gasoductos. En el periodo comprendido entre finales del 2015 y principio del 2019 el gobierno de la Provincia de Córdoba implementó mediante licitaciones públicas nacionales e internacionales el “Plan Quinquenal de Infraestructura Gasífera”. Este proyecto de gran envergadura persiguió el objetivo de abastecer con gas natural a 210 localidades que hasta entonces no contaban con el servicio, y así poder brindarle la posibilidad de conexión a la red a 900 mil ciudadanos, alcanzando el 98% de la población provincial.

La buena relación que tenía IGA en ese entonces con las empresas constructoras de gasoductos fue clave para satisfacer la gran demanda. Gracias a esto, la empresa aumentó su volumen de trabajo en gran medida,



ampliando su capacidad productiva y logrando así aprovechar la oportunidad que se estaba presentando.

A continuación, se presenta una tabla donde se muestra el crecimiento porcentual histórico de los ingresos anuales de la empresa entre los periodos 2009 y 2018.

Periodo	Crecimiento porcentual interanual de los ingresos	Inflación interanual	Crecimiento porcentual interanual efectivo de los ingresos	Crecimiento acumulado de los ingresos anuales respecto al 2009
2009	-	-	-	100%
2010	86%	24%	50%	150%
2011	40%	18%	18%	177%
2012	69%	22%	38%	245%
2013	-26%	27%	-42%	142%
2014	79%	38%	30%	185%
2015	-1%	27%	-22%	145%
2016	41%	41%	0%	145%
2017	481%	26%	361%	667%
2018	38%	46%	-5%	633%

Tabla de ingresos anuales de IGA Ingeniería. Período 2009-2018.

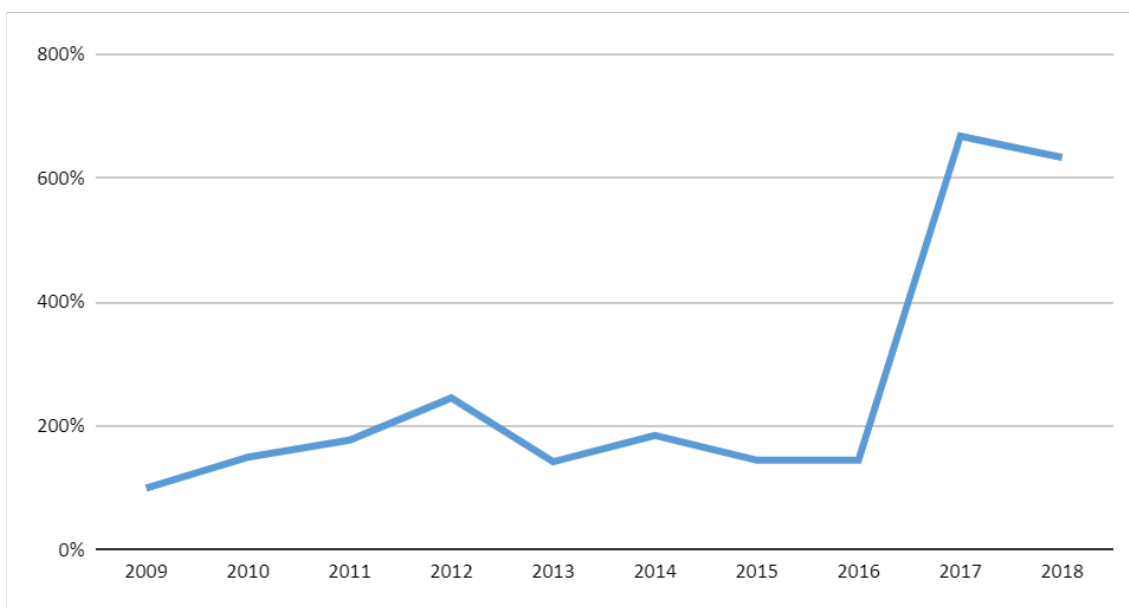
Crecimiento porcentual interanual de los ingresos: Se refiere a la variación de los ingresos registrados en un año, en comparación con el año anterior.

Inflación interanual: Se toma como referencia el “Índice de precios del consumidor” oficiales según INDEC.

Crecimiento porcentual interanual efectivo de los ingresos: Se refiere a la variación de los ingresos registrados en un año, en comparación con el año anterior, tomando también en cuenta la inflación anual de ese período, siendo así una medida más real del crecimiento de la empresa.

Crecimiento acumulado de los ingresos anuales respecto al 2009: Hace referencia al valor de ingreso anual de ese año, con referencia a lo que se registró en 2009 teniendo en cuenta el aumento de valor debido a la inflación. Por ejemplo, en el año 2016 se registraron ingresos anuales con un valor de 145% a los valores registrados en el año 2009. En el año 2017, los ingresos anuales fueron equivalentes a un 667% con referencia a los de 2009.

A continuación, se presenta un gráfico donde se muestra el crecimiento acumulado en los ingresos anuales, sin descontar la inflación.



Crecimiento acumulado de los ingresos anuales de IGA Ingeniería. Periodo 2009–2018.

Prestando especial atención al periodo 2017 y 2018, se puede notar fácilmente que la empresa aprovechó la oportunidad que se le estaba presentando, aumentando hasta en un más de 600% sus ingresos.

Inevitablemente, con el repentino crecimiento de volumen de trabajo, aparecieron nuevos problemas con los que la empresa debía lidiar. No solamente referidos a la incorporación de personal y de nuevos equipos, sino también con la forma en la que se realizaban las tareas referidas al cuidado de los mismos, control de elementos consumibles y repuestos. Como los tiempos eran acotados, se prefirió mantener el estilo de trabajo, en vez de invertir tiempo en realizar un análisis interno que les ayude a gestionar mejor sus tareas de mantenimiento.

El problema de que los equipos no funcionen o de que falte alguna pieza de repuesto se agravaba por el hecho de que los lugares de trabajo son generalmente inhóspitos o aislados, en muchas ocasiones sin señal de teléfono, a decenas de kilómetros de algún pueblo, lo cual para adquirir un filtro específico o reemplazar una correa podría generar demoras suficientes como para perjudicar los tiempos de producción.

Históricamente las tareas de mantenimiento se realizan a criterio del gerente general siguiendo recomendaciones de los fabricantes, realizando inspecciones visuales y utilizando el contador de horas de los equipos para estimar la degradación de un elemento de recambio. La empresa sabiendo de que carece de un sistema de registro de tareas idóneo, frecuentemente, la estrategia se basa en cambiar los elementos de consumo por nuevos cuando todavía no han completado su ciclo de vida.



Esta estrategia si bien no era la más eficiente, fue muy efectiva para disminuir la probabilidad de paradas de producción no planificadas. Pero a medida que la demanda creció, la necesidad de aumentar abruptamente la capacidad de trabajo provocó una desatención a la hora de realizar controles que, sumado a la falta de registros fiables, produjo una pérdida del seguimiento de los equipos, y en consecuencia, los costos referidos a ineficiencias se agravaron.

Factores a tener en cuenta para el año 2019

Para fines de 2018, las obras referidas a la construcción de gasoductos dentro de la provincia de Córdoba parecían reducirse en gran medida, lo que indicaba una fuerte reducción del volumen de trabajo. Para poder planificar la producción se consideran los siguientes factores:

- Por un lado, IGA contaba con su mayor capacidad productiva a nivel histórico. Esto le permitía a la empresa ser más competitiva en trabajos de mayor envergadura.
- Por otro lado, se dirigieron los esfuerzos especialmente a los clientes dentro de la provincia, desatendiendo la relación que se tenía con otras empresas constructoras en el resto del país, dando lugar a nuevos competidores.
- También hay que considerar que el 2019 fue un año electoral, por lo que había que tener en cuenta de que los fondos destinados a realizar nuevas obras de infraestructura se ven negativamente afectados.



CAPÍTULO 3: DEFINICIONES TÉCNICAS

A continuación, se describirán algunos conceptos de interés para este trabajo, tomando como referencia las Normas NAG las cuales son definidas como el conjunto de normas y especificaciones técnicas de cumplimiento obligatorio para la industria del gas en la República Argentina. Además, se consultaron informes oficiales emitidos por el Ente Nacional Regulador del Gas (Enargas).

Hidrocarburo: Cualquier compuesto o mezcla de compuestos, sólido, líquido o gas que contiene carbono e hidrógeno. Por ejemplo: carbón, aceite crudo y gas natural que sirven como una fuente de energía primaria.

Gas Natural: Mezcla de hidrocarburos, generalmente gaseosos presentes en forma natural en estructuras subterráneas. El gas natural consiste principalmente de metano (80%) y proporciones significativas de etano, propano y butano. Habrá siempre alguna cantidad de condensado y/o aceite asociado con el gas. El término también es usado para designar el gas tratado que abastece a la industria, a los usuarios comerciales y domésticos con una calidad especificada.

Gasoducto: Es una tubería que sirve para transportar fluidos combustibles a gran escala. El término suele incluir las conexiones y accesorios necesarios para la conducción del fluido ya sean caños conectados, válvulas, compresores, estaciones de medición, regulación y derivación. También se utiliza el término cañería.

Gasoducto Troncal: Es el conjunto de tuberías de grueso calibre y gran longitud de uso público que permiten la conducción de gas desde los centros de producción o extracción hasta los centros de consumo (ciudades), conexiones a usuarios no regulados y conexiones a sistemas de almacenamiento.

Caño: Tramo de cañería producido en fábrica, de longitud especificada en la norma de construcción, usado para el transporte de gas.

Válvula: Dispositivo colocado en la tubería para controlar o bloquear el flujo de gas natural.

Electroválvula: Válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide.



Brida: Elemento de la línea de tuberías, destinados a permitir la unión de las partes que conforman esta instalación, ya sean tubería, válvulas, bombas u otro equipo que forme parte de estas instalaciones.

Conceptos relacionados a las tareas de limpieza y pruebas neumáticas de gasoductos

Tensión circunferencial: Es la tensión en la pared de una cañería, actuando circunferencialmente, en un plano perpendicular al eje longitudinal de la misma y producido por la presión del fluido en el interior.

Tensión de fluencia: Es la tensión a la cual un material muestra un límite especificado de deformación permanente o produce una elongación total especificada bajo carga. El límite de deformación permanente o de elongación está expresado generalmente como porcentaje de la escala de longitud y sus valores están establecidos en las diversas especificaciones de materiales aceptados en esta guía.

Tensión de operación: Es la tensión en un caño o pieza estructural bajo condiciones operativas normales.

Tensión secundaria: Es la tensión producida en la cañería por cargas no provocadas por la presión interna del fluido. Ejemplos de este esfuerzo son las cargas de relleno o tapas.

TFME: Tensión de fluencia mínima especificada expresada en kg/cm^2 .

Medio presurizante: Es el fluido empleado para elevar la presión interna de la cañería durante la prueba de resistencia y hermeticidad.

MAPO: Máxima presión admisible de operación a la cual un ducto puede ser operado de acuerdo con lo establecido por la norma NAG 100 expresada en kg/cm^2 .

Presión de diseño: Presión permitida por la Norma NAG 100, de acuerdo con los procedimientos aplicables a materiales y clase de localización.

Hermeticidad: Calidad de un contenedor de estar perfectamente cerrado o estanco al exterior del mismo.

Presión de prueba de hermeticidad (Ph): Conjunto de pruebas estandarizadas para garantizar la hermeticidad de alguna cosa. Por ejemplo, la prueba de hermeticidad de la red de gas. A fin de demostrar la inexistencia de fugas indeseadas, se mantendrá la presión de la prueba de hermeticidad establecida, durante un tiempo determinado. Es la presión a la cual deberá ser reducida la presión de prueba de resistencia, a fin de la realización de la



prueba de hermeticidad. Esta presión será 0,9 veces el valor de la presión de resistencia del tramo a ensayar.

Presión de prueba o presión de resistencia (Pp o Pr): Presión a la cual el sistema de cañerías estará sujeto durante la prueba neumática o hidráulica, expresada en kg/cm². Esta presión será 1,5 veces el valor de la MAPO del tramo a ensayar.

Protección catódica: Método empleado para minimizar la corrosión electroquímica de estructuras tales como las plataformas de perforación, tuberías y tanques de almacenamiento.

Pruebas de resistencia mecánica: A fin de cerciorarse que la cañería es lo suficientemente resistente para funcionar bajo las condiciones normales de operación, se elevará la presión hasta la presión de resistencia y se mantendrá durante 8 horas para garantizar que la cañería es segura. Reguladas por la norma NAG 124.

Prueba Hidráulica: Es la ejecución de una prueba de resistencia mecánica y de hermeticidad en donde se utiliza agua como medio presurizante.

Prueba Neumática: Es la ejecución de una prueba de resistencia mecánica y de hermeticidad en donde se utiliza aire comprimido como medio presurizante.

Punto de rocío: También llamada temperatura de rocío es la más alta temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina, cualquier tipo de nube o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha.

Adsorción: Es un fenómeno físico, en donde un compuesto en fase líquida o gaseosa entra en contacto con un sólido adsorbente y se adhiere a la superficie del mismo, mediante una fuerza física (fuerza de dispersión de London), este proceso no implica intercambio de electrones, lo que lo hace reversible.

Elementos de limpieza

Conjunto de esponjas, Scrappers y Polly Pigs utilizados para la limpieza de un gasoducto. Estos elementos son impulsados por un fluido. Generalmente luego de ser utilizados, son cortados transversalmente para divisar la penetración de la suciedad y obtener así una estimación del tipo y cantidad de impurezas dentro de una cañería.

Polly Pig: Esponja de alta densidad en forma de bala, rodeada por una goma que sirve de sello dentro de la cañería. Existen distintos tipos de Polly



Pigs, entre los cuales uno de los más utilizados está recubierto por un cepillo de acero pudiendo raspar sobre la cara interna de la cañería, eliminando barro, óxido y escorias de las soldaduras.

Scraper: Es un dispositivo con discos de goma o cepillos que se introduce en una tubería para su limpieza. La presión de un fluido empuja el elemento a lo largo de la tubería para limpiar el óxido, la grasa, las incrustaciones y los residuos. Consta de un alma de acero y puede ser configurable para tener la cantidad de cepillos, separadores o discos de goma que se necesite específicamente para el caso.

Esponjas: Hacen referencia a los elementos cilíndricos hechos de poliuretano de alta densidad, que sirven para arrastrar grandes volúmenes de agua y suciedad. Son desechables y tienen un solo uso.



De izquierda a derecha: Polly pig, Scraper, Esponjas.

Otros elementos de trabajo

Cabezales de lanzamiento y recepción: Recipientes de alta presión utilizados para el lanzamiento y recepción de los elementos de limpieza necesarios, con la posibilidad de mantener la presión en la cañería y así ahorrar tiempo y dinero.

Elementos de Protección Personal (EPP): Son una medida de protección que se sugiere utilizar cuando el peligro no se ha logrado eliminar en la fuente y ha pasado al medio. Los mismos deben ser provistos por el empleador y tienen que estar certificados por uno de los dos únicos entes certificadores reconocidos por la Secretaría de Comercio en la Argentina: IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación), International Quality Certifications y UL (Underwriters Laboratories). El proporcionar un EPP no garantiza que no se exponga al trabajador a una enfermedad profesional o accidente de trabajo. Además, hay que tener en cuenta la distancia de seguridad; la cual es la distancia mínima entre el sistema de cañerías a



ensayar y las personas o edificaciones, a fin de evitar accidentes en caso de rotura de cualquier parte del sistema de cañería a ensayar.

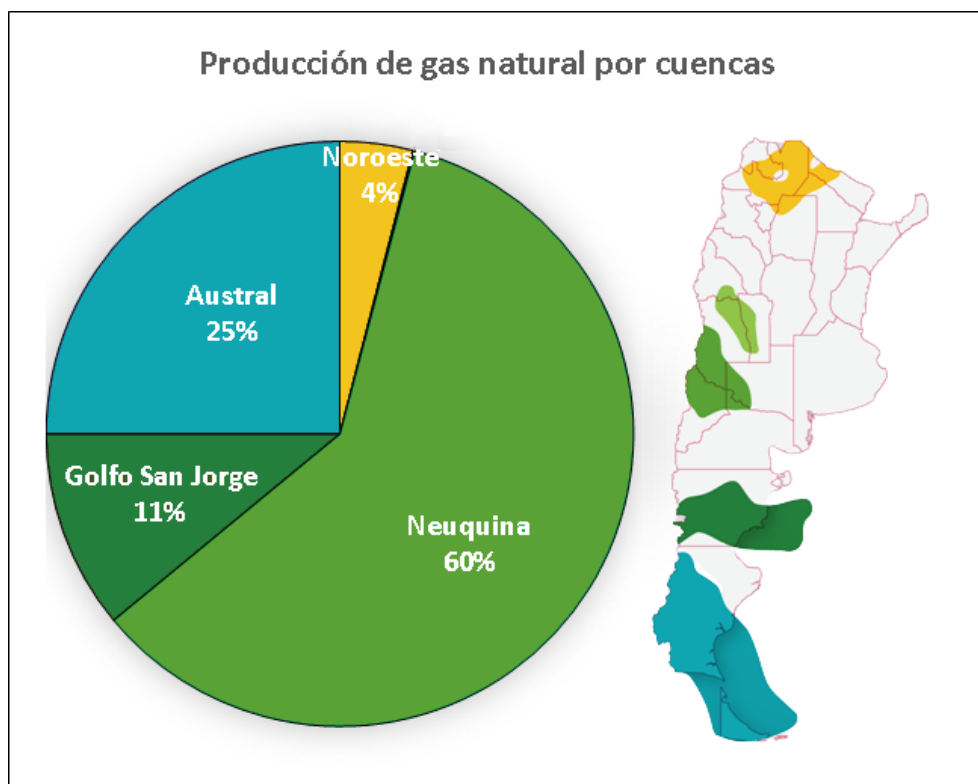
Gas natural en Argentina

Para el año 2018, el 58% de la oferta interna total de energía en la República Argentina depende del gas natural, que satisface necesidades vinculadas con los usos residenciales, comerciales, la industria y el transporte.

Entes intervinientes

Enargas: El Ente Nacional Regulador del Gas es un organismo autárquico en el ámbito del Ministerio de Desarrollo Productivo de la República Argentina. Regula el transporte y distribución de gas natural. Sus representantes técnicos se encargan de la verificación, pruebas y controles sobre el terreno.

Productores: Empresas dedicadas a la extracción de gas natural. En Argentina se realiza en cinco cuencas hidrocarburíferas y se distribuye hacia las zonas de demanda a través de gasoductos troncales. Estas cuencas, recorriendo el país de norte a sur, son: la cuenca Noroeste, la cuenca Neuquina, la cuenca Cuyana, la cuenca del Golfo San Jorge y la cuenca Austral.



Cuencas de gas natural en Argentina. Fuente: Enargas.



El gas natural extraído del subsuelo es separado del petróleo y purificado antes de ser transportado. La mezcla además puede contener vapor de agua, hidrógeno sulfurado y dióxido de carbono.

Transportistas: Existen dos sistemas de gasoductos troncales de alta presión. Estos sistemas son:

1. **Gasoductos Norte:** Abastece las regiones Norte, Centro y Cuyo del país. Este sistema de gasoductos está a cargo de la empresa Transportadora de Gas del Norte SA (TGN) con licencia exclusiva en las regiones Norte y Centro-Oeste de la Argentina. Cuenta con 6805 km de cañerías y 20 plantas compresoras.
2. **Gasoductos Sur:** Abastece las regiones Patagónica y Pampeana, a cargo de Transportadora de Gas del Sur SA (TGS), responsable de 9.231 kilómetros. Transporta más del 60% del gas consumido en el país.



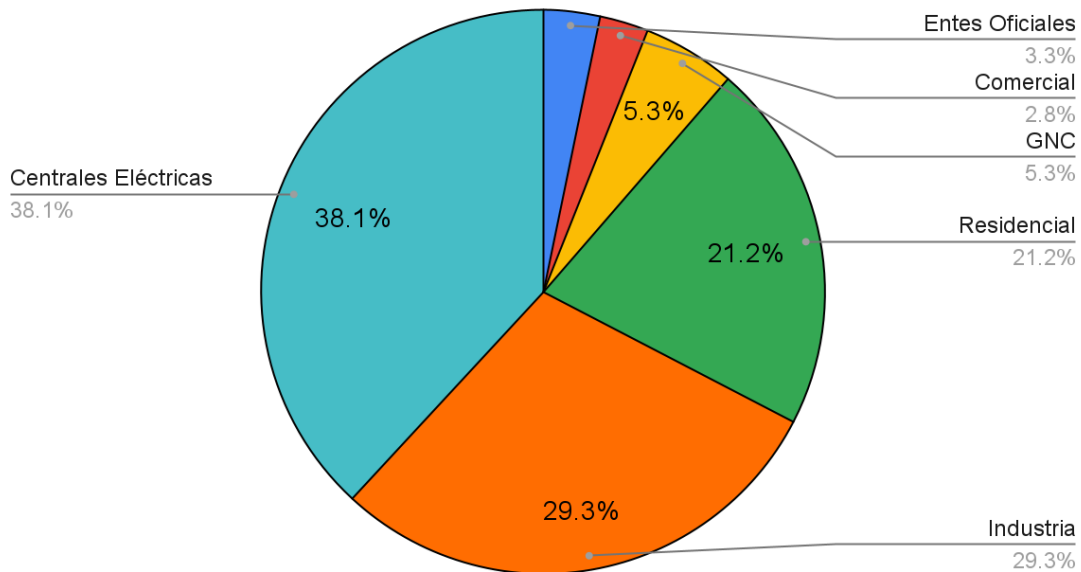
Gasoducto Troncal Norte y gasoductos regionales. Fuente: Enargas (2018).

A lo largo de estos gasoductos se intercalan estaciones de regulación o plantas reguladoras de presión (PRP) destinadas a reducir y regular la presión del gas natural que se suministra a un distribuidor o un permisionario de transporte para usos propios.



Distribuidores: Empresas encargadas de entregar el gas natural a los usuarios en su zona de incumbencia a través de tuberías de menor diámetro. Una vez que llega a una de estas empresas, se reduce la presión y le anexas una sustancia odorante (mercaptano) para que, frente a pérdidas, pueda reconocerse su presencia en el ambiente.

Demanda de Gas Natural por tipo de usuario



Fuente: Informe de consumo 2018, Enargas.

Ecogas: Empresa dedicada a la distribución del servicio de gas natural en las provincias de Córdoba, Mendoza, San Juan, San Luis, Catamarca y La Rioja. Abastece a 254 ciudades y pueblos de las seis provincias, opera 29110 Km de redes y gasoductos que permite acercar el gas natural a más de un millón doscientos mil clientes.

Empresa constructora: Empresa contratada por ENARGAS o alguna empresa transportista o distribuidora, encargada de la construcción del gasoducto.

Bases legales

IGA Ingeniería desarrolla sus actividades de acuerdo con las directrices establecidas por Enargas y Ecogas. Se cumple con las siguientes normativas:



- Nomenclatura: E.T. N°.: 05/00 (2004).

Nombre del documento: Especificación técnica general para pruebas neumáticas de resistencia y hermeticidad en líneas de transmisión y distribución de gas metano.

Contenido: Esta especificación tiene por objeto establecer los requerimientos mínimos a cumplir por las contratistas, en el ámbito de esta Licenciataria, para la ejecución de pruebas de hermeticidad y/o resistencia en instalaciones de superficie, líneas de transmisión y líneas de distribución, cuando se utilice como medio presurizante nitrógeno o aire deshidratado y/o agua (según se indique), incluyendo las precauciones de seguridad que podrán ser complementadas según los casos por el sector de seguridad y ambiente de ECOGAS.

- Nomenclatura: NAG-100 (1993).

Nombre del documento: Normas Argentinas mínimas de seguridad para el transporte y distribución de gas natural y otros gases por cañerías.

Contenido: Requisitos de diseño, construcción, operación y mantenimiento, de las tuberías de conducción y sus instalaciones conexas; no incluye las instalaciones internas de los usuarios. La N.A.G.-100 establece los estándares de diseño, operación y mantenimiento para las instalaciones de transmisión y distribución y si bien la seguridad es la consideración básica de la norma, otros factores pueden imponer requerimientos adicionales a la especificación final de sistemas de cañerías a presión. Al no tener la N.A.G.-100 características de manual de diseño, la utilización de sus contenidos deberá ser acompañada por apropiados criterios de ingeniería.

- Nomenclatura: NAG-124 (2019).

Nombre del documento: Pruebas de resistencia y hermeticidad de gasoductos

Contenido: Normativa que establece los requisitos mínimos y procedimientos necesarios para someter a prueba de resistencia y hermeticidad a ramales y gasoductos, como así también los del barrido del agua, limpieza y secado o inhibición del agua residual para evitar la formación de hidratos con posterioridad a las pruebas mencionadas.



- **Nomenclatura: NAG-113 (1982)**

Nombre del documento: Reglamento para la realización de obras a ejecutar por terceros, contratadas por el futuro usuario y supervisadas técnicamente por Gas del Estado.

Contenido: Requisitos y obligaciones, incluidas sanciones, de las firmas contratadas por municipalidades, consorcios, etc., para realizar obras de tendido de gasoductos y ramales, construcción y montaje de estaciones reductoras de presión, construcción de redes de distribución y colocación de servicios domiciliarios, que serán inspeccionadas y aprobadas por la empresa de gas.

- **Nomenclatura: NAG-165 (1981)**

Nombre del documento: Normas mínimas de seguridad para obras y trabajos.

Contenido: Indica los aspectos generales mínimos a considerar en instalaciones, obras y trabajos en general, para que se desarrollen en condiciones de seguridad.



CAPÍTULO 4: PROCESO PRODUCTIVO

Introducción

El esquema productivo de IGA que se presenta a continuación, describe las distintas tareas que la empresa efectúa sobre cañerías ya ensambladas. Cada trabajo es único debido a las condiciones propias y del entorno particular. A pesar de esto, las pequeñas variaciones que existen son básicamente despreciables a la hora de explicar el proceso. El servicio es personalizado para que cada cliente pueda satisfacer sus necesidades. Además, la empresa recomienda mejoras o correcciones técnicas de los gasoductos en caso de existir.

El proceso productivo se puede diferenciar en 5 partes:

1. Preparación de los equipos y de la zona de trabajo
2. Limpieza del gasoducto
3. Aumento de presión del gasoducto hasta la presión de prueba
4. Prueba neumática de resistencia y hermeticidad
5. Secado del gasoducto

Todos los procesos se realizan cumpliendo la normativa vigente siendo aptos para ser aprobados por la inspección por parte de Enargas. Vale la pena aclarar que estas tareas son subsecuentes una con la otra, esto quiere decir que no se puede realizar la siguiente etapa sin haber culminado la anterior, ya sea por parte de IGA u otra empresa.

Se encuentra disponible en el Anexo I un flujograma del proceso productivo que simplifica el entendimiento del orden en el que se realizan las tareas.

Forma de trabajo y división por grupos

Las tareas se dividen en dos grupos de trabajo. Esta división depende de la configuración de las máquinas y de las funciones para las cuales están aptas. Cada grupo está conformado por un conjunto de equipos instalados y ensamblados en un tráiler capaz de ser acoplado a un camión. El personal no está sujeto a esta división, por lo que es flexible para trabajar entre un grupo y el otro. Tampoco se consideran en esta división los elementos de limpieza, herramientas, insumos y consumibles.

Ambos grupos pueden trabajar en paralelo de forma independiente, ya sea en distintas obras o en la misma.

