

**PRE - FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICO DE SISTEMA DE MONITOREO
EN LINEA EN COMPRESORES RECIPROCANTES DE ESTACIONES
COMPRESORAS DE GAS EN COLOMBIA.**

**HOLMES ALFONSO GOMEZ
SAUL SOLORZANO MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
ESPECIALIZACION GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA.**

2013

**PRE - FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICO DE SISTEMA DE MONITOREO
EN LINEA EN COMPRESORES RECIPROCANTES DE ESTACIONES
COMPRESORAS DE GAS EN COLOMBIA.**

**HOLMES ALFONSO GOMEZ
SAUL SOLORZANO MUÑOZ**

**Monografía Presentada Para Optar el título de Especialista en Gerencia De
Mantenimiento.**

**DIRECTOR:
INGENIERO ALEJANDRO DÍAZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
ESPECIALIZACION GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA.**

2013

DEDICATORIA.

Principalmente Diezmo y ofrendo este trabajo a ti Papito Dios, por ayudarme a terminar este proyecto, darme la fuerza y el coraje de hacer este sueño realidad y estar con migo en cada momento de mi vida. A Jesucristo por hacer algo tan brutal en mi vida con tu sacrificio en la cruz y haberme dado lo imaginable la razón para vivir, al precioso Espíritu Santo, gracias por haberme iluminado y guiado a lo largo de esta especialización y contar contigo el resto de mi vida y ser fuente de inspiración.

Palabras de Saul Solorzano. Dedico este trabajo a mis padres, Samuel Enrique Celis Solorzano y Elizabeth Muñoz de Celis, por ser mi vida, por todos aquellos consejos desde la infancia el apoyo incondicional y entregarse a cada uno de sus hijos por ser los mejores de este mundo. Este logro es por ustedes. Los Amo.

A mi amada esposa Mabel Patricia Suarez Cañaveral e hijos a quienes con su amor y comprensión me dieron las fuerzas para seguir y sacar adelante tal proyecto ya que el tiempo dedicado al proyecto fue un tiempo que deje de estar con ellos, pero que confiados en Papito Dios a su tiempo dará su recompensa.

A mis hermanos porque los amo y que sigan adelante con los sueños, metas y agarrados de la mano de papito DIOS para que les conceda lo que se han propuestos y planeado en la vida.

A los que ya No están físicamente (Mi Abuela y mi hermana Mercedes), hoy día seguro estarían felices por verme culminado esta meta, para ustedes también este logro.

A todos mis sobrinos para sembrar con amor de tío el reto de que pueden y deben llegar más lejos de donde Papito Dios me ha permitido llegar.

A mi compañero de fórmula Holmes Gómez, por la paciencia que tuvo; y al Ingeniero Alejandro Díaz y Julián Ríos por su apoyo Incondicional.

A los operadores de trabajo por su colaboración en los turnos y su apoyo para ser realidad esta meta y sueños cumplidos.

A los compañeros de universidad con quienes compartimos esos momentos gratos, difíciles y alegres que pasamos, y a quienes me apoyaron en esta etapa de mi vida.

Mil Gracias.

Palabras de Holmes Gómez. Este trabajo está dirigido a todos mis seres queridos vivos y los que ya no nos acompaña en este duro camino que es la vida. A DIOS reitero mi dedicatoria ya que sin él no hay fuente de inspiración de vivir y seguir adelante, a mi compañera y amiga que aunque no hizo nada en esta monografía y no tiene ni idea del proyecto, le muestro que la recuerdo y a mi querida suegra también la recuerdo. A mis hijas y a mis queridos viejos doy gracias por lo que soy y su gran herencia que es mi esencia de vida. Gracias al grupo de confiabilidad de mi lugar de trabajo Leonardi Jaimes, Daniel Peñaranda, Alejandro Díaz, Carlos Mantilla y en especial a Guillermo Pineda con su paciencia me apoyaron en la recopilación de la información que comercialmente es muy difícil encontrar y no podría ser posible la realización de esta monografía, cualquier reclamo hacérselas a ellos, no a nosotros, sean felices en la vida y disfruten esta información que con gran sacrificio se recopiló. Gracias a todos.

AGRADECIMIENTOS

Durante la especialización nuestro trabajo de grado es el resultado de todo este tiempo de estudio, esfuerzo y sacrificio que aunque en ocasiones despertó incertidumbre y dudas en nosotros, decidimos finalmente ver lo que esperábamos y nos llenó de satisfacción.

Expresamos nuestros agradecimientos a:

La Universidad Industrial de Santander, La Escuela de Ingeniería Mecánica
Por su talento humano de docentes que estuvieron allí interactuando paso a paso, peldaño a peldaño sus conocimientos, experiencias y que de alguna forma marcaron nuestras vidas para siempre.

Al Ingeniero Alejandro Díaz por ser nuestro Director de proyecto y la colaboración prestada a lo largo de este caminar.

Ingenieros Daniel Peñaranda, Leonardi Jaimes, Carlos Mantilla por su colaboración y paciencia.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. GAS NATURAL EN COLOMBIA	20
1.1 PROYECCIÓN DEL NEGOCIO DE GAS NATURAL EN COLOMBIA.	20
1.1.1 Perspectivas económicas de gas natural.	20
1.1.2 Demanda de gas natural	23
1.1.3 Masificación del gas natural	23
1.1.4 Estructura empresarial del gas natural	25
1.1.5 Perspectivas de crecimiento de demanda de gas natural en Colombia	26
1.1.6 Suministro y red de gasoductos.	26
1.2. ESTACIONES COMPRESORAS	28
1.3. COMPRESORES	35
1.3.1. Compresor reciprocantes	36
1.3.1.1. Tipos de compresores reciprocantes	37
1.3.1.2. Características de un compresor reciprocantes.	39
1.3.1.3. Partes de un compresor reciprocantes separable	40
1.3.1.4. Funcionamiento del compresor.	48
1.3.1.5. Mantenimiento de un compresor reciprocantes	49
2. FILOSOFIA DEL MANTENIMIENTO	52
2.1. MANTENIMIENTO	52
2.2 EVOLUCION DE MANTENIMIENTO	52
2.3 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO.	56
2.4 TIPOS DE MANTENIMIENTO.	57
2.4.1 Mantenimiento Preventivo	57
2.4.1.1 Tipos de Mantenimiento Preventivo.	58
2.5 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.	60

2.6 SISTEMA DE MANTENIMIENTO.	60
2.7. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO.	61
3. MANTENIMIENTO EN COMPRESORES RECIPROCANTES EN COLOMBIA.	62
3.1 MANTENIMIENTO EN COMPRESORES RECIPROCANTES EN COLOMBIA.	62
3.1.1 Mantenimiento de compresores Reciprocantes de Gas Natural en Colombia.	67
3.2 TÉCNICAS MÁS UTILIZADAS EN EL PAÍS APLICADO A COMPRESORES RECIPROCANTE	72
3.2.1 Termografías en compresores reciprocantes	72
3.2.2 Análisis de Vibraciones en compresores reciprocantes:	73
3.2.3 Medición de presiones en cilindro compresor.	74
3.2.4 Ultrasonido	75
3.2.5 Análisis de aceite	75
4. MONITOREO EN LINEA	77
4. 1 MONITOREO DE MAQUINARIA.	77
4.2. CONFIGURACIONES CON EQUIPO DE MONITOREO EN LÍNEA DE LOS FABRICANTES COMERCIALES MÁS GRANDES DEL MERCADO.	82
4.3 RECIPCOM - HOERBIGER	84
4.4. LA MONITORIZACIÓN Y PROTECCIÓN SON LA MEJOR INVERSIÓN QUE PUEDE HACER	86
4.5. QUE COMPONE EL SISTEMA recipCOM	91
4.5.1 RecipCOM Rod Position / Motion	91
4.5.2 RecipCOM Indicator Presusure / Performance	91
4.5.3 RecipCOM Vibration / Damage Prediction	92
4.5.4 RecipCOM Static Date / Protection	92
4.5.5 RecipCOM Protection	93

4.6 SOFTWARE DE DIAGNÓSTICO RECIPCOM	93
4.7 CÓMO FUNCIONA RECIPCOM	96
4.8 TIPOS DE CONFIGURACIONES COMERCIALES	97
4.9 DIAGNOSTIC SYSTEMA FOR RECIPROCATING ENGINES \$ COMPRESSORS	99
4.9.1 On Guard	100
4.9.1.1 Características principales	101
4.9.2 HP Guard	103
4.9.2.1 Características principales	104
4.9.3 V Guard II	106
4.9.3.1 Características principales	107
4.9.4 software de Diagnostico	109
5. MONTAJE DE ELEMENTOS DEL SISTEMAS DE MONITOREO EN LINEA EN LOS COMPRESORES RECIPROCANTE.	111
5.1 SENSORES DE PRESIÓN.	111
5.2 SENSORES DE TEMPERATURA.	112
5.3 ACELEROMETROS	113
5.4 SENSORES DE PROXIMIDAD.	113
5.5 MAGNETIC PIC-UP	114
5.6 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE MONITOREO EN LINEA.	115
5.7 PANEL DE CONTROL WINDROCK	116
5.8 SISTEMA FINAL DE SISTEMA DE MONITOREO EN LINEA	116
6. CONCLUSIONES.	118
BIBLIOGRAFIAS	125

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Configuración de cilindros por etapas	37
Tabla.2. Modo de falla- costo directo en compresores reciprocantes.	63
Tabla.3. Modo de falla y frecuencia de ocurrencia de falla.	65
Tabla 4. Medidas por comparación de fallos	89
Tabla 5. Modulo para paquete compresor que ofrece solo protección	97
Tabla 6. Modulo para paquete compresor que ofrece solo protección y Diagnostico	98
Tabla 7. Precios aproximados de costo elementos compresores reciprocantes al año 2008.	122
Tabla 8. Precios promedios por paquetes de protección para sistemas de monitoreo en líneas compresores reciprocantes.	123

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Masificación del gas natural	23
Figura 2. Masificación del gas natural	24
Figura 3. Estructura empresarial del gas natural	25
Figura 4. Suministro y red de gasoductos.	26
Figura 5. Mapa de gasoductos de TGI.	27
Figura 6. Red estaciones compresoras de gas natural en Colombia.	28
Figura 7. Unidades de compresión de gas natural tipo reciprocantes.	28
Figura 8. Tipos de compresores	35
Figura 9. Compresor reciprocantes	36
Figura 10. Partes del compresor reciprocantes	40
Figura 11. Cilindro	41
Figura 12. Pistón	42
Figura 13. Anillos del Pistón	43
Figura 14. Partes de a empaquetadura del vástago	44
Figura15. Partes de una cruceta	45
Figura 16. Biela	45
Figura 17. Cigüeñal	46
Figura 18. Cojinetes	47
Figura 19. Válvulas tipo Lengua y Resorte.	47
Figura 20. Etapas de compresión.	48
Figura 21. La evolución del mantenimiento	54
Figura 22. Edad y falla de los equipos	55
Figura 23. Saltando a la nueva Era	56
Figura 24. Tipos de Mantenimiento.	57
Figura 25. Termografía de válvulas de compresores reciprocantes	72
Figura 26. Análisis de vibraciones en válvulas de compresores reciprocantes	73
Figura 27. Medición de presiones de cilindros compresores reciprocantes.	74

Figura 28. Ultrasonido válvula Compresoras Reciprocantes.	75
Figura 29. Analisis de Aceite Compresores Reciprocantes.	75
Figura 30. Esquema General de los putos de Medición del Compresor Reciprocantes	76
Figura 31. Parámetros de diseño programados en el equipo.	80
Figura 32. Parámetros de diseño programados en los Software.	80
Figura 33. Plano de conexión del wmurphy. Al panel de control	81
Figura 34. Equipos de conexión para paneles de control	82
Figura 35. Logos	84
Figura 36 Ruptura caja de la Cruceta del vástago del cilindro de un compresor reciprocantes.	85
Figura 37. Secuelas de fallas NO detectadas a tiempos.	86
Figura 38. Los tipos de RecipCom para cada necesidad del Cliente.	88
Figura 39. Monitoreo en line de compresores reciprocantes	90
Figura 40. Diagrama PV Perfomance	93
Figura 41. Niveles de vibración del Cigüeñal.	94
Figura 42. Diagramas generales de RecipCOM en Compresor Reciprocantes	95
Figura 43. Modulo C- Guard	100
Figura 44. Modulo HP Guard	103
Figura 45. Modulo V Guard II	106
Figura 46. Modulo software de diagnostico	109
Figura 47. Resumen grafico del sistema de monitoreo en línea	110
Figura 48. Instalación de sensores de presión en cilindros de compresores reciprocantes.	111
Figura 49. Instalación de sensores de temperatura en cilindros de compresores reciprocantes.	112
Figura 50. Instalación del acelerómetro en cilindros de compresores reciprocantes.	113
Figura 51. Instalación de Sensores de Proximidad en cilindros de compresores reciprocantes.	113

Figura 52. Instalación de Sensores Magnetic Pickup en Compresores reciprocantes.	114
Figura 53. Diagramas generales de Compresor Reciprocantes en línea.	115
Figura 54. Instalación de Paneles de control Windrock en Compresores reciprocantes.	116
Figura 55. Sistema Final monitoreo en línea Windrock en Compresores reciprocantes.	116
Figura 56. Diagrama final monitoreo en línea Windrock en Compresores reciprocantes.	117

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Reserva mundiales de gas al 2011: 7.361 Tpc.	21
Grafica 2. Producción 115.7 Tpc y Consumo 113.8 Tpc	21
Grafica 3. Proyección de las diferentes energías al año 2035	22
Grafica 4. Porcentaje de demanda gas natural en Colombia.	22
Grafica 5. Total consumo de gas en 2011: 783 Mpcd	23
Grafica 6. Estructura de producción, transporte y comercialización	25
Grafica 7. Demanda de gas natural por sector de consumo- escenarios bajo.	26

RESUMEN

TITULO: PRE - FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICO DE SISTEMA DE MONITOREO EN LINEA EN COMPRESORES RECIPROCANTES DE ESTACIONES COMPRESORAS DE GAS EN COLOMBIA.*

AUTORES: HOLMES ALFONSO GOMEZ SALAMANCA
SAUL ENRIQUE SOLORZANO MUÑOZ**

PALABRAS CLAVES: Compresores reciprocantes, rutinas, mantenimiento predictivo, preventivo, proactivo, sistemático, ronda, y condicional.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO

En el siguiente trabajo, se realizó bajo el diseño de Pre-factibilidad técnico económico de sistema de monitoreo en línea en compresores reciprocantes de estaciones compresoras de gas natural en Colombia, con fines de mejorar la confiabilidad de los equipos, evitar la utilización excesiva de las horas extras de mantenimiento, las recurrentes alarmas, fallas y paradas en los equipos.

En resumen podemos decir que esta tecnología Monitoreo en línea de compresores reciprocantes nos apoya en evitar fallos catastróficos, encontrado o identificando los problema que puede crear un problema más grande. También nos proporciona no solo seguridad del proceso de compresión de gas, sino un aseguramiento de la Calidad de las instalaciones y un medio tecnológico de verificación de los criterios y la calidad antes y durante la adquisición y operación del equipo.

Por tanto se deja un estudio de cada proceso donde se quiere emigrar a este tipo de tecnología tener estos conceptos que aunque básicos, enmarcaran el camino hacia el estudio de factibilidad en su implementación.

En Colombia, este tipo de tecnología no ha tomado acogida a manera masiva por la estrategia de cada organización, para las empresas transportadoras de gas del país se han blindado en la disponibilidad de su proceso, lográndose por la disponibilidad de un equipo en caso de falla y aplicando las rutinas TBM recomendado por el fabricante y las técnicas cotidianas CBM logran gran disponibilidad del proceso.

* Monografía.

** Facultad de ingeniería mecánica, Escuela de mecánica. Director: Alejandro Díaz.

SUMMARY

TITLE: PRE - ECONOMIC TECHNICAL FEASIBILITY OF ONLINE MONITORING SYSTEM FOR RECIPROCATING COMPRESSORS GAS COMPRESSOR STATION IN COLOMBIA.*

AUTHOR: HOLMES ALFONSO GOMEZ SALAMANCA
SAUL ENRIQUE SOLORZANO MUÑOZ**

KEY WORDS: reciprocating compressors, routines, predictive, preventive, proactive, systematic, round, and conditional.

DESCRIPTION OR CONTENT

In this paper, the design was performed under Pre-feasibility economic technical online monitoring system in reciprocating compressors for natural gas compressor stations in Colombia, with the purpose of improving the reliability of equipment, avoid excessive use of the maintenance overtime, the recurring alarms, faults and stops on

In short we can say that this technology online monitoring of reciprocating compressors support us to avoid catastrophic failures, identifying the problem and found that you can create a bigger problem.

It also provides security not only gas compression process, but a quality assurance facilities and technological means of verification and quality criteria before and during the acquisition and operation of equipment.

Therefore allowed a study of each process where you want to migrate to this technology have these basic concepts though, will frame the way to the feasibility study on its implementation.

In Colombia, this technology has not taken massively host for each organization's strategy for gas transportation companies in the country have shielded the availability of your process, achieving by the availability of a computer in case of failure and applying routines MSRP TBM and CBM everyday techniques achieve high availability of the process.

* Monograph

*Monograhp.

** Faculty of physics and Mechanical Engineering, Specialization in Maintenacen management.
Director: Alejandro Diaz

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento predictivo, que es el monitoreo basado en condiciones del equipo o maquinaria, es una herramienta ampliamente utilizada por los departamentos de mantenimiento a nivel mundial.

La elección de maquinarias para ser incluidas en este programa depende de un análisis de criticidad, costo, la confiabilidad esperada y el impacto de fallas.

En industria como la generación de energía y petróleo, el análisis de vibraciones ha sido históricamente la técnica seleccionada para monitorear la condición de los grandes componentes críticos de máquinas rotativas y reciprocantes.

En máquinas reciprocantes se utiliza en la actualidad diferentes equipos de análisis dinámico, entre estos se tiene el monitoreo dinámico basado en análisis conjunto de vibraciones ultrasónicas y presión.

Para analizar y realizar un buen mantenimiento es recomendable realizar conjuntamente los monitoreos con análisis de aceite y datos de operación de máquina, las técnicas deben ser consideradas como aliadas debido a la naturaleza complementaria de sus respectivas fortalezas.

La finalidad del mantenimiento basado en condiciones es prevenir los paros innecesarios de los equipos y evitando así paradas en los procesos de producción en las empresas.

Para nuestro caso analizaremos los compresores reciprocantes de gas natural el cual se obtiene en el proceso de extracción de petróleo en Colombia.

Inicialmente se detalla la descripción de un compresor recíprocos en el cual se realizara el monitoreo, las técnicas aplicadas basadas en condición de mantenimiento, para finalmente la presentación de resultados con sus respectivas conclusiones y poder predecir que el monitoreo en línea de compresores recíprocos en Colombia sería una excelente opción.

La estrategia moderna del mantenimiento para compresores recíprocos, se encuentra en el análisis de su desempeño y condición mecánica involucrando la ejecución, de inspecciones y medición periódicas NO intrusivas, las cuales proporcionan información sobre los mecanismos que la constituyen y de las variables relacionadas al proceso.

La clave para lograr esto es tecnología y entrenamiento; Tecnología porque generalmente se requiere de analizadores y entrenamiento porque se debe conocer el funcionamiento de la máquina, el significado de los parámetros de desempeño, patrones y el manejo de la tecnología.

Sin embargo hasta la presente con estos resultados sólo se está garantizando calidad de información sobre la condición del compresor, pero hace falta un elemento más que se le puede llamar gestión con la información.

En otras palabras no es suficiente tener los mejores analizadores, la última tecnología, asistir a los mejores cursos, ya que un factor clave será que se hace con la información.

Entonces, de acuerdo a lo anterior, el presente trabajo es un esfuerzo por reunir la información de lo que es el sistema de monitoreo en línea de compresores recíprocos en Colombia, pues se presenta uno de los sistemas de monitoreo en línea especializados en compresores recíprocos más completos de la actualidad.

1. GAS NATURAL EN COLOMBIA

1.1 PROYECCIÓN DEL NEGOCIO DE GAS NATURAL EN COLOMBIA.

El gas natural es un energético producido a un relativo bajo costo, con una alta eficiencia que lo hace competitivo frente a otros energéticos.