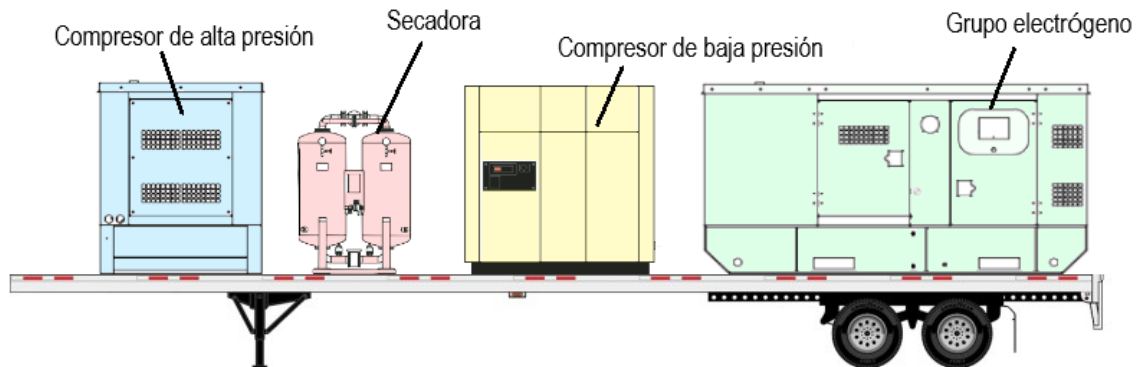


A continuación, se mencionan los equipos que conforman cada grupo y las actividades para los que fueron ensamblados:

Conjunto N°1: Utilizado para realizar la limpieza, secado y carga del gasoducto para la prueba neumática. La carga es su principal función ya que el conjunto N°2 no tiene la capacidad de hacerlo. Está compuesto por:

- Un grupo electrógeno.
- Un compresor de baja presión.
- Una secadora de adsorción.
- Un compresor de alta presión.

La siguiente imagen ilustrativa refleja la forma en la que están instalados los equipos del primer conjunto:

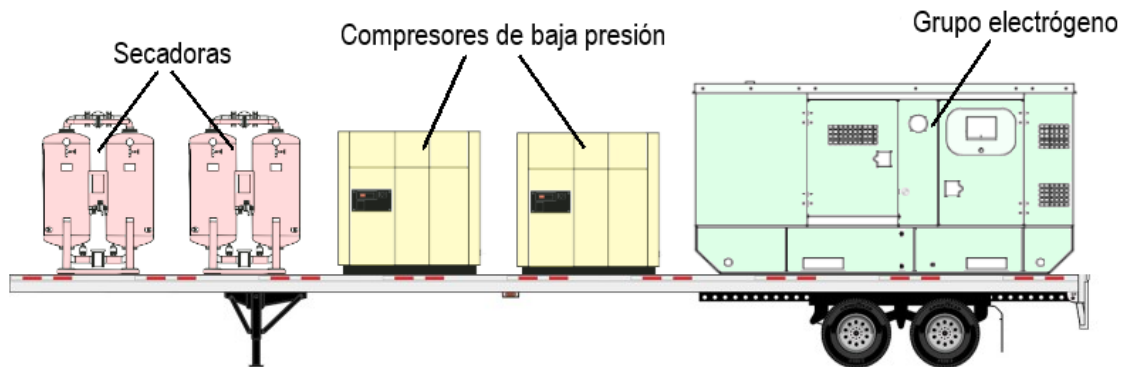


Disposición de los equipos del Conjunto N° 1.

Conjunto N°2: Utilizado para realizar solo la limpieza y secado del gasoducto, siendo esta última su principal función. A diferencia del conjunto N°1, este cuenta con el doble de caudal de aire seco, pero carece de un compresor de alta presión que le permita realizar pruebas neumáticas. Está compuesto por:

- Un grupo electrógeno, idéntico al del primer grupo.
- Dos compresores de baja presión, idénticos entre sí y con el del primer conjunto.
- Dos secadoras de adsorción, idénticas entre sí y con la del primer conjunto.

La siguiente imagen ilustrativa refleja la forma en la que están instalados los equipos del segundo conjunto:



Disposición de los equipos del Conjunto N° 2.

En total se cuenta con nueve equipos: dos grupos electrógenos, un compresor de alta presión, tres compresores de baja presión y tres secadoras.

Descripción de los servicios prestados

1. Preparación de los equipos y de la zona de trabajo

La tarea de limpieza comienza con el análisis de la cañería. Lo primero que se realiza es una reunión con el cliente para poder tener un conocimiento previo del estado de la misma como así también sus dimensiones y características. Junto con el plano de la cañería, se localiza derivaciones, cambios de diámetro, válvulas de paso reducido, plantas reductoras de presión, válvulas de venteo, cámaras de acceso a la cañería, cruces de puentes, rutas, ríos, caminos, codos, tee y cualquier otro dato correspondiente al diseño de la cañería.

Luego de tener conocimiento para realizar un correcto análisis, se procede a planificar la mejor estrategia para realizar la limpieza. Se determina la trayectoria de lanzamiento de los elementos de limpieza, la ubicación de los equipos para impulsarlos y se controla que las longitudes de las mangueras sean adecuadas.

Es imprescindible colocar los vallados de la zona de obra y la señalización estipulada por las normas de higiene y seguridad. Luego se realizan las conexiones necesarias y se colocan los cabezales de recepción y lanzamiento.



Ejecución del vallado de la zona de obra.

Es importante mencionar que los tiempos predichos necesarios para ejecutar la tarea son aproximaciones basadas en la experiencia y pueden no reflejar la realidad del tiempo total necesario para ejecutar correctamente la tarea. Esto es debido a que no se puede establecer con precisión el estado inicial del gasoducto sin antes haber arrojado algunas decenas de esponjas.

El camión que traslada el tráiler donde se encuentran los equipos es un servicio tercerizado de la empresa, por lo tanto, los equipos y consumibles necesarios para realizar movimientos de los equipos no son considerados dentro de la descripción del proceso para su análisis.

Antes del arranque de los equipos, es necesario efectuar una inspección general debido a que éste es un momento crítico, debido a que por falta de una revisión, se pueden efectuar grandes daños en los mismos. Se deben revisar los niveles de aceite, agua y combustible, temperatura, como así también, mangueras, filtros, correas, estado de válvulas y antilátigos. Se debe verificar que la potencia generada por el grupo electrógeno, la presión y el caudal producido por el compresor sean las esperadas. Por último, se controla que las conexiones estén libres de fugas.

2. Limpieza del gasoducto

Una vez asegurado el correcto funcionamiento de los equipos, se procede a realizar la tarea de limpieza. Ésta consiste en arrojar elementos de limpieza por la cañería por medio de aire comprimido, barriendo con la suciedad del caño hasta el extremo opuesto de la misma.



En la imagen posterior se muestra la colocación de una esponja de limpieza en la cañería. El encargado de la inspección de la obra registra el momento fotografiando el elemento de limpieza con el número de esponja, la fecha y su firma.



Colocación del elemento de limpieza firmado por la inspección del cliente.

En la imagen posterior se muestra el extremo final del gasoducto con un conjunto de esponjas utilizadas para la limpieza.



Acumulación de esponjas de poliuretano sucias utilizadas para la limpieza del gasoducto.

Es importante que cada un cierto número de esponjas arrojadas se realice una revisión del estado de las mismas, cortándolas transversalmente a una altura media y midiendo, con una cinta métrica, la penetración de la suciedad en la esponja. Es necesario sacar una foto con el fin de obtener registros del proceso de limpieza como se muestra a continuación.



Registro de la medición de penetración de suciedad en el elemento de limpieza.



La penetración necesaria para considerar suficiente la limpieza de una cañería, debe ser de un centímetro por cada veinte kilómetros. Esto según la especificación de la Norma NAG-124 vigente en la provincia de Córdoba para la realización de las pruebas neumáticas.

Una vez lograda la penetración de suciedad requerida, se procede a solicitar el pedido de control por parte del inspector competente y del cliente.

Los equipos necesarios para el proceso de limpieza son:

- Grupo electrógeno
- Compresor de baja presión
- Elementos de limpieza:
 - Esponjas
 - Scrappers
 - Polly Pigs

3. Carga de gasoducto para la realización de la prueba neumática

Una vez aprobada la limpieza del caño por parte de la inspección, se procede a prepararlo para realizar la carga del gasoducto. Ésta es otra etapa crítica del proceso debido a que, como el caño es sometido a la presión de prueba, si la preparación no está bien efectuada, durante la prueba se podrían presentar fugas, haciendo que ésta falle, teniendo que descomprimir la cañería para corregir errores de preparación y luego volverla a cargar. Esto implicaría costos innecesarios correspondiente a los tiempos transcurridos, mano de obra desperdiciada, combustible consumido, desgaste de los equipos y sobre exigencias innecesarias aplicadas a la cañería.

La preparación en sí, consiste en: conectar el compresor de alta presión en el circuito de inyección de aire y colocar todas las bridas ciegas y sartenes necesarias en los extremos de las derivaciones de las cañerías, asegurando que los espárragos estén ajustados adecuadamente, teniendo en cuenta de que la presión sobre las juntas sea uniforme. También se debe controlar que todas las válvulas de la cañería estén abiertas para evitar así que la junta interna se someta a una presión para la cual no está dimensionada.



Conexión estándar para la carga de alta presión de un gasoducto.

Una vez preparada la cañería, se prosigue con el inicio de la carga de ésta, controlando continuamente que no se presenten fugas en el proceso y que nadie ajeno a la obra entre en la zona de riesgo.

Al alcanzar la presión de prueba, se procede a cerrar las válvulas, apagar los compresores y a preparar los equipos para realizar la prueba neumática.

Los equipos necesarios para la carga del gasoducto son:

- Grupo electrógeno
- Compresor de baja presión
- Compresor de alta presión

4. Prueba neumática de resistencia y hermeticidad

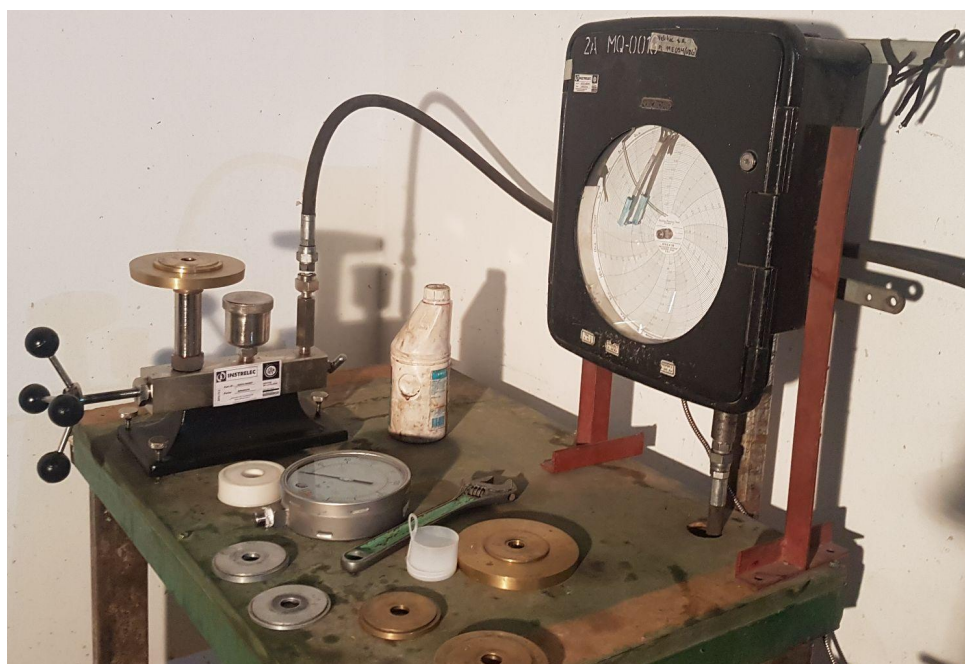
La prueba neumática consiste en dos partes: la prueba de resistencia mecánica y la prueba de hermeticidad. La primera se basa en medir la presión y la temperatura del gasoducto por un periodo de ocho horas a la presión de prueba (1,5 veces la presión máxima de trabajo del gasoducto) y la segunda en medir la presión y la temperatura del gasoducto por un periodo de 24 horas a una presión igual al 90% la presión de prueba. La segunda se realiza



inmediatamente finalizada la primera y se da comienzo a la misma reduciendo la presión del gasoducto en un 10%.

Será la inspección con su criterio, la encargada de determinar si las pruebas son satisfactorias o no. Esto será cuando la variación de la presión al finalizar la prueba no sea mayor a un cinco por ciento (5%), teniendo en cuenta las variaciones térmicas que se producen dentro del caño. La inspección determinará por fracasada la prueba si considera que los cambios en la temperatura del caño no son suficientes para justificar el cambio en la presión registrada y que se sospecha de una fuga. Si la inspección da por fallida la prueba, se debe descomprimir la cañería y en conjunto con el cliente, se deberá iniciar una investigación de la cañería en busca de fugas.

Las mediciones de la presión y temperatura se realizan con sensores que dan señales a un registrador, el cual se encarga de perpetuar todos los valores de forma continua en una carta de registro firmada por la inspección. A continuación, se muestran los equipos nombrados en medio de una prueba neumática.



Balanza de peso muerto y registrador analógico durante ejecución de prueba.

Todos los equipos utilizados en la realización de la prueba deben ser certificados por una empresa competente y es importante que estén en vigencia al momento de ejecutar la misma.

Si la inspección da por aprobada y por ende finalizada la prueba, se procede a la completa descompresión de la cañería y a la etapa final de las tareas ejecutadas por la empresa, el secado del gasoducto.



En la prueba neumática se utilizan:

- Balanza de peso muerto
- Registrador

5. Secado del gasoducto

Luego de finalizar la prueba neumática, se conecta la secadora en el circuito de inyección de aire. La finalidad del proceso de secado del gasoducto es lograr que, el valor de punto de rocío dentro sea igual o menor a menos cuarenta grados centígrados (-40°C). Esto se realiza abriendo una válvula de venteo al final de la cañería y conectando el compresor de baja presión junto a la secadora para inyectar el aire seco y reemplazar al húmedo.

Realizando mediciones con un termohigrómetro certificado en el extremo de salida del caño, se procede a llamar a la inspección cuando los valores sean los adecuados, para demostrar que la cañería se encuentra seca. Una vez cumplido, ésta se cierra por ambos lados y se prosigue a contactar con el cliente para dar con el acto de finalización de las tareas efectuadas.

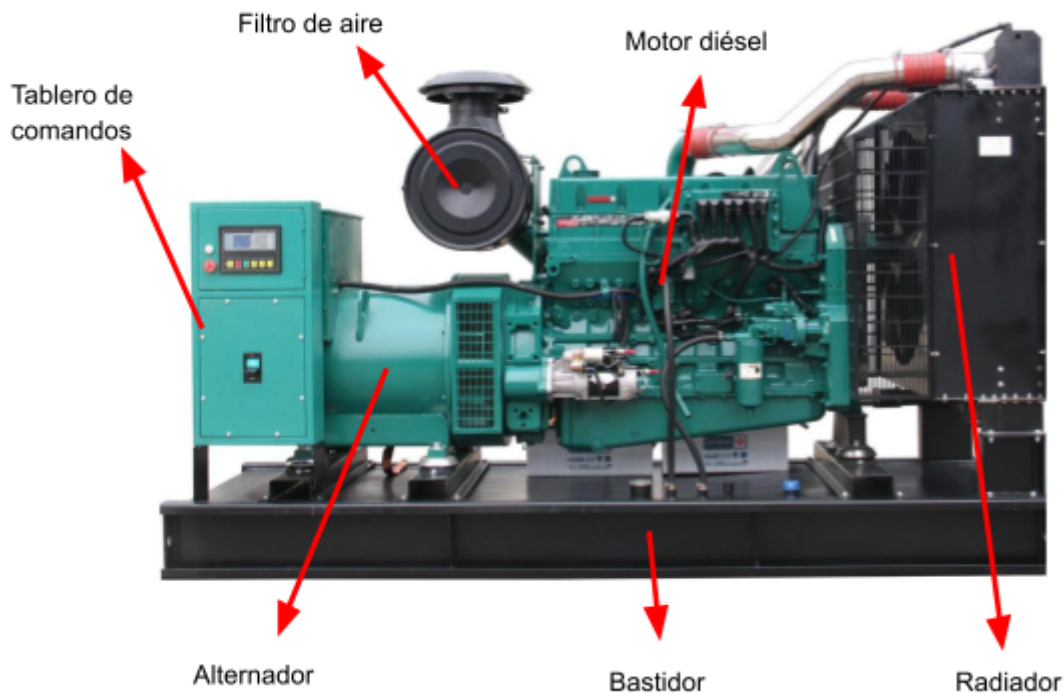
Elementos necesarios para el secado del gasoducto:

- Grupo electrógeno
- Compresor de baja presión
- Secadora
- Termo higrómetro

Descripción y funcionamiento de los equipos

Grupo electrógeno

Los grupos electrógenos se utilizan para brindar energía eléctrica al compresor de baja presión, compresor de alta presión y a la secadora. Los equipos con los que trabaja la empresa son de la marca Cummins, compuestos por un motor, un generador y un radiador. El conjunto está instalado sobre un bastidor con una carcasa que reduce el nivel sonoro que genera. También cuenta con un pequeño tablero eléctrico con un controlador digital el cual facilita al usuario el acceso de todas las funciones que necesita. Este tablero posee un sistema de seguridad integrado que protege al grupo, por accionamientos automáticos dirigidos por un controlador lógico.



Grupo electrógeno Cummins C220.

Descripción de los componentes principales:

- **Motor diésel:** Motor de combustión interna alternativa cuyo principio de funcionamiento es la autoignición del combustible debido a altas temperaturas derivadas de la alta relación de compresión que posee, según el principio del ciclo diésel. Genera energía potencial mecánica haciendo girar un eje el cual está acoplado al eje del generador.
- **Generador o alternador:** Al girar el inductor, se genera un flujo magnético que atraviesa el inducido produciendo una diferencia de potencial y en consecuencia corriente alterna.
- **Sistema refrigerante:** Su función es controlar la temperatura del motor. Contiene líquido refrigerante que absorbe el calor y lo disipa al ambiente por medio de un radiador con la ayuda de un ventilador.
- **Tablero de comando eléctrico:** Protege y controla el funcionamiento del motor. Posee una llave termomagnética que se utiliza como interruptor principal para la entrega de la potencia eléctrica.



A continuación, se presenta una tabla que resume las características principales de equipo:

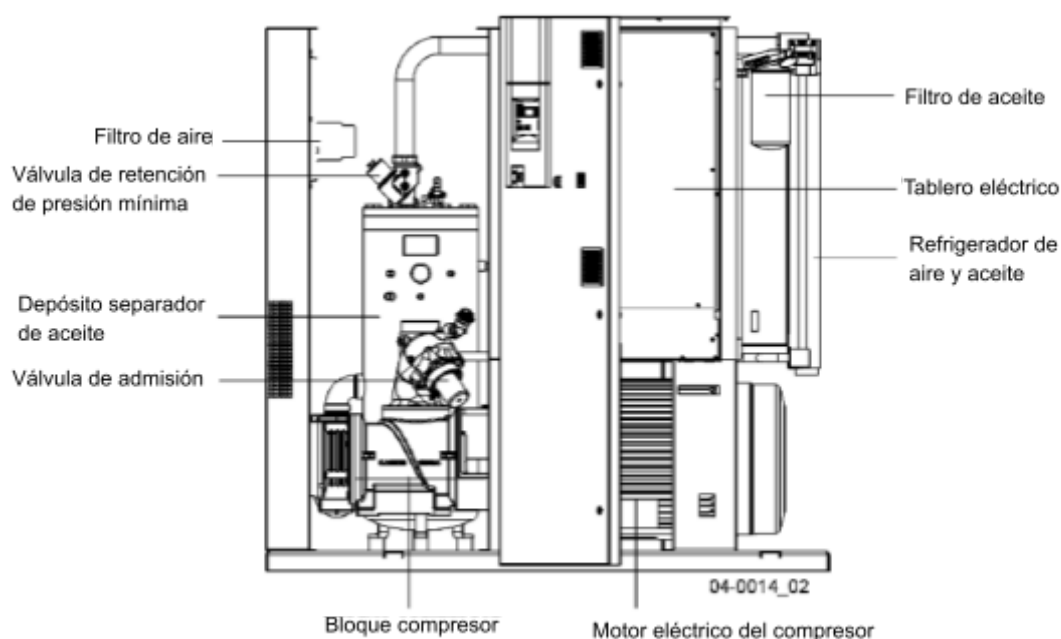
Equipo	Grupo Electrónico	
Marca	Cummins	
Modelo	C220 D5	
Características de salida	Fases	3
	Voltaje	220 o 380 [V]
	Frecuencia	50 [Hz]
Potencia de salida	Standby	220 [kVA]
	Prime	200 [kVA]
Dimensiones	Largo	2746 [mm]
	Ancho	1100 [mm]
	Alto	1646 [mm]
Peso	Seco	1650 [kg]
	Húmedo	2050 [kg]
Consumo aproximado	Diésel común	40 [litros/hora]
Nivel sonoro	90 [dB(A)]	

Tabla de información general del grupo electrónico Cummins C220.

Compresor de baja presión

Son los equipos encargados de comprimir el aire atmosférico hasta alcanzar los 8 bar de presión. Los equipos con los que cuenta la empresa son compresores a tornillo de marca Kaeser de 75 kW de potencia.

Un compresor de aire de tornillo rotativo es un tipo de compresor que utiliza un mecanismo de desplazamiento positivo de tipo rotativo. Dentro del elemento compresor, se encuentran dos tornillos helicoidales los cuales giran en direcciones opuestas para comprimir el aire. El equipo posee un motor eléctrico que transmite energía mecánica a la caja o depósito del compresor a través de una polea.



Vista lateral de un compresor Kaeser CSD - 122.

A continuación, se presenta una tabla que resume las características principales de equipo:

Equipo	Compresor de aire de baja presión	
Marca	Kaeser	
Modelo	CSD - 122	
Tipo	Compresor a tornillo	
Potencia	75 [kVA]	
Caudal máximo	12,0 [m ³ /min]	
Presión de salida	8 [Bar]	
Dimensiones	Largo	1650 [mm]
	Ancho	1041 [mm]
	Alto	1865 [mm]
Peso	1400 [kg]	
Nivel sonoro	70 [dB(A)]	

Tabla de información general del compresor de baja presión Kaeser CSD -122.

Descripción de los componentes principales:

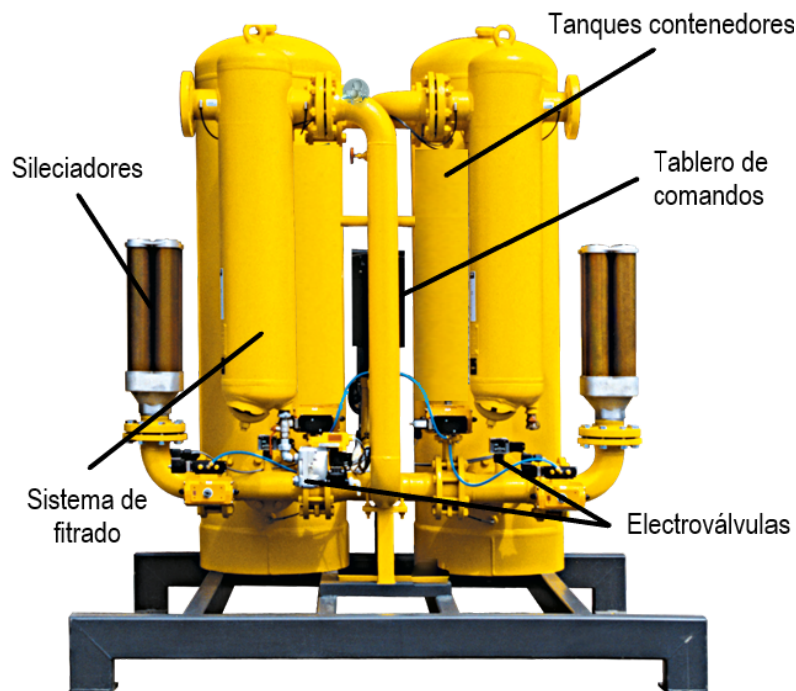
- **Bloque compresor:** Su función es comprimir el aire ambiental por medio de perfiles conjugados de los flancos de tornillos rotores.
- **Motor eléctrico:** Transfiere potencia mecánica al eje del bloque compresor



- Sistema de refrigeración del motor y del compresor: su función es controlar la temperatura. Contiene líquido refrigerante que absorbe el calor generado y lo disipa al ambiente por medio de un radiador y un ventilador.
- Sistema de condensación: Disminuye la temperatura del aire comprimido para condensar el agua contenida.
- Sistema de filtros de aire y aceite: El filtro de aire evita la inserción de partículas contaminantes al bloque compresor. El filtro de aceite se encarga de reducir el nivel de aceite en el aire comprimido.
- Tablero de comandos: Protege y controla el funcionamiento del equipo. Posee un sistema automático que regula los sistemas de alerta ante la presencia de anomalías.

Secadora de aire comprimido

El secador de adsorción se instala aguas abajo del compresor de baja presión para reducir el contenido de agua en el aire comprimido. El principio de funcionamiento se basa en dos contenedores que poseen un lecho de un material adsorbente, que suele ser alúmina activa. Al pasar por estas torres, el aire se desprende de la humedad la cual queda atrapada en el desecante, saliendo con el grado correspondiente al punto de rocío calculado para cada aplicación.



Secadora Kaeser DC 215.



A continuación, se presenta una tabla que resume las características principales de equipo:

Equipo	Secadora	
Marca	Kaeser	
Modelo	DC 215	
Tipo	Secadora por adsorción	
Punto de rocío de salida	(-) 60 [°C]	
Caudal máximo	21,47 [m ³ /min]	
Dimensiones	Largo	1950 [mm]
	Ancho	1500 [mm]
	Alto	1400 [mm]
Peso	1225 [kg]	

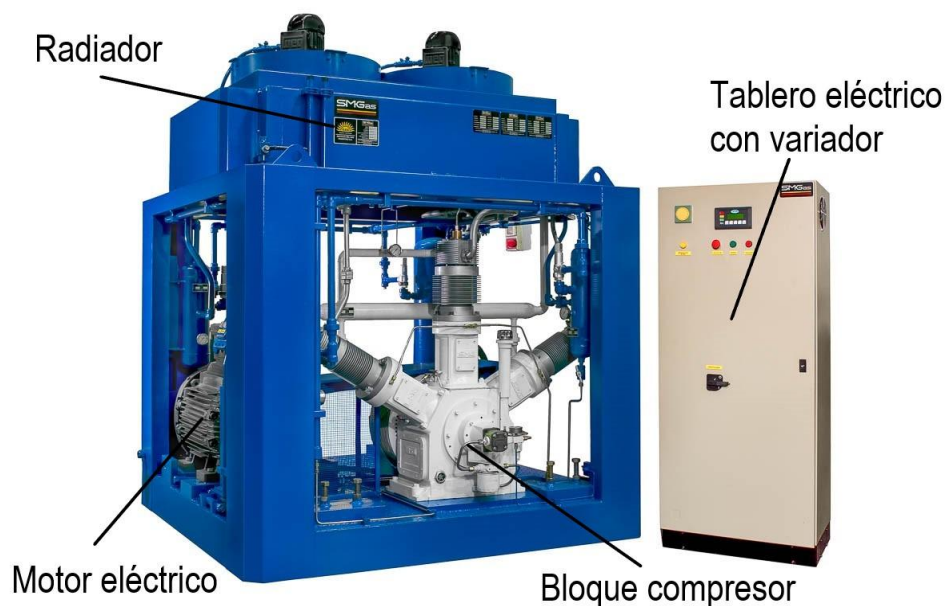
Tabla de información general de la secadora Kaeser DC 215.

Descripción de los componentes principales:

- Prefiltros de aceite, agua y partículas finas: Son los encargados de purificar el aire generado por el compresor de baja presión, lograr una mejor calidad del aire y así proteger el material de filtrado molecular para tener una mayor vida útil del mismo.
- Tanques contenedores del filtro molecular: Almacenan el material de filtrado molecular y es donde se produce el efecto de adsorción por presión.
- Electroválvulas: Son las responsables de regular el caudal de aire para lograr el secado. Son comandadas por un sistema PLC a través de señales eléctricas.
- Silenciadores: Su función es reducir el nivel sonoro que genera la secadora cuando expulsa el aire comprimido.
- Tablero de comandos: Protege a todos los sistemas eléctricos y electrónicos de ejecución, control y protección del equipo.

Compresor de alta presión

Su función es elevar la presión de aire dentro de la cañería para poder realizar la prueba neumática. El sistema está compuesto por un motor eléctrico con variador que, por medio de un conjunto de correas, transmite potencia mecánica a un compresor de desplazamiento positivo alternativo de tres etapas. Le rodea un sistema secundario compuesto por una bomba de aceite y otra de agua con la función de asegurar la correcta lubricación y controlar la temperatura del compresor por medio de un radiador. Las bombas son accionadas por un conjunto de correas auxiliares vinculadas al rotor del compresor.



Compresor de alta presión SMGas 250-3.

A continuación, se presenta una tabla que resume las características principales de equipo:

Equipo	Compresor de alta presión	
Marca	SMGas	
Modelo	250 -3	
Tipo	Compresor de desplazamiento positivo alternativo de 3 etapas	
Potencia de consumo	70 [kVA]	
Caudal	5 [m ³ /min]	
Presión de entrada min	8 [Bar]	
Presión de salida máx	250 [Bar]	
Dimensiones	Largo	2300 [mm]
	Ancho	2400 [mm]
	Alto	2050 [mm]
Peso	1500 [kg]	
Nivel sonoro	80 [dB(A)]	

Tabla de información general del compresor de alta presión SMGas 250-3.

Descripción de los componentes principales:

- **Motor eléctrico:** Transforma la energía eléctrica generada por el grupo electrógeno en energía mecánica. El eje del motor tiene acoplado una polea multicanal conectada a la polea del bloque compresor. La velocidad de rotación del motor está controlada por el variador de frecuencia ubicado en el tablero eléctrico.



- Variador de frecuencia: Se encarga de controlar la frecuencia de la energía eléctrica producida por el grupo electrógeno y por ende de la velocidad del motor determinada por la relación: $RPM = \frac{120 \times f}{p}$, siendo: “RPM” la velocidad de giro en vueltas por minuto, “f” la frecuencia de suministro de corriente alterna y “p” el número de polos.
- Bloque compresor de alta presión: Compresor de desplazamiento positivo alternativo de tres etapas encargado de elevar la presión del aire de ocho bar hasta como máximo doscientos bar.
- Sistema refrigerante: Su función es controlar la temperatura del bloque compresor. Contiene líquido refrigerante que absorbe el calor producido y lo disipa al ambiente por medio de un radiador y un ventilador.
- Tablero eléctrico: Protege a todos los sistemas eléctricos y electrónicos de ejecución, control y protección del equipo.



CAPÍTULO 5: SISTEMA DE MANTENIMIENTO

ACTUAL

En el siguiente capítulo se describe por segmentos el sistema de mantenimiento que conlleva la empresa IGA Ingeniería hacia fines del año 2018.

El entorno geográfico de las obras de redes de gasoductos se encuentra muchas veces atravesando zonas desérticas, sin posibilidad de comunicación, sin facilidades ni tiendas de repuestos. El levantamiento de polvo en el aire reduce la vida útil de algunos componentes como los filtros de aire, por lo que es indispensable tener en cuenta los estados de los mismos y así prever el momento de recambio de estas piezas.

Responsabilidades

En la empresa, el director y el gerente comercial están encargados de la planificación y control de las rutinas de mantenimiento de los equipos. Debido a que es una gestión centralizada, depende únicamente de ellos que se lleve a cabo. A continuación, se describen los diferentes roles del personal en torno a las tareas de mantenimiento.

Director: Cuenta con gran experiencia y conocimiento técnico de los equipos que se utilizan. Las tareas de mantenimiento se ejecutan según su criterio. Es decir, él determina qué y con qué frecuencia se realizan, basándose principalmente en los manuales de los fabricantes de los equipos.

Gerente Comercial: Segundo al mando. En caso de no estar disponible el director, toma su lugar cumpliendo la misma función. Brinda apoyo técnico y logístico para la gestión de las tareas. Es el encargado de la compra de las piezas de repuesto y del control del inventario.

Encargados operativos: Responden al gerente comercial y al director de la empresa y se encargan de ejecutar las tareas preventivas y correctivas. Cumplen instrucciones para las tareas de inspección e intervención de equipos. Cuentan con 15 años de experiencia realizando este tipo de tareas, por lo que el gerente confía en sus capacidades, dándoles independencia de accionar sobre los problemas que se presentan.

Ayudantes operativos: A diferencia de los anteriores, carecen de conocimientos técnicos profundos que les ayuden entender a fondo la naturaleza de los problemas en los equipos.

En general, en los momentos de baja producción, se estimula a realizar tareas de mantenimiento para poder aprovechar los tiempos muertos y amortizar el costo de mano de obra.



Mantenimiento autónomo

Corresponde a aquellas tareas de mantenimiento de rutina que son responsabilidad de los encargados los cuales están constantemente en contacto con los equipos.

Los elementos que se revisan sobre los equipos son:

- Grupo Electrógeno:
 - Temperatura del motor
 - Nivel de líquido refrigerante
 - Nivel de aceite
 - Nivel de combustible
 - Estado de los filtros de aire, de aceite y combustible
 - Estado del radiador y sistema de refrigeración en general
 - Controlar tensión, corriente y frecuencia de salida
 - Estado de la batería

- Compresor de baja presión:
 - Funcionamiento del ventilador del radiador
 - Temperatura
 - Presión de salida
 - Estado de las mangueras
 - Estado del filtro de aire

- Secadora de adsorción
 - Revisión de la presión de entrada y de salida
 - Estado de funcionamiento del PLC
 - Estado de las electroválvulas
 - Estado de las mangueras
 - Punto de rocío de salida
 - Estado de los prefiltros

- Compresor de alta presión
 - Temperatura del motor
 - Nivel de aceite
 - Nivel de líquido refrigerante
 - Presión de entrada y de salida
 - Estado de las correas
 - Frecuencia del variador
 - Funcionamiento de las protecciones



Los métodos y frecuencia para realizar la lectura de los valores y sus rangos de funcionalidad normal, no están estandarizados. Vale aclarar que en la mayoría de los casos, en los equipos se encuentran referencias claras que facilitan la correcta lectura de estos valores. En caso contrario, depende del criterio individual de la persona que realiza la inspección.

Tanto los encargados como los ayudantes reciben una capacitación sobre el uso y cuidado de los equipos al comienzo de sus actividades en la empresa, pero luego no se realizan nuevas inducciones que complementen y afirmen los conocimientos.

Mantenimiento basado en la rotura

Para ciertos componentes de los equipos se implementa un mantenimiento a rotura cuando las fallas no implican retrasos significativos en la producción y resulta más eficiente que aplicar un mantenimiento de manera preventiva. Esto se da únicamente en elementos que fallan de forma excepcional.

Cuando se encuentra la falla de un elemento, el operario se comunica directamente con el director y el gerente comercial, así entre todos actúan en conjunto para solucionar el problema en el menor tiempo posible.

A continuación, se mencionan algunos ejemplos donde se aplica esta forma de mantenimiento:

- Correas de transmisión
- Batería del grupo electrógeno
- Válvulas generales
- Electroválvulas de la secadora
- Mangueras en general

Mantenimiento preventivo

a) Mantenimiento basado en tiempo

La empresa realiza mantenimiento preventivo basado en el tiempo sobre determinados elementos. Esto consiste en reemplazar las piezas de equipos de acuerdo a los ciclos establecidos por los fabricantes. Para esto, la empresa se apoya en los registros de los cuantahoras de los equipos. Elementos que se cambian con este criterio son:

- Aceite:
 - Aceite del grupo electrógeno
 - Aceite del compresor de baja presión
 - Aceite del compresor de alta presión



- Filtros:
 - Filtro de aire del grupo electrógeno
 - Filtro de combustible del grupo electrógeno
 - Filtro de aceite del grupo electrógeno
 - Filtro de combustible del grupo electrógeno
 - Filtro de aire del compresor de baja
 - Filtro de aceite del compresor de baja
 - Prefiltro de agua, aceite y partículas finas de la secadora

b) Mantenimiento basado en la condición

La metodología con la cual la empresa realiza las mediciones de la condición de los elementos de recambio es muy simple y subjetiva, se basa en la experiencia de quien realice la inspección y no existen indicadores que permitan obtener un resultado objetivo.

Los operarios realizan continuamente inspecciones visuales y sonoras sobre los equipos de trabajo, pudiendo percatar cambios producto del deterioro de alguno de los componentes. Estas son realizadas únicamente con los sentidos y sin ninguna herramienta complementaria. Esto conlleva a que pueda haber discrepancias entre las opiniones de los empleados sobre la condición en la que se encuentran los equipos y que pueda ocurrir que se desestimen problemas con resultados posiblemente severos.

Actividades de mantenimiento basado en la condición de los equipos:

- Limpieza exterior del radiador del grupo electrógeno
- Limpieza exterior del radiador del compresor de baja presión
- Limpieza exterior del radiador del compresor de alta presión
- Limpieza superficial de los equipos
- Revisión visual de las correas del compresor de alta presión

Registro de las tareas efectuadas

El sistema de registro de las tareas realizadas en la empresa es muy simple debido a una cuestión práctica. En los inicios de la empresa, no hubo necesidad de desarrollar un sistema complejo que contenga información detallada de todas las actividades referidas al mantenimiento de los equipos. La poca cantidad de estos y de actividades de mantenimiento relacionadas eran ejecutadas por el propio director. Para fines del 2018, al haber varias personas involucradas, resulta más difícil llevar un seguimiento de lo realizado de forma integral.



El sistema de registro actual se basa en escribir en el chat grupal de WhatsApp de la empresa los siguientes conceptos:

- Equipo al que se realizó el mantenimiento
- Tarea que se realizó
- Fecha de ejecución de la tarea
- Tiempo registrado en el cuentahoras

Desventajas del sistema de registro actual

- Debido a la informalidad, la confección del registro frecuentemente es incompleto. La facilidad y flexibilidad que en un principio eran una ventaja, hoy en día son la causa de problemas.
- No existe un formato definido y completo que ayude a la trazabilidad de los equipos producido por la falla de la comunicación entre las partes.
- Los empleados de producción, al no sentirse identificados con las responsabilidades de la gestión del mantenimiento, no comunican las lecturas del cuentahoras.
- El personal en contacto con los equipos no tiene el conocimiento específico sobre cuál es el correcto cuidado de los mismos. Esto lleva a que se subestime la confección del registro de tareas.
- La falta de registros produce pérdida de información y fiabilidad, lo cual lleva a confusiones que generan costos adicionales:
 - Costos referidos al tiempo perdido investigando el historial de las máquinas
 - Costos sobre re trabajos
 - Costos referidos a la reducción de la vida útil de los equipos
 - Fallas en producción que generan retrasos afectando la imagen de la empresa

Inventario de herramientas y repuestos

Existe un stock de los elementos necesarios para realizar las tareas de mantenimiento de los equipos. Estos se almacenan en dos lugares separados:

- Edificio de las oficinas: Por lo general se almacenan las piezas de mayor valor para evitar grandes pérdidas por extravíos.
- Taller: Se almacenan herramientas, piezas de repuesto y consumibles. No existe un lugar específico ni criterio de guardado claro que facilite su organización. Hay escasa rotulación y cartelera en los estantes. Frecuentemente al desconocer la ubicación exacta, y ante la urgencia, se procede a realizar la compra de nuevos elementos cuando en realidad hay existencia de stock.

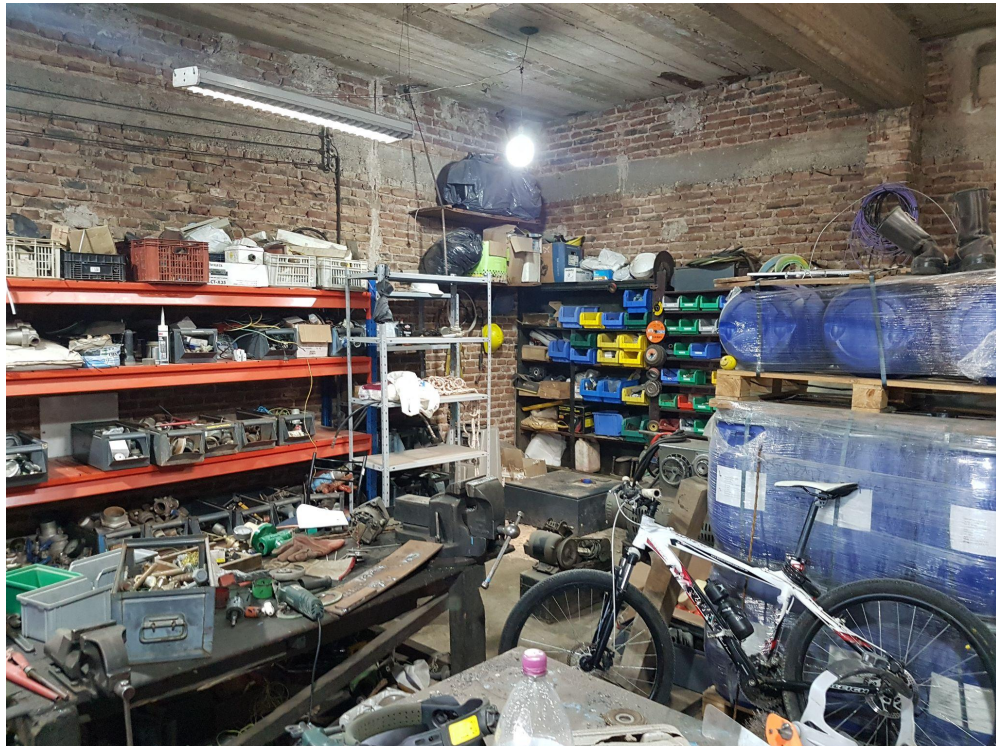


Esta falta de organización lleva consigo un conjunto de costos adicionales para la empresa:

- ❖ Pérdidas de tiempo en búsquedas
- ❖ Pérdidas de tiempo en la compra de nuevos ítems innecesarios
- ❖ Costos de almacenamiento improductivo referidos al stock que no se utiliza
- ❖ Costo por depreciación del elemento o roturas accidentales

El gerente comercial es el encargado de la compra y logística de la mayoría de las piezas. Posee una planilla de Microsoft Excel donde lleva el registro de las mismas, con sus respectivos códigos, compatibilidades entre marcas y precios a modo de comparación.

Las siguientes imágenes muestran el taller de la empresa.



Taller de la empresa IGA Ingeniería (1 de 2).



Taller de la empresa IGA Ingeniería (2 de 2).

Análisis y diagnóstico de la situación actual

Con la metodología actual de mantenimiento se observa que:

- ❖ No existen lecciones puntuales de trabajo sobre las tareas mantenimiento, por lo que no se realizan de la misma forma.
- ❖ El periodo de inspección de los equipos es irregular, dependiendo esencialmente de la noción del gerente y en función a la carga productiva. Por faltas de tiempo, el director pierde la continuidad del mantenimiento a realizar propuesto por los fabricantes, pudiendo llegar a producir fallas inesperadas y/o estimar erróneamente la vida útil de las máquinas.
- ❖ Se priorizan objetivos a corto plazo en contraste de aquellos de largo plazo. Cuando hay un pico de producción, es más susceptible a que se presenten problemas ya que no hay tiempos ociosos que promuevan y estimulen las tareas de mantenimiento.



- ❖ Existen actividades de mantenimiento que son tercerizadas. Esto ocurre cuando no se tienen los conocimientos ni las herramientas para realizarlas o sencillamente cuando la empresa se encuentra en un pico de producción en el cual hay carencias de tiempo. Un ejemplo es el mantenimiento de los motores eléctricos.

Medidas a llevar a cabo

Basado en el diagnóstico anterior, se decide implementar un plan de mantenimiento para organizar las acciones y preservar un registro firme de las tareas vinculadas.

Como primer punto se evaluará el uso y estado de los equipos, se determinará los fallos potenciales, analizando sus efectos y probables causas. Para ello se decide implementar un Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) de cada equipo con el que se definirá el “Índice de Prioridad de Riesgo”, es decir, las causas con mayor prioridad a intervenir, para las cuales se describirán propuestas de mejoras y se establecerán hojas modelos de “Lección Puntual de trabajo”.

Finalmente, se decide realizar un análisis económico comparando los gastos a incurrir en mejoras con los beneficios que se obtendrían, confeccionando un flujo de fondos para pronosticar la rentabilidad y concluir si es viable o no desde un punto de vista patrimonial.



CAPÍTULO 6: MARCO TEÓRICO

Definición y objetivos del mantenimiento

Según las normas internacionales, el mantenimiento se puede definir como la *“Combinación de técnicas y acciones administrativas incluyendo acciones de supervisión, que permitan conservar o restaurar un activo para que cumpla con las funciones requeridas”*¹.

El gerenciamiento moderno considera que el mantenimiento forma parte fundamental del negocio de la empresa, por lo que si este servicio se desarrolla correctamente serán mucho mayores los beneficios que genera en términos de disponibilidad de equipos para producir productos cumpliendo con las exigencias de cantidad, calidad y seguridad, que los gastos que el departamento de mantenimiento genera.

Un servicio de mantenimiento competitivo debe estar ajustado a la necesidad real e integrado al negocio de la empresa. Las acciones de mantenimiento tienen que estar alineadas con las decisiones de la dirección.

El mantenimiento es un proceso en sí mismo que tiene un fin determinado, es el conjunto de actividades que permiten que los medios tecnológicos productivos no sufran detenciones que ocasionen pérdidas en la productividad de un proceso de elaboración. Los resultados se evalúan primeramente por el enfoque simple de que los medios deben estar en perfectas condiciones para realizar la producción con los niveles requeridos de calidad, seguridad y cuidado ambiental. Para ello, debe gestionar los recursos escasos racionalizando gastos para incrementar la productividad de la empresa. Esto hace que la cantidad de personal disponible sea cada vez menor y aumente la competencia profesional necesaria, para que los repuestos en los almacenes estén equilibrados de manera racional y con rápida respuesta a fallas. Todo ello lleva a que el mantenimiento implique una gestión dinámica.

El mantenimiento debe sobresalir por su capacidad de respuesta y sus bajos costos, es decir debe ser eficiente y eficaz. Desarrolla una función económica a través de actividades técnicas por lo que debe adaptarse a un presupuesto de gastos dentro de una estructura de costos. Hoy en día, debido a la alta competencia, los medios utilizados tienen más capacidad productiva por lo que cada detención implica una pérdida. El mantenimiento tiene la función técnica de preservar los activos de la empresa.

¹ Norma ISO 14224-2016: *Recolección e intercambio de información de confiabilidad y mantenimiento de equipo para industrias de petróleo, petroquímicos y gas natural.*

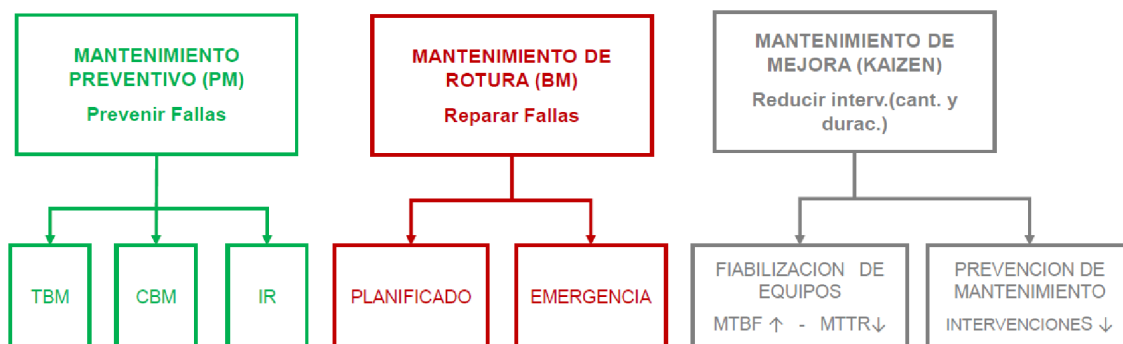


Los objetivos tienen por finalidad el control, deben ser claros y cuantificados para que pueda medirse su cumplimiento y deben poder ser alcanzados y no ser contradictorios:

- Buscar que los medios productivos tengan un alto nivel de disponibilidad a fin de garantizar el cumplimiento de las metas de producción con la calidad requerida respetando las condiciones de seguridad y cuidado del ambiente.
- Mantener los activos de la empresa en sus niveles más altos de prestaciones.
- Desarrollar una gestión de manera que las intervenciones garanticen el correcto funcionamiento de las áreas productivas racionalizando los costos de servicio y de materiales. El mantenimiento debe ser eficaz y eficiente.

Tipos de mantenimiento

Las estrategias de mantenimiento a aplicar en cada caso se establecen según la necesidad de cada equipo e industria, el nivel de automatización, el producto a fabricar, horas de funcionamiento, etc.



1) Mantenimiento Preventivo (PM)

Son acciones preventivas (proactivas, adelantarse a la falla) programadas en intervalos tendientes a reducir o eliminar la probabilidad de fallas o degradación del funcionamiento de equipos y/o partes. Busca disminuir o erradicar la ocurrencia de fallas, accidentes y posibles contaminaciones asociadas al mal funcionamiento de un equipo o partes.

Existen distintos tipos de mantenimiento preventivo:



a) Mantenimiento basado en el tiempo o TBM (Time Based Maintenance)

Son inspecciones y acciones programadas en forma periódica, asociadas a una referencia de uso del equipamiento (100 horas, 10000 km, 1000 piezas, mensual, trimestral, anual, etc.) Un ejemplo de este mantenimiento sería el que se les realiza a los autos luego de una cierta cantidad de km.

Se determinan los puntos críticos del equipo para minimizar los tiempos de paradas o bajo rendimiento de los mismos, se basa en la planificación, construcción de estándares y revisiones sistemáticas para detectar señales de mal funcionamiento.

Los estándares de mantenimiento preventivo TBM son los procedimientos que establecen qué se debe hacer y cómo efectuarlo, permiten asegurar las buenas prácticas. Una vez que se determina la mejor forma de realizar una actividad, se escribe y se documenta, en la medida que no existen estándares de mantenimiento existe una dependencia de las personas que saben. Los estándares contienen:

- Esquemas generales de los equipos a controlar
- Herramientas necesarias
- Elementos y condiciones de seguridad
- Competencias necesarias
- Frecuencia de las inspecciones
- Tiempo asignado por actividad

Se generan a partir de recomendaciones del fabricante del equipo y se optimizan mediante un análisis metodológico basado en el trabajo en equipo y aplicación de conocimientos adquiridos por el personal de mantenimiento y producción. Estas tareas pueden ser realizadas por operarios especializados si las mismas son complejas o por operarios de producción si son simples.

Este tipo de mantenimiento requiere un soporte informático donde se cargarán los datos de los equipos y sus criticidades como así también los registros de las intervenciones y otra información adicional. Permite planificar las rutinas periódicas de inspección, asignando recursos humanos, materiales y tiempo de ejecución.

En las empresas se habla de dos tipos de mantenimiento: el que realiza el sector de producción y el que realizan los especialistas en mantenimiento. Los japoneses eliminaron esta división entre mantenimiento por un lado y producción por otro puesto que generaba pérdidas de productividad, desperdicios, discusiones, etc. y establecieron el mantenimiento productivo que



es el aquel que realiza el área de producción enfocado en el auto mantenimiento o mantenimiento autónomo. Éste, genera ventajas debido a la estrecha relación existente entre el operario y la máquina.

El mantenimiento TBM es costoso puesto que requiere una estructuración técnica, humana, administrativa y solamente puede implementarse en aquellas empresas cuya tecnología de procesos, niveles productivos y recursos lo permitan.

b) Mantenimiento basado en la condición (predictivo) o CBM (Conditions Based Maintenance)

Son inspecciones y mediciones periódicas de ciertas variables asociadas a la degradación de un equipo como por ejemplo temperatura, vibración, viscosidad, grietas, corrosión, desgaste, etcétera. Para poder detectar degradaciones se tienen que conocer las condiciones iniciales del equipamiento.

El mantenimiento predictivo o condicional es un mantenimiento preventivo basado en una operación de supervisión del activo y de parámetros significativos de funcionamiento que puede ser realizado en forma periódica, a demanda o mediante monitoreo continuo. Permite establecer el nivel de degradación y predecir la ocurrencia de fallas a través de la apreciación de síntomas o señales que la máquina emite. Según la magnitud de las señales y exigencias de proceso se utilizarán los sentidos humanos o instrumentos y ensayos de cierta complejidad.

Mientras que en el TBM los estándares requerirán que se registren datos y realicen inspecciones periféricas de ajuste y limpieza a intervalos regulares, en el CBM se predice la ocurrencia de una falla a través de la apreciación de señales que la máquina emite.

Los parámetros a controlar son:

- **Vibraciones anómalas:** Los elementos móviles como rodamientos, engranajes, ejes, rotores, poleas, etcétera, pueden estar desgastados, desbalanceados, desalineados o deformados originando inicialmente pequeñas vibraciones imperceptibles a los sentidos y luego a medida que el deterioro continúa se incrementan llegando al colapso. Analizando el espectro de vibraciones se define cuál es el nivel de degradación del equipamiento, teniendo una idea de cuan cerca está el elemento de la rotura y permitiendo programar su reemplazo o reparación.
- **Temperaturas elevadas:** Se puede analizar el exceso de temperatura en los componentes eléctricos o mecánicos. Algunas veces pueden



detectarse mediante contacto con el elemento anómalo o usando termómetros infrarrojos, sin embargo, la primera opción es imposible para los componentes eléctricos por lo que se detectan los puntos calientes producto de sobrecarga o falso contacto mediante el análisis termográfico infrarrojo.

En los elementos mecánicos las altas temperaturas pueden ir acompañadas con emisión de ruidos y vibraciones anómalas.

- **Potencia y corriente absorbida:** Los motores eléctricos consumen una determinada potencia y corriente nominal de servicio para una determinada condición de trabajo, cuando por alguna causa anómala la carga que deben mover aumenta se produce un incremento en la intensidad y con ello un aumento en la potencia absorbida. La sobrecarga puede ser originada por elementos rotantes o sistemas de traslación con excesivo rozamiento o desgaste producido por el juego incorrecto o lubricación deficiente.
- **Análisis de lubricantes:** Los lubricantes permiten determinar qué está pasando en los mecanismos, ya sea porque se degradan fuera de los límites de diseño denotando anomalías de funcionamiento o porque en ellos se detectan partículas metálicas, óxido o contaminación líquida como agua u otros aceites.

2) Mantenimiento correctivo o de rotura (breakdown maintenance)

“El mantenimiento a la rotura es aquel que se lleva a cabo después de haberse reconocido la falla y tiene la intención de poner el equipo en un estado que le permita realizar la función requerida”².

Este método se aplica en los casos donde el Mantenimiento Preventivo no es efectivo: equipos electrónicos, autómatas PLC, robot, fallas electromecánicas no detectables con el MP, o en caso que resulte más económico que realizar una acción preventiva.