Esto ha permitido su mayor diversificación y uso en los diferentes sectores de la economía, tales como sectores residenciales, Industrial, generación de energía eléctrica y en transporte a través del gas natural vehicular (GNV).

Con el desarrollo del GNV, se ha impulsado la dinámica del mercado mundial del gas natural, integrando cada vez más los diferentes mercados.

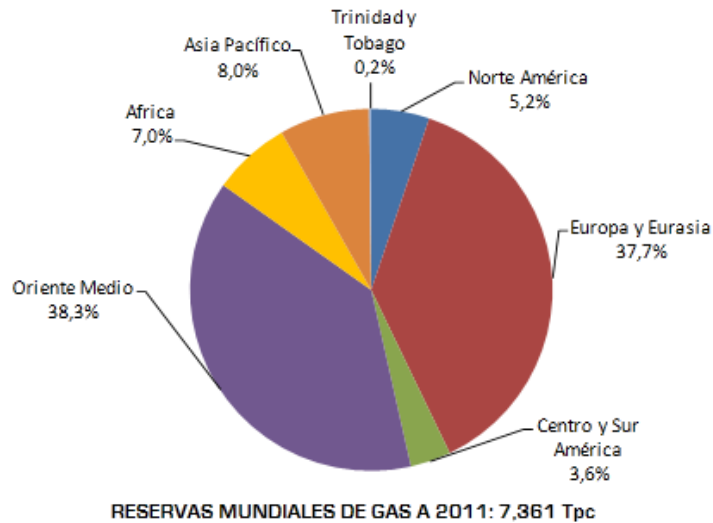
Aporta confiabilidad como fuente de generación de energía eléctrica durante los periodos del fenómeno del niño, tiene menos niveles de contaminación frente a las demás energéticos fósiles (carbón, petróleo y sus derivados)

1.1.1 Perspectivas económicas de gas natural. Colombia es la cuarta economía más grande de América latina, la economía del país ha experimentado un crecimiento promedio de 4.6% desde 2002.

La inversión extranjera directa en el país ha crecido sustancialmente. Tiene reservas de gas aproximadas de 6.6 Tpc las cuales se encuentran distribuidas en el norte y oriente del país.

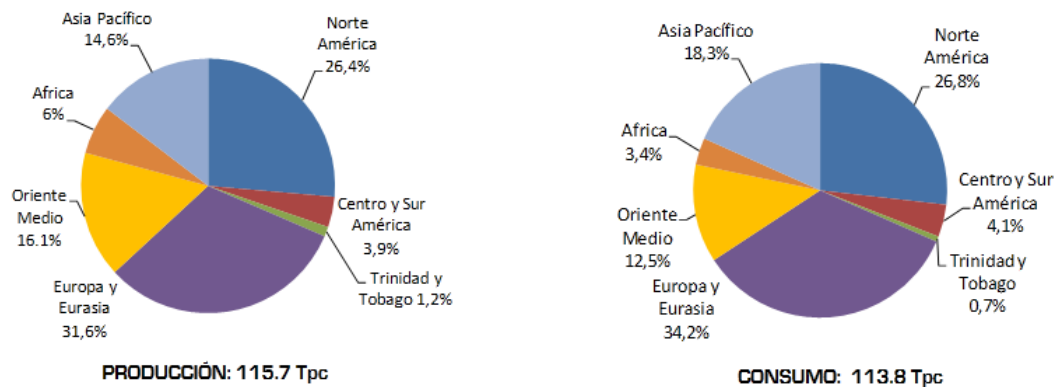
Tiene una red de gasoductos cuya longitud supera los 7100 Km de las cuales el 55% corresponde a la empresa TGI (Antigua Eco gas), como se ilustra en las Gráficas 1,2 y 3.

Grafica 1. Reserva mundiales de gas al 2011: 7.361 Tpc.



Fuente: BP. Statistical Review of World of Energy june 2012 Reservas tea pies cúbicos("Tpc").

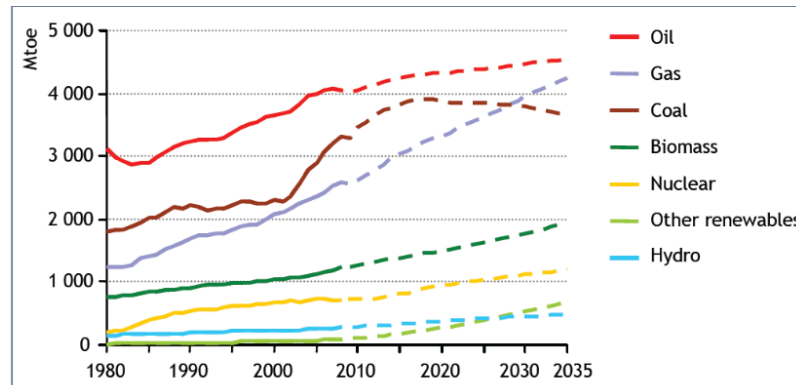
Grafica 2. Producción 115.7 Tpc y Consumo 113.8 Tpc



Fuente: BP. Statistical Rview of world Energy June 2012. Reservas en Tigapies cúbicos ("Tpc")

Este Medio: Países Árabes Eurasia son los países que conforman parte de Europa y Asia Occidental

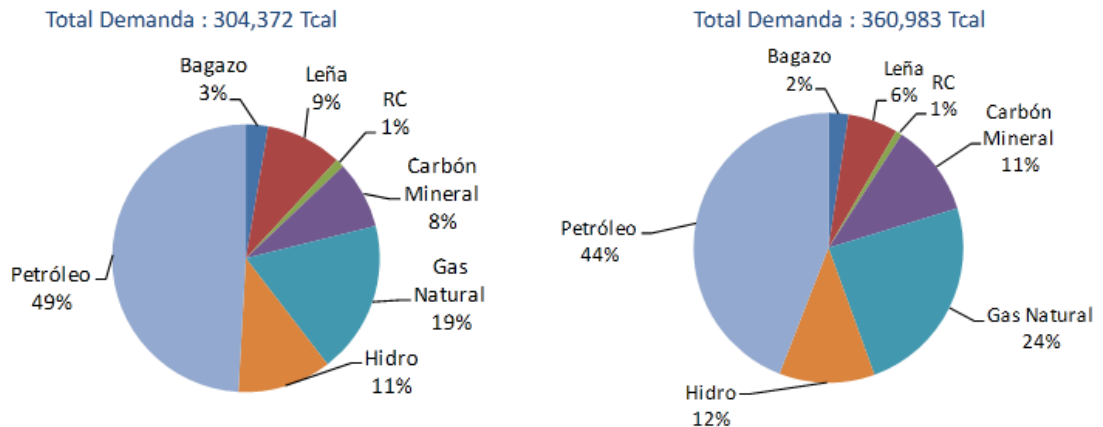
Grafica 3. Proyección de las diferentes energías al año 2035



Fuente: Are we entering a Golden age of gas? World Energy Outlook 2011. IEA

En Colombia el consumo de gas natural, tanto para uso directo como la producción de energía eléctrica, tiene una participación muy importante en la canasta energética, consolidándose como la principal fuente para su diversificación.

Grafica 4. Porcentaje de demanda gas natural en Colombia.



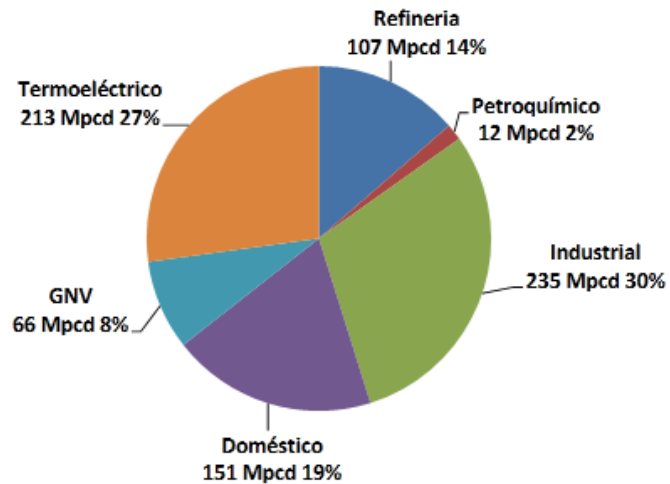
Fuente UPME – Balance Estratégico 1999

La utilización de este combustible en buena parte de los hogares Colombianos, así como la relevancia que el mismo tiene en la generación eléctrica en condiciones

de baja hidrología, obligan a que el servicio se preste cada vez con mayores estándares de confiabilidad y seguridad.

1.1.2 Demanda de gas natural

Grafica 5. Total consumo de gas en 2011: 783 Mpcd



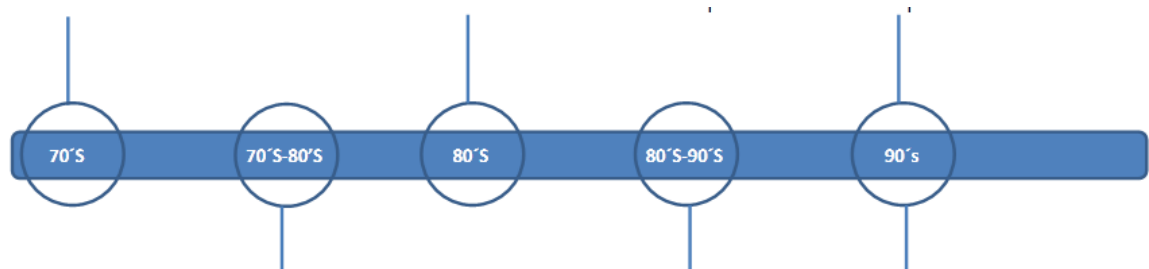
TOTAL CONSUMO DE GAS EN 2011: 783 Mpcd

Fuente: UPME

En la figura anterior nos muestra como está distribuido el consumo del gas natural en Colombia y la importancia de este elemento sobre la economía del país.

1.1.3 Masificación del gas natural

Figura 1. Masificación del gas natural



Fuente: UPME

La historia del gas en Colombia se muestra en la línea del tiempo de la siguiente manera.

Años 70: Descubrimiento del gas natural en la guajira

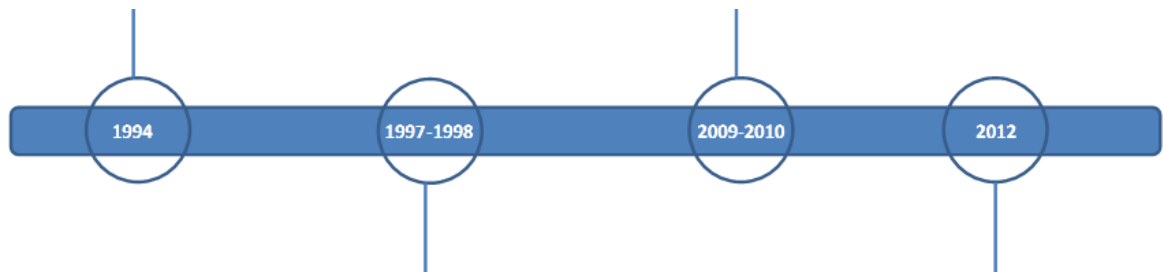
Años 70-80: El plan de integración nacional recomienda la sustitución de carbón por gas en la costa para la producción de urea y amonio.

Años 80: Estudio Nacional de Energía plantea incentivar el uso del gas natural vehicular (GNV) y la sustitución de líquidos (cocinol) por gas natural.

Años 80 al 90: Descubrimiento del gas natural en Cuasina.

Años 90: El gobierno definió el documento COMPES (plan de gas y el programa de masificación del gas).

Figura 2. Masificación del gas natural



Fuente: UPME

Años 1994: se expide la ley 142 que define al gas natural como servicio público, crea la CREG, para el desarrollo del marco regulatorio, las actividades asociadas al transporte, distribución y comercialización del gas natural.

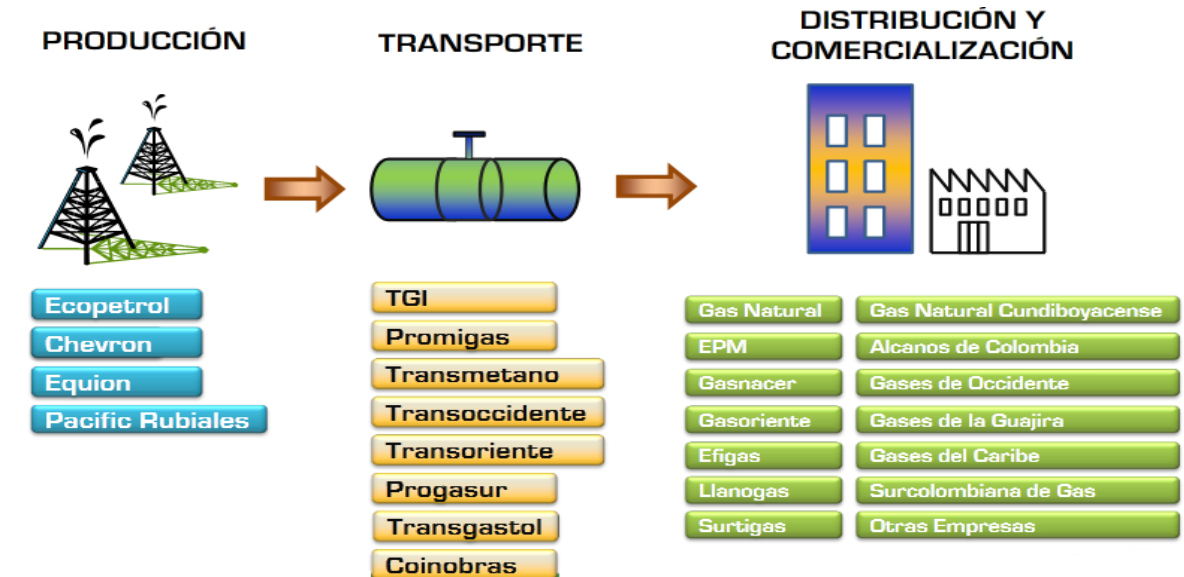
Años 1997-1998: Gas natural redujo el efecto causado por el fenómeno del niño evitando racionamiento

Años 2009-2010: El gas natural evita racionamiento eléctrico por causa del fenómeno del niño.

Año 2012: En el momento atiende a más de 6 millones de usuarios residenciales, más de 380 mil vehículos y parte grande de la industria nacional.

1.1.4 Estructura empresarial del gas natural

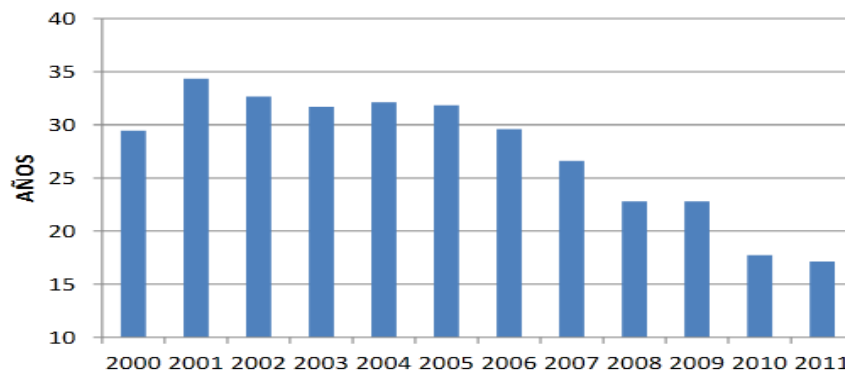
Figura 3. Estructura empresarial del gas natural



Fuente: UPME

Estructura de producción, transporte y comercialización más importante del país.

Grafica 6. Estructura de producción, transporte y comercialización

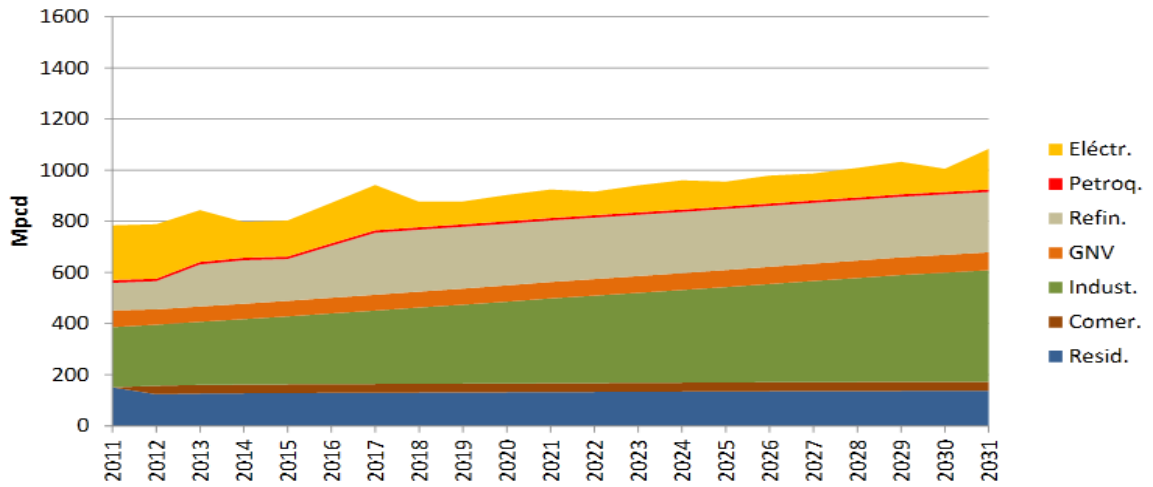


Fuente: ANH: Cifras y estadísticas a 2012

Colombia tiene reservas de más de 6.6 TPC con una vida remanente de 17 Años, actualmente hay una exploración agresiva y esfuerzos encaminados a incrementar las reservas de gas en el país.

1.1.5 Perspectivas de crecimiento de demanda de gas natural en Colombia

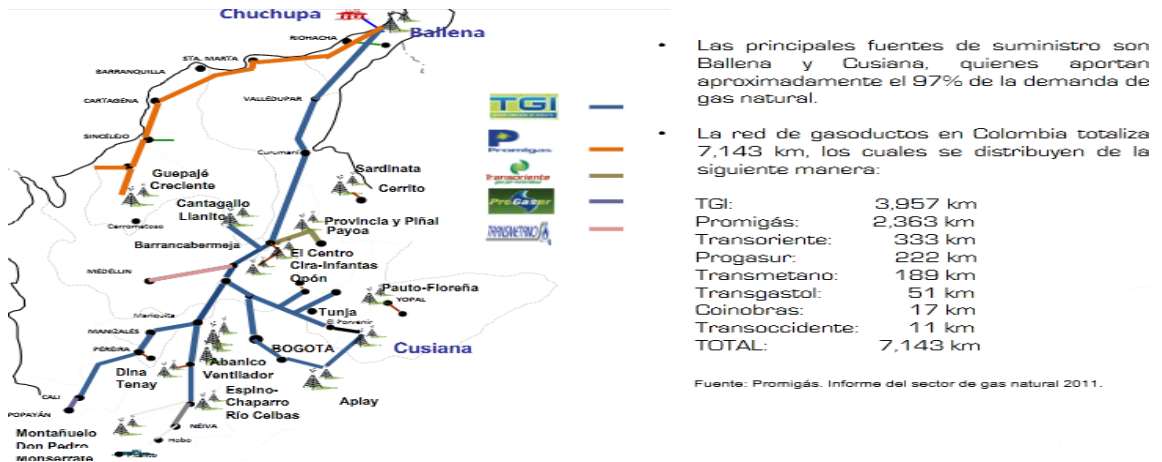
Grafica 7. Demanda de gas natural por sector de consumo- escenarios bajo.



Fuente: UPME – Proyecto de demanda de Gas Natural en Colombia – Diciembre 2011

1.1.6 Suministro y red de gasoductos.

Figura 4. Suministro y red de gasoductos.



Fuente: UPME – Proyecto de demanda de Gas Natural en Colombia – Diciembre 2011

Figura 5. Mapa de gasoductos de TGI.



Fuente: www.tgi.com.co

Dentro de la red de gasoductos se tienen las estaciones de compresión de gas natural, como se observa en la figura 13.

Figura 6. Red estaciones compresoras de gas natural en Colombia.



Fuente: www.tgi.com.co

1.2. ESTACIONES COMPRESORAS

Figura 7. Unidades de compresión de gas natural tipo reciprocantes.



Fuente: extraída de www.google.com imágenes.