Normalmente son acciones reactivas tendientes a levantar rápidamente fallas de equipos durante la producción y en este caso la estrategia será optimizar los tiempos de diagnóstico, aprovisionamiento y recambio de repuestos para reducir al mínimo los tiempos de equipos fuera de servicio.

El mantenimiento a rotura es costoso porque implica paradas de producción, la gente se moviliza de manera agitada por la presión y puede que la reparación sea poco satisfactoria. Al no realizar intervenciones efectivas, las fallas son cada vez más frecuentes y sus efectos se profundizan. Además, se

² Según Norma ISO 14224-2016.



van perdiendo las condiciones originales de las máquinas disminuyendo su capacidad operativa y su calidad.

3) Mantenimiento de mejora (Kaizen)

Tiende a optimizar las condiciones y elementos de la máquina para mejorar su performance o facilitar el acceso para realizar un mantenimiento más eficaz y eficiente. Busca mejorar por un lado lo que es la fiabilidad MTBF (tiempo medio entre fallas) y la mantenibilidad del equipo MTTR (tiempo medio de reparación).

Esta instancia de mantenimiento es desarrollada por los sectores operativos con el apoyo del área de ingeniería, que analiza los registros históricos de la máquina, sus roturas, reparaciones e intervenciones. Estudia la conveniencia y la factibilidad de realizar modificaciones al diseño original para adaptar un componente nuevo con un mejor desempeño.

Organización del mantenimiento

Existen diferentes formas de organización del mantenimiento. Su configuración depende de factores tanto internos como externos.

Factores condicionalmente internos de la organización son:

- La capacidad económico-financiera
- El volumen de producción, comercializable en términos rentables
- El tipo de productos y los procesos para obtenerlos, etc.

Factores condicionantes externos a la organización son:

- El ámbito social
- La ubicación geográfica
- La distribución geográfica de la organización
- La disponibilidad de mano de obra capaz, servicios, energía, agua, etc.
- La evolución económica del mercado
- La absorción del producto o productos

Los departamentos de mantenimiento pueden estar bajo las órdenes de la dirección a un mismo nivel de la producción o ser parte íntegra de la producción. Se puede clasificar en:

- **Mantenimiento centralizado:** Es un organismo de mantenimiento que sin tener en cuenta su dependencia, tiene toda la responsabilidad del servicio. Esta forma de organización se aplica en fábricas relativamente pequeñas o medianas.



- **Mantenimiento descentralizado:** En este caso el mantenimiento depende de cada una de las áreas productivas y de servicio. También se lo denomina mantenimiento asignado y se aplica generalmente en grandes complejos industriales donde las áreas están geográficamente dispersas.
- **Mantenimiento mixto:** Es el mantenimiento cuya organización está dividida. Se establece, por un lado, al centralizar las tareas técnico-administrativas en un departamento y por otro, los grupos operativos del mantenimiento se descentralizan asignados a áreas o tareas determinadas.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o Fiabilidad o Reliability Centered Maintenance (RCM)

“Sirve como método sistemático y estructurado para determinar el mantenimiento más adecuado a aplicar a un equipo para que este siga cumpliendo con las funciones para las que fue concebido y en su contexto operacional actual”³.

Por otro lado, se puede definir fiabilidad de máquina como: *“la probabilidad de que un equipo funcione adecuadamente durante un período determinado bajo condiciones operativas específicas”.*

Objetivo

El principal objetivo de aplicar un RCM en un proceso industrial es aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir, reducir el tiempo de parada por fallos en los equipos, aumentando así la disponibilidad de los mismos y así poder cumplir con el plan maestro de producción, al menor costo posible.

Para una correcta aplicación de un plan RCM es necesario mejorar la comprensión del funcionamiento de los equipos, analizar las probabilidades de fallos del sistema productivo y diseñar mecanismos que intenten evitarlos, de manera tal que se garantice una disponibilidad acorde al plan de producción.

Siete conceptos clave

La Norma SAE JA1011 sobre “Criterios de Evaluación para el Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)”, propone una serie de siete preguntas para evaluar los procesos y equipos de un sistema productivo y constituyen la base para determinar el tratamiento que debe recibir cada uno de ellos. Las preguntas intentan revelar, para cada activo estudiado, lo siguiente:

³ *Mantenimiento Industrial 2018. Gallará, Pontelli, Gangi.*



1) Funciones y parámetros de funcionamiento

- a) **Función primaria:** Es la razón de existir del equipo, las funciones principales, para lo que fue diseñado (ej.: para una rectificadora: rectificar piezas de acero tratado con cierta velocidad y terminación superficial).
- b) **Funciones secundarias:** Son otras funciones que el equipo cumple aparte de la principal (ej.: la rectificadora se usa como afiladora de herramientas con una piedra especial).
- c) **Funciones de seguridad:** Reducen las posibilidades de fallos y protegen a las personas (ej.: barreras, alarmas).
- d) **Funciones superfluas:** Son elementos que no se utilizan, por lo tanto, no aportan a la productividad ni a la seguridad de la máquina, pero sí pueden generar fallos con consecuencias sobre la fiabilidad de la máquina.

2) Posibles formas de falla de estas funciones

- 3) **Causas y modo de falla:** Son los eventos que se pueden dar de manera aleatoria o esperada y que generan la pérdida de función en el equipo. Pueden ser errores humanos, desgaste o errores de diseño de la máquina. En el análisis deben registrarse los modos de fallo que tengan una posibilidad relevante de darse.
- 4) **Consecuencias y efectos de la falla:** Son justamente las consecuencias a raíz de la ocurrencia del modo de fallo, es decir; lo que sucedería a nivel productivo, de seguridad, de higiene o cualquier ámbito, sin tener en cuenta posibles medidas de contención o prevención.
- 5) **Importancia de la falla:** Es el impacto que tendrá este efecto del fallo. Esta importancia se puede medir a nivel productivo o de la empresa en general, de acuerdo a la magnitud del efecto.
- 6) **Formas de prevenir o predecir la falla:** Actividades de inspección o intervención para prevenir el modo de fallo.
- 7) **Plan de contingencia en caso de no poder evitar la falla:** Se da cuando no existe un plan de prevención o este no es efectivo, se actúa directamente sobre el efecto de fallo, intentando corregirlo con la mayor rapidez posible para que el equipo vuelva a sus funciones esperadas.



Fases del RCM

La puesta en marcha de un plan de mantenimiento RCM se puede dividir en 10 fases, que se van a ir ejecutando sucesivamente para llegar finalmente a un plan de mantenimiento acorde a las necesidades específicas de la planta. Las fases son las siguientes:

- 1) Definir los objetivos de la implantación del sistema RCM. Determinar indicadores y valoración de estos antes de iniciar el proceso.
- 2) Codificar y listar todos los sistemas, subsistemas y equipos que componen la planta (o el sector de la planta a estudiar).
- 3) Estudiar detalladamente el funcionamiento y las especificaciones del sistema. Listar funciones de los sistemas, subsistemas y equipos.
- 4) Determinar fallos funcionales para cada elemento básico del sistema.
- 5) Determinar modos de fallo para cada elemento básico del sistema.
- 6) Estudiar los efectos de cada uno de los fallos y clasificación de los mismos según criticidad.
- 7) Determinar medidas preventivas o de contingencia para cada caso.
- 8) Agrupar las medidas preventivas en categorías. Elaboración del plan de mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación, procedimientos de operación y de mantenimiento, repuestos, etc.
- 9) Puesta en marcha del plan de mantenimiento RCM.
- 10) Evaluación del plan de mantenimiento RCM mediante la comparación de los indicadores valorados en la fase 1.

Diagrama de decisión

Este diagrama plantea una serie de preguntas que va a ir guiando al diseñador del sistema sobre qué acciones son adecuadas para cada tipo de fallo. El diagrama se basa en los efectos del fallo y plantea preguntas para cuatro ramas:

- Consecuencias de un fallo oculto
- Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias no operacionales

A partir de las respuestas que vayan dilucidando el diseñador del plan, irá identificando las acciones adecuadas para cada caso, ya sea realizar:

- Tareas a condición, es decir mantenimiento basado en la condición o CBM, mediante el control periódico de determinadas variables.
- Tareas de reacondicionamiento cíclico, es decir el mantenimiento preventivo basado en el tiempo o TBM, mediante el ajuste, limpieza, calibración o puesta a punto del equipo.



- Tareas de sustitución cíclica, corresponde a un TBM con sustitución de piezas o de equipos completos, según la vida útil de los mismos.
- Tareas de búsqueda de fallos, corresponde a aquellas tareas de detección de fallos ocultos y no identificables con las tareas anteriores.

Utilizando esta herramienta en combinación con el AMFE es posible armar un plan de mantenimiento con las tareas a realizar en cada caso y en qué momento, siguiendo un nivel de prioridad según la criticidad de cada elemento.

A continuación, se muestra en detalle un diagrama de decisión:

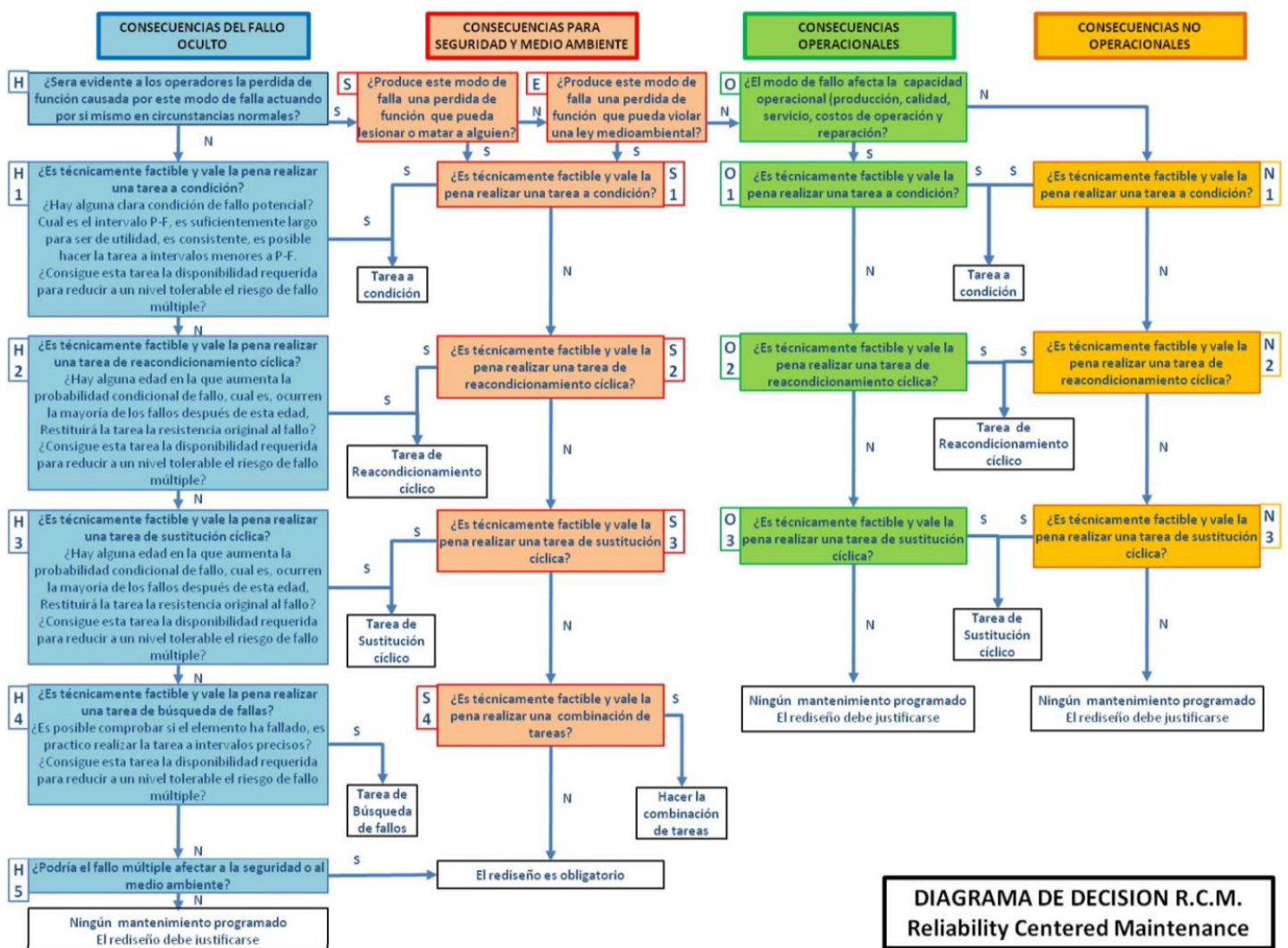


DIAGRAMA DE DECISION R.C.M.
 Reliability Centered Maintenance

Diagrama de decisión RCM.⁴

⁴ MOUBRAY John, Reliability Centered Maintenance, 1997.



Análisis Modal de Fallos y Efectos

Un análisis modal de fallos y efectos (AMFE) es un procedimiento de análisis de fallos potenciales en un sistema de clasificación determinado por la gravedad o por el efecto de los fallos en el sistema. Esta herramienta consiste en individualizar cada componente del equipo con su función correspondiente y, mediante un proceso de análisis, determinar el nivel de criticidad de cada uno, siguiendo estos pasos:

- 1) Identificar cada uno de los componentes del equipo según la función que desempeñan.
- 2) Detallar la función de cada componente.
- 3) Determinar los fallos potenciales que presentan estas funciones.
- 4) Identificar los efectos generados por la aparición de estos fallos.
- 5) Asignar un nivel de severidad (S) a cada efecto.
- 6) Determinar las causas (modos de fallo) de estos fallos.
- 7) Asignar un nivel de ocurrencia (O) a cada modo de fallo.
- 8) Describir el tipo de control que se realiza para detectar cada fallo.
- 9) Establecer un nivel de detección (D) de cada fallo.
- 10) Calcular el índice de prioridad de riesgo (IPR) para cada función:

$$IPR = S \times O \times D$$

A partir de esto, se obtiene una hoja de información con un listado de componentes, funciones y su nivel de criticidad IPR. Ésta se tendrá en cuenta para el diseño del plan de mantenimiento.

Criterios

Elemento: Objeto que se pretende analizar. Puede ser un sistema, subsistema, pieza, componente o conjunto de componentes de la máquina.

- Equipo: Máquina que posee la empresa a analizar.
- Sistema: Conjunto de componentes de la máquina analizada.
- Componente: Pieza del sistema analizado.

Fallo o Modo de fallo: Se define como la forma en la que un elemento pudiera fallar potencialmente a la hora de satisfacer el propósito de diseño/proceso, los requisitos de rendimiento y/o las expectativas del cliente. Los modos de fallo potencial se deben describir en términos “físicos” o técnicos, no como síntoma detectable por el cliente. El error humano de acción u omisión en principio no es un modo de fallo del componente analizado. Es recomendable numerarse correlativamente. Un fallo puede no ser detectable inmediatamente, y esto es un aspecto importante a considerar y por tanto no debería nunca pasarse por alto.



Efectos del fallo: Normalmente es el síntoma detectado por el cliente/usuario del modo de fallo, es decir si ocurre el fallo potencial como lo percibe el cliente, pero también como repercute en el sistema. Se trata de describir las consecuencias no deseadas del fallo que se puede observar o detectar, y siempre deberían indicarse en términos de rendimiento o eficacia del producto/proceso. Es decir, hay que describir los síntomas tal como lo haría el propio usuario. Cuando se analiza solo una parte se tendrá en cuenta la repercusión negativa en el conjunto del sistema, para así poder ofrecer una descripción más clara del efecto. Si un modo de fallo potencial tiene muchos efectos, a la hora de evaluar, se elegirán los más graves.

Causas del modo de fallo: La causa o causas potenciales del modo de fallo están en el origen del mismo y constituyen el indicio de una debilidad del diseño cuya consecuencia es el propio modo de fallo. Es necesario relacionar con la mayor amplitud posible todas las causas de fallo concebibles que pueda asignarse a cada modo de fallo. Las causas deberán relacionarse de la forma más concisa y completa posible para que los esfuerzos de corrección puedan dirigirse adecuadamente. Normalmente un modo de fallo puede ser provocado por dos o más causas encadenadas.

Controles actuales: En este apartado se deben reflejar todos los controles existentes actualmente para prevenir las causas del fallo y detectar el efecto resultante.

Detectabilidad: Indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, sea detectado con antelación suficiente para evitar daños, a través de los “controles actuales” existentes a tal fin. Es decir, la capacidad de detectar el fallo antes de que llegue al cliente final. Inversamente a los otros índices, cuanto menor sea la capacidad de detección mayor será el índice de detectabilidad. Se hace necesario aquí puntualizar que la detección no significa control, pues puede haber controles muy eficaces, pero si finalmente la pieza defectuosa llega al cliente, ya sea por un error, etc., la detección tendrá un valor alto.

Detectabilidad "D"	Criterio	Valor
Muy Baja	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final. No se conocen medidas de control disponibles para detectar el modo de falla.	10 9
Baja	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con las medidas de control establecidas hasta el momento.	8 7
Moderada	El defecto es detectable y posiblemente llegue al cliente. Probabilidad moderada de que las medidas de control actuales detecten el modo de falla.	6 5 4
Alta	El defecto es fácilmente detectable, por lo que es poco probable que llegue al	3



	cliente. Probabilidad alta que las medidas de control detecten el modo de falla.	2
Muy Alta	El defecto es evidente. Probabilidad alta de que las medidas de control existentes detecten el modo de falla.	1

Clasificación de la facilidad de detección del modo de falla.

Dentro de una misma clasificación hay distintos valores numéricos que afectan el índice de prioridad de riesgo. Se establecen según el criterio de diseño y la experiencia.

Ocurrencia: Mide la repetitividad potencial u ocurrencia de un determinado fallo, es decir la probabilidad de aparición del fallo. Es la probabilidad de que una causa potencial de fallo (causa específica) se produzca y dé lugar al modo de fallo. Se trata de una evaluación subjetiva, con lo que se recomienda, si se dispone de información, utilizar datos históricos o estadísticos. Si en la empresa existe un Control Estadístico de Procesos es de gran ayuda para poder objetivar el valor. No obstante, la experiencia es esencial. La única forma de reducir el índice de frecuencia es:

- Cambiar el proceso, para reducir la probabilidad de que el fallo pueda producirse.
- Incrementar o mejorar los sistemas de prevención y/o control que impiden que se produzca la causa de fallo.

Ocurrencia "O"	Criterio	Valor
Muy Baja	Falla improbable. Sin fallas asociadas con procesos idénticos, no ha ocurrido en el pasado, pero es considerable.	1
Baja	Fallas aisladas asociadas con procesos similares o idénticos. Es razonablemente esperable, aunque es poco probable que suceda.	2 3
Moderada	Defectos aparecidos ocasionalmente en procesos similares o previstos al actual. Probablemente aparecerán algunas veces en el producto o proceso.	4 5 6
Alta	La falla se presenta con cierta frecuencia en procesos similares, previos o en algunos que hayan fallado en el pasado.	7 8
Muy Alta	Falla inevitable. Es seguro que el defecto se producirá frecuentemente.	9 10

Clasificación de la ocurrencia del modo de falla.

Severidad: Mide el daño normalmente esperado que provoca el fallo en cuestión, según la percepción del cliente/usuario. También cabe considerar el daño máximo esperado, el cual iría asociado también a su probabilidad de generación. Valora el nivel de consecuencias, con lo que el valor del índice aumenta en función de la insatisfacción del cliente, la degradación de las prestaciones esperadas y el coste de reparación.



Este índice sólo es posible mejorarlo mediante acciones en el diseño, y no deberían afectar los controles derivados de la propia aplicación del AMFE o de revisiones periódicas de calidad.

Severidad "S"	Criterio	Valor
Muy Baja	Defectos no significativos, repercusiones imperceptibles por el cliente. No afecta el rendimiento del producto o proceso.	1
Baja	Defectos con repercusiones irrelevantes, poco perceptibles por el cliente. Ligeramente inconveniente para el producto o proceso que es fácilmente subsanable.	2 3
Moderada	Defectos de relativa importancia, el cliente se siente poco insatisfecho. Efecto moderado en el desempeño del producto o proceso.	4 5 6
Alta	Defectos en la calidad del producto final, el cliente se siente insatisfecho. Efecto crítico en el desempeño del producto o proceso.	7 8
Muy Alta	Defectos críticos en la calidad del producto final, cliente muy insatisfecho. Defecto muy crítico en el desempeño del producto o proceso, involucra el incumplimiento de normas reglamentarias. Afecta gravemente la seguridad del cliente.	9 10

Clasificación de la severidad del modo de falla según la repercusión en el cliente y en los equipos.

Índice de Prioridad de Riesgo (IPR): es el producto de la frecuencia por la gravedad y por la detectabilidad, siendo tales factores traducibles a un código numérico adimensional que permite priorizar la urgencia de la intervención, así como el orden de las acciones correctoras. Por tanto, debe ser calculado para todas las causas de fallo.

$$IPR = O \times S \times D$$

Es de suma importancia determinar al inicio cuáles son los puntos críticos del producto/proceso a analizar. Para ello hay que recurrir a la observación directa que se realiza por el propio grupo de trabajo, y a la aplicación de técnicas generales de análisis como el "brainstorming" o los diagramas causa-efecto de Ishikawa, entre otros.

Niveles de riesgo	Rango IPR	Color
Fallas Críticas	$270 \leq IPR$	Rojo
Fallas Moderadas	$140 \leq IPR < 270$	Amarillo
Fallas Leves	$IPR < 140$	Verde

Clasificación de los niveles de riesgo.



Universidad Nacional de Córdoba

FCEfYN - Escuela de Ingeniería Industrial - 2021

Proyecto Integrador BOLATTI - DEMICHELIS

“Propuesta de sistema de gestión de mantenimiento en la empresa IGA Ingeniería”

El ordenamiento numérico de las causas de modos de fallo por tal índice ofrece una primera aproximación de su importancia, pero es la reflexión detenida ante los factores que las determinan, lo que ha de facilitar la toma de decisiones para la acción preventiva. Como todo método cualitativo su principal aportación es precisamente el facilitar tal reflexión.



CAPÍTULO 7: RELEVAMIENTO DE LOS EQUIPOS

Utilización de los equipos

A continuación, se detalla en una tabla los registros de utilización de todos los equipos de la empresa a fines de los años 2017 y 2018.

HORA DE USO DE LOS EQUIPOS				
Conjunto	Equipo	2017	2018	Horas acumuladas
1	Grupo Electrónico (1)	1550	1780	3330
	Compresor de baja presión (1)	1546	1776	3322
	Compresor de alta presión (1)	950	1091	2041
	Secadora (1)	434	498	932
2	Grupo Electrónico (2)	2500	2800	5300
	Compresor de baja presión (2)	2494	2793	5287
	Compresor de baja presión (3)	2393	2680	5072
	Secadora (2)	1243	1392	2634
	Secadora (3)	1075	1204	2279

Estos registros fueron completados por el gerente comercial al final de cada período y representan los valores de los cuentahoras de los equipos.

Registro de intervenciones de mantenimiento

Al momento de llevar a cabo las tareas de mantenimiento, sólo se registraron aquellas relacionadas a los grupos electrónicos de ambos conjuntos, principalmente asociadas al recambio de aceite y de filtros de aire.

Por falta de organización, no se realizaron los registros durante varios periodos, perdiendo así el seguimiento del estado de las máquinas. Esto provoca incertidumbres y confusiones en el personal de la empresa, donde se presenta la duda de si las tareas fueron realizadas efectivamente pero no registradas, o de peor manera, si éstas no se realizaron en absoluto.

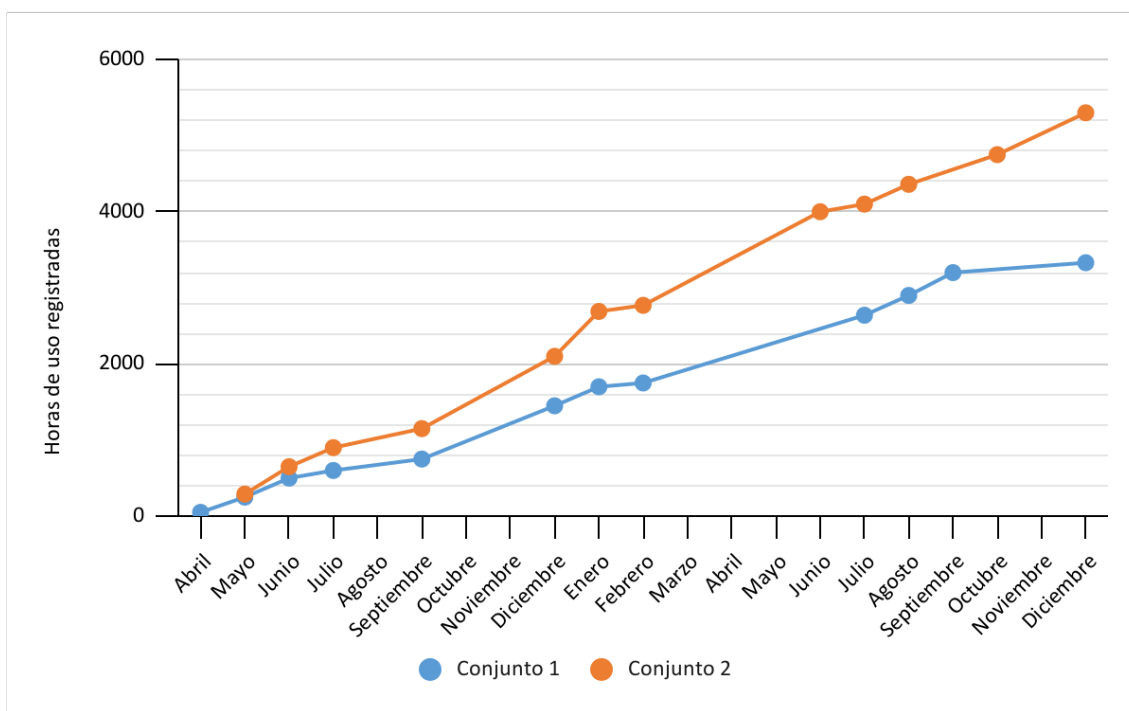


Gráfico de registros de horas acumuladas de los grupos electrógenos de los conjuntos 1 y 2 en los periodos 2017 y 2018.

Estudio de causas de fallas

A continuación, se enumeran las principales causas de fallas frecuentes relevadas tanto del proceso general como de los equipos.

Causas de falla o paradas en los grupos electrógenos

- Falta de combustible de calidad adecuada. Los inyectores del grupo electrógeno suelen taparse por culpa del combustible diésel de mala calidad que se presenta en el lugar de obra. Hay que tener en cuenta que no se utiliza el último 10% del tanque de combustible ya que tiene sedimentos acumulados.
- El fuerte viento que se presenta en los sitios de trabajo, levanta tierra, satura los filtros de aire y ensucia los radiadores.
- El grupo electrógeno suele sobrecalentarse debido a la pérdida de eficiencia de los radiadores por culpa de la suciedad. Las temperaturas en los desiertos de Argentina pueden llegar hasta los 45°C habitualmente poniendo a prueba la capacidad del radiador para poder enfriar el motor.
- Cuando el compresor de baja presión se detiene repentinamente, el grupo electrógeno se embala por la caída repentina de la carga, entonces se detiene por una protección automática.



Causas de falla o paradas de los compresores en general

- Sobrepresiones producidas por un cierre repentino de las válvulas. La falla de las electroválvulas de la secadora produce que se corte la circulación del aire de forma repentina y que se produzcan sobrepresiones.
- Problemas de alimentación eléctrica: Salto de las térmicas por falta de ventilación del tablero eléctrico.

Causas de falla o parada de la secadora de aire comprimido

- Desgaste de las electroválvulas.
- Falso contacto en los bornes de las electroválvulas.
- Pulverización del filtro molecular por sobrepresión de entrada.
- Bajo rendimiento de la secadora por falta de presión de entrada.
- Incorrecta configuración del caudal de salida, perjudicando el punto de rocío.

Implementación del AMFE por equipos

Se decide ejecutar un análisis modal de fallos y efectos (AMFE) con perspectiva en el mantenimiento de los equipos de la empresa. Se elaboran cuatro cuadros, uno para cada máquina: grupo electrógeno, compresor de baja presión, compresor de alta presión y secadora de aire comprimido respectivamente. No se tendrán en cuenta modos de fallas con enfoque en la ineficiencia del proceso productivo, ni referidos a la infraestructura.

Se encuentran disponibles en el Anexo II los cuadros AMFE correspondientes a las cuatro máquinas con los valores establecidos de severidad, ocurrencia y detectabilidad.

Resultados del AMFE

A continuación, se detalla un cuadro con las fallas de nivel “crítico”, es decir aquellas que el IPR es mayor a 270 puntos, a las cuales se le hará foco para implementar propuestas de corrección y mejora. Los fallos están ordenados por equipo y por orden decreciente de criticidad. El código identifica la falla y está compuesto por 4 números, donde el primero indica el equipo, el segundo número indica el sistema, el tercero el componente y el último la causa de fallo.



Código	Equipo	Sistema	Componente	Modo de falla	Causa del modo de falla	Controles actuales	IPR
3.4.2.2	Compresor de alta presión	Tablero de comandos eléctricos	Protecciones del bloque compresor	No funcionan	No están encendidas (funcionamiento manual)	Ninguna	400
3.3.3.3	Compresor de alta presión	Sistema de refrigeración	Ventiladores	Las paletas no giran	No están encendidas (funcionamiento manual)	Ninguna	280
3.1.1.3	Compresor de alta presión	Transmisión de potencia	Motor eléctrico	Desgaste acelerado de los rodamientos	Vibraciones externas excesivas	Ninguna	270
3.2.1.3	Compresor de alta presión	Sistema de elevación de presión	Bloque compresor	Desgaste acelerado de los rodamientos	Vibraciones externas excesivas	Ninguna	270
2.1.1.3	Compresor de baja presión	Transmisión de potencia	Motor eléctrico	Desgaste acelerado de los rodamientos	Vibraciones externas excesivas	Ninguna	270
2.2.1.3	Compresor de baja presión	Sistema de elevación de presión	Bloque compresor	Desgaste acelerado de los rodamientos	Vibraciones externas excesivas	Ninguna	270
1.1.1.3	Grupo electrógeno	Motor Diésel	Depósito de combustible	Acumulamiento de agua y/o sedimentos	Utilización de combustible de mala calidad	Controlar filtro de combustible y drenar el depósito de combustible	294
1.1.8.1	Grupo electrógeno	Motor Diésel	Motor	Desgaste acelerado de los rodamientos	Vibraciones externas excesivas	Ninguna	270
1.2.1.3	Grupo electrógeno	Generador	Inductor (eje)	Desgaste acelerado de los rodamientos	Vibraciones externas excesivas	Ninguna	270
1.1.5.2	Grupo electrógeno	Motor Diésel	Refrigeración	Acumulamiento de suciedad en el radiador	Acumulacion natural de polvo, aceite y grasas sobre la superficie del intercambiador de calor, reduciendo su eficiencia	Ninguna	270
4.1.1.1	Secadora	Prefiltros	Filtro de agua	El punto de rocío del aire de entrada es demasiado alto	Saturación	Medición del punto de rocío a la salida. Controlar la evacuación de los prefiltros.	280
4.1.3.1	Secadora	Prefiltros	Filtro de partículas finas	Entran contaminantes sólidos al equipo mayores a 0,5 micras	Saturación	Ninguna	270

Resultados del AMFE con causas de modo de fallo críticas.



Se obtuvieron doce fallas de nivel crítico. Se puede observar que las causas de modo de fallo se repiten, como las vibraciones excesivas en los distintos equipos por su traslado en el tráiler y la saturación de filtros. Resumiendo, los problemas más críticos a solucionar se pueden englobar en:

- 1) El sistema de accionamiento manual de las protecciones del bloque compresor y del sistema de refrigeración, ambos del compresor de alta presión.
- 2) La falla de rodamientos de los ejes de distintos equipos por vibrocorrosión al estar los conjuntos montados sobre un tráiler.
- 3) La saturación de los prefiltros de la secadora.
- 4) La acumulación de polvo, aceite y grasas sobre la superficie del radiador del grupo electrógeno.
- 5) La utilización de combustible de mala calidad.

Hoja de Decisión RCM

Con ayuda del diagrama se elaboró una “Hoja de Decisión RCM” donde se clasificaron las causas críticas del AMFE. Esta clasificación sirve para poder analizar cada situación específica y así encontrar un método para controlar las causas y brindarle un mejor nivel de confiabilidad al sistema.

Problemas a solucionar	Códigos de falla	Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas
		H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4	
El sistema de accionamiento manual de las protecciones del bloque compresor y del sistema de refrigeración, ambos del compresor de alta presión	3.4.2.2 3.3.3.3	N				N	N	N	N	S		Rediseño del sistema
La saturación de los prefiltros de la secadora	4.1.2.2 4.1.1.1 4.1.3.1	S	N	N	S	N	N	O3				Tareas de mantenimiento basadas en el tiempo. Sustitución.
La acumulación de polvo, aceite y grasas sobre la superficie del radiador del grupo electrógeno	1.1.5.2	S	N	N	S	N	O2					Tareas de mantenimiento basadas en el tiempo. Reacondicionamiento.
La utilización de combustible de mala calidad	1.1.1.3	S	N	N	S	N	N	O3				Tareas de mantenimiento basadas en el tiempo. Sustitución.
La falla de rodamientos de los ejes de distintos equipos por vibrocorrosión al estar los conjuntos montados sobre un tráiler	3.1.1.3 3.2.1.3 2.1.1.3 2.2.1.3 1.1.8.1 1.2.1.3	N				N	N	N	N	S		Rediseño del sistema



CAPÍTULO 8: PROPUESTAS DE MEJORA

Las tareas propuestas para solventar y/o disminuir los problemas críticos enunciados en el capítulo anterior, se abordarán en este capítulo. Se agruparán las mismas según sean de:

1. Modificación del plan de mantenimiento de los equipos
2. Propuestas de rediseño

1. Plan de mantenimiento de los equipos

1.1. Sustitución de prefiltros de la secadora de aire comprimido

Los prefiltros de la secadora por adsorción son elementos consumibles que deben ser renovados en intervalos fijos según el catálogo del proveedor. La saturación de los mismos por falta de control es un problema recurrente en la empresa por lo que se decide:

- Incorporar un drenaje electrónico de condensados el cual es imprescindible para un buen filtrado de los aerosoles y al mismo tiempo notifica cuando se saturan.
- Como la secadora es alimentada con aire proveniente del compresor de baja presión, se opta por realizar la sustitución del cartucho del filtro de aire con mayor frecuencia. Según el manual del fabricante, esta tarea debe realizarse cada 2 años o cada 5 limpiezas en condiciones favorables. Realizándolo semestralmente se busca eliminar de antemano las partículas grandes de polvo las cuales saturan rápidamente los filtros de la secadora.



Características generales de los filtros de la secadora



Filtro serie F6-320. Fuente: Catálogo Kaeser.

- Marca Kaeser, serie F6-320
- Cumplen con las diferentes clases de pureza conforme a la Norma ISO 8573-1.
- Mínima caída de presión.
- Carcasa de aluminio robusta testada a la presión explosión mayor de 80 bar. Construcción con costura estable de jaula de acero inoxidable soldada de chapa perforada.
- Resistentes a la corrosión de niebla salina.



Datos técnicos según el tipo/uso

Tipos de filtro	Simples				Combinados	
Características	KB	KE	KD	KA	KBE	KEA
Grado de filtración	Filtro de coalescencia Básico	Filtro de coalescencia Extra	Filtro de polvo (Dust)	Filtro de carbón activo (adsorción)	Extra combinado (KB + KE)	Carbón combinado (KE + KA)
Calidad de entrada del aire	Principalmente sin condensados	Libre de condensados			Principalmente sin condensados	Libre de condensados
Aplicación	Filtración de aerosoles sólidos y líquidos y de partículas sólidas	Aplicación como los KB, pero para una calidad superior del aire comprimido. Alternativa: filtro KD	Exclusivamente para la filtración de partículas sólidas	Exclusivamente para la eliminación de vapores de aceite	Para una calidad del aire comprimido más segura	Filtración de aerosoles, partículas sólidas y vapores de aceite
Uso cercano al punto de consumo	Para calidad básica de aire comprimido	Para mejor calidad de aire comprimido, como post filtro para reducir la concentración de partículas	Aguas abajo de secadoras disecantes y torres de carbón activado	-	Para alta calidad de aire comprimido	Para remoción y bajas concentraciones de vapores de aceite
Presión diferencial inicial con saturación	< 140 mbar	< 200 mbar	< 30 mbar (nuevo, seco)	< 35 mbar (nuevo, seco)	< 200 mbar	< 240 mbar
Contenido de aerosol en la entrada	10 mg/m ³	10 mg/m ³	-	-	10 mg/m ³	10 mg/m ³
Contenido residual de aerosol en salida acorde a la ISO 12500-1	< 0,01 mg/m ³	< 0,01 mg/m ³	-	-	< 0,01 mg/m ³	0,003 mg/m ³ (contenido total de aceite)
Medio filtrante	Plisado profundo con estructura de soporte y filtro de drenaje de poliéster (Micro-filtro con alto contenido de vacíos, paño HF)		Plisado profundo con estructura de soporte	Filtro de carbón de alta eficiencia		

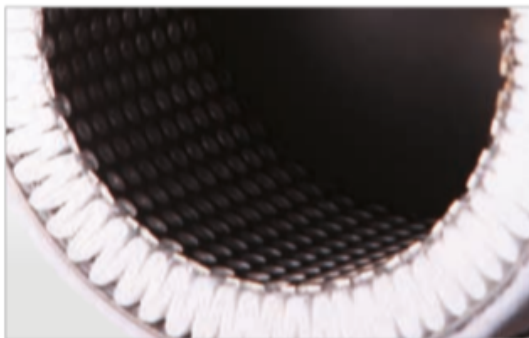
Características de los filtros Serie F6-320. Fuente: Catálogo Kaeser.



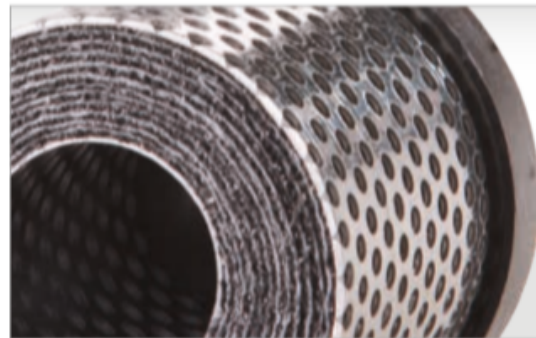
De izquierda a derecha: filtro simple KD, KB, KA, filtros combinados. Fuente: Catálogo Kaeser.



Despiece del kit de conexión del filtro combinado. Fuente: Catálogo Kaeser.



Elementos filtrantes de plisado profundo



Fibra de carbono de alta eficacia

Elementos filtrantes. Fuente: Catálogo Kaeser.



Datos técnicos según su capacidad

Serie (tamaño)	F6	F9	F16	F22	F26	F46	F83	F110	F142	F184	F250	F320
Características generales												
Flujo volumétrico m ³ /min	0,6	0,9	1,6	2,2	2,6	4,6	8,3	11	14,2	18,4	25	32
Conexión de aire comprimido	G 3/8, G 1/2, G 3/4	G 3/8, G 1/2, G 3/4	G 3/4, G 1	G 3/4, G 1	G 3/4, G 1	G 1 1/4, G 1 1/2, G 2	G 1 1/4, G 1 1/2, G 2	G 1 1/4, G 1 1/2, G 2	G 1 1/4, G 1 1/2, G 2	G 2, G 2 1/2, G 3	G 2, G 2 1/2, G 3	G 2, G 2 1/2, G 3
Sobrepresión de servicio	2 - 16 [bar]											
Temperatura ambiente	3 - 50 [°C]											
Presión de entrada aire comprimido	3 - 66 [bar]											
Peso [Kg]												
Tipo A	2,3	2,3	3	3,2	3,2	7,2	8,3	9,7	10,1	15,1	16,9	19,1
Tipo B	3,6	3,6	4,2	4,4	4,5	8,4	9,3	10,9	11,1	16,1	17,8	19,8
Tipo D	3,6	3,7	4,2	4,4	4,5	8,4	9,3	10,9	11,1	16,2	17,9	19,9
Tipo E	2,6	2,6	3,2	3,5	3,5	7,5	8,3	9,9	10,2	15,4	17,2	19,4

Características de los filtros serie F6-320. Fuente: Catálogo Kaeser.

Estos filtros poseen un manómetro mecánico de presión diferencial en la parte superior. Se debe verificar que la presión diferencial de estos manómetros no supere su valor crítico (0,2 bar), de lo contrario, se debe reemplazar inmediatamente el cartucho de los filtros afectados.

Si en un filtro con menos de una semana se aprecia condensado, aceite o algún particulado sólido se deben tomar medidas correctivas en el aire comprimido de entrada para que no se deterioren los componentes de la secadora ya sean válvulas, actuadores, electroválvulas, silenciadores y especialmente la alúmina activada dentro de los tanques. La presencia de aceite o polvo también puede provocar una coloración marrón de la alúmina haciéndola inservible.

Configuración utilizada

La configuración actual de los prefiltros de la secadora de la empresa consta de un filtro combinado KBE 110 (equivalente a un KB y KE en serie). Se decide incorporar al mismo un drenaje automático de condensados Kaeser Eco-Drain 31F el cual facilita las tareas de mantenimiento.

Ventajas del Eco-Drain 31F:

- Para filtros de aerosol; el condensado se elimina a medida que se va acumulando sin pérdidas de aire comprimido.



- Controla de forma autónoma sus propios intervalos de mantenimiento y los del elemento filtrante de aire comprimido que se le conecte.
- Los avisos se efectúan a través de diodos luminosos (LED).
- Supervisión: en el caso que el drenaje del condensado dejará de operar por algún motivo, la válvula del Eco-Drain se abrirá durante 60 segundos de forma intermitente. Si no se elimina el condensado, se produce un aviso y la válvula se abre cada 4 minutos durante 7,5 segundos. Cuando se evacua el condensado, el Eco-Drain vuelve automáticamente al modo normal.



Eco-Drain 31F. Fuente: Catálogo filtros Kaeser.

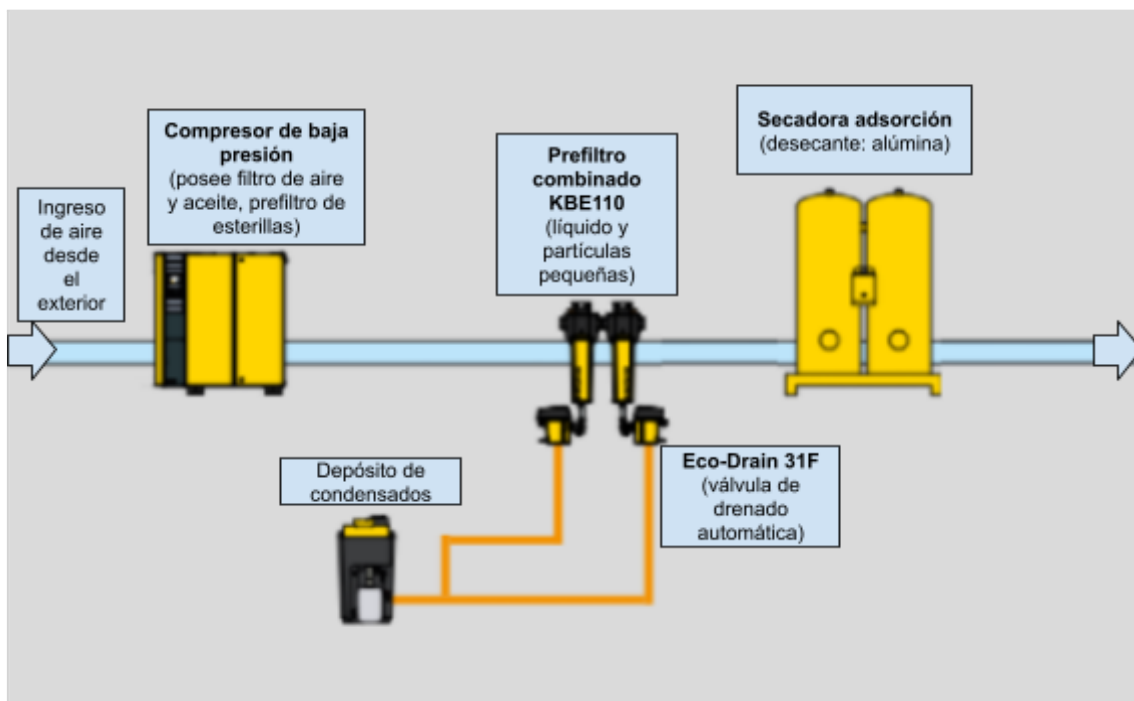


Diagrama simplificado del circuito de aire en el proceso de secado de IGA Ingeniería.



Mantenimiento basado en el tiempo: sustitución cíclica

Nº	Tareas	Intervalo
1	Revise el filtro de aire comprimido para condensados	Semanalmente (automatizado con Eco-Drain)
2	Comprobar el funcionamiento electrónico del drenador de condensados (Eco-Drain).	Semanalmente
3	Reemplazar el elemento filtrante KB.	Mensualmente (o hasta aviso del Eco-Drain)
4	Reemplazar el elemento filtrante KE.	Mensualmente (o hasta aviso del Eco-Drain)
5	Reemplace la unidad de servicio electrónica del drenador de condensados (Eco-Drain).	Cada 2 años

Intervalos de mantenimiento según el proveedor. Fuente: Catálogo Kaeser.

Se ejemplifica a continuación, una hoja de “Lección Puntual de Trabajo” para la tarea N°3 o N°4 recién mencionadas y otra para el reemplazo o limpieza del filtro de aire del compresor de baja presión Kaeser CD102 (aguas abajo).



LECCIÓN PUNTUAL DE TRABAJO #1

Equipo	SECADORA POR ADSORCIÓN - KAESER DC 215 (4)		
Ubicación	CONJUNTO DE TRABAJO 1 / DEPÓSITO	Frecuencia	Cada 3 semanas
Tarea a realizar	Reemplazo del elemento filtrante	Tiempo	30 min
Herramientas	Destornillador, Guantes, Contenedor	Fecha	
Repuestos	Filtro de carbón de alta eficiencia KB110	Realizado por	
Ilustraciones	Nº	Descripción de la tarea	Herramientas
	1	Coloque el balde/contenedor en el suelo justo debajo del filtro para juntar las gotas que se puedan desprender.	Contenedor
	2	Desatornille el tornillo de bloqueo. A partir de ahí se podrá manipular la junta. El tornillo de bloqueo impide que la carcasa se abra accidentalmente bajo presión y sirve al mismo tiempo para vaciarla de aire (despresurizar).	Destornillador
	3	Para abrir el filtro, sostenga con una mano la campana (parte superior negra) y con la otra mano desenrosque la carcasa (vaso en la parte inferior amarilla) haciéndola girar en sentido antihorario.	
	4	Tire hacia abajo para terminar de remover la carcasa.	
	5	Extraiga el elemento filtrante usado y desecharlo en su contenedor correspondiente.	
	6	Introduce dentro del vaso un elemento filtrante nuevo, sin presionar demasiado dejando un pequeño espacio en la parte inferior.	
	7	Vuelva a enroscar el vaso en la campana y luego el tornillo de bloqueo.	Destornillador
Medidas de seguridad			



LECCIÓN PUNTUAL DE TRABAJO #2

Equipo	COMPRESOR DE BAJA PRESIÓN - KAESER CSD 122 (2)		
Ubicación	CONJUNTO DE TRABAJO 1 / DEPÓSITO	Frecuencia	Semestralmente
Tarea a realizar	Limpieza y/o sustitución del cartucho del filtro de aire	Tiempo	30 min
Herramientas	Mini compresor de aire Stanley, llave para tuercas de boca fija, paño	Fecha	
Repuestos	En caso de ser necesario: cartucho F-1250	Realizado por	
Ilustraciones	Nº	Descripción de la tarea	Herramientas
	1	Abrir la carcasa del filtro de aire: Aflojar las tuercas (4) y retirar la tapa (3) con cartucho filtrante de aire (2). Aflojar la tuerca (1) y retirar el cartucho filtrante de aire.	Llave
	2	Limpiar el cartucho filtrante de aire dándole golpes ligeros Golpear el cartucho filtrante varias veces en la parte frontal con la palma de la mano.	
	3	Limpiar el cartucho filtrante de aire por soplado: Inyectar aire comprimido seco (< 5 bar) en diagonal y del interior hacia el exterior del cartucho filtrante.	Mini compresor
	4	Cerrar la carcasa del filtro de aire: Limpiar todas las partes y las áreas de estanqueidad. Insertar el cartucho filtrante de aire en la tapa y fijarlo con la tuerca (1). Fijar la tapa con las tuercas (4) en la máquina. Volver a cerrar todas las puertas de mantenimiento y los paneles de recubrimiento. Conectar el interruptor central.	Llave y paño
Medidas de seguridad	Asegurarse que la máquina esté desconectada y fría. Bloquear el interruptor central para que no pueda volver a conectarse.		



1.2. Renovación de los filtros de combustible y limpieza del tanque del grupo electrógeno



Ubicación del tanque de combustible del grupo electrógeno Cummins.

El tanque de combustible cuenta con una capacidad de 250 litros y se encuentra dentro de la estructura del bastidor en la parte inferior del grupo electrógeno. En caso que el combustible se mezcle con materias extrañas como polvo, suciedad o agua, no sólo puede disminuir la potencia, sino que también se pueden producir fallos de funcionamiento en el sistema. Para evitar tales problemas se propone realizar:

1. Limpiar el depósito de combustible mediante el vaciado de agua y sedimentos una vez al año.
2. Sustituir el filtro de combustible cada 200 horas en vez de cada 500 horas como estaba establecido.
3. Descargar el agua del sedimentador del filtro cuando el equipo se detenga.

Características del combustible recomendado por el fabricante

- Combustible diésel grado 2 de buena calidad de marca reconocida, según las especificaciones EN 590 ó ASTM D975.
- Utilizar combustible diésel grado 1-D si el tanque de combustible queda expuesto a temperaturas inferiores a 5°C.
- El contenido de azufre no debe ser más de 0,5% (por peso).



- La lubricidad del combustible deberá pasar un nivel de carga mínimo de 3100 gramos, medido según la norma ASTM D6078 o un diámetro máximo de acanaladura de 0,45 mm, medido según la norma ASTM D6079 ó la ISO 12156-1.

Características del filtro de combustible



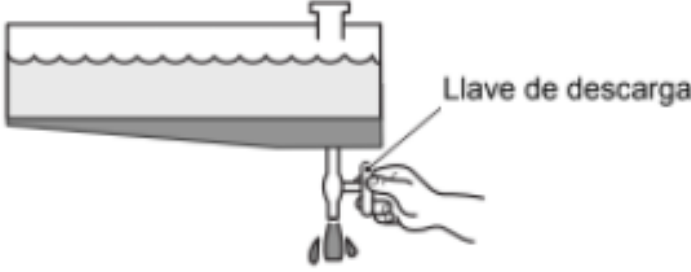
Filtro de combustible Cummins.

- Modelo: Fleetguard FS1280 N°3930942
- Material: núcleo de papel

Mantenimiento basado en el tiempo: reacondicionamiento

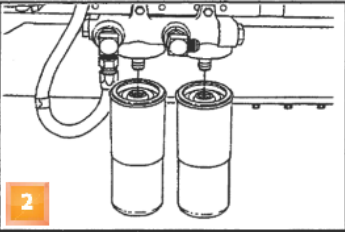
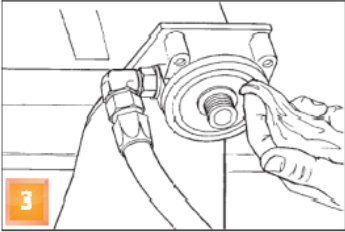
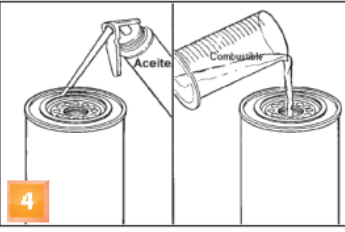
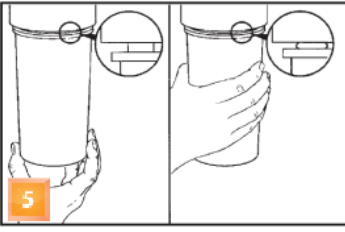
Se ejemplifica a continuación, hojas de lecciones puntuales de trabajo para las tres tareas mencionadas anteriormente:



LECCIÓN PUNTUAL DE TRABAJO #3			
Equipo	GRUPO ELECTRÓGENO - CUMMINS C220 (1)		
Ubicación	CONJUNTO DE TRABAJO 1 / DEPÓSITO	Frecuencia	Anual
Tarea a realizar	Vaciar agua y sedimentos del depósito de combustible	Tiempo	20 min
Herramientas	Contenedor	Fecha	
Repuestos		Realizado por	
Ilustraciones	Nº	Descripción de la tarea	Herramientas
	1	Coloque una cubeta de combustible (capacidad de 5 litros por lo menos) debajo de la llave de descarga del depósito de combustible.	Contenedor
	2	Abra la llave de descarga del depósito de combustible y vacíe al menos de 1 a 5 litros de combustible. Asegúrese de que el agua y las materias extrañas se descarguen con el combustible.	
	3	Cierre la llave de descarga.	
Medidas de seguridad	Depositar los residuos drenados según las normas de protección ambiental.		



LECCIÓN PUNTUAL DE TRABAJO #4

Equipo	GRUPO ELECTRÓGENO - CUMMINS C220 (1)		
Ubicación	CONJUNTO DE TRABAJO 1 / DEPÓSITO	Frecuencia	200 hs
Tarea a realizar	Sustitución de los filtros de combustibles.	Tiempo	60 min
Herramientas	Llave para filtros, paño	Fecha	
Repuestos	Filtro de combustible Cummins 3930942 Fleetguard FS1280, aceite lubricante, combustible	Realizado por	
Ilustraciones	Nº	Descripción de la tarea	Herramientas
   	1	Cerrar todas las válvulas de suministro y retorno de combustible.	
	2	Desatornillar el filtro viejo usando una llave para filtro.	Llave para filtros
	3	Limpiar la superficie de contacto de la base del filtro.	Paño
	4	Aplicar una película de aceite a la empaquetadura del filtro nuevo y llenar el filtro con combustible, de manera que el combustible llegue a la bomba inyectora del motor más rápido al momento del arranque.	Aceite lubricante, combustible
	5	Enroscar el filtro a mano hasta que la empaquetadura apenas toque la superficie de montaje y después apretar ¾ de vuelta.	Llave para filtros
	6	Hacer funcionar el motor por unos cuantos minutos, luego pararlo e inspeccionar fugas en el filtro	
Medidas de seguridad	Desconectar el cable negativo (-) de la batería para evitar el arranque del motor.		