Los compresores reciprocantes, son máquinas que admite un gas, lo comprime y lo descarga a una mayor presión, trabaja con un proceso de cuatro etapas, que se dan en una vuelta del cigüeñal, es decir en 360 grados, las cuales son: compresión, descarga, expansión y succión. También se identifican los tipos de compresor reciprocantes: Simple Etapa, Múltiples Etapas, Balanceado - Opuesto e Integral. Se describen las partes más importantes y se determina que su operación segura y confiable demanda que sean correctamente lubricados, su lubricación comprende tanto los cilindros como los cojinetes del cigüeñal.

Los compresores reciprocantes tienen diversas aplicaciones tanto en la industria petrolera como petroquímica, en una planta compresora la selección del equipo de compresión juega un papel muy importante en la operatividad y aprovechamiento de la instalación; los compresores reciprocantes, son compresores de desplazamiento positivo de gran utilidad, debido a que poseen mayor flexibilidad operacional que un compresor centrífugo; y por esto pueden denominarse compresores de carga variable; a pesar de manejar menores flujos de gas ,pueden alcanzar altas presiones y en muchos casos con un cambio en la velocidad de giro, diámetro del cilindro o ajuste de bolsillos (revamping) se ajustan a nuevas condiciones de operación de la instalación.

Un compresor reciprocantes es básicamente un tipo de bomba en donde el aire es comprimido por un pistón que se mueve dentro de un cilindro. El pistón es empujado, por una biela conectora y un cigüeñal movido por algún tipo de motor.

La siguiente investigación, muestra la información básica sobre equipos de compresión reciprocantes; así como también, los tipos, partes que lo conforman, características, funcionamiento, aplicaciones y mantenimiento.

La mayoría de los compresores se analizan usando la ley de los gases ideales y una suposición de que hay un calor específico constante. Esto es aceptable para

los gases que no sean de hidrocarburos, para presiones aproximadas de hasta de 1000 psi a temperaturas normales. Casi todos los gases de hidrocarburos (gases reales), se desvían bastante de la ley de los gases ideales incluso a presiones medianas, en este caso se deberían usar las tablas de propiedades termodinámicas, las gráficas de Mollier, gráficas de compresibilidad o aplicar un factor de compresibilidad.

- **La ley de los gases ideales**

Es la ecuación de estado del gas ideal, los gases reales que más se aproximan al comportamiento del gas ideal son los gases monoatómicos en condiciones de baja presión y alta temperatura. La ecuación de estado de un gas ideal es:

$$PV = mRT \quad (1.1)$$

Dónde:

P = Presión del gas ideal.

V = Volumen del gas ideal.

m = Masa del gas ideal.

R = Constante universal de los gases ideales.

T = Temperatura del gas ideal.

- **La Primera Ley de la Termodinámica para un proceso de flujo estacionario es:**

$$Q = (h_2 - h_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + w \quad (1.2)$$

Dónde:

Q = Calor del gas ideal.

h_1 y h_2 = Entalpías del gas en las condiciones 1 y 2

$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$ = Volúmenes del gas en las condiciones 1 y 2

g = Gravedad

w = Trabajo realizado por el gas.

Si no se tiene en cuenta la energía cinética del gas y se supone que hay calor específico constante, entonces para un proceso adiabático la ecuación se convierte en:

Si no se tiene en cuenta la energía cinética del gas y se supone que hay calor específico constante, entonces para un proceso adiabático la ecuación se convierte en:

$$\begin{aligned} W &= mc_p \Delta T \\ &= m \Delta h \end{aligned} \tag{1.3}$$

Dónde:

w = Trabajo realizado por el gas.

C_p = Poder calorífico a presión constante.

T_1 y T_2 = Entalpías del gas en las condiciones 1 y 2

- **La ecuación de estado para gases reales**

Haciendo una corrección a la ecuación de estado de un gas ideal, es decir, tomando en cuenta las fuerzas intermoleculares y volúmenes intermoleculares finitos, se obtiene la ecuación para gases reales, también llamada ecuación de Van der Waals:

$$\left(P + \frac{a \cdot n^2}{V^2} \right) \cdot (V - nb) = n \cdot R \cdot T \tag{1.4}$$

Dónde:

P = Presión del gas ideal

V = Volumen del gas ideal

n = Moles de gas.

R = Constante universal de los gases ideales

T = Temperatura.

a y b son constantes determinadas por la naturaleza del gas con el fin de que haya la mayor congruencia posible entre la ecuación de los gases reales y el comportamiento observado experimentalmente.

- **Efecto de los gases reales**

Para tener en cuenta las desviaciones de la ley de gases ideales se introduce un factor de compresibilidad

$$Z = \frac{PV}{RT} \quad (1.5)$$

El trabajo isoentrópico de compresión de un gas real es:

$$W = P_1 V_1 \frac{k}{1-k} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right] * \frac{Z_1 + Z_2}{2 * Z_1} \quad (1.6)$$

Dónde:

Z1 y Z2 = Compresibilidades del gas en la condiciones 1 y 2

P1 y P2 = Presiones del gas en la condiciones 1 y 2

V1 = Volumen del gas en la condición 1

k = Relación de calores específicos¹

1 Escuela Superior Politécnico de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, Implementación de un análisis de mantenimiento Basado en Condición de los Compresores Reciprocantes y de Tornillo, Tesis de Grado, Pag.08. Riobamba-Ecuador 2009.

Esta ley establece que la energía no se crea ni se destruye durante el proceso, como la compresión y suministro de un gas. En otras palabras, siempre que una cantidad de un tipo de energía desaparece, un total de exactamente equivalente de otros tipos de energía debe ser producido.

- **La Segunda Ley de la Termodinámica**

- a. Esta ley es más abstracta, pero puede decirse de varias maneras:
- b. El calor no puede, por sí mismo, pasar de un frío a un cuerpo más caliente.
- c. El calor puede ser transferido de un cuerpo a una temperatura inferior a uno a una temperatura más alta sólo si el trabajo externo se realiza.
- d. d. La energía disponible del sistema aislado disminuye en todos los procesos reales.
- e. e. Por sí mismo, el calor o la energía (como el agua), fluirá sólo cuesta abajo (de caliente a frío).
- f. Básicamente, estas declaraciones dicen que la energía que existe en varios niveles está disponible para su uso sólo si se puede pasar de un nivel superior a uno inferior.

- **Leyes de los Gases Ideales**

Un gas ideal o perfecto es aquel en que las leyes de Boyle aplican. Estos gases perfectos no existen realmente, pero estas tres leyes de la termodinámica se pueden utilizar si se corrige por factores de compresibilidad sobre la base de los datos experimentales.

- **Ley de Boyle**

Establece que a una temperatura constante, el volumen de un gas ideal disminuye con un aumento en la presión.

Por ejemplo, si una cantidad dada de gas se comprime a una temperatura constante a la mitad de su volumen, su presión se duplicará.

$$P_2V_2 = P_1V_1$$

- **Ley de Charles**

Establece que a presión constante, el volumen de un gas ideal se incrementará a medida que aumenta la temperatura.

Si se aplica calor a un gas se expandirá, y la presión seguirá siendo el mismo. Esta ley supone la ausencia de fricción o la presencia de una fuerza aplicada.

$$V_2/T_2 = V_1/T_1$$

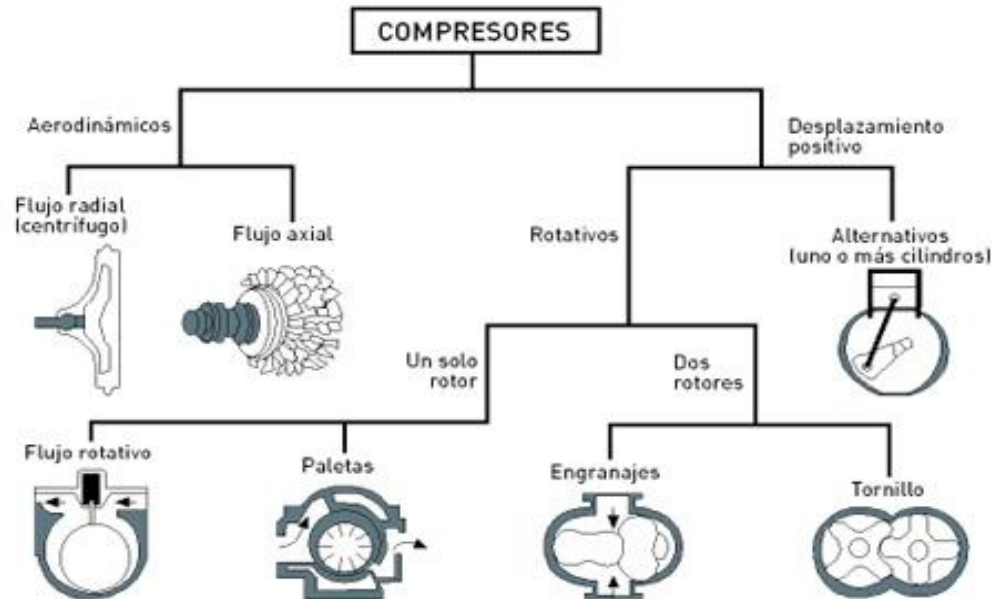
- **Ley Amonton**

Los estados que, a volumen constante, la presión de un gas ideal se incrementará a medida que aumenta la temperatura.

$$P_2/T_2 = P_1/T_1$$

1.3. COMPRESORES

Figura 8. Tipos de compresores



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/84256115/COMPRESORES-RECIPROCANTES>
<http://www.scribd.com>

Son equipos que incrementan la presión de un gas, un vapor o una mezcla de gases y vapores. La presión del fluido se eleva reduciendo el volumen específico del mismo durante su paso a través del compresor. Se emplean principalmente para refrigeración, acondicionamiento de aire, calefacción, transporte por tuberías, almacenamiento de gas natural, polimerización y en muchos procesos químicos. Según la forma de compresión se clasifican en:

a. **Compresores de Desplazamiento Positivo:**

Son compresores de flujo intermitente, que basan su funcionamiento en tomar volúmenes sucesivos de gas para confinarlos en un espacio de menor volumen;

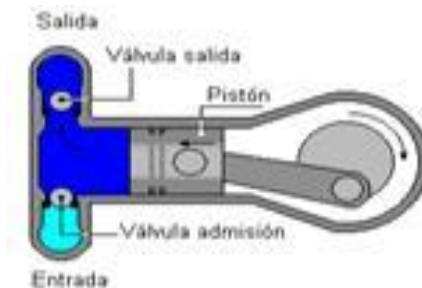
logrando con este efecto, el incremento de la presión. Se dividen en dos grupos reciprocantes y rotativos.

b. **Compresores Dinámicos:**

Son máquinas rotatorias de flujo continuo en la cual el cabezal de velocidad del gas es convertido en presión; estos compresores, se dividen de acuerdo al flujo que manejan en centrífugo (flujo radial) y axiales (flujo axial) y flujo mezclado.

1.3.1. **Compresor reciprocantes**

Figura 9. Compresor reciprocantes



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/84256115/COMPRESORES-RECIPROCANTES>,
<http://www.scribd.com>

Es un compresor de desplazamiento positivo, en el que la compresión se obtiene por desplazamiento de un pistón moviéndose lineal y secuencialmente de atrás hacia adelante dentro de un cilindro; reduciendo de esta forma, el volumen de la cámara (cilindro) donde se deposita el gas; este efecto, origina el incremento en la presión hasta alcanzar la presión de descarga, desplazando el fluido a través de la válvula de salida del cilindro. El cilindro, está provisto de válvulas que operan automáticamente por diferenciales de presión, como válvulas de retención para admitir y descargar gas. La válvula de admisión, abre cuando el movimiento del pistón ha reducido la presión por debajo de la presión de entrada en la línea. La válvula de descarga, se cierra cuando la presión en el cilindro no excede la presión de la línea de descarga, previniendo de esta manera el flujo reverso.

1.3.1.1. Tipos de compresores reciprocantes

1. **Simple Etapa:** Son compresores con una sola relación de compresión, que incrementan la presión una vez; solo poseen un depurador inter etapa, un cilindro y un enfriador inter etapa (equipos que conforman una etapa de compresión) generalmente se utilizan como booster en un sistema de tuberías

2. **Múltiples Etapas:** Son compresores que poseen varias etapas de compresión, en los que cada etapa incrementa progresivamente la presión hasta alcanzar el nivel requerido. El número máximo de etapas, puede ser 6 y depende del número de cilindros; no obstante, el número cilindros no es igual al número de etapas, pueden existir diferentes combinaciones; como por ejemplo, si se requiere un sistema de tres etapas, puede utilizarse 3, 4 o 6 cilindros, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 1. Configuración de cilindros por etapas

Configuraciones Posibles	3 CILINDROS(integral)	4 CILINDROS	6 CILINDROS
1ERA ETAPA	1 CILINDRO	2 CILINDROS	2 CILINDROS
2da ETAPA	1 CILINDRO	1 CILINDRO	2 CILINDROS
3ERA ETAPA	1 CILINDRO	1 CILINDRO	2 CILINDROS

Fuente: www.tgi.com.co

El uso de varios cilindros para una etapa de compresión permite la selección de cilindros de menor tamaño, generalmente esto sucede con la primera etapa de compresión.

3. Balanceado - Opuesto: Son compresores separables, en los cuales los cilindros están ubicados a 180° a cada lado del frame.

4. Integral: Estos compresores utilizan motores de combustión interna para transmitirle la potencia al compresor; los cilindros del motor y del compresor están montados en una sola montura (frame) y acoplados al mismo cigüeñal. Estos compresores pueden ser de simple o múltiples etapas y generalmente son de baja velocidad de rotación 400 – 900RPM. Poseen una eficiencia y bajo consumo de combustible; sin embargo, son más costosos y difíciles de transportar que los separables; a pesar de esto, hay muchas aplicaciones en tierra donde esta es la mejor opción. Tienen mayor rango de potencia 2000 – 13000 BHP que los separables, entre sus ventajas se encuentran:

- Alta eficiencia
- Larga vida de operación
- Bajo costo de operación y mantenimiento comparado con los separables de alta velocidad.

5. Separable: En este equipo, el compresor y el motor poseen cigüeñales y monturas diferentes acoplados directamente. Generalmente, vienen montados sobre un skid y pueden ser de simple o múltiples etapas. Los compresores reciprocantes separables en su mayoría son unidades de alta velocidad 900 – 1800 RPM que pueden ser accionados por motores eléctricos, motores de combustión interna o turbinas, manejan flujos menores de gas que los integrales y pueden tener una potencia de hasta 5000 HP. Entre sus ventajas se encuentra:

- Pueden ser montados en un skid
- Son de fácil instalación y transporte
- Poseen amplia Flexibilidad operacional

1.3.1.2. Características de un compresor reciprocantes. De acuerdo con la aplicación de los compresores se deben definir sus características de diseño de instalación y de mantenimiento guardando una delicada relación entre el trabajo a realizar, la eficiencia y rendimiento del equipo, los estándares de conservación ambiental y la economía en los diferentes procesos.

Características técnicas

a. La Potencia o capacidad determinada en caballos de fuerza (Hp) o Kilovatios hora (KW/h) y determina la cantidad de trabajo por unidad de tiempo que puede desarrollar el compresor. En refrigeración esta medida por lo general se especifica en British Thermal Unit por hora (Btu/h) o Kilocaloría hora que equivale a la cantidad de calor que el compresor es capaz de remover en una hora.

b. La Tensión de trabajo o diferencia de potencial de corriente alterna medida en voltios (VAC) cuando el compresor funciona movido por una motor eléctrico, y puede ser desde monofásico a 110V o 220 V hasta trifásico a 360V, 400V, 460V o 575V; esta es suministrada como un servicio público o generada localmente.

c. La Frecuencia (Hz) es la variación por segundo de la polaridad de la corriente estandarizada en 50 Hz para Europa y otras zonas industrializadas y 60 Hz para gran parte de Latinoamérica incluida Colombia.

La Intensidad de la corriente o el consumo de energía eléctrica medida en Amperios (A) el cual se encuentra en proporción directa con la capacidad de trabajo eléctrico del motor y su medida es uno de los parámetros de puesta a punto del sistema, es decir de las condiciones de trabajo del equipo.

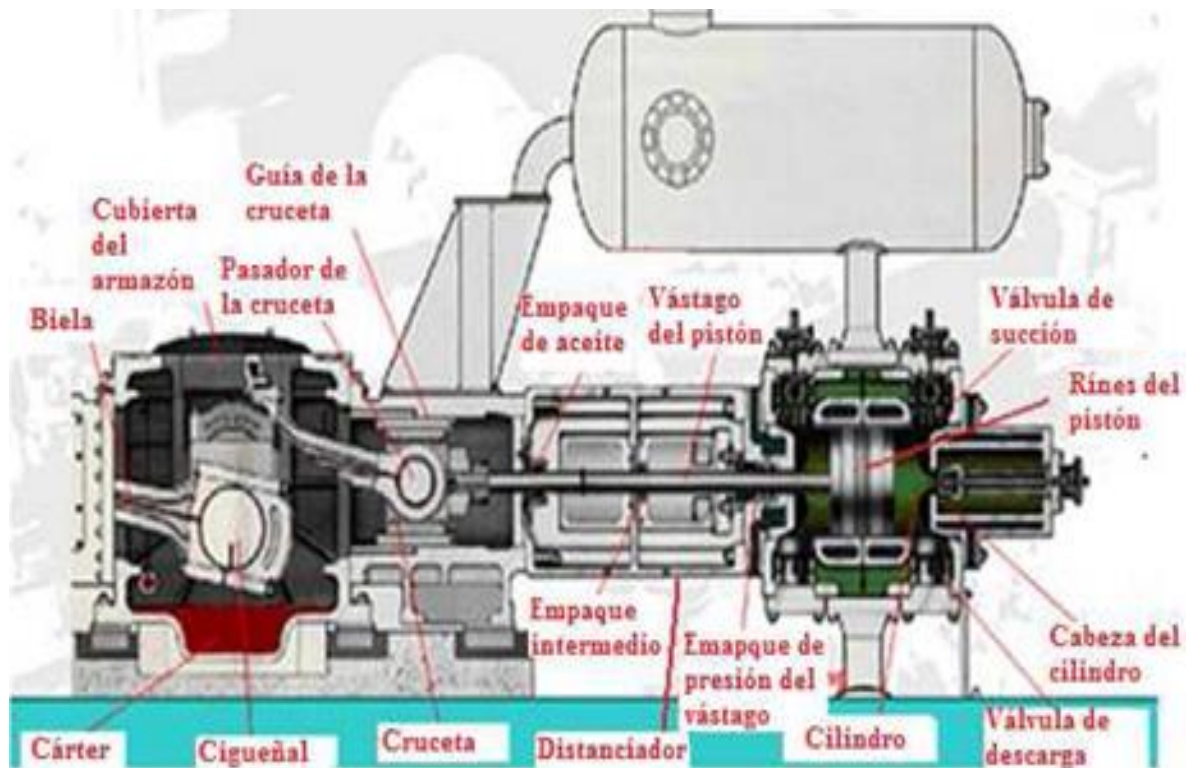
d. El Coeficiente de Operación (COP) corresponde a la relación entre el efecto refrigerante neto o calor que absorbe el refrigerante del producto y el proceso de

compresión o calor que absorbe el refrigerante en el compresor, esta medida determina la eficiencia neta del trabajo del compresor que debe ser un valor mayor a 3 para que el efecto de evaporación sea mayor que el efecto de la compresión y se dé el efecto refrigerante en el equipo.

e. Rendimiento Energético (EER) es la relación entre la Potencia mecánica del compresor y la potencia eléctrica dada en Btu/Wattios hora, indica la cantidad de calor transformado por energía eléctrica consumida.

1.3.1.3. Partes de un compresor recíprocantes separable

Figura 10. Partes del compresor recíprocantes



Fuente: Trabajo de grado 15T00437.PDF. Pag. 19

a. Cilindro:

Figura 11. Cilindro



Fuente: extraída de www.google.com imágenes.

Es el recinto por donde se desplaza un pistón. Su nombre proviene de su forma, aproximadamente un cilindro geométrico.

Los cilindros para compresores usados en el proceso industrial son separables desde el armazón. Un requerimiento de API 618 es que los cilindros deben estar equipados con camisas reemplazables. El propósito de las camisas es proveer una superficie renovada. Esto salva el costo de un cilindro completo antes de que se perfora por desgaste o ralladuras. Los cilindros son fabricados de una selección de materiales para particulares presiones y gases. Generalmente estas son fabricadas de fundición de hierro.

b. Pistón:

Figura 12. Pistón



Fuente: extraída de www.google.com imágenes.