LECCIÓN PUNTUAL DE TRABAJO #5			
Equipo	GRUPO ELECTRÓGENO - CUMMINS C220 (1)		
Ubicación	CONJUNTO DE TRABAJO 1 / DEPÓSITO	Frecuencia	Luego de cada uso / Semanal
Tarea a realizar	Vaciado de agua y sedimentos del filtro de combustible Cummins 3930942 Fleetguard FS1280	Tiempo	
Herramientas		Fecha	
Repuestos		Realizado por	5 min
Ilustraciones	Nº	Descripción de la tarea	Herramientas
	1	Abrir a mano la válvula de drenado. Drene el agua del filtro hasta que salga solo combustible limpio.	
	2	Cerrar a mano la válvula de drenado sin sobre apretar. El sobre apriete puede dañar la rosca	
Medidas de seguridad			



1.3. Limpieza del radiador del grupo electrógeno

La limpieza del sistema de refrigeración se debe llevar a cabo al poner en marcha el motor por primera vez o al volver a arrancar el motor después de haberlo tenido almacenado sin refrigerante. Luego se debe realizar cada 250 horas de uso.

Se puede limpiar de distintas formas ya sea con un cepillo suave o un paño húmedo, pero lo más recomendable es utilizar una pistola de aire la cual se conecta mediante una manguera a un mini compresor eléctrico. Esta tarea se realiza en el depósito de la empresa.

Características del mini compresor de aire eléctrico portátil



Compresor de aire Stanley de 1.5 hp

- Marca: Stanley
- Modelo: 8215190STC595
- Alimentación: 230V 50Hz
- Presión máxima: 116 psi o 8 bar
- Potencia del motor: 1.5 hp
- Peso: 5.5 Kg
- Caudal de aire: 180 L/min
- Cantidad de cilindros: 1
- Incluye pistola sopladora, manómetro, 3 picos adaptadores y manguera de 3 metros

Mantenimiento basado en el tiempo: reacondicionamiento

Se ejemplifica a continuación, una hoja de lección puntual de trabajo para la limpieza del radiador del grupo electrógeno Cummins.



LECCIÓN PUNTUAL DE TRABAJO #6

Equipo	GRUPO ELECTRÓGENO - CUMMINS C220 (1)		
Ubicación	CONJUNTO DE TRABAJO 1 / DEPÓSITO	Frecuencia	250 hs
Tarea a realizar	Limpieza del radiador	Tiempo	60 min
Herramientas	Destornillador, mini compresor Stanley con sus complementos.	Fecha	
Repuestos		Realizado por	
Ilustraciones	Nº	Descripción de la tarea	Herramientas
	1	Abrir la puerta de acceso del GE del lado del sistema de refrigeración, desajustando los tornillos de la puerta. Retire la tapa del radiador después de permitir que el motor se enfríe.	Destornillador
	2	Revisar si el radiador tiene agujeros, grietas, daños o pérdidas. Inspeccionar el exterior del radiador en busca de obstrucciones, partículas y suciedad adherida. Tener cuidado de cortarse con los filos del ventilador.	
	3	Conecte la pistola con la manguera al compresor y encenderlo.	Mini compresor
	4	Eliminar toda suciedad o material extraño con la pistola de aire comprimido. Para limpiar las aletas del radiador, soplelas con aire comprimido en el sentido contrario al flujo de aire normal	Mini compresor
	5	Cerrar la puerta de acceso del GE y apague y guarde el mini compresor.	Destornillador
Medidas de seguridad	Asegurarse que el motor esté detenido. Al trabajar con aire comprimido, se debe utilizar gafas de seguridad y guantes, en caso contrario, se pueden sufrir graves lesiones.		



2. Propuestas de rediseño

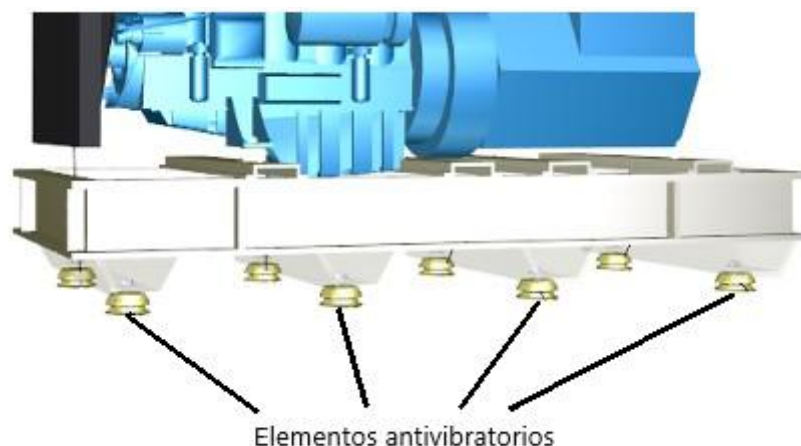
2.1. Análisis de vibraciones sobre los rodamientos de los ejes

Una de las ventajas competitivas más grandes que tiene la empresa, es la facilidad y rapidez con la que puede trasladar todo el equipo de trabajo de un lugar a otro sin tener que recurrir a tareas de izado de máquinas ni alisado de terreno. Tener el equipo ya instalado sobre un tráiler acoplado le ahorra tiempo y costos a la empresa, pero a su vez, trae un inconveniente difícil de percibir a simple vista: los rodamientos de los motores no están diseñados para tolerar el desgaste producido por las vibraciones. Estas se producen cuando:

- 1) Los equipos son llevados de un lugar a otro encima del tráiler. Las vibraciones varían según el tipo y estado del camino.
- 2) Un equipo está detenido y sin trasladarse, pero los demás equipos están en funcionamiento y transmiten vibraciones excesivas en la plataforma que afectan directamente a la vida útil de los rodamientos de todos los equipos. También influye el tipo de terreno donde esté asentado el tráiler.

Se puede analizar los efectos de las vibraciones con un estudio en cada uno de los rodamientos. Comparando las frecuencias normales con los aumentos repentinos de las mismas por el paso de tiempo, se puede planificar el momento de recambio.

Otra forma de abordar el problema es mediante el uso de camillas antivibratorias. Estos elementos están diseñados para que los equipos se ubiquen arriba y así, amortiguar los movimientos que estos le transmiten a la plataforma del tráiler. Estas camillas disminuirían los efectos negativos que estas vibraciones producen sobre los rodamientos.



Ubicación de los elementos antivibratorios en el conjunto de equipos.



Selección de elementos antivibratorios

Cuando la prioridad es la estabilidad y el ruido generado por el grupo electrógeno no supone un problema, los elementos antivibratorios se pueden colocar debajo de los soportes estructurales del equipo. Utilizando el criterio de elección de las empresas “Tecniacustica”, “Eelesa Ganter” y “Servinso”, se procede a definir estos componentes mediante una secuencia de pasos y cálculos:

- 1) Analizar las dimensiones, centro de gravedad y peso de cada equipo.

Equipo	Dimensiones [mm]			Coordenadas del centro de gravedad [mm]			Peso húmedo [N]
	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	
Grupo Electrógeno	2746	1100	1646	1100	550	660	2050
Compresor de baja presión	1650	1041	1865	800	440	700	1400
Compresor de alta presión	2300	2400	2050	920	720	670	1500

- 2) Definir las coordenadas de los puntos de apoyo donde se situarán los elementos antivibratorios y calcular la carga para cada uno de estos.

Equipo	Coordenadas de los puntos de apoyo [mm]			Carga sobre el punto de apoyo [N]
	Largo	Ancho	Alto	
Grupo Electrógeno	0	0	0	1340
	0	1100	0	1340
	920	0	0	3745
	920	1100	0	3745
	1850	0	0	3665
	1850	1100	0	3665
	2746	0	0	1305
	2746	1100	0	1305
Compresor de baja presión	0	0	0	1220
	0	1041	0	1220
	800	0	0	4295
	800	1041	0	4295
	1650	0	0	1350
	1650	1041	0	1350
Compresor de alta presión	0	0	0	920
	0	1200	0	920
	0	2400	0	2300
	1150	0	0	2300
	1150	2400	0	2300
	2300	0	0	2300
	2300	1200	0	920
	2300	2400	0	920



3) Frecuencia de vibración a amortiguar:

- Para el grupo electrógeno se consideran principalmente las vibraciones del motor (1500 rpm) y se desprecian las vibraciones producidas por la correa del alternador que carga la batería.
- Para los compresores Kaeser de baja presión, según el manual, la velocidad de rotación del tornillo compresor es de 2978 rpm.
- Para el compresor de alta presión, el motor eléctrico se configura por el variador a 50 Hz con 220 V, por lo que el motor eléctrico gira aproximadamente a 3000 rpm. El bloque compresor obtiene su potencia por una correa unida a este motor eléctrico. Como los diámetros de las poleas instaladas en ambos ejes son el mismo, el bloque compresor también gira aproximadamente a 3000 rpm. Se desprecian para el análisis las vibraciones provocadas por los motores auxiliares de aceite y de líquido refrigerante.

4) Deflexión estática:

Se determinan de forma teórica las deflexiones estáticas necesarias para poder obtener como mínimo el 90% de reducción de las vibraciones de los equipos a estas frecuencias. Siendo:

d : Deflexión. Es la deformación elástica que, bajo una determinada carga, sufre el antivibrador. Magnitud: milímetros [mm].

f_p : Frecuencia perturbadora. Es la originada en las partes móviles de la máquina. Magnitud: Hertz [Hz].

f_n : Frecuencia natural. Es la frecuencia propia o de resonancia del sistema formado por la máquina montada sobre los antivibradores. Magnitud: Hertz [Hz]. Está determinada por la siguiente ecuación.

$$f_n = \frac{15,7}{\sqrt{d}}$$

%: El nivel de aislamiento (en porcentaje):

$$\% = \left| 1 - \frac{1}{\left(\frac{f_p}{f_n}\right)^2} \right| \cdot 100$$

- Grupo electrógeno: Siendo que éste trabaja a 1500 rpm.

$$f_p = 1500 \text{ rpm} = 25 \text{ Hz}$$



Reemplazando los valores en la ecuación de aislamiento porcentual y con un 90% de reducción de las vibraciones:

$$90\% = \left| 1 - \frac{1}{\left(\frac{25}{fn}\right)^2 - 1} \right| \cdot 100$$

Resolviendo la ecuación, esto es:

$$fn = 7.53778... \text{ Hz} \simeq 7,5 \text{ Hz}$$

Utilizando este valor se calcula finalmente la deflexión estática d:

$$7,5 = \frac{15,7}{\sqrt{d}}$$

$$d \simeq 4,38 \text{ mm}$$

b) Compresor de baja presión: Siendo que éste trabaja a 2978 rpm.

$$fp = 2978 \text{ rpm} = 49,63 \text{ Hz}$$

Reemplazando los valores en la ecuación de aislamiento porcentual y con un 90% de reducción de las vibraciones:

$$90\% = \left| 1 - \frac{1}{\left(\frac{49,63}{fn}\right)^2 - 1} \right| \cdot 100$$

Resolviendo la ecuación, esto es:

$$fn = 14,964... \text{ Hz} \simeq 15 \text{ Hz}$$

Utilizando este valor se calcula finalmente la deflexión estática d:

$$15 = \frac{15,7}{\sqrt{d}}$$

$$d \simeq 1,1 \text{ mm}$$

c) Compresor de alta presión: Siendo que éste trabaja a 3000 rpm,

$$fp = 3000 \text{ rpm} = 50 \text{ Hz}$$

Reemplazando los valores en la ecuación de aislamiento porcentual y con un 90% de reducción de las vibraciones:



$$90\% = \left| 1 - \frac{1}{\left(\frac{50}{fn}\right)^2 - 1} \right| \cdot 100$$

y resolviendo la ecuación, esto es:

$$fn = 15,075... \text{ Hz} \approx 15 \text{ Hz}$$

Utilizando este valor se calcula finalmente la deflexión estática d:

$$15 \text{ mm} = \frac{15,7}{\sqrt{d}}$$

$$d \approx 1,1 \text{ mm}$$

5) Selección de tipo de amortiguador:

Los antivibradores metálicos tienen una gran capacidad de deformación elástica bajo carga y son indicados para cuando la base del asentamiento del equipo a aislar no es muy rígida, como en el caso de la empresa en donde los equipos se instalan en un tráiler acoplado. La combinación de estos con núcleos hechos de elastómeros, presentan la mejor estrategia para la reducción de vibraciones de frecuencias tanto altas como bajas.

Los elementos de muelle antisísmico presentan la opción más acertada para poder cumplir con los requisitos de los equipos de IGA Ingeniería. Estos soportes están diseñados para trabajar a compresión y están fabricados con sistemas de anclaje mecánico que permiten asegurar su unidad en aplicaciones estáticas y dinámicas, además de ofrecer una gran fiabilidad para el aislamiento de vibraciones de baja frecuencia. Su anclaje mecánico ayuda a mantener el equipo en su lugar ante situaciones de transporte como sucede en el traslado de los equipos encima del acoplado.



Elemento de apoyo antivibratorio de muelle antisísmico.

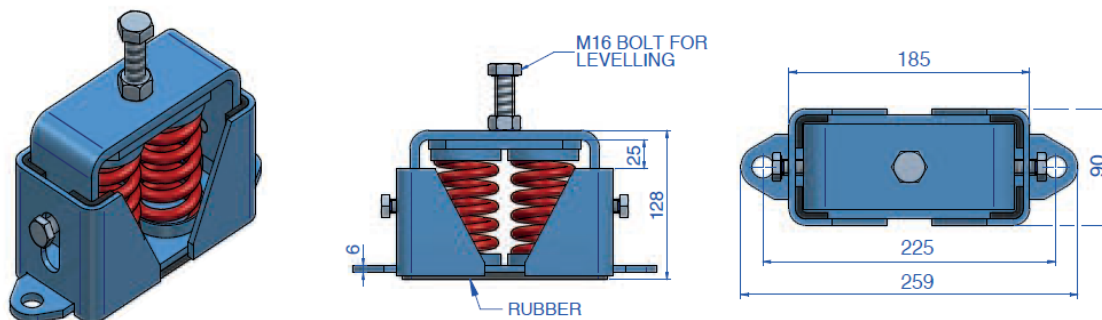


Analizando el catálogo de la empresa “AMC Mecanocaucho”, se seleccionan los amortiguadores necesarios para los equipos.

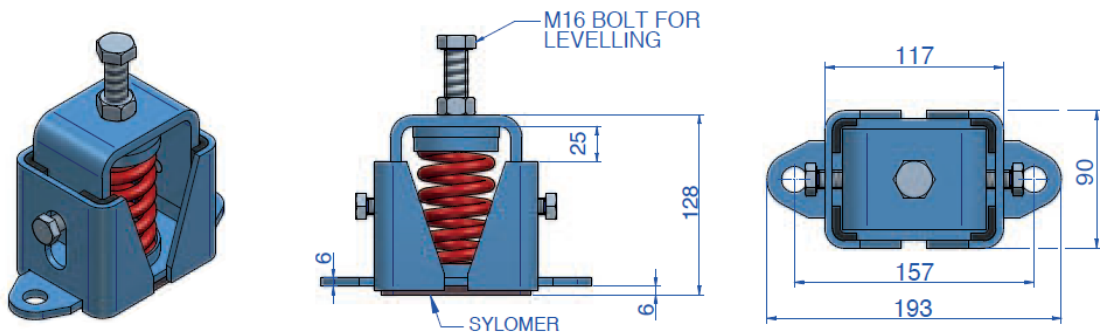
Equipo	Coordenadas de los puntos de apoyo [mm]			Carga sobre el punto de apoyo		Multiplicación por factor de seguridad d 1,5 [kg]	Deflexión estática	Código
	Largo	Ancho	Alto	[N]	[Kg]			
Grupo Electrónico	0	0	0	1340	137	205	4,38	21267
	0	1100	0	1340	137	205	4,38	21267
	920	0	0	3745	382	573	4,38	20494
	920	1100	0	3745	382	573	4,38	20494
	1850	0	0	3665	374	560	4,38	20494
	1850	1100	0	3665	374	560	4,38	20494
	2746	0	0	1305	133	200	4,38	21267
	2746	1100	0	1305	133	200	4,38	21267
Compresor de baja presión	0	0	0	1220	124	187	1,1	21267
	0	1041	0	1220	124	187	1,1	21267
	800	0	0	4295	438	657	1,1	20496
	800	1041	0	4295	438	657	1,1	20496
	1650	0	0	1350	138	206	1,1	21267
	1650	1041	0	1350	138	206	1,1	21267
Compresor de alta presión	0	0	0	920	94	141	1,1	21267
	0	1200	0	920	94	141	1,1	21267
	0	2400	0	2300	234	352	1,1	20377
	1150	0	0	2300	234	352	1,1	20377
	1150	2400	0	2300	234	352	1,1	20377
	2300	0	0	2300	234	352	1,1	20377
	2300	1200	0	920	94	141	1,1	21267
	2300	2400	0	920	94	141	1,1	21267

Coordenadas de la ubicación de los elementos de apoyo antivibratorios en los equipos.

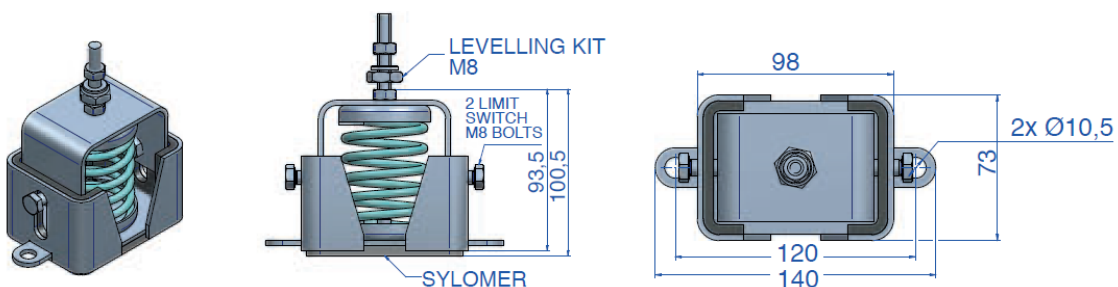
Imágenes de los elementos seleccionados:



Amortiguadores código 20494 y 20496.



Amortiguadores código 20377.



Amortiguadores código 21267.

Una vez instalados los amortiguadores, se procederá a realizar un seguimiento del estado y la vida útil de los rodamientos mediante mediciones de vibración en su ubicación. De esta forma se podría establecer un sistema de mantenimiento basado en la condición de los mismos.

2.2. Corrección en el sistema eléctrico de protecciones del compresor de alta presión y de su respectivo sistema de refrigeración

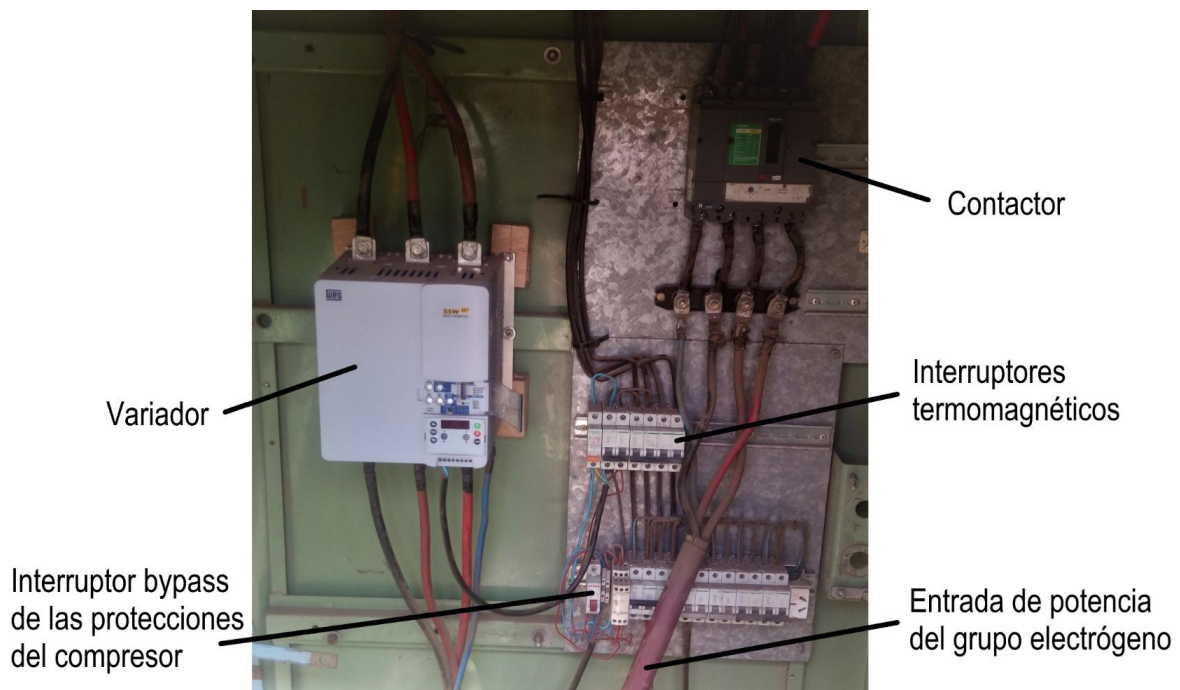
Tanto las protecciones del motor como el sistema de refrigeración del bloque compresor de alta presión, son encendidos manualmente por medio de dos llaves termomagnéticas.

Las protecciones del motor tienen la función de cuidar el equipo en caso de una falla en el sistema. Cuenta con un sensor de presión de aceite, un sensor de presión de líquido refrigerante y un sensor de temperatura. Si alguno de estos tres sensores se encuentra con valores que signifiquen un posible riesgo para la vida útil del bloque compresor, el sistema abre el contactor de alimentación eléctrica del variador de frecuencia, interrumpiendo así la corriente y deteniendo el motor. Estas protecciones son de tipo estándar para cualquier tipo de motor y generalmente vienen integradas al sistema eléctrico de fábrica.



El sistema de refrigeración del bloque compresor cuenta con una bomba de líquido refrigerante, alimentada por el sistema de correas auxiliares al eje del bloque compresor y dos motores eléctricos que funcionan como ventiladores. Los ventiladores tienen la función de aumentar el flujo de aire que pasa a través de un radiador para disminuir la temperatura del líquido refrigerante. Ambos sistemas son conectados y encendidos manualmente por el personal, luego del arranque del motor eléctrico.

El problema del diseño del sistema radica en la susceptibilidad a la falla humana. Si por falta de atención del personal, no se conectan las protecciones del bloque compresor y se presenta una situación anormal de falta de aceite o líquido refrigerante, las protecciones no podrían realizar su función de desconectar la alimentación eléctrica y el bloque compresor podría destruirse completamente, teniendo que reemplazar el equipo, incurriendo en costosas paradas de trabajo y pérdidas de tiempo, afectando directamente al cliente y a la imagen de la empresa.



Tablero eléctrico del compresor de alta presión SMGas 250-3.

El personal de la empresa asegura que la configuración actual se debe a una modificación provisional del sistema que se realizó cuando se presentaban problemas con un antiguo variador, exclusivamente en el momento del arranque. Debido a faltas de tiempo para poder solucionar el problema del variador, la solución provisoria fue: realizar una conexión puente o bypass de las protecciones con un interruptor y así poder desactivarlas hasta después de que arranque el compresor. Después del arranque, el compresor se encontraba en equilibrio y los sensores de las protecciones no daban señal de corte.



A mediados del año 2018, el variador defectuoso fue reemplazado y el problema resuelto, pero al momento del análisis de las causas de modos de fallos del bloque compresor, la conexión bypass de las protecciones todavía se encontraba instalada y esta nunca fue vuelta a su forma original. Si bien la solución es sencilla, por faltas de tiempo o de asignación de responsabilidades, la corrección nunca fue ejecutada.

Las propuestas de mejoras que se presentan son:

- 1) Desconectar la conexión bypass del sistema de protecciones, evitando riesgos producidos por errores operativos.
- 2) Desconectar el interruptor de encendido manual de los ventiladores de refrigeración del sistema. Estos se encenderán directamente al conectar la energía eléctrica al variador del motor eléctrico.



CAPÍTULO 9: ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se analizará la rentabilidad de las propuestas de mejoras comparando los costos y beneficios que conlleva el sistema de mantenimiento actual con los asociados a la implementación y operación del sistema propuesto. La estructura del análisis económico se realizará considerando únicamente los aspectos que se verán afectados por la implementación. Se tendrán en cuenta los costos operativos adicionales de mano de obra, inversiones en herramientas e insumos, reducción de costos por disminución de paradas no previstas en las máquinas, así como el ahorro de combustible por la mejora del rendimiento del sistema productivo gracias a las soluciones planteadas.

Se analizará por un lado las tres primeras propuestas presentadas en el capítulo anterior relacionadas a la modificación del plan de mantenimiento y por otro, la propuesta de la instalación de un sistema de amortiguadores que reduzca las vibraciones en el tráiler de traslado de equipos. Confeccionando flujos de fondo se busca medir el impacto económico sobre la empresa.

Se utilizarán como referencia para el análisis los valores correspondientes al mes de diciembre 2018 y el dólar estadounidense (USD) como moneda de referencia tanto para los costos y beneficios.

DATOS GENERALES		
Concepto	Valor	Unidad
Cotización Dólar Estadounidense en Diciembre	39.00	Pesos / USD
Costo de mano de obra	Encargado	6.58 USD / hora
	Ayudante	4.75 USD / hora
Costos de parada repentina de equipos	93.75	USD / hora
Costo de combustible en Diciembre	0.70	USD / Litro
Consumo de combustible en el proceso de secado	20.00	Litros / hora

Datos generales de la empresa.

Detalle de mano de obra:

- Cantidad de encargados: 3
- Cantidad de operarios: 3



Análisis económico del plan de mantenimiento

Se analizará a continuación las siguientes propuestas:

- 1.1. Sustitución de prefiltros de la secadora de aire comprimido.
- 1.2. Renovación de los filtros de combustible y limpieza del tanque del grupo electrógeno.
- 1.3. Limpieza del radiador del grupo electrógeno.

Se tomará un período de cinco años para analizar y concluir si se justifica o no realizar la inversión. A lo largo de estos años, se considerará que el volumen de trabajo se mantiene constante.

Para analizar los beneficios monetarios del proyecto, se debe identificar cuáles son los costos del sistema actual y cuales los proyectados. Los costos a estudiar están relacionados a los conceptos desarrollados a continuación.

Inversión inicial

En primer lugar, para implementar el proyecto es necesario la compra de nuevas herramientas y llevar a cabo capacitaciones. Es un gasto que se realiza una única vez.

- **Costo de adquisición de nuevas herramientas e insumos**

Se realiza un inventario de existencias de estos elementos, y luego, se calcula el neto a adquirir. Se considera que las herramientas tienen una vida útil de cinco años. Los resultados se reflejan en la siguiente tabla:

COSTOS DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS			
Elemento	Compras necesarias	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Minicompresor de aire eléctrico portátil Stanley	1	\$95.00	\$95.00
Drenador automático Eco-Drain 31F	1	\$200.00	\$200.00
Paquete de elementos de protección personal e insumos consumibles	5	\$50.00	\$250.00
Total			\$545.00

Costos de herramientas y equipos del plan de mantenimiento propuesto.

El paquete de EPP consta de pares de guantes y gafas. Los demás insumos son paños, trapos y baldes.



- **Capacitaciones**

Al agregar algunas tareas nuevas a los operarios de mantenimiento será necesario realizar una serie de capacitaciones sobre el reacondicionamiento de ciertos componentes. Se calcula como el costo de mano de obra equivalente al tiempo incurrido por los empleados para aprender a utilizar las herramientas de forma segura para evitar riesgos del personal y de los equipos. Las nuevas herramientas adquiridas son el “Mini Compresor eléctrico Stanley” y “Drenador Eco-Drain F31”.

Los costos de las capacitaciones tienen en cuenta la duración de la tarea (estimada en 4 horas) para cada herramienta (2) por el costo de mano de obra del personal que realiza la tarea: tres encargados (Costo MO: 6,58 USD / hora) y tres ayudantes (Costo MO: 4,75 USD / hora). Entonces:

$$\text{Capacitaciones} = 2 \times (4 \times 3 \times (6,58 + 4,75)) = 271,92 \text{ USD}$$

Costos operativos

Son todos los costos que debe incurrir la empresa periódicamente para ejecutar las tareas adicionales propuestas. Los valores son calculados de forma anual.

- **Insumos y consumibles**

COSTOS DE INSUMOS Y CONSUMIBLES							
Equipo	Uso anual [horas]	Elemento	Frecuencia de renovación		Compras extras anuales	Costo unitario [USD]	Costo anual [USD]
			Actual	Propuesta			
Secadora Kaeser DC 215	3094	Elemento filtrante FB110	Cada mes	Cada 3 semanas	4	\$59.00	\$236.00
		Elemento filtrante FE110	Cada mes	Cada 3 semanas	4	\$76.70	\$306.80
		Unidad de servicio electrónica del drenador	-	Cada 2 años	0.5	\$125.00	\$62.50
Compresor de baja presión Kaeser CSD-122	7248	Filtro F-1250	Cada 2 años	Cada 6 meses	1.5	\$56.00	\$84.00
Grupo Electrónico Cummins C220	4580	Filtro de combustible Fleetguard FS1280	Cada 500 horas de uso	Cada 200 horas de uso	14	\$22.00	\$308.00
						Total	\$997.30



- **Mano de obra adicional**

Se asume que el personal actual puede realizar las tareas descriptas en el nuevo plan, sin necesidad de incorporar nuevos operarios. Algunas de estas tareas descritas ya se realizaban anteriormente, solo cambia el intervalo de ejecución. Para estimar los tiempos de cada labor se consultó al director.

COSTOS DE MANO DE OBRA							
Tarea	Tiempo necesario [min]	Costo MO [USD/hora]	Actual		Proyectado		Costo anual adicional [USD]
			Veces por año	Costo anual [USD]	Veces por año	Costo anual [USD]	
Comprobar el funcionamiento electrónico del drenador de condensados (Eco-Drain).	5	\$4.75	0	\$0.00	12	\$4.75	\$4.75
Reemplazo del elemento filtrante KB	30	\$4.75	12	\$28.50	16	\$38.00	\$9.50
Reemplazo del elemento filtrante KE	30	\$4.75	12	\$28.50	16	\$38.00	\$9.50
Reemplazo del filtro de aire del compresor de baja presión	30	\$4.75	0.5	\$1.19	2	\$4.75	\$3.56
Vaciar agua y sedimentos del depósito de combustible del grupo electrógeno	20	\$11.33	0	\$0.00	1	\$3.78	\$3.78
Sustitución de los filtros de combustibles del grupo electrógeno	60	\$4.75	9	\$43.51	23	\$108.78	\$65.27
Descargar el agua del sedimentador del filtro de combustible del grupo electrógeno	5	\$4.75	50	\$19.79	150	\$59.38	\$39.58
Limpieza del radiador	60	\$4.75	13	\$61.75	19	\$90.25	\$28.50
Total							\$164.44

No se consideran costos adicionales de transporte ni movilidad ya que no se ven afectados, mientras que los costos de viáticos serán despreciados.

Reducción de paradas no programadas

En este punto se analizará los costos en los que incurre la empresa por paradas imprevistas a causa de fallas en los equipos debido a un mantenimiento incorrecto y cómo se reducirían éstos aplicando el nuevo plan de gestión de mantenimiento.

Solo se tendrán en cuenta las paradas que hubo en el año que serán beneficiadas por el plan propuesto. De manera conservadora, se le asigna a cada parada un tiempo promedio para su resolución, el cual engloba el tiempo que le lleva a los operarios identificar la falla, reparar o reacondicionar el equipo



y el tiempo necesario para volver a las condiciones de trabajo normal. Luego se calculan los costos asociados a los siguientes conceptos:

- Mano de obra directa: Se considera que un operario y un encargado se ocupan de la falla para reacondicionar el equipo.
Costo MO directa (operario + encargado) = 11,33 (USD/hora)
- Mano de obra indirecta: Equivalente a la amortización de salario de los trabajadores que no intervienen en los trabajos físicos (director, gerente comercial y asesores tercerizados). Se distribuye entre todos los equipos y las horas que se utilizaron al año.
Costo de MO indirecta = 1.97 (USD/hora)

A continuación, se detalla la tabla con los costos por parada:

COSTOS POR PARADAS NO PROGRAMADAS					
Descripción	Frecuencia anual	Duración [horas]	Costo de mano de obra		Costo anual [USD]
			Directa [USD/hora]	Indirecta [USD/hora]	
Paradas del grupo electrógeno por sobrecalentamiento	6	3	\$11.33	\$1.97	\$239.47
Paradas por obstrucción de los inyectores del grupo electrógeno	2	12	\$11.33	\$1.97	\$319.30
Falla de electroválvulas de la secadora debido a partículas sólidas no filtradas	2	10	\$11.33	\$1.97	\$266.08
				Total	\$824.85

Se estima que las mejoras propuestas evitan estos inconvenientes, generando ahorros para la empresa.

Costos corrientes por pérdida de función

Se analizará los costos por pérdida de eficiencia del proceso de secado debido al mantenimiento incorrecto. A causa de la saturación de los prefiltros, se produce una reducción de caudal de aire seco (aproximadamente 10%) para poder mantener el punto de rocío necesario a la salida del equipo. Esto afecta directamente en los costos de producción debido a que se necesita una mayor cantidad de tiempo para realizar la tarea de secado. Las horas extras se calculan en base al tiempo en el que se trabaja con los prefiltros saturados (aproximadamente un 25% del tiempo). Se considera el mismo costo de mano de obra que en las paradas no programadas.



Se procede a calcular el costo extra que esta ineficiencia genera, la cual se evitaría con las mejoras propuestas.

COSTOS POR INEFICIENCIA EN EL PROCESO DE SECADO							
Uso anual secadora [horas]	Tiempo de trabajo realizado por año con prefiltro saturado			Costos de producción			
	Proporción del trabajo [%]	Pérdida de la función [%]	Tiempo de trabajo extra [horas]	Mano de obra		Combustible [USD/hora]	Costo total anual [USD]
				Directa [USD/hora]	Indirecta [USD/hora]		
3094.00	25%	10%	77.35	\$11.33	\$1.97	\$14.00	\$2,111.96

Flujo de fondos y análisis de rentabilidad

Con la información obtenida anteriormente, se podrá analizar la rentabilidad del proyecto. Considerando la naturaleza del mismo, se decide utilizar una Tasa atractiva de retorno (TAR) de 40% para elaborar un flujo de fondos y poder calcular el valor actual neto (VAN).

PERIODO	0	1	2	3	4	5
INVERSIONES						
Herramientas y equipos	-\$545.00					
Capacitaciones	-\$271.92					
TOTAL	-\$816.92	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
COSTOS OPERATIVOS						
Insumos y consumibles		-\$997.30	-\$997.30	-\$997.30	-\$997.30	-\$997.30
Mano de obra adicional		-\$164.44	-\$164.44	-\$164.44	-\$164.44	-\$164.44
TOTAL	\$0.00	-\$1,161.74	-\$1,161.74	-\$1,161.74	-\$1,161.74	-\$1,161.74
BENEFICIOS PROYECTADOS						
Reducción de paradas no programadas		\$824.85	\$824.85	\$824.85	\$824.85	\$824.85
Reducción de costos de producción ineficiente		\$2,111.96	\$2,111.96	\$2,111.96	\$2,111.96	\$2,111.96
TOTAL	\$0.00	\$2,936.81	\$2,936.81	\$2,936.81	\$2,936.81	\$2,936.81
Flujo de fondo neto (FFN)	-\$816.92	\$1,775.07	\$1,775.07	\$1,775.07	\$1,775.07	\$1,775.07
FFN Acumulado	-\$816.92	\$958.15	\$2,733.23	\$4,508.30	\$6,283.38	\$8,058.45
FFN Actualizado	-\$816.92	\$1,267.91	\$905.65	\$646.89	\$462.07	\$330.05
FFN Actualizado Acumulado	-\$816.92	\$450.99	\$1,356.64	\$2,003.53	\$2,465.60	\$2,795.65

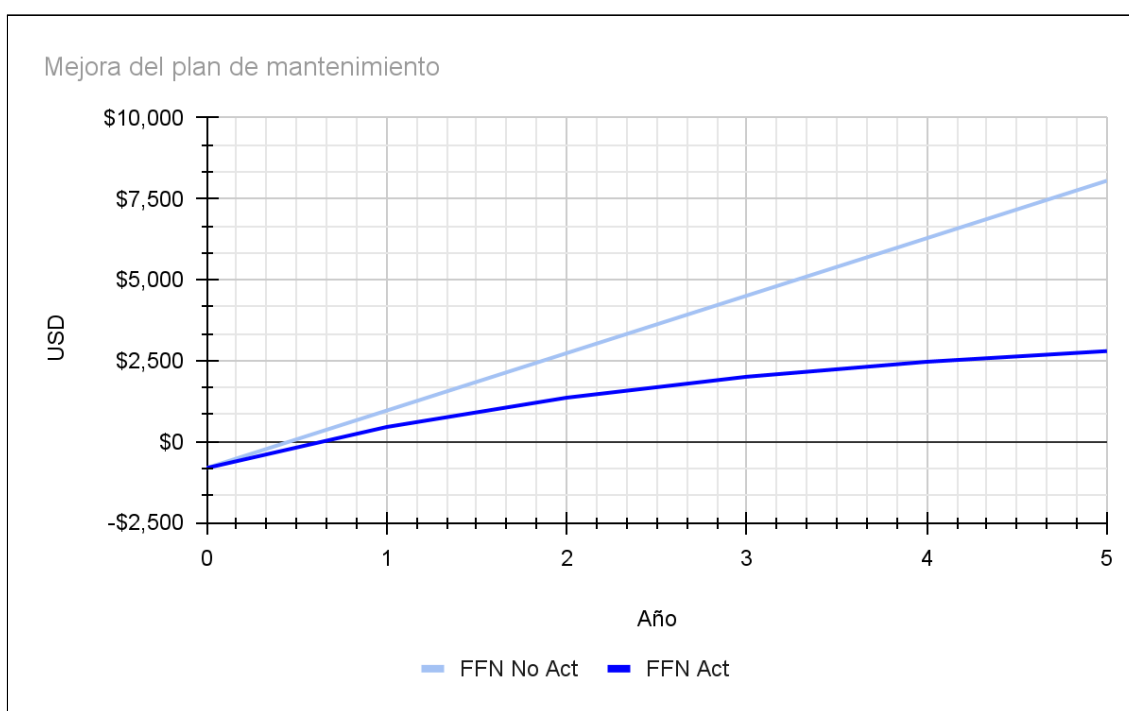
VAN	\$2,795.65
TIR	217%

TAR	40.00%
------------	---------------



Se puede observar que el VAN obtenido es positivo, lo que indica que el proyecto excede a la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión, o en otras palabras, indica cuanto más se ganará comparada con una inversión alternativa con una rentabilidad definida con la misma TAR. A la vez la Tasa interna de rentabilidad (TIR) es muy superior que la TAR, lo que demuestra que el proyecto es rentable y atractivo económicamente.

Por otro lado, si se observa el perfil de liquidez que se muestra a continuación, se contempla que la inversión es recuperada rápidamente antes de finalizar el primer año de haber comenzado el proyecto, esto quiere decir que el efecto monetario de implementarlo correctamente es inmediato.



Perfil de liquidez del proyecto del plan de mantenimiento.

Análisis económico de la instalación de elementos antivibratorios en el tráiler de traslado de equipos

Se realiza otro flujo de fondos para la propuesta de instalación de elementos antivibratorios. Se compara los costos actuales asociados al recambio de rodamientos con el ahorro estimado al implementar un sistema de amortiguamiento de vibraciones sobre los tráilers donde se trasladan los equipos.

Se tomará un período de diez años para analizar y concluir si se justifica o no realizar la inversión y a lo largo de estos años se considerará que el volumen de trabajo se mantiene constante (igual al 2018).



Para analizar los beneficios monetarios del proyecto, se debe identificar cuáles son los costos del sistema actual y proyectado, los cuales están relacionados a los conceptos desarrollados a continuación.

Inversión inicial

Para la implementación del proyecto es necesario la compra de los elementos de soporte antivibratorios y un servicio tercerizado para instalarlos. Los detalles de los elementos a adquirir se describen a continuación en la siguiente tabla.

INVERSIONES				
Elemento	Unidades necesarias	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]	
Instalación de los amortiguadores	1	\$2,100.00	\$2,100.00	
Amortiguadores	Código 21267	24	\$60.36	\$1,448.64
	Código 20494	8	\$109.93	\$879.44
	Código 20496	6	\$117.76	\$706.56
	Código 20377	4	\$72.21	\$288.84
Total			\$5,423.48	

Reducción de costos por cambio de rodamientos

En la primera tabla del Anexo III se muestran los datos correspondientes a la vida útil de los rodamientos de los componentes de los equipos, sus respectivos costos y la frecuencia de renovación. Esto se calcula a partir de la reducción de la vida útil de los rodamientos por los efectos de vibrocorrosión.

En la segunda y tercera tabla, se distribuyen estos costos para cada uno de los diez períodos según cuando sea necesario llevar a cabo el reemplazo, considerando las horas acumuladas por equipo entre los años 2017 y 2018.

Flujo de fondos y análisis de rentabilidad

Con la información obtenida anteriormente, se decide utilizar nuevamente una tasa atractiva de retorno (TAR) de 40% para poder calcular el valor actual neto (VAN). Se detalla la tabla de flujo de fondos:

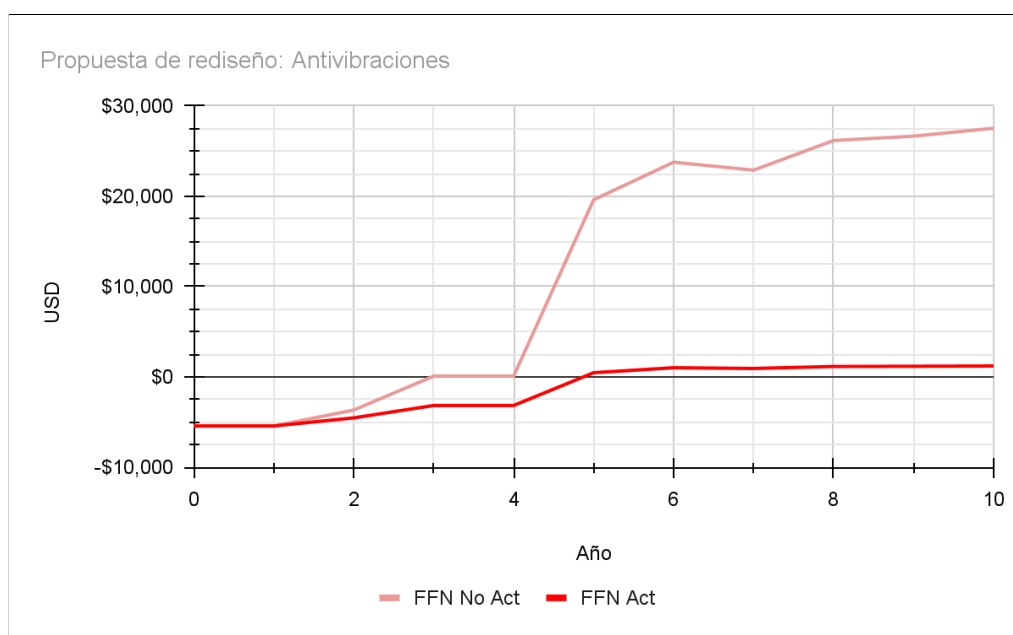


PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSIONES											
Compra de amortiguadores e instalación	-\$5,423										
TOTAL	-\$5,423	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
BENEFICIOS PROYECTADOS											
Reducción de los costos de recambio		\$0	\$1,760	\$3,760	\$0	\$19,520	\$4,160	-\$880	\$3,280	\$480	\$880
TOTAL	\$0	\$0	\$1,760	\$3,760	\$0	\$19,520	\$4,160	-\$880	\$3,280	\$480	\$880
Flujo de fondos (FFN)	-\$5,423	\$0	\$1,760	\$3,760	\$0	\$19,520	\$4,160	-\$880	\$3,280	\$480	\$880
FFN Acumulado	-\$5,423	-\$5,423	-\$3,663	\$97	\$97	\$19,617	\$23,777	\$22,897	\$26,177	\$26,657	\$27,537
FFN Actualizado	-\$5,423	\$0	\$898	\$1,370	\$0	\$3,629	\$552	-\$83	\$222	\$23	\$30
FFN Actualizado Acumulado	-\$5,423	-\$5,423	-\$4,526	-\$3,155	-\$3,155	\$474	\$1,027	\$943	\$1,165	\$1,189	\$1,219

VAN	\$1,219
TIR	46.72%

TAR	40.00%
------------	---------------

En la tabla se puede observar un VAN positivo, lo que indica que el proyecto es viable. Por otro lado, si se observa el perfil de liquidez a continuación, se contempla que la inversión se recupera poco antes del quinto año de haber comenzado. Se concluye que la propuesta es rentable, aunque no tan atractiva económicamente como la anterior.



Perfil de liquidez del proyecto del sistema de amortiguadores.



Para este análisis no se tuvo en cuenta otros efectos negativos que producen las vibraciones sobre los equipos. Estas pueden producir aflojamiento de los elementos de unión como tornillos o bulones, y también de mangueras que contengan aire de combustión, aceites o combustible en sí, afectando su vida útil. Esto se traduce en costos adicionales de tareas de mantenimiento que la empresa necesitaría realizar en un futuro.

Otras consideraciones

Protecciones eléctricas

Para el rediseño de las protecciones eléctricas del compresor de alta presión no se llevará a cabo un análisis de rentabilidad. Su implementación es una medida necesaria por no decir obligatoria para evitar riesgos de daño parcial o destrucción total del equipo ante, por ejemplo, una posible distracción del operario. Se busca minimizar la posibilidad de incendio, el peligro para las personas y el riesgo de daños de equipos adyacentes. En otras palabras, se busca asegurar la integridad del conjunto de trabajo.

Este trabajo puede ser realizado por un electricista especializado cuando el equipo está fuera de uso almacenado en el depósito. El costo es muy bajo si se considera el riesgo, donde se puede perder un equipo completo con un valor aproximado de 22000 USD.

Alquiler de equipos de emergencia

Un aspecto que no se tuvo en cuenta en el análisis económico, es el costo que incurre la empresa anualmente en alquileres de equipos de emergencia ante paradas inesperadas. En el año 2018 se alquilaron en tres ocasiones grupos electrógenos para cumplir con los tiempos de entrega. No solo es costoso la renta del equipo en sí por su capacidad y su traslado a zonas distantes, sino también por las demoras que genera en las tareas programadas.



CONCLUSIÓN FINAL

El objetivo general de este trabajo consistió en proponer un sistema de gestión de mantenimiento para la empresa IGA Ingeniería que permitiese obtener un beneficio económico por medio de un sistema efectivo y eficiente del cuidado de los equipos.

El proyecto se desarrolló bajo la premisa de aumentar el rendimiento, específicamente en el área de mantenimiento. Para esto, se realizó un análisis del sistema de gestión actual, evaluando los posibles eventos de fallo, detectando los puntos críticos y proponiendo distintas mejoras con la metodología antes mencionada.

Una vez abordados los principales problemas, se cumple con las expectativas planteadas desde un principio; aumentar la fiabilidad de las máquinas, reducir sus fallas y mejorar la calidad general del servicio, y de esta forma, mejorar la eficiencia del área de mantenimiento.

Como conclusión final, por los resultados obtenidos del análisis económico, se considera que las propuestas resultan atractivas para la gerencia desde un punto de vista financiero. Es digno de mención que no se tuvieron en cuenta otros beneficios adicionales que se obtendrían al reducir las demoras cómo evitar incumplimiento de entregas, pérdida de imagen y de la cuota de mercado. Hoy en día, la gestión de mantenimiento es una oportunidad competitiva que posibilita a las organizaciones lograr objetivos estratégicos, es por ello, que la visión a futuro de los directivos tendrá que basarse en establecer a los costos de mantenimiento como una inversión productiva.



BIBLIOGRAFÍA

Bestratén Belloví M. (2004). FMEA: Failure Mode and Effect Analysis. España.

Bocco Gabriel Luis y Vence Luis Alberto (2000) Proyectos de Inversión. Edición Errepar. Argentina.

Carbotecnia, S.A. de C.V. (Noviembre 2020). Centro de aprendizaje: Conceptos básicos del carbón activado. Jalisco, México.

Dirección General de Estadística y Censos del Ministerio de Hacienda y Finanzas. (Febrero 2021). Informe anual: Años 2009 a 2020. Buenos Aires, Argentina.

Dirección General de Protección Civil. (1994). Guía Técnica: métodos cualitativos para el análisis de riesgos. Madrid.

Ecogas, Distribuidora de Gas del Centro S.A. (2004) Especificación técnica general para la prueba neumática de resistencia y hermeticidad en líneas de transmisión y distribución. Provincia de Córdoba, Argentina.

Energas. (1993). Normas argentinas mínimas de seguridad para el transporte y distribución de gas natural y otros gases por cañerías. Argentina.

Centro de Investigación en Economía y Planeamiento Energético (2014).Informe sobre el mercado del Gas Natural.

Enargas (2018) Informes anuales de consumo, usuarios, capacidad y distribución del gas natural.

Fernández F. (2011). Análisis de los sistemas de refrigeración solar por adsorción. Departamento de Ingeniería Energética Grupo de Termodinámica y Energías Renovables. Universidad de Sevilla.

Gangi S. y Pontelli (2018). Mantenimiento Industrial. Córdoba, Argentina

Ganter E. (2018). Elementos de amortiguación para vibraciones: Guía de selección.

García Garrido S. (2013). Ingeniería de Mantenimiento: Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento.

Gas del Estado. (1990). Procedimiento general para pruebas de resistencia y hermeticidad de gasoductos. Buenos Aires, Argentina.

Gold V. (1997). The Compendium of Chemical Terminology. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).



Griffa B. y Marcó L. (2014). Informe sobre el mercado del Gas Natural. Universidad Nacional de San Martín. Perú.

James P. (1996). Gestión de la Calidad Total. Prentice Hall. Madrid.

Lyonnet P. (1989). Los métodos de la Calidad Total. Ediciones Diaz de Santos.

Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos. (2015). Plan de infraestructura gasífera de Córdoba. Argentina.

Palomino E. (2017). Elementos de medición y análisis de vibraciones en máquinas rotatorias. 5ª Edición. Cujae, Cuba. ISBN 959-261-043-6.

Secretaría de Energía. (2003). Conceptos sobre hidrocarburos. Argentina.

Servinso S.A. (2010). Sistemas antivibratorios: selección y aplicación de productos para el control de la vibración, impacto y ruido. Barcelona, España.

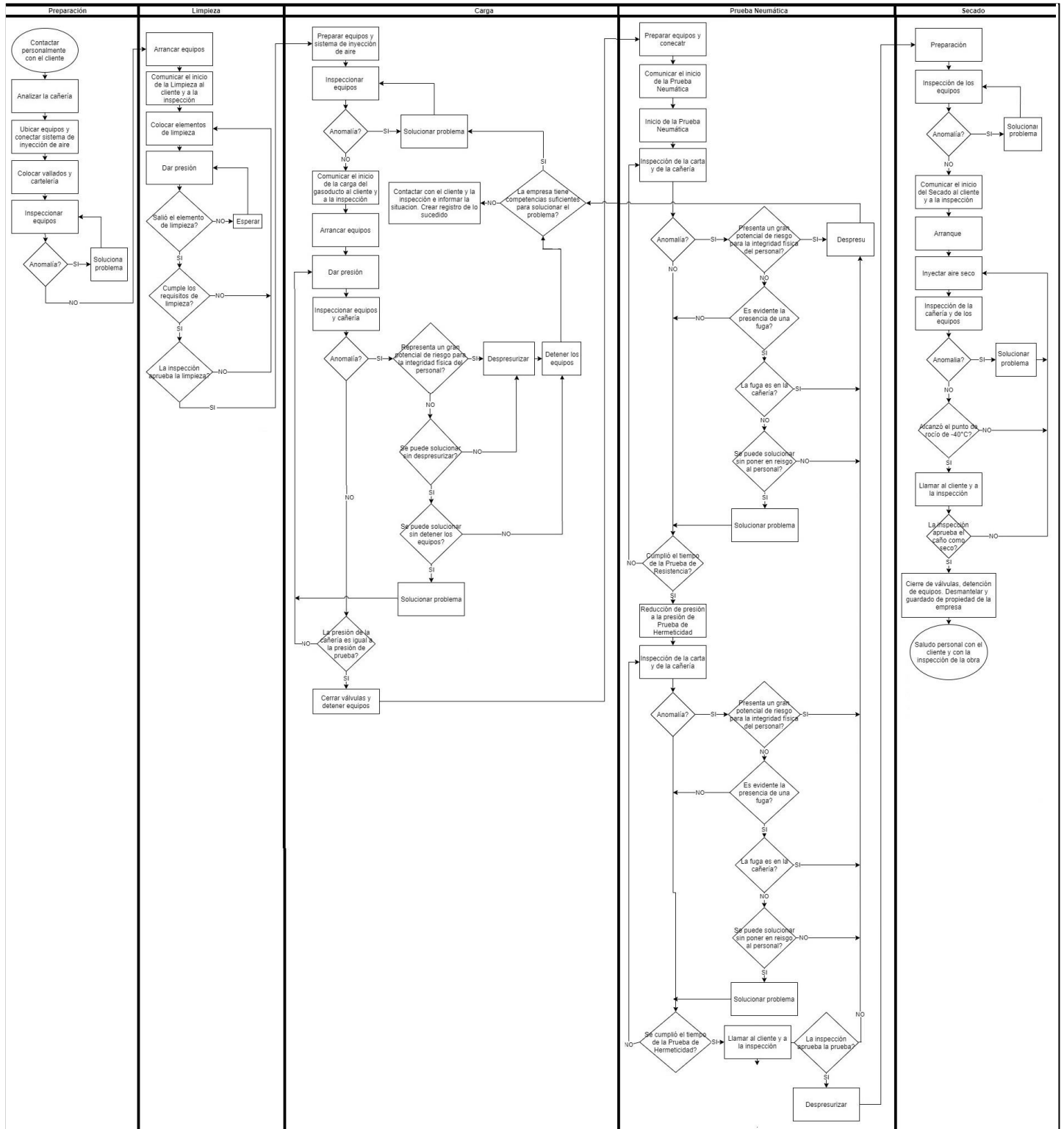
SKF Rodamientos. (2016). Rodamientos y sellos en motores eléctricos y generadores.

Tecniacústica S. A. (2018). Sistemas de suspensión antivibratoria para mezcladoras. Cadiz, España.