El pistón es una de las partes más simples, pero tiene la principal función de todas las partes del compresor, que es trasladar la energía desde el cigüeñal hacia el gas que se encuentra en los cilindros.

El pistón posee rines de aceite y de presión. Este tipo de pistón es flotante. La designación y materiales usados para los pistones varían con la marca, el tipo, y aplicación del compresor. Estos son designados acorde al diámetro del cilindro, presión de descarga, velocidad de rotación del compresor, capacidad del compresor y requerimiento de carga del pistón.

En compresores de baja presión se utiliza pistones de Aluminio y en los de alta presión son de fundición de hierro.

c. Anillos del pistón

Figura 13. Anillos del Pistón



|

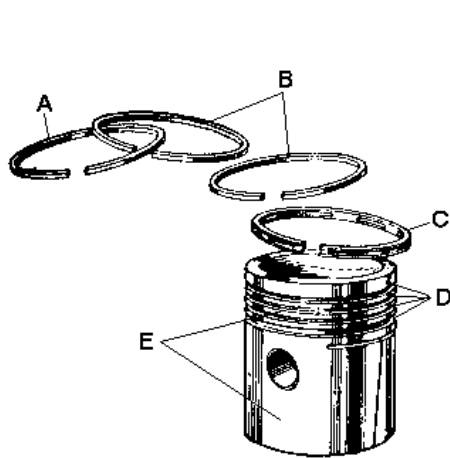


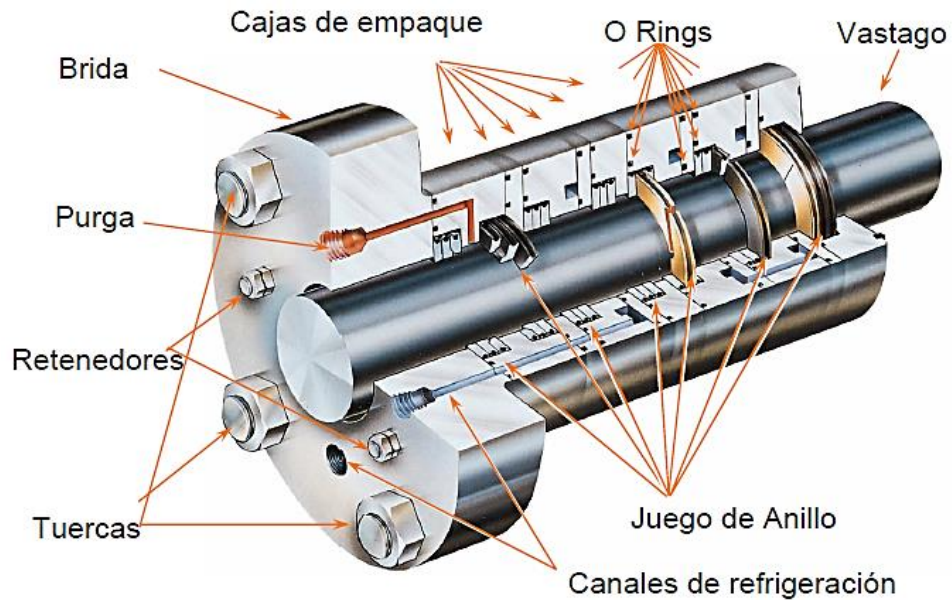
Fig. 2. Detalle de los segmentos y el pistón.

Fuente: extraída de www.google.com imágenes.

En los compresores recíprocos se emplean anillos de compresión, anillos de aceite y anillos montantes. Los anillos de compresión se utilizan en todos los casos, mientras que el empleo de los anillos de lubricación y de los montantes dependerá del tipo de compresor y su servicio.

d. Empaquetadura del vástago del pistón

Figura 14. Partes de a empaquetadura del vástago



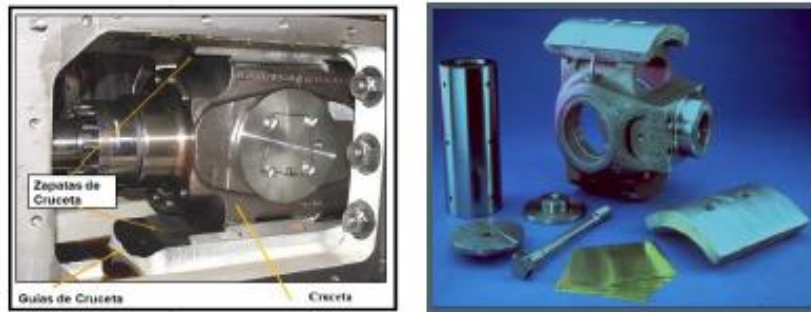
Fuente: extraída de www.hoerbiger.com

Los compresores que poseen pistones de doble acción, que son impulsados por medio de una cruceta al vástago del pistón, necesitan de un sellado en lado cigüeñal para evitar fugas de presión del gas hacia el espaciador por eso se necesita una empaquetadura.

En las empaquetaduras se emplean los mismos materiales que en los anillos de pistón. La empaquetadura metálica puede permitir un desgaste del vástago de 0.15% en el diámetro de la misma. El vástago debe estar endurecida a Rockwell C 40 y esmerilada.

e. Cruceta

Figura15. Partes de una cruceta



Fuente: extraída de www.hoerbiger.com

La cruceta es un embolo rígido que transmite el empuje de la biela hacia el pistón. Esta se utiliza en compresores con pistones horizontales debido a que el peso del pistón provocaría un gran desgaste en la parte inferior de la camisa si se uniera directamente a la biela. Las crucetas se diseñan con perno flotante o perno fijo.

f. Biela

Figura 16. Biela

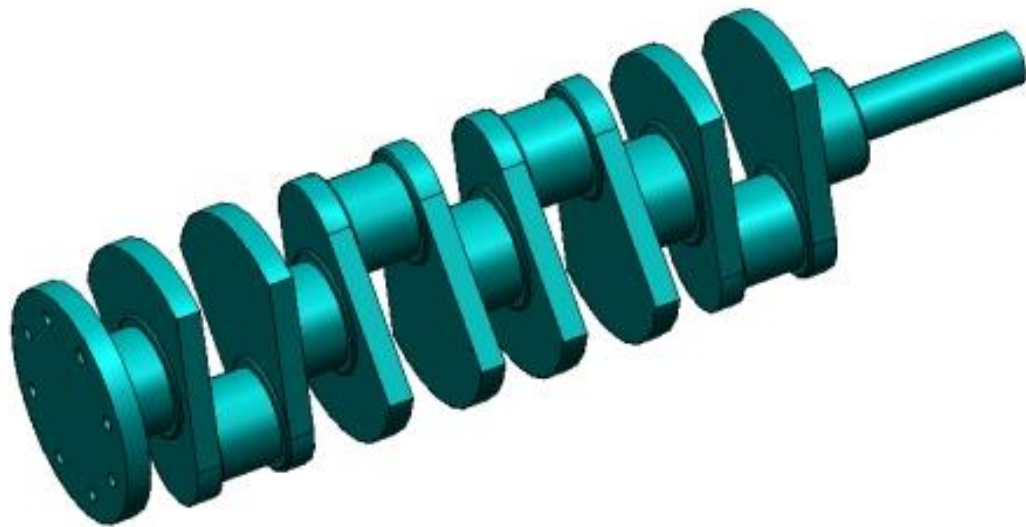


Fuente: extraída de www.google.com imágenes.

La biela esta sujeta al cigüeñal y a la cruceta, esta transmite el movimiento alternativo desde el cigüeñal al pistón. La biela es normalmente construida de aleaciones de acero y debe tener una dura y pulida superficie particular, donde está en contacto con la empaquetadura en los cilindros de doble acción.

g. Cigüeñal

Figura 17. Cigüeñal



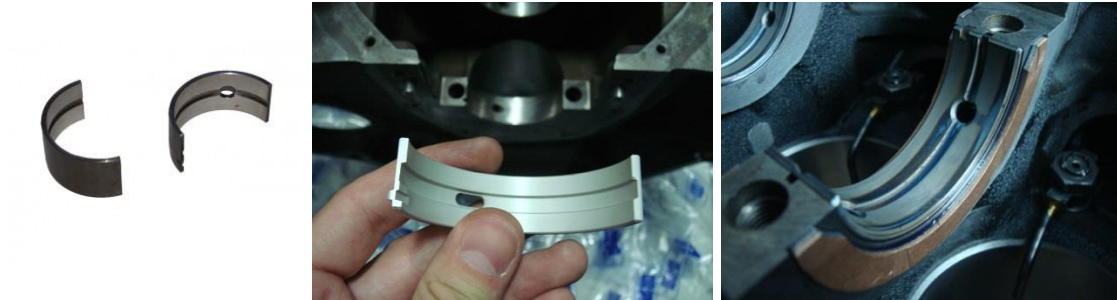
Fuente: extraída de www.google.com imágenes.

Se encuentra instalado dentro de la montura y es el elemento que transmite la potencia del motor hacia las bielas.

Los compresores grandes, normalmente sobre 150 a 200 hp, tienen cigüeñales de Acero forjado, también son construidos de aleaciones de acero como AISI-1020 y AISI-1045. Los cigüeñales suelen tener contrapesos removibles para compensar el desbalanceo en la rotación.

h. Cojinetes

Figura 18. Cojinetes



Fuente: extraída de www.google.com imágenes.

La mayoría de los compresores utilizan cojinetes hidrodinámicos, el aceite entra al cojinete a través de los agujeros de suministro, que van perforados estratégicamente a lo largo de la circunferencia del cojinete que suministran y distribuyen formando una película de aceite en el contacto entre las partes móviles y estacionarias.

i. Válvulas

Figura 19. Válvulas tipo Lengua y Resorte.

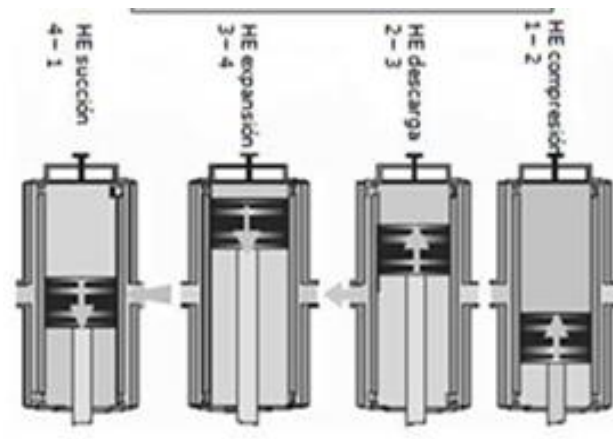


Fuente: extraída de www.hoerbiger.com

Permiten la entrada y salida de gas al cilindro; en caso de cilindros de doble acción, existen válvulas de succión a ambos lados del cilindro, mientras que en cilindros de simple acción sólo se encuentran en un solo lado. Las válvulas pueden ser de placa, lengüeta y la más aplicada para gas natural la de discos concéntricos.

1.3.1.4. Funcionamiento del compresor. El funcionamiento de los compresores reciprocantes se basa en un movimiento alternativo realizado por el conjunto biela-cruceta-pistón. Existen cuatro etapas durante el proceso que se dan en una vuelta del cigüeñal es decir en 360 grados.

Figura 20. Etapas de compresión.



Fuente: extraída de www.hoerbiger.com

- **Compresión.**

Durante este proceso el pistón se desplaza desde el punto inferior, comprimiendo el gas hasta que la presión reinante dentro del cilindro sea superior a la presión de la línea de descarga (P_d). Las válvulas succión y descarga permanecen cerrada.

- **Descarga.**

Luego de que la presión reinante dentro del cilindro sea superior a la presión de la línea de descarga (P_d) que es antes de que llegue al punto murto superior, la

válvula de escape se abre y el gas es descargado, mientras que la de succión permanece cerrada.

- **Expansión.**

Durante este proceso el pistón se desplaza desde el punto muerto superior hasta que la válvula de succión se abra durante la carrera de retroceso o expansión, que será cuando la presión reinante en el interior del cilindro sea inferior a la presión del vapor de succión (P_s).

- **Succión.**

Luego de que la válvula de succión se abrió, que es un poco después del punto muerto superior, ingresa el fluido, y el pistón se desplaza hasta el punto muerto inferior, al final de la carrera de succión, la velocidad del pistón disminuye hasta cero, igualándose las presiones del exterior y del interior del cilindro (aunque por la velocidad del pistón no exista tiempo material a que éste equilibrio se establezca); la válvula de succión se cierra, la válvula de descarga permanece cerrada.

1.3.1.5. Mantenimiento de un compresor reciprocantes. Los compresores reciprocantes deben ser alimentados con gas limpio ya que no pueden manejar líquidos y partículas sólidas que pueden estar contenidas en el gas; estas partículas, tienden a causar desgaste y el líquido como es no compresible puede causar daños a las barras del pistón.

Los compresores están diseñados y construidos dentro de los más altos estándares de ingeniería debido a que generan fuerzas considerables y altas temperaturas. Su operación segura y confiable demanda que sean correctamente lubricados, su lubricación comprende tanto los cilindros como los cojinetes del cigüeñal. Muchos compresores reciprocantes utilizan un sólo sistema para la lubricación de los dos conjuntos. En otros, los sistemas son separados y hasta pueden demandar aceites diferentes, por ejemplo en los compresores de gas

natural se emplean lubricantes sintéticos porque el gas natural es soluble en aceite mineral, pero éste puede ser empleado para la lubricación del cigüeñal. El lubricante en los compresores reciprocantes cumple varias funciones:

- **Lubricación**

La principal función del lubricante es reducir la fricción entre las partes móviles y cualquier tipo de desgaste. Tiene que lubricar tanto los pistones en sus cilindros y los cojinetes del cigüeñal que mueven los pistones.

- **Refrigeración**

Los pistones y cilindros de un compresor reciprocantes son normalmente enfriados con agua o aire. Sin embargo, el calor es retirado de las superficies de los cojinetes por el aceite lubricante.

- **Protección**

El lubricante debe también prevenir la corrosión. Esto puede ser una tarea difícil ya que los compresores tienden a producir calor y condiciones de humedad que promueven la corrosión.

- **Sellado**

En el interior de los cilindros de un compresor reciprocantes se generan altas presiones. El lubricante debe producir una película suficientemente fuerte para evitar la fuga de aire entre los anillos del pistón y las paredes del cilindro.

El compresor reciprocantes, es un tipo de compresor de gas que logra comprimir un volumen de gas en un cilindro cerrado, volumen que posteriormente es reducido mediante una acción de desplazamiento mecánico del pistón dentro del cilindro. Su forma de trabajar es la que le da el nombre, ya que éste recibe un movimiento rotativo y lo convierte en alterno. Básicamente un compresor reciprocantes está constituido de pistones y cilindros. El movimiento es aplicado a

un cigüeñal o un equivalente en función y éste lo transfiere al pistón o pistones a través de la biela.

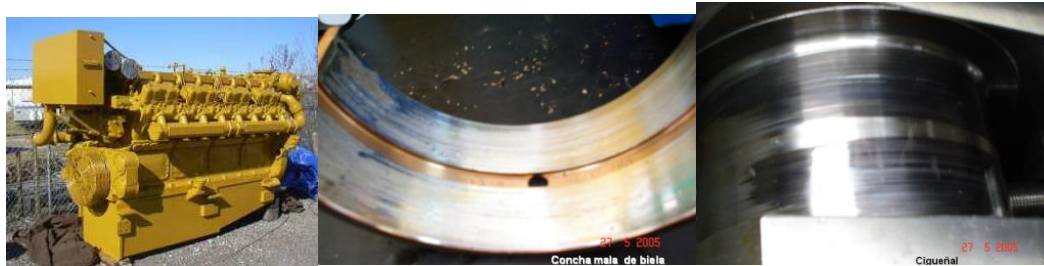
Su mayor ventaja radica en que estos compresores poseen una mayor eficiencia a cargas altas y parciales, en especial aquellos de dos etapas. Sin embargo, el interés por estos equipos ha decaído, principalmente debido a los requerimientos de mantenimiento, costos de instalación y ruido. Aun así, unidades de este tipo poseen la mayor eficiencia siempre y cuando reciban el mantenimiento adecuado. A pesar de esto, su rendimiento suele deteriorarse rápidamente con el tiempo debido al desgaste que sufren los cilindros, pistones y anillos. El desgaste y deterioro de las válvulas también contribuye a reducir su eficiencia.

En la instalación donde se ubicará el compresor recíprocos debe existir sistemas de seguridad; no obstante, el equipo de compresión debe estar dotado de sistemas de seguridad que protejan al equipo en caso de emergencias o problemas operacionales, desviando la producción hacia la teta y desalojando los fluidos combustibles.

2. FILOSOFIA DEL MANTENIMIENTO

2.1. MANTENIMIENTO

El Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), filial de PDVSA (1995), define al mantenimiento como: "El conjunto de acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema y/o equipo a su estado normal de operación, para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorable y de acuerdo a las normas de protección integral."



2.2 EVOLUCION DE MANTENIMIENTO

Según John Moubray, en su libro "Introduction to Reliability-centered Maintenance" desde los años 1930, la evolución de mantenimiento puede ser trazada en tres generaciones.

Primera generación: Cubre el período hasta los finales de la II Guerra Mundial. En ésta época las industrias tenían pocas máquinas, eran muy simples, fáciles de reparar y normalmente sobredimensionadas. Igualmente no eran altamente automatizadas y los dado que los volúmenes de producción



eran bajos, los tiempo de parada por fallas (downtime) no eran muy importantes. La prevención de fallas en los equipos no era de alta prioridad gerencial, y solo se aplicaba el mantenimiento reactivo o de reparación. El mantenimiento básicamente se centraba en limpieza, servicios y rutinas de lubricación.

Segunda generación: Nació como consecuencia de la guerra. Las presiones de los tiempos de guerra incrementaron la demanda de bienes de servicios de todo tipo mientras que la disponibilidad de mano de obra industrial caía drásticamente. Esto condujo a un incremento de la automatización. Se incorporaron numerosas maquinarias, cada vez más complejas. La industria comenzó a depender de ellas. La dependencia creció, y el tiempo improductivo comenzó a ser factor de preocupación, ya que se dejaban de percibir ganancias por efectos de demanda. Es entonces, que surge la idea de que las fallas de las maquinarias podrían y deberían ser prevenidas; idea que tomaría el nombre de mantenimiento preventivo.

En los años 60, esto consistía principalmente en ejecutar Overhaul en equipos realizados a intervalos de tiempos pre-establecidos.

Los costos de operación comenzaron a elevarse drásticamente en comparación con otros costos operacionales. Esto condujo a comenzar a implementar sistemas de control y planificación del mantenimiento, o sea, a considerar revisiones a intervalos fijos y a explorar nuevas vías para maximizar la vida de los equipos.

Tercera generación: Se inicia a mediados de la década de los setenta el proceso de cambio en la industria se acelera. Los cambios están encabezados por nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas.

El tiempo de parada ha afectado desde siempre la capacidad de producción de los activos físicos, reduciendo las salidas, incrementando costos e interfiriendo con los

servicios al consumidor. El aumento la mecanización y la automatización en la industria, la operación con volúmenes de producción más altos, hace que se le dé mayor importancia a los tiempos de parada debido a los costos generados por pérdidas de producción.²

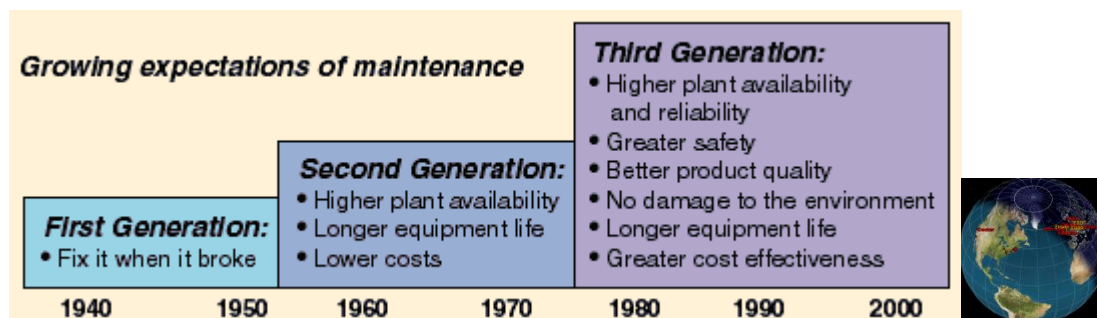
Más y más fallas tienen serias consecuencias a la seguridad y al ambiente, en una época, cuando los estándares en esas áreas crecían rápidamente. En algunas partes del mundo, se ha llegado al punto, en donde las industrias o se adaptan a las exigencias ambientales y de seguridad de la sociedad, o simplemente cesan sus actividades.