ANEXOS

I. Flujograma del proceso





II. AMFE

A. Grupo electrógeno

Equipo	GRUPO ELECTROGENO - CUMMINS C220 D5 (Página 1 de 3)									
Sistema	Componente	Modo de falla	Efecto	Causa del modo de falla	Código	Controles actuales	O	S	D	IPR
Motor Diésel 1.1	Depósito de combustible 1.1.1	Paradas imprevistas del motor	Pérdida de tiempo por reabastecimiento	El tanque de combustible se vacía en plena actividad	1.1.1.1	Controlar nivel del depósito de combustible	1	7	2	14
		Fisura en el depósito de combustible	Pérdida de combustible	Impactos con elementos externos	1.1.1.2	Comprobación visual	1	9	2	18
		Acumulamiento de agua y/o sedimentos	Contaminación de la mezcla combustible, produciendo mayor desgaste en los componentes internos del motor y disminuyendo el rendimiento en el proceso de combustión	Utilización de combustible de mala calidad	1.1.1.3	Controlar filtro de combustible y drenar el depósito de combustible	6	7	7	294
	Filtro de aire 1.1.2	Saturación del filtro de aire	Contaminación de la mezcla, produciendo mayor desgaste en los componentes internos o disminuyendo el rendimiento en el proceso de combustión	Acumulamiento de suciedad por falta de mantenimiento	1.1.2.1	Controlar filtro de aire	8	6	5	240
	Inyectores 1.1.3	Paradas imprevistas del motor	Ahogamiento del motor	Taponamiento de los inyectores	1.1.3.1	Ninguna	1	9	10	90
	Lubricación 1.1.4	El aceite no fluye	Aumento del rozamiento. Recalentamiento del motor	La bomba de aceite no funciona correctamente	1.1.4.1	Ninguna	1	10	3	30
				Obstrucción de la circulación	1.1.4.2	Ninguna	1	10	8	80
				Pérdidas de aceite	1.1.4.3	Comprobación visual	6	10	2	120
				Falta de aceite lubricante	1.1.4.4	Controlar nivel de aceite del motor	6	10	2	120
	Refrigeración 1.1.5	Falta de líquido refrigerante	El líquido refrigerante no reduce su temperatura lo suficiente. Recalentamiento del motor	Se evapora líquido refrigerante por falla en la junta	1.1.5.1	Controlar nivel de líquido refrigerante	2	9	3	54



Equipo	GRUPO ELECTROGENO - CUMMINS C220 D5 (Página 2 de 3)									
Sistema	Componente	Modo de falla	Efecto	Causa del modo de falla	Código	Controles actuales	O	S	D	IPR
Motor Diésel 1.1	Refrigeración 1.1.5	Acumulamiento de suciedad en el radiador	El líquido refrigerante no reduce su temperatura lo suficiente. Recalentamiento del motor	Acumulacion natural de polvo, aceite y grasas sobre la superficie del intercambiador de calor, reduciendo su eficiencia	1.1.5.2	Ninguna	9	6	5	270
		Fisuras en el radiador	Pérdida de líquido refrigerante. Recalentamiento del motor	Impactos con elementos externos	1.1.5.3	Ninguna	1	8	7	56
		Aspas del ventilador en mal estado	Circulación ineficiente del aire para enfriar el líquido refrigerante. Recalentamiento del motor	Impactos	1.1.5.4		1	8	4	32
		Detención del ventilador	Circulación ineficiente del aire para enfriar el líquido refrigerante. Recalentamiento del motor	Desgaste por el uso	1.1.5.5		2	8	4	64
	Filtro de Combustible 1.1.6	Saturación del filtro de combustible	Contaminación de la mezcla, produciendo mayor desgaste en los componentes internos del motor y disminuyendo el rendimiento en el proceso de combustión	Acumulamiento de suciedad por falta de mantenimiento	1.1.6.1	Ninguna	8	6	5	240
	Filtro de aceite 1.1.7	Saturación del filtro de aceite	Contaminación de la mezcla, produciendo mayor desgaste en los componentes internos del motor	Acumulamiento de suciedad por falta de mantenimiento	1.1.7.1	Ninguna	8	6	5	240
	Motor 1.1.8	Desgaste acelerado de los rodamientos	Potencial daño en el eje y en el equipo en general	Vibraciones externas excesivas	1.1.8.1	Ninguna	3	10	9	270
	Inductor (eje) 1.2.1	Incremento en la temperatura	Sobrecalentamiento, riesgo de cortocircuito	Sobrecarga en el eje	1.2.1.1	Ninguna	1	8	7	56
				Cortocircuito directo, falla en el aislante	1.2.1.2	Ninguna	2	10	7	140
		Desgaste acelerado de los rodamientos	Potencial daño en el eje y en el equipo en general	Vibraciones externas excesivas	1.2.1.3	Ninguna	3	10	9	270
Baja velocidad de giro		Bajo caudal de producción	Incorrecto ajuste en el variador de frecuencia	1.2.1.5	Ninguna	2	6	7	84	



Equipo	GRUPO ELECTROGENO - CUMMINS C220 D5 (Página 3 de 3)									
Sistema	Componente	Modo de falla	Efecto	Causa del modo de falla	Código	Controles actuales	O	S	D	IPR
Motor Diésel 1.1	Devanados 1.2.2	Mal estado de los devanados	Reducción del rendimiento	Corrosión	1.2.2.1	Ninguna	1	5	8	40
	Escobillas	Mala conexión del inducido		Corrosión	1.2.3.1	Ninguna	1	5	8	40
	Batería 1.2.4	Deterioramiento de la batería	Falla en el arranque del generador	Conexiones sueltas	1.2.4.1	Ninguna	2	6	3	36
				Acumulación de sulfatos de plomo en sus placas	1.2.4.2	Ninguna	4	6	7	168
	Protecciones eléctricas 1.2.5	Se dispara el disyuntor	Se interrumpe el circuito, produciendo una parada	Exceso de carga eléctrica o cortocircuito	1.2.5.1	Ninguna	5	3	4	60
		Se quema el fusible			1.2.5.2	Ninguna	2	3	4	24
		Descarga eléctrica	Posibilidad de descargas repentinas	Falla aislamiento	1.2.5.3	Probar resistencia de aislamiento y puesta a tierra. Comprobar maniobra correcta de arranque	1	10	9	90
Tablero eléctrico 1.3	Llave termomagnética 1.3.1	No funciona	Pérdida del control de la situación	Falla en el circuito	1.3.1.1	Ninguna	3	9	5	135
General 1.4	Carcasa y base soporte 1.4.1	Desajuste de las sujeciones	Exceso de vibraciones	Traslado y uso	1.4.1.1	Corroborar empalme, sujeciones y fijaciones	4	8	5	160



B. Compresor de baja presión

Equipo	COMPRESOR DE BAJA PRESIÓN - KAESER CSD 122 (Página 1 de 2)									
Sistema	Componente	Modo de falla	Efecto	Causa del modo de falla	Código	Controles actuales	O	S	D	IPR
Transmisión de potencia 2.1	Motor eléctrico 2.1.1	Incremento en la temperatura	Sobrecalentamiento del motor, riesgo de cortocircuito	Falla en el sistema de refrigeración	2.1.1.1	Protección con sensor de temperatura	1	10	6	60
			El motor humea y se quema	Cortocircuito directo, falla en el aislante	2.1.1.2	Ninguna	1	10	6	60
		Desgaste acelerado de los rodamientos	Potencial daño en el eje y en el equipo en general	Vibraciones externas excesivas	2.1.1.3	Ninguna	3	10	9	270
		Gira en el sentido contrario	Sentido de giro incorrecto, el compresor no funciona	Conexión incorrecta de las fases	2.1.1.4	Ninguna	2	7	6	84
	Cableado del sistema 2.1.2	Incremento en la temperatura de los cables y los bornes	Daño en los cables de transmisión de potencia, daño en el motor	Falta de ajuste de los bornes	2.1.2.1	Ninguna	2	7	8	112
				Insuficiente ventilación en los bornes	2.1.2.2	Ninguna	2	6	7	84
Sistema de elevación de presión 2.2	Bloque compresor 2.2.1	El bloque compresor se sobrecalienta	Riesgo de deformación del bloque compresor, rotura	El sistema de refrigeración funciona deficientemente y las protecciones no funcionan	2.2.1.1	Protección con sensor de temperatura	1	10	9	90
		Sobrepresión en el bloque compresor	Parada automática del motor por sobrepresión, desgaste de los componentes	El sistema de producción de aire no está equilibrado, el compresor genera más de lo que el compresor de alta presión o la secadora consumen	2.2.1.2	Ninguna	7	3	7	147
		Desgaste acelerado de los rodamientos	Potencial daño en el eje y en el equipo en general	Vibraciones externas excesivas	2.2.1.3	Ninguna	3	10	9	270
	Conexiones 2.2.2	Fuga de aire	Pérdida de caudal de alimentación	Mala conexión de las uniones	2.2.2.1	Ninguna	6	6	4	144
			Riesgo físico del personal, pérdida de caudal de alimentación	Fisura en la manguera	2.2.2.2	Auditiva	3	8	7	168
			Riesgo físico del personal, pérdida de caudal de alimentación	Rotura de la manguera	2.2.2.3	Auditiva	3	10	8	240



Equipo	COMPRESOR DE BAJA PRESIÓN - KAESER CSD 122 (Página 2 de 2)									
Sistema	Componente	Modo de falla	Efecto	Causa del modo de falla	Código	Controles actuales	O	S	D	IPR
Refrigeración 2.3	Bomba de aceite 2.3.1	El aceite no fluye	Sobrecalentamiento del bloque compresor, falta de lubricación del bloque compresor	Falta de aceite en el tanque de almacenamiento	2.3.1.1	Ninguna	2	8	6	96
				Obstrucción del sistema	2.3.1.2	Comprobación visual al arranque del equipo	1	8	7	56
				Rotura del sistema de flujo de aceite	2.3.1.3	Ninguna	2	8	5	80
				Fin de vida útil de la bomba	2.3.1.4	Ninguna	3	7	4	84
	Radiador del líquido refrigerante y del aceite 2.3.2	El líquido refrigerante no reduce su temperatura lo suficiente	Sobrecalentamiento del bloque compresor	Fuga en el radiador, el líquido refrigerante no circula	2.3.2.1	Visual	2	7	4	56
				Pérdida de eficiencia por suciedad	2.3.2.2	Ninguna	6	5	7	210
				Obstrucción de la circulación de aire por elemento externo	2.3.2.3	Comprobación visual al arranque del equipo	4	5	6	120
				Temperaturas ambientales demasiado altas	2.3.2.4	Ninguna	3	6	7	126
	Ventilador 2.3.3	Las paletas no giran	No circula el aire para enfriar el líquido refrigerante	Obstrucción física por elemento externo	2.3.3.1	Ninguna	2	7	7	98
				Fin de vida útil del motor del ventilador	2.3.3.2	Ninguna	2	7	6	84
		Las paletas giran en sentido contrario	La circulación del aire es en el sentido contrario, no enfría el líquido refrigerante	Conexión incorrecta de las fases	2.3.3.3	Ninguna	2	5	4	40
	Bomba de líquido refrigerante 2.3.4	El líquido refrigerante no circula	Sobrecalentamiento del bloque compresor	Falta de líquido refrigerante en el tanque de almacenamiento	2.3.4.1	Ninguna	3	8	5	120
				Obstrucción del sistema	2.3.4.2	Ninguna	2	7	8	112
Fin de vida útil de la bomba				2.3.4.3	Ninguna	2	8	8	128	
Tablero eléctrico 2.4	Computadora 2.4.1	No funcionan	Pérdida de las protecciones automáticas del bloque compresor	Desajuste en los cables de señal	2.4.1.1	Ninguna	3	7	8	168



C. Compresor de alta presión

Equipo	COMPRESOR DE ALTA PRESIÓN - KAESER SMGas 250-3 (Página 1 de 3)									
Sistema	Componente	Modo de falla	Efecto	Causa del modo de falla	Código	Controles actuales	O	S	D	IPR
Transmisión de potencia 3.1	Motor eléctrico 3.1.1	Incremento en la temperatura	Sobrecalentamiento del motor, riesgo de cortocircuito	Falla en el sistema de refrigeración	3.1.1.1	Protección con sensor de temperatura	1	10	6	60
			El motor humea y se quema	Cortocircuito directo, falla en el aislante	3.1.1.2	Ninguna	1	10	6	60
		Desgaste acelerado de los rodamientos	Potencial daño en el eje y en el equipo en general	Vibraciones externas excesivas	3.1.1.3	Ninguna	3	10	9	270
		Baja velocidad de giro del motor	Bajo caudal de producción	Incorrecto ajuste en el variador de frecuencia	3.1.1.4	Visual al arranque del equipo	6	6	7	252
		Exceso de corriente	Incremento en la temperatura del motor	Bloqueo mecánico del motor	3.1.1.5	Visual al arranque del equipo	3	7	3	63
				Falla del arranque estrella triangulo	3.1.1.6	Ninguna	3	8	8	192
		Gira en el sentido contrario	Sentido de giro incorrecto, el compresor no funciona	Conexión incorrecta de las fases	3.1.1.7	Ninguna	2	8	6	96
	Correa de transmisión de potencia 3.1.2	La correa no gira	Sobrecalienta el motor, pérdidas de tiempo	Bloqueo por elemento externo	3.1.2.1	Visual al arranque del equipo	4	7	5	140
		La correa se rompe	Riesgo físico del personal, no transmite potencia al bloque compresor, pérdidas de tiempo	Obstrucción repentina por elemento externo	3.1.2.2	Ninguna	3	10	7	210
				Fin de vida útil	3.1.2.3	Ninguna	2	10	8	160
	Cableado del sistema 3.1.3	Incremento en la temperatura de los cables y los bornes	Daño en los cables de transmisión de potencia, daño en el motor	Falta de ajuste de los bornes	3.1.3.1	Ninguna	3	7	7	147
				Insuficiente ventilación en los bornes	3.1.3.2	Ninguna	3	7	7	147
	Sistema de elevación de presión 3.2	Bloque compresor 3.2.1	El sellador del pistón de compresión falla	Paso excesivo de aceite a la cañería, no levanta presión	Desgaste	3.2.1.1	Ninguna	4	8	8
Instalación incorrecta				3.2.1.2	Ninguna	3	7	6	126	
Desgaste acelerado de los rodamientos			Potencial daño en el eje y en el equipo en general	Vibraciones externas excesivas	3.2.1.3	Ninguna	3	10	9	270



Equipo	COMPRESOR DE ALTA PRESIÓN - KAESER SMGas 250-3 (Página 2 de 3)										
Sistema	Componente	Modo de falla	Efecto	Causa del modo de falla	Código	Controles actuales	O	S	D	IPR	
Sistema de elevación de presión 3.2	Conexiones de baja presión 3.2.2	Fuga de aire	Pérdida de caudal de alimentación	Mala conexión de las uniones	3.3.2.1	Ninguna	5	8	4	160	
			Riesgo físico del personal, pérdida de caudal de alimentación	Fisura en la manguera	3.3.2.2	Auditiva	2	8	7	112	
			Riesgo físico del personal, pérdida de caudal de alimentación	Rotura de la manguera	3.2.2.3	Auditiva	3	10	8	240	
	Conexiones de alta presión 3.2.3	Fuga de aire	Pérdida de caudal de producción	Mala conexión de las uniones	3.2.3.1	Ninguna	5	8	4	160	
			Riesgo físico del personal, pérdida de caudal de producción	Fisura en la manguera	3.2.3.2	Auditiva	2	8	7	112	
			Riesgo físico del personal, pérdida de caudal de producción	Rotura de la manguera	3.2.3.3	Auditiva	3	10	8	240	
Sistema de refrigeración 3.3	Bomba de aceite 3.3.1	El aceite no fluye	Sobrecalentamiento del bloque compresor, falta de lubricación del bloque compresor	Falta de aceite en el tanque de almacenamiento	3.3.1.1	Ninguna	2	8	6	96	
				Obstrucción del sistema	3.3.1.2	Visual al arranque del equipo	1	8	7	56	
				Rotura del sistema de flujo de aceite	3.3.1.3	Ninguna	2	8	5	80	
				Fin de vida útil de la bomba	3.3.1.4	Ninguna	3	7	4	84	
	Radiador 3.3.2	El líquido refrigerante no reduce su temperatura lo suficiente	Sobrecalentamiento del bloque compresor	Fuga en el radiador, el líquido refrigerante no circula	3.3.2.1	Visual	2	7	4	56	
				Pérdida de eficiencia por suciedad	3.3.2.2	Ninguna	6	5	7	210	
				Obstrucción de la circulación de aire por elemento externo	3.3.2.3	Visual al arranque del equipo	4	5	6	120	
				Temperaturas ambientales demasiado altas	3.3.2.4	Ninguna	3	6	7	126	



Equipo	COMPRESOR DE ALTA PRESIÓN - KAESER SMGas 250-3 (Página 3 de 3)										
Sistema	Componente	Modo de falla	Efecto	Causa del modo de falla	Código	Controles actuales	O	S	D	IPR	
Sistema de refrigeración 3.3	Ventiladores 3.3.3	Las paletas no giran	No circula el aire para enfriar el líquido refrigerante	Obstrucción física por elemento externo	3.3.3.1	Visual al arranque del equipo	2	7	7	98	
				Fin de vida útil del motor del ventilador	3.3.3.2	Ninguna	2	7	6	84	
				No están encendidas (funcionamiento manual)	3.3.3.3	Ninguna	5	7	8	280	
		Las paletas giran en sentido contrario	La circulación del aire es en el sentido contrario, no enfría el líquido refrigerante	Conexión incorrecta de las fases	3.3.3.4	Ninguna	2	5	4	40	
	Bomba de líquido refrigerante 3.3.4	El líquido refrigerante no circula	Sobrecalentamiento del bloque compresor	Falta de líquido refrigerante en el tanque de almacenamiento	3.3.4.1	Ninguna	3	8	5	120	
				Obstrucción del sistema	3.3.4.2	Ninguna	2	7	8	112	
				Fin de vida útil de la bomba	3.3.4.3	Ninguna	2	8	8	128	
	Correa auxiliar de la bomba de aceite 3.3.5	La correa no gira	La bomba de aceite no funciona	Bloqueo por elemento externo	3.3.5.1	Visual al arranque del equipo	3	8	5	120	
		La correa se rompe	Riesgo físico del personal, no funciona la bomba de aceite, pérdidas de tiempo	Obstrucción repentina por elemento externo	3.3.5.2	Ninguna	2	10	8	160	
				Fin de vida útil	3.3.5.3	Ninguna	3	8	8	192	
	Correa auxiliar de la bomba de líquido refrigerante 3.3.6	La correa no gira	La bomba no funciona	Bloqueo por elemento externo	3.3.6.1	Visual al arranque del equipo	2	10	8	160	
		La correa se rompe	Riesgo físico del personal, no funciona la bomba de líquido refrigerante, pérdidas de tiempo	Obstrucción repentina por elemento externo	3.3.6.2	Ninguna	2	10	8	160	
				Fin de vida útil	3.3.6.3	Ninguna	3	8	8	192	
	Tablero comandos eléctricos 3.4	Variador 3.4.1	El variador se sobrecalienta	Parada del variador y de todo el sistema	Falla del ventilador refrigerador	3.4.1.1	Ninguna	3	8	5	120
Falta de ajuste de los bornes					3.4.1.2	Ninguna	2	7	4	56	
Protecciones del bloque compresor 3.4.2		No funcionan	Pérdida de las protecciones automáticas del bloque compresor	Desajuste en los cables de señal	3.4.2.1	Ninguna	4	10	7	280	
				No están encendidas (funcionamiento manual)	3.4.2.2	Ninguna	5	10	8	400	



D. Secadora de aire comprimido

Equipo	SECADORA POR ADSORCIÓN - KAESER DC 215 (Página 1 de 2)									
Sistema	Componente	Modo de falla	Efecto	Causa del modo de falla	Código	Controles actuales	O	S	D	IPR
Prefiltros 4.1	Filtro de agua 4.1.1	El punto de rocío del aire de entrada es demasiado alto	No logra el valor de secado necesario. Presencia de agua líquida en la entrada del secador	Saturación	4.1.1.1	Medición del punto de rocío a la salida. Controlar la evacuación de los prefiltros.	4	7	10	280
	Filtro de aceite 4.1.2	Entran partículas de aceite al equipo	No logra el valor de secado necesario. Contaminación del filtro molecular y desgaste de los componentes del equipo	Saturación	4.1.2.2	Ninguna	2	10	10	200
	Filtro de partículas finas 4.1.3	Entran contaminantes sólidos al equipo mayores a 0,5 micras	Contaminación del filtro molecular y desgaste de los componentes del equipo	Saturación	4.1.3.1	Ninguna	3	9	10	270
Filtro molecular 4.2	Alúmina 4.2.1	Contaminación del material	No logra el valor de secado necesario, reducción de la vida útil del material	El sistema de prefiltrado del equipo es disfuncional	4.2.1.1	Ninguna	5	7	7	245
		Pulverización del material		La presión de entrada es demasiado alta	4.2.1.2	Ninguna	4	7	5	140
		Por uso	No logra el valor de secado necesario	Fin de la vida útil	4.2.1.3	Ninguna	3	6	2	36
Tablero de control 4.3	Electroválvulas 4.3.1	Las electroválvulas no operan adecuadamente.	No logra el valor de secado necesario. Punto de rocío demasiado elevado.	Discontinuidad de la señal	4.3.1.1	Ninguna	1	7	10	70
				Fin de la vida útil	4.3.1.2	Ninguna	1	7	4	28
	PLC 4.3.2	El ciclo de secado no es el correcto	No logra el valor de secado necesario. Punto de rocío demasiado elevado.	Incorrecta programación del PLC	4.3.2.1	Ninguna	1	10	3	30
Tanque y conexiones 4.4	Válvulas (admisión, cheque, bypass, escape) 4.4.1	Incorrecta configuración de apertura de válvula	Punto de rocío demasiado elevado	Falta de revisión de los niveles de punto de rocío	4.4.1.1	Revisión del punto de rocío	8	8	3	192
			Valores bajos de caudal		4.4.1.2	Ninguna	7	5	3	105
		Incorrecta configuración de apertura de válvula	Avería de la válvula	El caudal de entrada es demasiado alto	4.4.1.3	Ninguna	2	10	5	100



Equipo	SECADORA POR ADSORCIÓN - KAESER DC 215 (Página 2 de 2)									
Sistema	Componente	Modo de falla	Efecto	Causa del modo de falla	Código	Controles actuales	O	S	D	IPR
Tanque y conexiones 4.4	Válvulas (admisión, cheque, bypass, escape) 4.4.1	Incorrecta configuración de apertura de válvula	Avería de la válvula	La presión de entrada es demasiado alta	4.4.1.4	Ninguna	2	10	5	100
	Tanque contenedor 4.4.1	Oxidación de las paredes internas del tanque	Debilitamiento de las paredes del tanque por corrosión	Mala protección superficial del material	4.4.2.1	Ninguna	1	8	9	72
	Conexiones 4.4.3	Rotura de la manguera	Riesgo físico del personal y los equipos. Pérdidas de tiempo de producción	Daño de la manguera por un elemento de obra	4.4.3.1	Ninguna	4	8	7	224
				Mal ejecutada la conexión	4.4.3.2	Ninguna	4	9	4	144
				Sobrepresión por incorrecta posición de válvulas	4.4.3.3	Ninguna	3	6	4	72
				Fin de vida útil	4.4.3.4	Ninguna	3	8	3	72



III. Análisis económico: Sistema de antivibraciones

COSTOS DE CAMBIO DE RODAMIENTOS POR EQUIPO															
C.	Equipo	Uso acum. 2018 [Horas]	Equipos	Componente	Vida útil [Horas]	Uso anual [Horas]	Costo de recambio [USD]	Actual				Proyectado			Beneficio para 10 años [USD]
								Reducción de vida útil debido a vibración	Vida útil actual [años]	Tiempo para el próximo recambio [años]	Costo de recambio para 10 años [USD]	Vida útil proyectada [años]	Tiempo para el próximo recambio [años]	Costo de recambio para 10 años [USD]	
1	Grupo electrógeno	3330	1	Motor diesel	28000	1780	\$4,800	30%	11.01	9.14	\$0	15.73	13.86	\$0	\$0
				Generador	22000	1780	\$2,400	30%	8.65	6.78	\$2,400	12.36	10.49	\$0	\$2,400
	Compresor de baja	3322	1	Motor eléctrico	28000	1776	\$2,933	30%	11.04	9.17	\$0	15.77	13.90	\$0	\$0
				Bloque compresor	28000	1776	\$5,867	30%	11.04	9.17	\$0	15.77	13.90	\$0	\$0
				Ventilador	6000	1776	\$880	30%	2.37	0.49	\$4,400	3.38	1.51	\$2,640	\$1,760
	Compresor de alta	2041	1	Motor eléctrico	20000	1091	\$1,600	30%	12.83	10.96	\$0	18.33	16.46	\$0	\$0
				Bloque compresor	25000	1091	\$3,200	30%	16.04	14.17	\$0	22.91	21.04	\$0	\$0
				Ventiladores	8000	1091	\$480	30%	5.13	3.26	\$960	7.33	5.46	\$480	\$480
	2	Grupo electrógeno	5300	1	Motor diesel	28000	2800	\$4,800	30%	7.00	5.11	\$4,800	10.00	8.11	\$0
Generador					22000	2800	\$2,400	30%	5.50	3.61	\$4,800	7.86	5.96	\$2,400	\$2,400
Compresor de baja		5287	2	Motor eléctrico	28000	2793	\$5,867	30%	7.02	5.12	\$5,867	10.03	8.13	\$0	\$5,867
				Bloque compresor	28000	2793	\$11,733	30%	7.02	5.12	\$11,733	10.03	8.13	\$0	\$11,733
				Ventilador	6000	2793	\$1,760	30%	1.50	1.11	\$10,560	2.15	0.26	\$8,800	\$1,760



COSTOS DE CAMBIO DE RODAMIENTOS POR PERÍODO SISTEMA ACTUAL														
Conjunto	Equipo	Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Actual	1	Grupo electrógeno	Motor diesel	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0		
			Generador	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$2,400	\$0	\$0	\$0	\$0	
	Compresor de baja	Motor eléctrico	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
		Bloque compresor	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
		Ventilador	\$880	\$0	\$880	\$0	\$880	\$0	\$880	\$0	\$880	\$0	\$880	
	Compresor de alta	Motor eléctrico	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
		Bloque compresor	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
		Ventiladores	\$0	\$0	\$480	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$480	\$0	
	2	Grupo electrógeno	Motor diesel	\$0	\$0	\$0	\$0	\$4,800	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
			Generador	\$0	\$0	\$2,400	\$0	\$0	\$0	\$0	\$2,400	\$0	\$0	
		Compresor de baja	Motor eléctrico	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,867	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
			Bloque compresor	\$0	\$0	\$0	\$0	\$11,733	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Ventilador			\$1,760	\$1,760	\$1,760	\$0	\$1,760	\$1,760	\$0	\$1,760	\$1,760	\$1,760	\$0	
Total			\$2,640	\$1,760	\$5,520	\$0	\$25,040	\$4,160	\$880	\$4,160	\$2,240	\$880		



COSTOS DE CAMBIO DE RODAMIENTOS POR PERÍODO SISTEMA PROYECTADO														
Conjunto	Equipo	Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Proyectado	1	Grupo electrógeno	Motor diesel	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
			Generador	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
		Compresor de baja	Motor eléctrico	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
			Bloque compresor	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
			Ventilador	\$880	\$0	\$0	\$0	\$880	\$0	\$0	\$880	\$0	\$0	\$0
		Compresor de alta	Motor eléctrico	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
	Bloque compresor		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
	Ventiladores		\$0	\$0	\$0	\$0	\$480	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
	2	Grupo electrógeno	Motor diesel	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
			Generador	\$0	\$0	\$0	\$0	\$2,400	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
		Compresor de baja	Motor eléctrico	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
			Bloque compresor	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
			Ventilador	\$1,760	\$0	\$1,760	\$0	\$1,760	\$0	\$1,760	\$0	\$1,760	\$0	\$1,760
	Total			\$2,640	\$0	\$1,760	\$0	\$5,520	\$0	\$1,760	\$880	\$1,760	\$0	
Diferencia			\$0	\$1,760	\$3,760	\$0	\$19,520	\$4,160	-\$880	\$3,280	\$480	\$880		