Esto agrega otro factor de peso que promueve el criterio de mantener la integridad de nuestros activos físicos; uno que va más allá del costo y que llega a ser un asunto sencillo: la sobrevivencia de la organización.

Al mismo tiempo que crece la dependencia de activos físicos, crecen los costos de adquisición y operación, se exigen productos y servicios de calidad, considerando al mismo tiempo aspectos de seguridad y medio ambiente.

Para asegurar el máximo retorno de la inversión que ellos representan, ellos deben mantenerse trabajando eficientemente por tanto tiempo como sea posible.

Figura 21. La evolución del mantenimiento



Fuente: (<http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/RCM/RCM1.htm>),

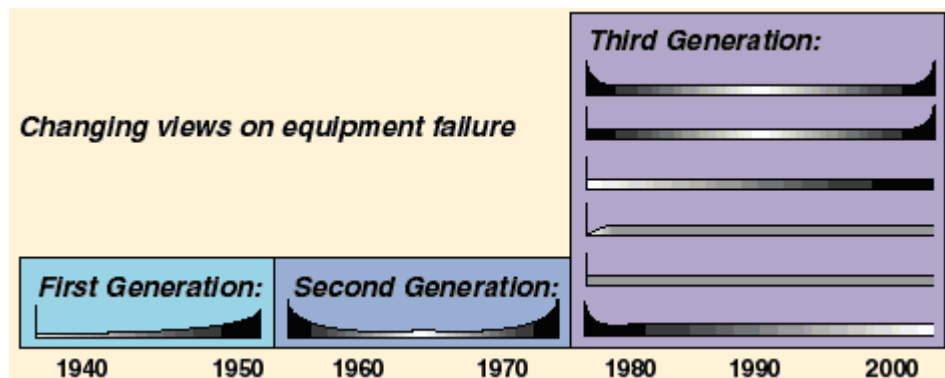
Finalmente los costos de mantenimiento por sí mismos, se han elevado enormemente. En algunas industrias, actualmente ocupa el segundo o incluso el primer lugar de los costos de operación. Como resultado, en sólo treinta años el control de costos de mantenimiento ha pasado de ser una labor casi inexistente a ser una prioridad.

Nuevas investigaciones

Las nuevas investigaciones están cambiando muchas de nuestras creencias básicas acerca de la edad y la falla de los equipos. En particular, es aparente que hay cada vez menos y menos conexión entre la edad operativa de la mayoría de los activos y cuán probable es que ellos presenten fallas.

La metodología del mantenimiento Centrado en Confiabilidad ha causado aceptación dentro del área de mantenimiento, por lo que actualmente es comúnmente utilizado. Entre las referencias encontradas mencionamos las siguientes:

Figura 22. Edad y falla de los equipos



Fuente: <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/RCM/RCM1.htm>

Cuarta generación

ACTUALIDAD

Figura 23. Saltando a la nueva Era



Fuente: MCC. UGMA. Angélica Romero y otros. 2006

2.3 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO.

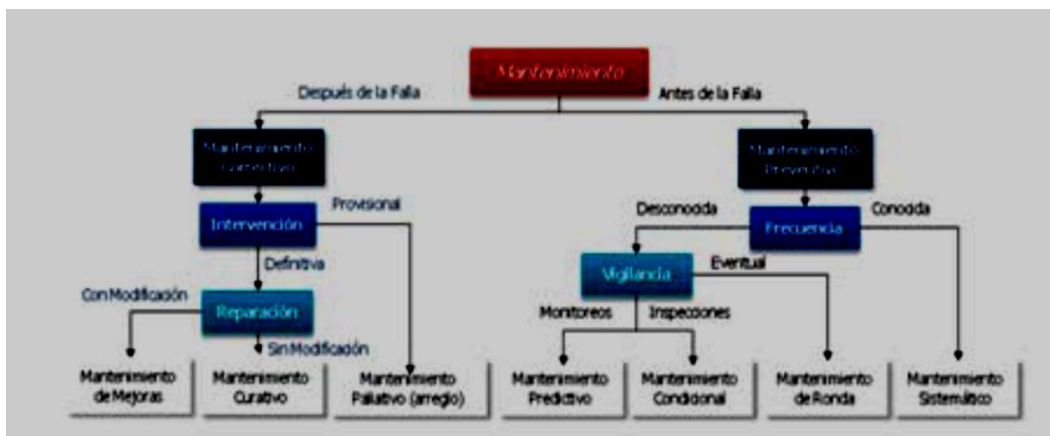
- Mejorar continuamente los equipos hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.
- Aprovechar al máximo los componentes de los equipos, para disminuir los costos de mantenimiento.

- Garantizar el buen funcionamiento de los equipos, para aumentar la producción.
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.
- Maximizar el beneficio global.

2.4 TIPOS DE MANTENIMIENTO.

Existen diferentes formas de diferenciar los tipos de mantenimientos, sin embargo los más utilizados, parten del mantenimiento preventivo y correctivo, como se aprecian en la figura 2.1, se muestra los tipos de mantenimiento.

Figura 24. Tipos de Mantenimiento.



Fuente: Ing. Diógenes Suárez “Guía Teórico-Práctico Mantenimiento Mecánico”
(2001)

2.4.1 Mantenimiento Preventivo. Es una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener el equipo bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales y

la historia de fallas de los equipos. Las ventajas que proporciona este tipo de mantenimiento son las siguientes:

- Disminución de los paros imprevistos y no deseados, Menor número de reparaciones repetitivas que pudieran resultar en daños y costos excesivos.
- Mayor conservación y seguridad de los equipos y personal.
- Intervenciones de manera organizada, ubicación de repuesto y con el personal calificado, y así tener control de materiales, herramientas, repuestos y personal.
- Menor número de los productos rechazados, por tanto mayor control de calidad.

2.4.1.1 Tipos de Mantenimiento Preventivo.

- **Mantenimiento Sistemático:** Son actividades establecidas en función del uso del equipo (horas, kilómetros, etc.).
- **Mantenimiento de Ronda:** Es aquel donde se dan instrucciones para atender al equipo en forma muy frecuente y estable; se basa en el concepto de que mientras mejor atendida este la máquina, genera menor cantidad de problemas.
- **Mantenimiento Condicional:** Son actividades basadas en el seguimiento del equipo mediante el diagnóstico de sus condiciones.
- **Mantenimiento Predictivo:** Mantenimiento Predictivo es un mantenimiento planificado y programado que se fundamenta en el análisis técnico, programas de inspección y reparación de equipos, el cual se adelanta al suceso de las fallas, es decir, es un mantenimiento que detecta las fallas potenciales con el sistema en funcionamiento. Con los avances tecnológicos se hace más fácil detectar las fallas, ya que se cuenta con sistemas de análisis de vibraciones mecánicas, análisis de aceite, análisis de termografía e infrarrojo, análisis de ultrasonido, monitoreo de condición, pruebas no destructivas, entre otras.

Estas técnicas permiten diagnosticar precozmente problemas en los equipos que posteriormente pudieran generar fallas catastróficas. La ejecución de análisis de condición permite obtener información real y actual sobre el estado de las máquinas.

Para ello, es necesario contar con un punto de referencia o una línea base para monitorizar como las máquinas van cambiando con el tiempo. Es importante mencionar que cada vez que se actúa cambiando o modificando alguno de sus elementos es necesario para no perder información valiosa de los equipos monitorizados, actualizar todas las bases de referencia sobre el equipo. Las mejores referencias siempre proceden de nuestras máquinas .

Dos de los pilares fundamentales del análisis de condición, se basan en garantizar:

- a. Repetitividad de las mediciones (Adquisición de datos)
- b. Correcta Interpretación de datos colectados y comparación con una Base de datos con históricos (Evaluación de tendencias).

Los programas de mantenimiento predictivo han sido utilizados por la mayoría de las compañías que usan grandes motores de gas y diesel, compresores y generadores en sus operaciones en los últimos 35 a 45 años.

El monitoreo de condición es la medición de una variable fija que se considera representativa de la condición del equipo y su comparación con valores que indiquen si el equipo está en buen estado o deteriorado.

Acciones del mantenimiento predictivo

- Monitorear
- Diagnosticar

- Pronosticar

2.5 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

Es una actividad no programada y se dirige a reparaciones por fallas ocurridas. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a sus condiciones operativas, por medio de restauración, reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste, daños o roturas.

2.6 SISTEMA DE MANTENIMIENTO.

Un sistema es un conjunto de componentes que trabajan de manera combinada hacia un objetivo común. El mantenimiento puede ser considerado como un sistema con un conjunto de actividades que se realizan en paralelo con los sistemas de producción.

Los sistemas de mantenimiento también contribuyen en el logro de las metas al incrementar las utilidades y la satisfacción del cliente. Estas se logran reduciendo el mínimo el tiempo muerto de la planta, mejorando la utilidad, incrementando la productividad y entregando oportunamente los pedidos a los clientes.

El Objetivo del mantenimiento es asegurar la competitividad de la empresa por medio de:

- Garantía de la disponibilidad y confiabilidad planeada.
- Satisfacción de todos los requisitos de calidad.
- Maximizar el beneficio global.
- Adecuada disponibilidad de equipos e instalaciones al costo más conveniente.

2.7. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO.

Es el diseño de programas de actividades de mantenimiento, distribuidas en el tiempo, donde la frecuencia puede ser conocida o desconocida, los recursos asignados dependiendo de la situación actual y contexto de los equipos y permite mantener los equipos en operación para cumplir con las metas de producción preestablecidas por la organización.

El inicio del mantenimiento es la planificación, donde se prepara la ejecución de los trabajos, consiguiendo la participación de todos los recursos y resolviendo todos los problemas que puedan afectar su eficiente ejecución.

2.8 TIPOS DE PLANES.

El proceso de planificación puede dividirse en tres niveles básicos, dependiendo del horizonte de la planificación. Los cuales son:

- Planes a largo plazo (cubre un periodo de hasta de 5 años).
- Planes a mediano plazo (cubre un período de hasta de un año).
- Planes a corto plazo (corresponde a los planes semanales y diarios).

3. MANTENIMIENTO EN COMPRESORES RECIPROCANTES EN COLOMBIA.

3.1 MANTENIMIENTO EN COMPRESORES RECIPROCANTES EN COLOMBIA.

Las estaciones de compresión durante su operación normal, aplican para mantener la disponibilidad y confiabilidad de sus equipos diversas técnicas que van acorde en su gran mayoría a prácticas validas aplicadas internacionalmente, muchas de estas técnicas fueron implantadas o heredadas de los mismo fabricantes de los equipos, ya que en Colombia no fabricamos este tipo de tecnología, se adquiere paquetes de compresión por multinacionales y por ello, se toman sus respectivas técnicas de mantenimiento.

Antes de mencionar cuales son las técnicas aplicadas en el país, debemos conocer un ejemplo de Pareto referentes de fallas y % de costo global de los elementos que componen un equipo compresor recíprocante.

A continuación se adjunta información a manera de ejemplo real de una estación de compresión, donde nos puede indicar para el caso de unas transportadoras de gas natural, los elementos más costosos y estadística de fallo en el proceso de operación y mantenimiento.

Modo de falla- costo directo en compresores recíprocantes

Tabla.2. Modo de falla- costo directo en compresores reciprocantes.

MODO DE FALLA	% COSTO DEL TOTAL	% ACUMULADO
Cilindro compresor	25,49%	25,49%
Bielas	8,86%	34,34%
Chumaceras Eje potencia	8,20%	42,55%
Pistones	6,18%	48,73%
Alabes ventilador	5,85%	54,58%
Crucetas	4,69%	59,28%
Bomba de aceite principal	3,40%	62,67%
Vástago de pistón	3,06%	65,74%
Condición del aceite	2,84%	68,57%
Chumaceras eje Cooler	2,83%	71,41%
Control de nivel (Aceite)	2,59%	74,00%
Switch de parada por bajo nivel refrigerante	2,59%	76,59%
Packing presion	2,20%	78,79%
Switch de vibraciones	2,04%	80,82%
Chumaceras eje tensor	1,75%	82,58%
Soportes tuberías	1,57%	84,14%
Anunciador de fallas	1,54%	85,68%
Sellos y empaques	1,44%	87,12%
Válvula termostática	1,19%	88,31%
Casquetes bancada compresor	1,18%	89,49%
Anillos de pistón y Wear Band	1,11%	90,60%
Casquetes biela compresor	0,95%	91,56%
Empaquetadura de aceite	0,91%	92,46%
PROFLO-DNFT	0,87%	93,33%
Piñones	0,67%	94,00%
Termocuplas del cilindro compresor	0,57%	94,57%
Acoples Omega	0,55%	95,12%
Strainer	0,50%	95,62%
Correas	0,46%	96,08%
Intercambiador de calor	0,45%	96,53%
Switch de nivel (Líquidos)	0,43%	96,96%
Filtros	0,39%	97,35%
Conexionado / Cableado	0,37%	97,72%
Conexionado / Cableado	0,37%	98,10%

MODO DE FALLA	% COSTO DEL TOTAL	% ACUMULADO
Cadena	0,36%	98,46%
Válvulas compresoras descarga	0,34%	98,80%
Válvulas compresoras succión	0,33%	99,13%
Bombines lubricación forzada	0,26%	99,39%
Panel de tuberías Externo (Serpentines)	0,23%	99,62%
Bloques de distribución	0,18%	99,79%
Tubbing y accesorios (Codos 45°)	0,13%	99,92%
Tubing de lubricación de aceite del cilindro compresor (Interior)	0,04%	99,97%
Cheque de lubricación forzada	0,03%	100,00%
Disco de ruptura	0,00%	100,00%
	0,00%	100,00%

Fuente: Información suministrada por Hanover Compresor Company

La tabla anterior nos muestra valores en porcentaje del precio de los componentes en comparación global del mercado, se da a manera de % por los valores cambiantes del mercado y tasa de cambio; La gran mayoría de estos elementos son importados.

La siguiente tabla, nos puede dar una referencia de los elementos más críticos del compresor recíprocante con respecto al número de fallas en un determinado periodo de tiempo.

Modo de falla y frecuencia de ocurrencia de falla.

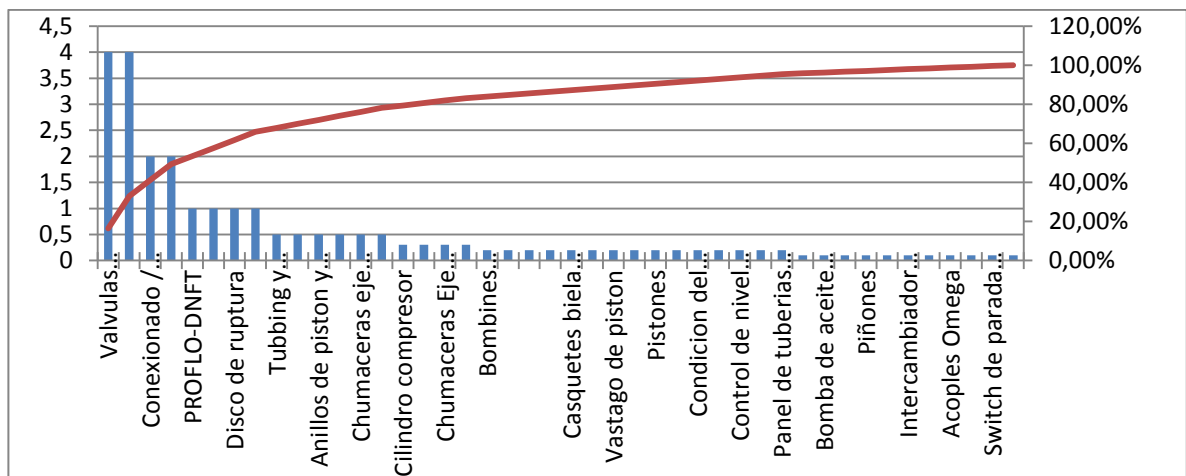
Tabla.3 Modo de falla y frecuencia de ocurrencia de falla.

MODO DE FALLA	FRECUENCIA POR AÑO	% DEL TOTAL	% ACUMULADO
Valvulas compresoras succion	4	16,46%	16,46%
Valvulas compresoras descarga	4	16,46%	32,92%
Conexionado / Cableado	2	8,23%	41,15%
Soportes tuberias	2	8,23%	49,38%
PROFLO-DNFT	1	4,12%	53,50%
Packing presion	1	4,12%	57,61%
Disco de ruptura	1	4,12%	61,73%
Sellos y empaques	1	4,12%	65,84%
Tubbing y accesorios (Codos 45°)	0,5	2,06%	67,90%
Bloques de distribucion	0,5	2,06%	69,96%
Anillos de piston y Wear Band	0,5	2,06%	72,02%
Switch de nivel (Liquidos)	0,5	2,06%	74,07%
Chumaceras eje tensor	0,5	2,06%	76,13%
Conexionado / Cableado NUEVA	0,5	2,06%	78,19%
Cilindro compresor	0,3	1,23%	79,42%
Filtros	0,3	1,23%	80,66%
Chumaceras Eje potencia	0,3	1,23%	81,89%
Correas	0,3	1,23%	83,13%
Bombines lubricación forzada	0,2	0,82%	83,95%
Tubing de lubricación de aceite del cilindro compresor (Interior)	0,2	0,82%	84,77%
Cheque de lubricación forzada	0,2	0,82%	85,60%
Crucetas	0,2	0,82%	86,42%
Casquetes biela compresor	0,2	0,82%	87,24%
Casquetes bancada compresor	0,2	0,82%	88,07%
Vástago de pistón	0,2	0,82%	88,89%
Empaquetadura de aceite	0,2	0,82%	89,71%
Pistones	0,2	0,82%	90,53%

MODO DE FALLA	FRECUENCIA POR AÑO	% DEL TOTAL	% ACUMULADO
Strainer	0,2	0,82%	91,36%
Condición del aceite	0,2	0,82%	92,18%
Termocuplas del cilindro compresor	0,2	0,82%	93,00%
Control de nivel (Aceite)	0,2	0,82%	93,83%
Chumaceras eje Cooler	0,2	0,82%	94,65%
Panel de tuberías Externo (Serpentines)	0,2	0,82%	95,47%
Bielas	0,1	0,41%	95,88%
Bomba de aceite principal	0,1	0,41%	96,30%
Cadena	0,1	0,41%	96,71%
Piñones	0,1	0,41%	97,12%
Válvula termostática	0,1	0,41%	97,53%
Intercambiador de calor	0,1	0,41%	97,94%
Anunciador de fallas	0,1	0,41%	98,35%
Acoples Omega	0,1	0,41%	98,77%
Alabes ventilador	0,1	0,41%	99,18%
Switch de parada por bajo nivel refrigerante	0,1	0,41%	99,59%
Switch de vibraciones	0,1	0,41%	100,00%

Fuente: Información suministrada por Hanover Compresor Company

Grafica 8. Análisis Pareto de malos actores y número de fallas



Fuente: Autor

Sobre el análisis del Pareto, se nota que la gran mayoría de las novedades o elementos que afectan al buen funcionamiento del compresor provienen de los cilindros compresores que están compuestos por, válvulas de succión y descarga, empaquetadura, anillos de cilindro, pistón etc.

Por ello, la gran mayoría de las mediciones del compresor y las diversas técnicas que ayudan a mantener la disponibilidad se centra en estas partes.

Por lo anterior, mencionaremos los diferentes tipos de mantenimientos realizados más frecuentes en estaciones de compresión de gas natural en Colombia; incluyendo el monitoreo en línea que está cada vez más tomando acogida en el mundo.

3.1.1 Mantenimiento de compresores Reciprocantes de Gas Natural en Colombia.

Mantenimiento Correctivo: Radica en el mantenimiento del equipo en caso de una falla inesperada por deterioro de algunos de sus componentes y que no se contemplaba su desgaste o fractura.

Mantenimiento preventivo basado en tiempo (TBM): Esta metodología es la más utilizada por la mayoría de las empresas y radica en verificar, calibrar y reemplazar algunos componentes por horas de operación.

Tenemos como ejemplo un TBM de uno de los fabricantes del mundo que son los compresores ARIEL.

Este tipo de rutina se aplica y funciona con gran éxito en lo referente en mantener la disponibilidad del equipo sin ayuda de equipos adicionales de monitoreo y recomendado por el fabricante Ariel.

A continuación se anexa un ejemplo de la rutina que este fabricante de compresores organizadas en diaria, mensuales y anuales.^[3]

- **Diario:**

- ✓ Verificar la presión de aceite de la carcasa. Debe ser de 50 a 60 psig (350 a 420 kPa) cuando está a temperatura de funcionamiento. La temperatura máxima del aceite de entrada del compresor es de 190°F (88°C).
- ✓ Revisar el nivel de aceite de la carcasa. Debe estar en la mitad de la mirilla de nivel, si no, determinar la causa y corregirla. No llenar en exceso. Comprobar que el depósito de relleno de aceite tenga suficiente aceite.
- ✓ Inspeccionar la aguja indicadora del ciclo del bloque lubricador. Referirse a la placa de información sobre la caja del lubricador para el tiempo de ciclo correcto.
- ✓ El gas muy sucio o húmedo requiere un tiempo de ciclo más frecuente que lo normal.
- ✓ Inspeccionar los tubos de venteo primario y secundario de la empaquetadura.
- ✓ Si hay escape determinar la causa, y si es necesario, cambiar las piezas internas de la empaquetadura.
- ✓ Inspeccionar por pérdidas de gas y corregir.
- ✓ Inspeccionar por pérdidas de aceite y corregir.
- ✓ Verificar la presión y temperatura de funcionamiento. Si no es normal, determinar la causa. Se recomienda tener un registro diario de las temperaturas y presión de funcionamiento para referencia.³
- ✓ Verificar los puntos prefijados de parada.
- ✓ La presión baja del aceite es de 35 psi (240 kPa) mínimo.
- ✓ La parada por alta temperatura debe ajustarse dentro de 25°F(14°C) de la temperatura real de funcionamiento.

³ ARIEL CORPORATION Energía Compresor Gas natural [en línea] Disponible en www.arielcorp.com – Libro Manual Técnico para motores JGK/JGT - Rev. 10/98 Citado 27 de agosto de 2013

- ✓ La presión alta-baja calibradas tan cerca como sea posible. Se debe tener en cuenta la capacidad de carga en el vástago de la máquina.
 - ✓ Revisar el nivel de aceite de la caja del lubricador.
 - ✓ Inspeccionar si hay ruidos o vibraciones fuera de lo normal.
- **Mensual (Además de los requerimientos diarios)**
 - ✓ Inspeccionar y confirmar las funciones de parada por seguridad.
 - ✓ Para cilindros de una clasificación nominal mayor que 3500 psi (24,000 kPa), extraer los cabezales de los cilindros e inspeccionar el cilindro por presencia de aceite para verificar que la lubricación es adecuada.
- **Cada 6 meses ó 4000 horas (además de los requerimientos diarios/mensuales)**
 - ✓ Vaciar y cambiar el aceite de la caja del lubricador.
 - ✓ Cambiar el filtro de aceite o cuando la presión diferencial excede 10 psi (70 kPa) para JGK/2/4 y JGT/2/4.
 - ✓ Cambiar el aceite. Podría ser necesario un intervalo de cambio de aceite más frecuente en el caso de funcionamiento en un ambiente muy sucio o si el proveedor de aceite lo recomienda o si el análisis del aceite así lo indica. Podría requerirse un intervalo menos frecuente si se llena de aceite regularmente debido al uso del lubricador a presión.
 - ✓ Limpiar el colador cuando se cambie el aceite.
 - ✓ Abrir la carcasa cuando se cambie el aceite e inspeccionar visualmente en busca de materia extraña. No se recomienda desarmar salvo en el caso de encontrarse algún motivo.
 - ✓ Revisar el nivel de aceite en el anti vibrador (si es aplicable).
 - ✓ inspeccionar la luz del extremo del anillo del pistón.

- **Anual u 8,000 horas (Además de los requerimientos diarios/ mensuales/6 meses)**
 - ✓ Cambiar el filtro de aceite o cuando la diferencia de presión excede 15 psi
 - ✓ (105 kPa) para JGK/6 y JGT/6.
 - ✓ Verificar las tolerancias de los cojinetes de bancada, cojinetes de bielas y
 - ✓ Empuje del cigüeñal utilizando una barra y un indicador
 - ✓ Verificar las tolerancias de las guías de las crucetas con láminas calibradas, y si están fuera de los límites indicados reemplazar las piezas afectadas.
 - ✓ Inspeccionar las válvulas en busca de placas rotas o pernos centrales sueltos. Reemplazar las piezas rotas y ajustar los pernos centrales a los valores indicados
 - ✓ Inspeccionar el diámetro interior de los cilindros en busca de daño y desgaste excesivo
 - ✓ Inspeccionar la luz del extremo del anillo del pistón. Cambiar los anillos que estén fuera del límite máximo
 - ✓ Inspeccionar los vástagos de los pistones en busca de daño y desgaste excesivo
 - ✓ Reconstruir las cajas de la empaquetadura del cilindro.
 - ✓ Revisar las cuñas en los pies del compresor para verificar si la carcasa está torcida o doblada.
 - ✓ Si es necesario, realinear para mantener la alineación del acoplador dentro de una lectura total del indicador de 0.005 pulgadas (0.13 mm).
 - ✓ Verificar y volver a calibrar todos los indicadores de temperatura y presión.
 - ✓ Verificar y anotar la desviación de la biela del compresor.
 - ✓ Engrasar las roscas del vástago del en el engrasador, con 2 ó 3 bombas de grasa de uso múltiple usando un revólver engrasador estándar de bomba manual.
 - ✓ Limpiar el filtro del respiradero del cárter.
 - ✓ Ajustar las cadenas impulsoras.

- **Cada 2 años ó 16,000 horas (Además de los requerimientos diarios/mensuales/6 meses/anuales)**
 - ✓ Inspeccionar el impulsor auxiliar y de cadena para verificar si hay desgaste de los dientes de los piñones y estiramiento excesivo de la cadena.
 - ✓ Reconstruir las cajas de los limpiadores de aceite.

- **Cada 4 años ó 32,000 horas (Además de los requerimientos Diarios/mensuales/6 meses/anuales/2 Años)**
 - ✓ Inspeccionar las tolerancias de los cojinetes de bancada y de la biela usando un indicador de cuadrante y una barra. No se recomienda desarmar para verificar las tolerancias. Se debe desarmar si la verificación con la barra indica una tolerancia excesiva.
 - ✓ Verificar las tolerancias de las guías de crucetas con láminas calibradas. Acuñar la guía de la cruceta para apoyo, si es requerido, y reajustar los sujetadores al par apropiado.
 - ✓ Verificar la tolerancia de la clavija de la cruceta al diámetro interior de la clavija de la cruceta y del diámetro interior del buje de la biela extrayendo las clavijas de las crucetas.
 - ✓ Inspeccionar por desgaste excesivo en el tensor de la cadena de transmisión del extremo auxiliar.
 - ✓ Inspeccionar por un desgaste excesivo en las ranuras de los anillos.

- **Cada 6 años ó 48,000 horas (Además de los requerimientos Diarios/mensuales/6 meses/anuales/2/4 años)**
 - ✓ Reemplazar las armaduras y bujes de los cojinetes de los vástagos principales y bielas.
 - ✓ Reemplazar los bloques de distribución del lubricador.
 - ✓ Reemplazar los bujes de la cruceta.
 - ✓ Reemplazar el indicador digital de no flujo de aceite (DNFT).

Mantenimiento predictivo: El mantenimiento predictivo cada vez se consolida como la manera eficiente de apoyar el TBM lográndose así un gran margen de efectividad casi en 100% de disponibilidad de los equipos compresores reciprocantes de gas natural en Colombia en un relativo bajo costo de operación.

3.2 TÉCNICAS MÁS UTILIZADAS EN EL PAÍS APLICADO A COMPRESORES RECIPROCANTES.

3.2.1 Termografías en compresores reciprocantes

Figura 25. Termografía de válvulas de compresores reciprocantes



Fuente: Cortesía tomada por el autor

Es una técnica que permite medir temperaturas exactas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas o de termovisión, se puede convertir la energía radiada en información sobre temperatura, expresada en grados centígrados (°C) y Fahrenheit (°F).

Es un método que identifica sin contacto físico, componentes mecánicos más calientes que su operación normal indicando áreas de fallas inminentes o áreas con excesiva pérdida de calor, que usualmente son síntomas de fallas; se tiene en cuenta principalmente , las válvulas de compresión, botellas, vástago, cruceta⁴

3.2.2 Análisis de Vibraciones en compresores reciprocantes:

Figura 26. Análisis de vibraciones en válvulas de compresores reciprocantes



Fuente: Cortesía tomada por el autor.

El análisis de vibraciones nos ayuda a detectar principalmente soldaduras mecánicas provenientes del estado físico de las válvulas compresoras, pin de cruceta y cruceta, bancadas en el cigüeñal.

⁴<http://www.monografias.com/trabajos92/termografia-mantenimiento/termografia-mantenimiento.shtml#ixzz2cknZm3Qa>

3.2.3 Medición de presiones en cilindro compresor.

Figura 27. Medición de presiones de cilindros compresores reciprocantes.



Fuente: Cortesía tomada por el autor.

La medición de presiones en los cilindros compresores es realizada para medir principalmente la eficiencia volumétrica, con el diagrama PV que se construye con este método, se puede observar los estados funcionales de algunos de elementos del compresor como son:

- Estado de válvulas (Plato termoplástico)
- Selección adecuada de las válvulas (resortes muy blandos o duros)
- Estado de anillos del cilindro compresores y sello.

3.2.4 Ultrasonido

Figura 28. Ultrasonido válvula Compresoras Reciprocantes.



Fuente: Cortesía tomada por el autor.

La técnica de ultrasonido en compresores ayuda a identificar principalmente fugas en el sistema del compresor; Con este método es posible detectar fugas tanto de válvulas, anillos, y empaquetaduras principalmente.

3.2.5 Análisis de aceite

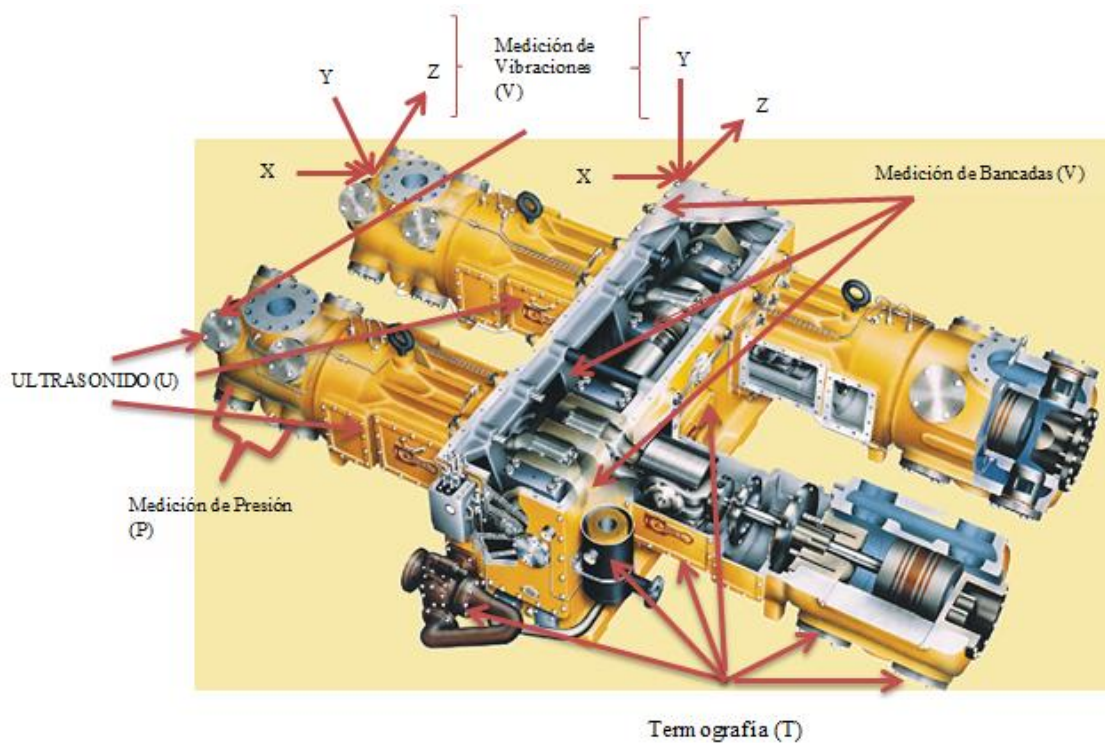
Figura 29. Analisis de Aceite Compresores Reciprocantes.



Fuente: www.google.com/imagenes

El análisis de aceite en el compresor recíprocante nos ayuda de manera eficiente a conocer el estado interno de los componentes del aceite, ya sea por su contaminación, o por su degradación, y las fallas que el aceite produjera en el equipo, sea por desgaste y fatigas o hasta llevar el equipo a falla.⁵

Figura 30. Esquema General de los puntos de Medición del Compresor Recíprocantes



(T)= Medición con Cámara Termografía

(P)= Medición con transductores de presión

(U)= Medición de ultrasonido

(V)= Medición con acelerómetros o sensores de vibración

5 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES. Mantenimiento predictivo – proactivo a través del análisis del aceite[en línea] Disponible en http://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/3/3206/Curso_Lubricantes.pdf Citado el 10 de agosto de 2013

4. MONITOREO EN LINEA

4.1 MONITOREO DE MAQUINARIA.

“El monitoreo de maquinaria es la observación del curso de uno o varios parámetros para la detección de problemas en tiempo real”

Cada vez en las industrias el mantenimiento cobra un sentido de amplia relevancia, debido a muchos factores como el acelerado desarrollo del mundo contemporáneo, donde se exige cada vez más en aspectos tales como calidad, tiempo de proceso, tiempo de entrega etc. Es por ello que la industria actual no puede atrasarse y cada vez busca alternativas de solución para satisfacer sus necesidades.

Además, en las últimas décadas las organizaciones en general han experimentado cambios muy significativos en la forma de hacer negocios, que abarcan prácticamente toda su estructura, desde los equipos, materia prima, infraestructura, técnicas y procedimientos, personal hasta las técnicas gerenciales. Entre los factores que han contribuido a estos cambios, se destacan: un entorno globalizado cada vez más cambiante, la presencia de múltiples proveedores para un mismo servicio, regulaciones gubernamentales cada vez más estrictas y clientes mucho más exigentes, entre otros. Estos cambios están probando las actitudes y las habilidades en todas las ramas de la industria al límite.

Pero no solo se queda la búsqueda en el mantenimiento, sino que profundiza en el concepto y analiza posibilidades de evitar las fallas, y es por ello que se desarrollaron los conceptos de mantenimiento predictivo y preventivo, y por tanto,

también se crearon, y se siguen creando, diversos métodos, herramientas, técnicas para facilitar estos estudios.

Hoy en día, los costos, han pasado a formar una de las partes más importante de los procesos. Los progresos tecnológicos han permitido la creación de maquinaria y equipos más eficientes, sofisticados, complejos, automatizados y a su vez más costosos.

Garantizar el óptimo funcionamiento de estos equipos así como también maximizar el tiempo de vida de los activos es ahora más que nunca una prioridad. Como resultado, en las últimas décadas los costos de mantenimiento han pasado de ser un factor casi inexistente a ser una prioridad (se han elevado enormemente). En algunas industrias, actualmente ocupa el segundo o incluso el primer lugar de los costos de operación

Con base en esta necesidad, el mantenimiento ha cambiado quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Han surgido nuevas técnicas de mantenimiento y se ha concebido una visión cambiante sobre la organización del mantenimiento y las responsabilidades. Es así, como numerosas empresas industriales, están integrando sus programas de mantenimientos correctivos y preventivos orientados a asegurar disponibilidad, con un mantenimiento proactivo que acoge conceptos relativamente nuevo, tales como confiabilidad (mantenimiento predictivo), mantenimiento basado en condición, aseguramiento de la calidad del mantenimiento, entre otros.

Finalmente, estas nuevas filosofías han incrementado el uso de los instrumentos electrónicos de medición. Se han creado numerosas herramientas tecnológicas, que permiten monitorear el deterioro progresivo de componentes y equipos, promoviendo un incremento de su disponibilidad, una disminución de las

intervenciones (correctivas y preventivas) y un cumplimiento de los compromisos de producción.

Las técnicas del mantenimiento predictivo como son termografías, vibraciones, ultrasonido, análisis de aceite entre otro, son métodos que han llevado a predecir cómo se puede comportar el equipo compresor recíprocante en el tiempo y apoyado en el TPM ayudan adelantar rutinas y evitar desgastes.

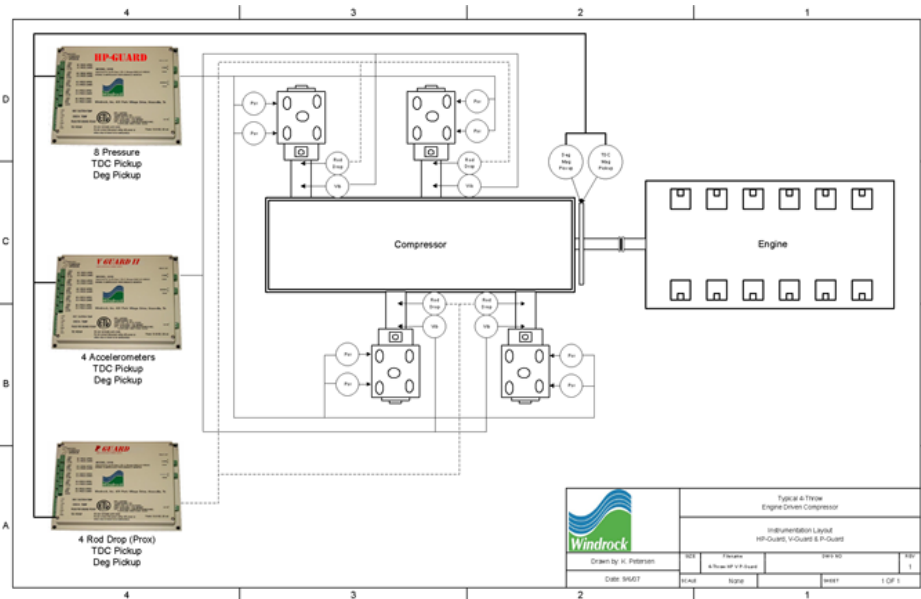
El espacio que queda de error o falla en el equipo aplicando los métodos anteriores son muy pequeños, y aunque unidos son muy eficientes evitan daños a cualquier parte del equipo, depende de la eficiencia de los mantenimientos de cada empresa en sí, es decir la eficiencia depende del factor humano y de las rutinas de mantenimientos aplicadas al equipo.

Por esta razón el margen mínimo de daños que se pueda presentar en los equipos no es estimado, esta metodología ayuda a mejorar la confiabilidad en el equipo agregando cualidades de las técnicas del CBM. Este tipo de implementación funciona como equipo de protección de la unidad de control de tiempo real, logrando así que las variables operativas no se salgan del margen de operatividad según lo recomendado por los fabricantes.

Esta última particularidad, hace la diferencia entre la termografía, análisis de vibraciones y ultrasonido que se realiza a intervalos de tiempo dependiendo de la criticidad del equipo, horas de servicio o de la antigüedad del mismo, mejora la disponibilidad del equipo por el monitoreo en tiempo real del comportamiento de los componentes del compresor generando alarmas, informes instantáneos al personal especialista tanto local como remotamente para su respectivo análisis y parada del equipo si se sale de su estado normal de operación.

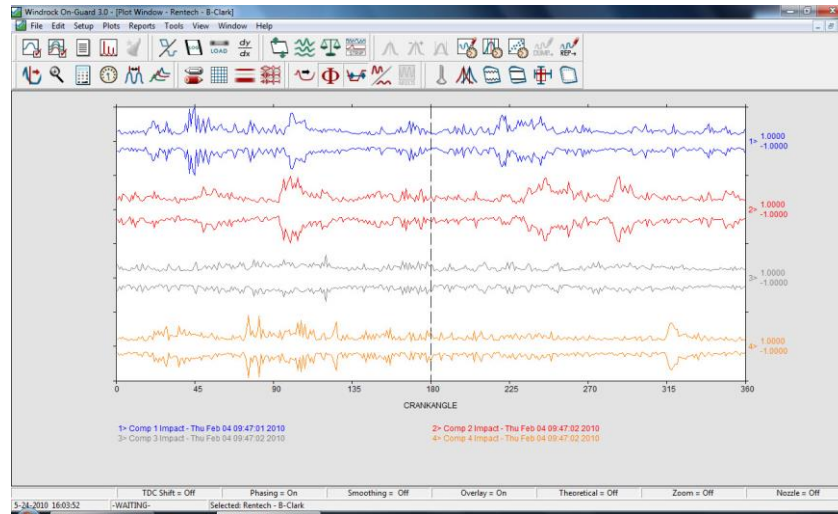
El monitoreo en línea supe estas necesidades, puede actuar como protector del equipo llevándolo a estado seguro si este equipo se sale de los parámetros de diseño programados en el equipo en tiempo real.

Figura 31. Parámetros de diseño programados en el equipo.



Fuente: Cortesía de Windrock

Figura 32. Parámetros de diseño programados en los Software.



Fuente: Cortesía de Windrock

Figura 34. Equipos de conexión para paneles de control



Fuente: publicación ys6360 de fwmurphy.co.uk

4.2. CONFIGURACIONES CON EQUIPO DE MONITOREO EN LÍNEA DE LOS FABRICANTES COMERCIALES MÁS GRANDES DEL MERCADO.

Mejorando el sistema de control del compresor y no dependiendo totalmente del TBM o las rutinas periódicas del CBM, la tecnología de monitoreo en línea que se ofrecen comercialmente para apoyar la excelente disponibilidad y confiabilidad del equipo, son tecnología que han optado por ofrecer un menú de opciones que satisfagan al comprador poseedor del equipo compresor ajustado a sus expectativas y nivel de criticidad de sus equipo.

Para esto se deberá tener en cuenta según el menú de opciones, como opera nuestro departamento de mantenimiento, nivel técnico del personal, número de personas y tiempo disponible para fallos que se quiere minimizar como también la evaluación de cuanto tiempo de alargue se quiere llevar las rutinas de inspección del equipo.

A continuación, se muestran las diferentes configuraciones que en el comercio ofrece las marcas más reconocidas como son:

El RecipCOM de HOERBIGUER, y Windrock de Dover Corporation.

Las diferentes configuraciones que estos dos principales fabricantes ofrecen de estos equipos radica comercialmente que de tan importante es el equipo o crítico, con ellos se crean facilidades básicas de monitoreo con equipamiento básico de los puntos más críticos que con cada revolución del compresor recíprocos, las señales extraídas por los sensores en campo se muestrean por los equipos instalados de manera sincronizada y se transmiten a través de una Unidad de control que recibe los datos y los compara con los límites de alarma ya definidos para las condiciones de operación.

El sistema actúa si detecta violaciones de los límites y realizara alarmas si la falla es momentánea y evitar paradas no deseadas o detendrá el equipo si sobrepasa los límites de alarmas. La señal de alarmas detectadas puede almacenarse localmente o pueden ser enviadas a sistema de seguridad dedicado o al DCS.

Las configuraciones que se ofrecen pueden ser:

Básicos (protecciones) o avanzado (Protecciones más diagnóstico)

Para niveles básicos (solo protecciones)

- Protección de Vibraciones
- Caída de Vástago
- Protección de presiones.

Aplicación completa o Avanzada (Protecciones más diagnóstico)

Este paquete radica en la protección del equipo, pero también involucra diagnóstico, es decir, equipo especializado que apoya la protección del equipo y la función del especialista en campo. Además de llevar datos de manera remota realiza también análisis PV, gráficos que permiten identificar fugas en el vástago, válvulas obstruidas y optimizar la salida del compresor y su eficiencia.

De manera remota permite a los profesionales de mantenimiento que puedan obtener datos de estado de los cilindros mostrando indicadores que permiten trazar la eficiencia, fijar objetivos para menores costes de energía, verificar nuevas condiciones de operación e identificar problemas.

Se muestra a continuación la información comercial que estas dos empresas ofrecen respecto al sistema de monitoreo en línea y la justificación de su implementación.

4.3 RECIPCOM - HOERBIGER

Figura 35. Logos

RecipCOM

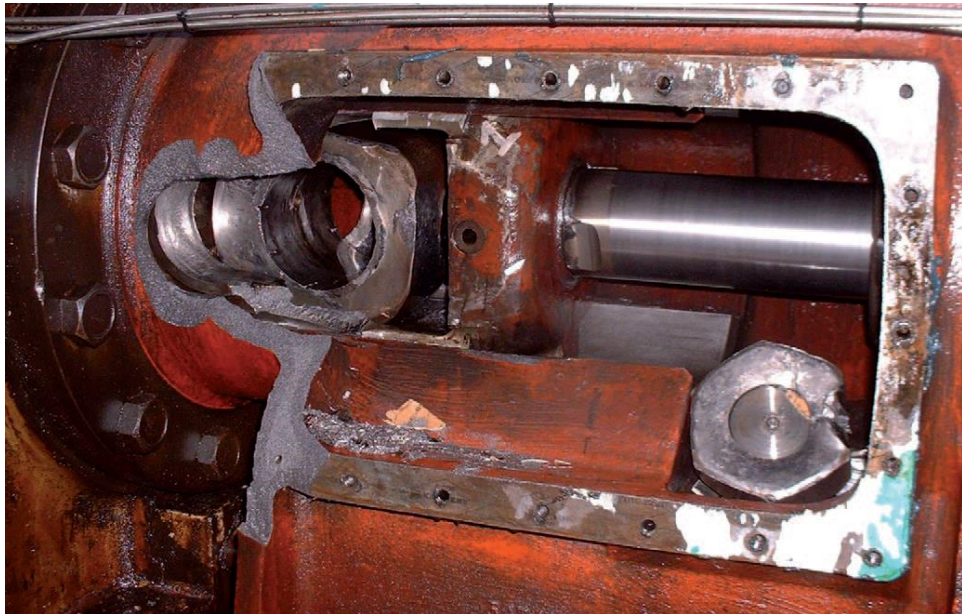
Especialización, monitorización y protección de compresores alternativos adaptado a sus necesidades.


HOERBIGER

Los compresores alternativos son críticos en su proceso, y no deben permitirse roturas o una operación ineficiente. Una monitorización básica de temperaturas y presiones no garantiza un comportamiento fiable, eficiente, seguro y económico. El valor de los costes de reparación de un compresor puede ser realmente alto. Y

aún peor, un fallo grave podría provocar un alto riesgo para la seguridad y rentabilidad de la planta.

Figura 36 Ruptura caja de la Cruceta del vástago del cilindro de un compresor reciprocantes.



Fuente: www.hoerbiger.com/upload/file/recipcom

Muchos problemas son casi imposibles de detectar en su etapa inicial sin una monitorización dedicada.

- Las vibraciones suelen romper partes mecánicas
- El arrastre de líquidos daña válvulas, pistones y bielas.
- Válvulas obstruidas que causan pérdidas de presión y un comportamiento pobre
- Sellos gastados que provocan fugas y pérdidas de eficiencia
- Carga excesiva sobre el vástago/ pérdida de inversión de carga puede suponer una rotura del vástago y un fallo en la cruceta.

Figura 37. Secuelas de fallas NO detectadas a tiempos.



Fuente: www.hoerbiger.com/upload/file/recipcom

La existencia de fallos en el compresor puede dañar seriamente a su personal y su negocio

- Amplios daños en el compresor y paradas forzadas
- Pérdidas de producción
- Riesgos para los trabajadores
- Operación ineficiente
- Trabajos de mantenimiento innecesarios y difíciles de predecir
- Costes elevados de reparación, gestión del riesgo y protección del medio ambiente.

4.4. LA MONITORIZACIÓN Y PROTECCIÓN SON LA MEJOR INVERSIÓN QUE PUEDE HACER

Los sistemas de monitorización y protección suponen la mejor inversión para su preciado equipo. Aseguran un funcionamiento óptimo y rentable de sus compresores. Si un sistema de monitorización y protección previene una parada

no planificada, o reduce el tiempo dedicado a la parada en algunos días, se paga por sí mismo.

RecipCOM monitoriza constantemente parámetros críticos de la máquina como son vibraciones, posición de vástago, presiones y temperaturas. RecipCOM brinda la confianza de que sus compresores están trabajando al máximo de su rendimiento. Y más importante aún, también ofrece avisos anticipados a potenciales daños catastróficos.

Protección contra fallos críticos

- Incremento en la fiabilidad y seguridad operacional
- Protección de compresores, personas y medio ambiente
- Previene daños serios sobre la maquinaria
- Reduce el número de paradas forzadas

Mejoras en la planificación del mantenimiento y menores costes

- Detección de fallos anticipada y precisa
- Chequeo continuo del sistema para un efectivo mantenimiento basado en la condición
- Análisis de causas raíz eficaz
- Ayuda a decidir entre mantenimiento programado o basado en la condición

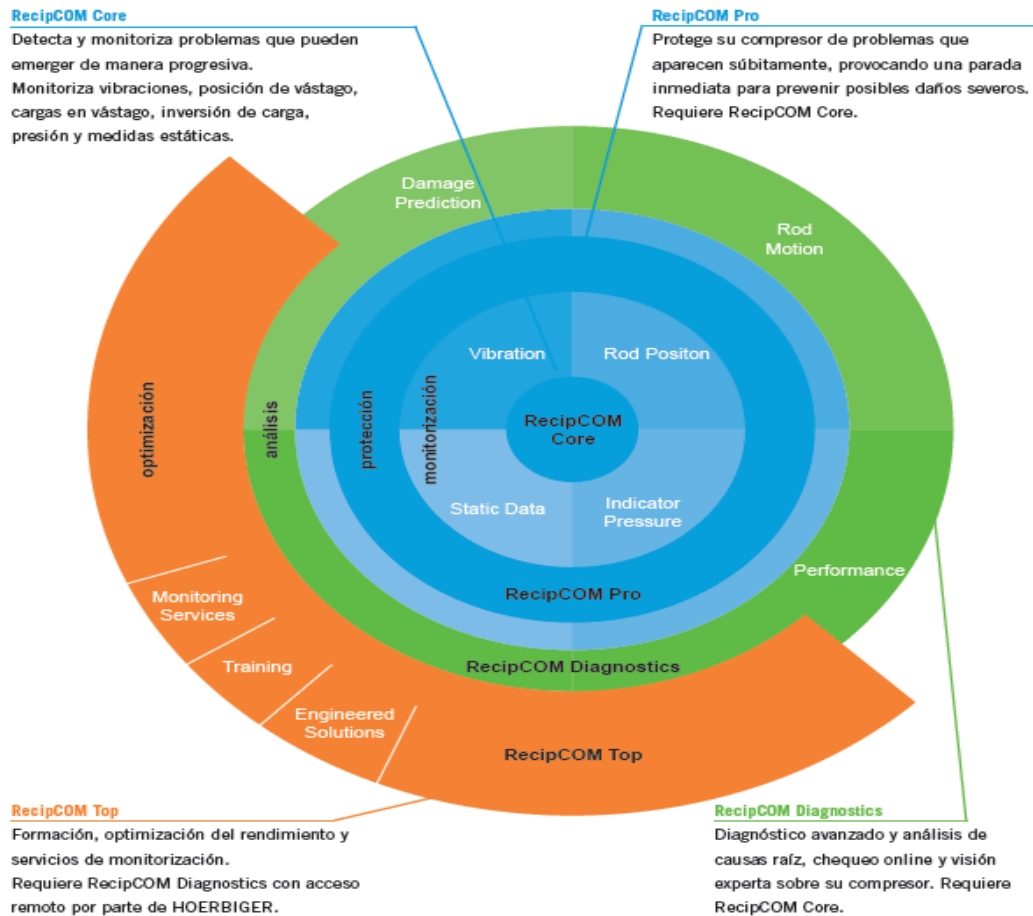
Costes operativos menores y mayor productividad

- Incremento de los intervalos de intervención sin riesgos
- Aporta información para optimizar el rendimiento y eficiencia del compresor
- Reduce los costes de transferencia de riesgos y primas de seguros

RecipCOM se adapta a las necesidades de cada usuario. Fundamentalmente, es un sistema modular que le ofrece una sofisticada monitorización, protección y capacidad de análisis.

No hay 2 compresores iguales, ni 2 usuarios que operen del mismo modo. Por eso, RecipCOM está diseñado para cubrir las necesidades. Comience con el módulo principal y añada después otros nuevos a medida que sus requerimientos aumenten. La simplicidad que otorga el Plug-and-Play significa que cualquiera de los módulos de RecipCOM funciona de manera perfectamente coordinada con el resto.

Figura 38. Los tipos de RecipCom para cada necesidad del Cliente.







Fuente: www.hoerbiger.com/upload/file/recipcom

Medidas por comparación de fallos

Tabla 4 Medidas por comparación de fallos

Módulos	Mediciones	Detección de fallos											
		Partes mecánicas sueltas / Rotura	Problemas en cimentación / Desequilibrio	Trasiego de líquidos	Problemas en cojinetes	Sobrecarga en vástago	No. inversión de carga/ Perdida de lubricación en pin	Problemas en válvulas de asp. e imp. (fugas, exceso de aceite, obstrucción)	Fugas en anillos de pistón	Fuga / Problemas en empaquetaduras	Desgaste de anillos guía	Holgura excesiva en cruceta	Fallos en descargadores / Sist. Control de Capacidad
Rod Position	Posición de vástago										●		
	Run-Out	●○										●	
Vibration	Vibración en cimentación	●○	●○										
	Vibración en cruceta	●○										●	
	Vibración en cilindro			●○									
	Vibración en cojinetes				●								
Indicator Pressure	Presión en el cilindro			●		●○	●○	●	●	●		●	
Static Data	Temperaturas de válvulas de aspiración / impulsión							●	●			●	
	Temperatura en empaquetadura								●				
	Temperatura de gas debido a una fuga								●				
	Temperatura en cojinetes				●								
Performance	Presión en el cilindro			■		■	■	■	■	■		■	
Damage Prediction	Vibración	■		■	■							■	
Rod Motion	Posición de vástago	■										■	
RecipCOM Top	Formación, Optimización y rendimiento del equipo	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲

	RecipCOM Core: Detecta y monitoriza problemas que pueden emerger de manera progresiva.
	RecipCOM Pro: Protege su compresor de problemas que aparecen súbitamente, provocando una parada inmediata para prevenir posibles daños severos.
	RecipCOM Diagnostics: Diagnóstico avanzado y análisis de causas raíz, chequeo online y visión experta sobre su compresor.
	RecipCOM Top: Formación, optimización del rendimiento y servicios de monitorización

Fuente: www.hoerbiger.com/upload/file/recipcom

Figura 39. Monitoreo en línea de compresores recíprocos



Fuente: www.hoerbiger.com/upload/file/recipcom

Con este sistema se puede detectar.

- Cruceta: conexiones sueltas, daño, holgura excesiva en la Cruceta
- Anillo guía: desgaste
- Anillos de pistón: rotura, fuga
- Cilindro: Problemas de alineamiento, desgaste en la camisa, rendimiento, eficiencia, presiones máximas, pulsaciones, arrastre de líquidos.
- Vástago: conexiones sueltas, grietas, roturas, run-out excesivo
- Carga sobre el vástago
- Empaquetaduras: fugas
- Pin de cruceta: inversión de cargas
- Válvulas: fugas, pérdidas, obstrucciones, cierres tardíos
- Línea de aspiración: filtro de aspiración atascado

- Otros: estado de válvula o tornillos de cimentación sueltos, desequilibrios, mecánicos, problemas en cojinetes de biela y cigüeñal.

4.5. QUE COMPONE EL SISTEMA recipCOM

4.5.1 RecipCOM Rod Position / Motion



Sensores de corriente inducida colocados en la pieza distanciadora monitorizan el desgaste de anillos guía y el runout del pistón por cada revolución. Un incremento en el runout es un indicio de piezas mecánicas sueltas, cambios en el alineamiento del cilindro u holgura excesiva en la cruceta.

Este es su indicador de estado online 24/7. La posibilidad de obtener avisos Prematuros de estos fenómenos permite evitar daños serios, planificar las tareas de mantenimiento y reducir los costes de mantenimiento.

4.5.2 RecipCOM Indicator Presusure / Performance



La presión del gas dentro del cilindro de manera precisa. El hardware de RecipCOM utiliza las presiones para realizar el cálculo de carga sobre el Vástago, ratio de carga sobre el vástago y el periodo de inversión de cargas, protegiendo

así su máquina de una carga excesiva y una inversión de carga insuficiente. Este es el único modo de monitorizar esos fenómenos de manera precisa. Analizando el diagrama PV, se identifican fugas en las partes del cilindro y se monitoriza el rendimiento del compresor

4.5.3 RecipCOM Vibration / Damage Prediction



Sensores de vibración sobre la pieza distanciadora y el cárter detectan problemas relacionados con la carcasa, la pieza distanciadora o el patín de cruceta. El método de monitorización de vibraciones utilizado, con una precisión de 1 grado de giro de cigüeñal, detecta fallos mucho antes que otros sistemas. Los operadores detectan los problemas antes de que supongan fallos y/o paradas del compresor.

4.5.4 RecipCOM Static Data / Protection



Los sensores de temperatura revelan una variedad importante de eventos relacionados con el mantenimiento. Cambios en las temperaturas de las tapas de válvulas de aspiración y descarga denotan la existencia de válvulas o anillos de pistón desgastados. Las temperaturas en los cojinetes muestran problemas en la lubricación, o desgaste. El uso de precisos gráficos de tendencias indica si un

problema requiere atención inmediata o se puede esperar hasta la siguiente intervención planificada.

4.5.5 RecipCOM Protection

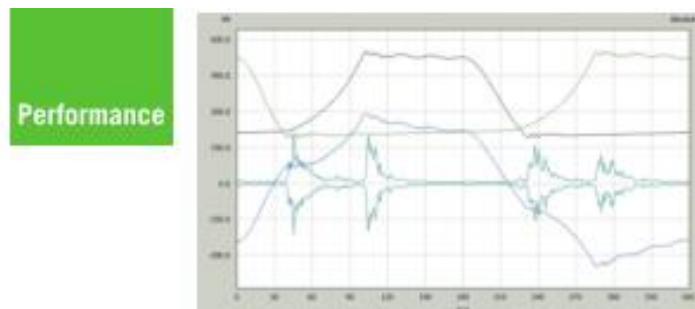


RecipCOM Pro posee certificación SIL de TÜV Rheinland y proporciona una protección de la maquinaria, el personal y el medio ambiente en tiempo real tal y como se especifica en los estándares IEC 61508/61511.

RecipCOM monitoriza todas y cada una de las revoluciones en tiempo real. Así, si ocurre un problema grave, la parada es prácticamente instantánea. Además, gracias al uso de un contador inteligente y de unos límites de alarma que varían automáticamente en función de las condiciones de operación, se evitan falsas alarmas. Y para ir más allá, RecipCOM monitoriza su propio estado de forma continua.

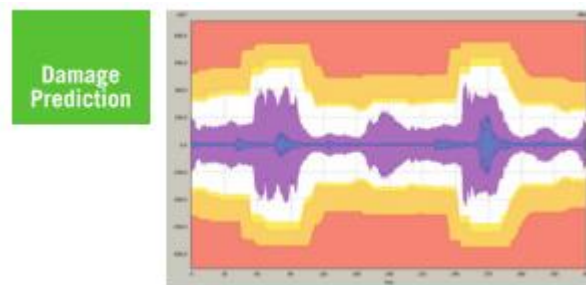
4.6 SOFTWARE DE DIAGNÓSTICO RECIPCOM

Figura 40. Diagrama PV Performance



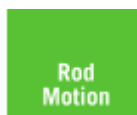
El sofisticado análisis pV y los gráficos de carga en el vástago permite a RecipCOM identificar fugas, válvulas obstruidas y optimizar la salida del compresor y su Eficiencia. Con un solo clic de ratón, los ingenieros pueden obtener datos de estado de los cilindros mostrando indicadores que permiten trazar la Eficiencia, fijar objetivos para menores costes de energía, verificar nuevas condiciones de operación e identificar problemas.

Figura 41. Niveles de vibración del Cigüeñal.



Donde otros sistemas de monitorización usan límites de alarma fijos, RecipCOM relaciona los niveles de vibración al ángulo de giro del cigüeñal para obtener una detección de fallos fiable, rápida y robusta. Comparando los diagramas de vibración con la carga en el vástago y los diagramas de presión de los cilindros, podemos fijar marcadores para indicar eventos como la inversión de carga o la apertura y cierre de válvulas.

La combinación de ambos es un método fiable para detectar la presencia de condensados o partes rotas sueltas o sometidas a estricción.

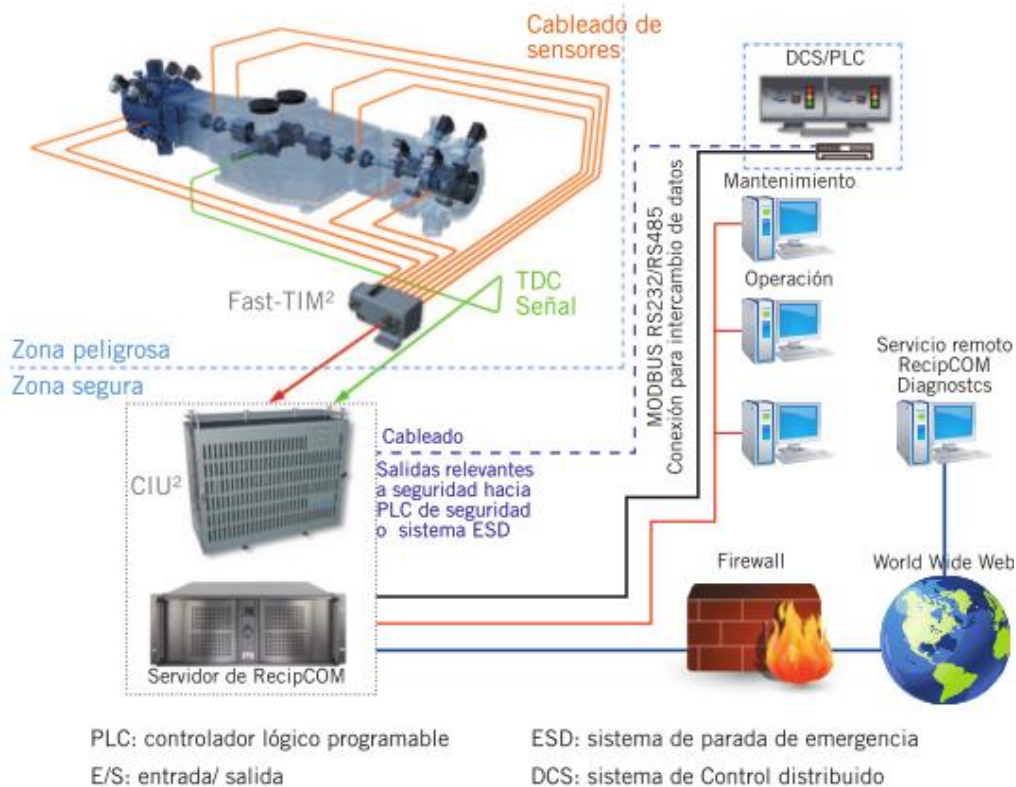


Los gráficos de Rod Motion nos ofrecen el movimiento del pistón en la zona de la empaquetadura a lo largo de los 360° de giro. Podemos identificar problemas de

alineamiento del cilindro, una holgura de cruceta excesiva o un desgaste de la camisa o de los anillos de pistón, observando la forma del gráfico. Como sucede con las vibraciones, los límites de alarma se referencian al giro del cigüeñal. Opcionalmente, es posible instalar una disposición x-y de sensores para monitorizar el movimiento orbital.

RecipCOM ofrece una potencia y fiabilidad incomparables en el campo de la monitorización y la protección de compresores alternativos. Solo con un pequeño número de interfaces, RecipCOM se integra fácilmente con instalaciones nuevas o ya existentes.

Figura 42. Diagramas generales de RecipCOM en Compresor Reciprocantes



Fuente: www.hoerbiger.com/upload/file/recipcom

4.7 CÓMO FUNCIONA RECIPCOM

RecipCOM es un sistema de monitorización y protección a medida de compresores alternativos. Está certificado de acuerdo a IEC 61508/61511 y conforme a API 670. RecipCOM es fiable, versátil y rápido: Permite parar un compresor en tan solo una revolución de giro. RecipCOM combina la velocidad de respuesta y robustez de los sistemas embebidos con software basado en Windows® para brindar una mayor facilidad de análisis y manejo de los datos. La nueva generación de Módulos de Interfaz de transmisión rápida (FTIM2s) ofrece una adquisición de datos descentralizada. Cada uno de estos componentes posee una fuente de alimentación y barreras para hasta 8 sensores intrínsecamente seguros. Las FTIM2 poseen protección Ex.

Se pueden instalar cerca del compresor para ahorrar tanto cableado en campo como costes de instalación.

Durante cada revolución, las señales se muestrean de manera sincronizada y se transmiten a través de una unión segura de alta velocidad hasta la Unidad de Interfaz con el Compresor (CIU2).

La CIU2 recibe los datos y los compara con los límites de alarma ya definidos para las condiciones de operación. El sistema actúa tan rápido que puede detectar violaciones de los límites en tan solo una revolución. De cara a evitar paradas no deseadas, la CIU2 dispara la señal de alarma solo si los límites se sobrepasan durante un número determinado de revoluciones, normalmente entre 3 y 10. La señal de alarma de la CIU2 se envía a un sistema de seguridad dedicado o al DCS.

En cada revolución, el servidor de RecipCOM registra y almacena los datos recibidos para posteriores análisis. Mediante interfaces estándar se permite que la

información se envíe a un PLC o a un DCS. Una total integración en la red permite el acceso de usuarios a través de TCP/IP.

RecipCOM mantiene la información sobre el estado del compresor y sus componentes constantemente actualizada, esté donde esté. Proporciona análisis detallados, informes comprensibles y multitud de funciones de exportación, al alcance de la mano. ^[6]

4.8 TIPOS DE CONFIGURACIONES COMERCIALES

Modulo para paquete compresor que ofrece protección.

Tabla 5. Modulo para paquete compresor que ofrece solo protección

Módulos	Ítem	Cant.	Componentes por compresor	Funciones
<i>Vibración (Total)</i>	1	1	CIU2	Protección
	2	2	Fast-TIM2	
	3	4	Acelerómetros en cruceta	
	4	4	Acelerómetros en cilindro	
	5	2	Velocímetros	
	6	1	Server	
	7		Junction boxes	
	8		cables	
<i>Caída de vástago (Total)</i>	1	1	CIU2	
	2	1	Fast-TIM2	
	3	4	Sensores RPA	
	4	1	Server	
	5		Junction boxes	
	6		Cables	
<i>Presión (Total)</i>	1	1	CIU2	
	2	2	Fast-TIM2	
	3	8	Sensores IPT	
	4	1	Server	
	5		Junction boxes	
	6		Cables	

Fuente: http://www.hoerbiger.com/upload/file/recipcom_en.pdf

Modulo para paquete compresor que ofrece protección más diagnóstico.

Tabla 6. Modulo para paquete compresor que ofrece solo protección y Diagnostico

Vibración + Caída de vástago (Total)	1	1	CIU2
	2	3	Fast-TIM2
	3	4	Acelerómetros en cruceta
	4	4	Acelerómetros en cilindro
	5	2	Velocímetros
	6	4	Sensores RPA
	7	1	Server
	8		Junction boxes
	9		Cables
Vibración + Presión (Total)	1	1	CIU2
	2	3	Fast-TIM2
	3	4	Acelerómetros en cruceta
	4	4	Acelerómetros en cilindro
	5	2	Velocímetros
	6	8	Sensores IPT
	7	1	Server
	8		Junction boxes
	9		Cables
Caída de vástago + presión (Total)	1	1	CIU2
	2	2	Fast-TIM2
	3	4	Sensores RPA
	4	8	Sensores IPT
	5	1	Server
	6		Junction boxes
	7		Cables
Vibración + Caída de vástago + Presión (Total)	1	1	CIU2
	2	3	Fast-TIM2
	3	2	Acelerómetros en cruceta
	4	2	Acelerómetros en cilindro
	5	1	Velocímetros
	6	4	Sensores RPA
	7	4	Sensores IPT
	8	1	Server
	9		Junction boxes
	10		Cables

Diagnostico + Protección

Fuente: http://www.hoerbiger.com/upload/file/recipcom_en.pdf

La otra empresa importante que ofrece el mismo sistema de monitoreo en línea es Windrock de Dover Corporation.

La información comercial suministrada de sus módulos y diferentes configuraciones es la siguiente.

4.9 DIAGNOSTIC SYSTEMS FOR RECIPROCATING ENGINES & COMPRESSORS



Los sistemas en línea están permanentemente con transductores instalados y acondicionados para enviar señales, que proporcionan una medición continua y alarmante de los valores fundamentales y el cálculo de los parámetros de rendimiento y han sido diseñados específicamente para motores alternativos y compresores.

Windrock ofrece ahora dos familias únicas de los sistemas en línea para satisfacer sus necesidades de aplicaciones variadas

La familia On-Guard™ de motor alternativo y control de rendimiento del compresor en línea módulos inteligentes son una necesidad crítica para medir el estado mecánico y de funcionamiento de la unidad.

Otros parámetros incluyen caballos de fuerza, el equilibrio de flujo, temperatura, ultrasonidos y vibración.

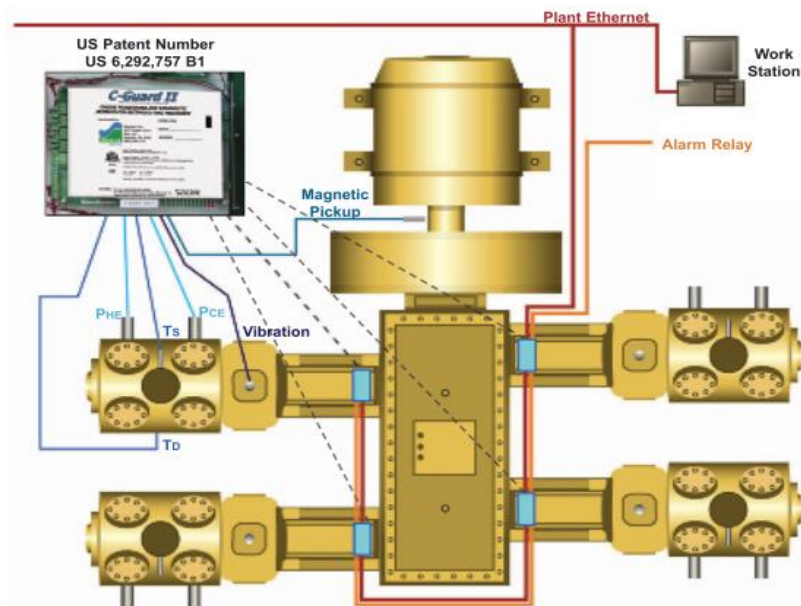
Windrock, Inc. se enorgullece en presentar On-Guard™, un sistema de monitoreo en línea de motores alternativos y compresores. La familia On-Guard™ ofrece al usuario final, OEM, la flexibilidad para adaptarse a un sistema de control diseñado específicamente para su aplicación, que van desde la protección de la máquina básica a condición mecánica completa y la supervisión del rendimiento.

La arquitectura del sistema es modular, que consta de seis módulos de adquisición de datos únicos, denominados módulos "inteligentes", cuenta con su propio módulo multi-canalizada con su propio procesador, la memoria, y la dirección multi-drop. El usuario puede seleccionar el número y el tipo adecuado de módulos "inteligentes" para cumplir con el nivel de control de cada aplicación requiere. Todos los módulos están conectados a través de RS-485 (2 hilos) o cable de Ethernet al PLC del usuario o el sistema DCS funcionamiento de nuestro programa de software de diagnóstico maquinaria recíproca On-Guard™.

La arquitectura del sistema es modular, que consta de una familia de módulos de adquisición de datos que es aplicable a los compresores recíprocentes, estos son:

4.9.1 On Guard

Figura 43. Modulo C- Guard



Fuente: Cortesía de Windrock

El diseño único, basado en el módulo C-Guard patentado de Windrock, hace que la instalación sea simple, rápida y de bajo costo. Todos los sensores y los módulos

"inteligentes" están diseñados para ser montados en la cubierta de la máquina, reduciendo de esta manera la longitud de los recorridos de cable y el conducto.

El C-Guard módulo "inteligente" patentado, fue diseñado para proporcionar condiciones mecánicas y control de rendimiento del compresor para aplicaciones críticas de compresores.

El módulo (uno por cilindro) acepta entradas de siete sensores primarios, incluyendo la cabeza y la presión final del cigüeñal, la aspiración y la temperatura de descarga, y la vibración de la cruceta más una referencia de velocidad / fase del cigüeñal y dos canales auxiliares para varilla caída / descentramiento, la vibración del cilindro, o entradas de temperatura adicionales. Todas las entradas son monitoreadas continuamente y el procesador interno calcula compresor PHI, cargas barra, porcentaje de la barra inversión, la eficiencia volumétrica, capacidad, espacios libres, temperatura de descarga teórica, y otros cálculos de rendimiento críticos.

4.9.1.1 Características principales

- Utiliza módulo patentado "inteligente" de Windrock
- condición mecánica integral y control de rendimiento
- Alarmas de carga de la barra excesiva, la falta de inversión de la barra de carga, la caída excesiva varilla o barra de salto
- La arquitectura de sistema modular que se puede configurar con otros módulos On-Guard TM la familia para satisfacer sus requisitos de control
- La instalación es simple, rápido y barato
- Puede ser montado en la cubierta de la máquina para reducir la longitud de tramos de cable.
- Software de diagnóstico para el monitoreo, análisis, informes y tendencias • Opcional On-Guard TM

- On-Guard™ software disponible en un solo usuario y versiones de licencia de red multi-usuario
- Barreras integrados de seguridad intrínseca

Sistema de monitoreo en línea patentada de Windrock C-Guard, utiliza una familia de módulos "inteligentes" para supervisar el rendimiento y el estado mecánico de la maquinaria crítica, proporcionando protección de la máquina continua. El diseño inteligente y único de estos módulos "inteligentes" reduce significativamente el costo de instalación de un sistema.

Cada módulo acepta entradas múltiples de una amplia variedad de sensores. El módulo dispone de su propio procesador y la memoria interna es capaz de realizar cálculos complejos, detección de alarmas, así como la comprobación de errores.

La instalación es rápida y poco costosa debido a que los módulos están montados en los marcos de cada máquina o cilindro y están conectados con un cable de múltiples hilos pequeña.

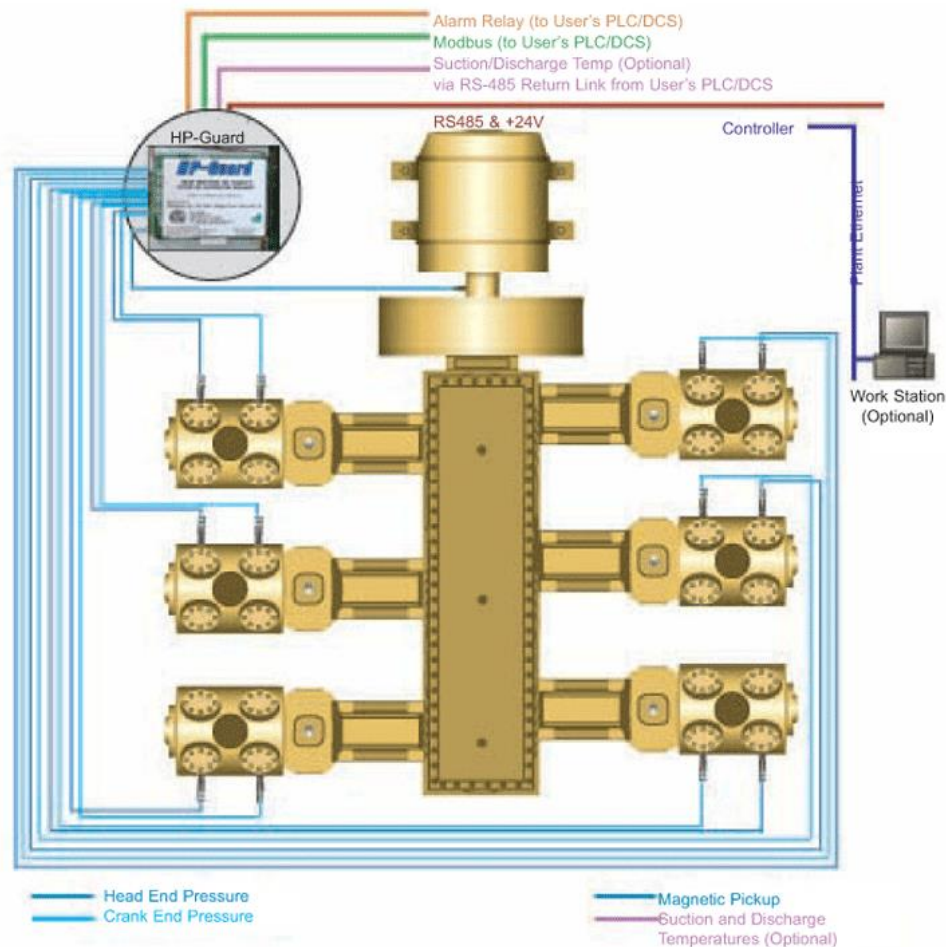
La solución de monitorización de rendimiento del cilindro del compresor fundamental y la condición mecánica es el sistema patentado de siete canales C-Guard. Este módulo inteligente acepta entradas de dos sensores de presión (cabeza y presiones de los cilindros extremos del cigüeñal), dos entradas de temperatura (de succión de gas y la temperatura de descarga), un acelerómetro, caída de barras opcional, y una entrada auxiliar. Además, el monitor C-Guard acepta uno o dos pastillas de velocidad / fase.

El procesador interno supervisa continuamente todas las entradas en "tiempo real" y calcula compresor PHI, varilla de carga, barra de reversión, porcentaje de carga, y la eficiencia volumétrica. Se comparan las entradas y los resultados calculados frente a los niveles de alarma y comunica el valor y las condiciones de alarma de

nuevo a la del usuario de sistemas DCS PLC / vía RS-485 (MODBUS) y / o el software On-Guard diagnóstico TM de Windrock uso en un equipo local o remoto. Un relé de alarma opcional para indicación de alarma remota.

4.9.2 HP Guard

Figura 44. Modulo HP Guard



Fuente: Cortesía de Windrock

El módulo de HP-Guard fue diseñado específicamente para proporcionar un enfoque eficaz, fiable y a bajo costo para determinar la carga real de caballos de fuerza, varilla de carga, y el porcentaje de reversión de varilla. Esto es especialmente

importante para los usuarios que quieren "seguridad" maximizar el rendimiento de sus compresores alternativos.

El módulo HP-Guard acepta hasta doce sensores de presión dinámica (6 cilindros de doble efecto), además de las señales de entrada de ángulo del cigüeñal referencia de velocidad / fase. El procesador interno calcula PHI cilindro final, carga total, carga de la barra, el porcentaje de inversión de la barra y cilindro eficiencias volumétricas finales. Estos datos calculados, junto con succión y la presión de descarga y la velocidad, se comunica al PLC del usuario o el sistema DCS a través del enlace RS-485 COM estándar. Un relé opcional también está disponible para la indicación de alarma remota.

4.9.2.1 Características principales

- Utiliza patentado módulo "inteligente" de Windrock
- Supervisa el rendimiento de hasta 6 cilindros por módulo a través de la presión y entradas de temperatura
- Alarmas de carga de la barra exceso o la falta de inversión de la barra de carga
- La arquitectura de sistema modular que se puede configurar con otros módulos On-Guard TM la familia para satisfacer sus requisitos de control
- La instalación es simple, rápido y barato
- Puede ser montado en la cubierta de la máquina para reducir la longitud de tramos de cable.
- Opcional On-Guard TM Software de diagnóstico para el monitoreo, análisis, informes y tendencias
- On-Guard TM software disponible en un solo usuario y versiones de licencia de red multi-Usuario

El módulo HP-Guard "inteligente", un miembro de nuestra familia On-Guard TM, es una solución online de Windrock para el monitoreo continuo de la potencia

indicada. El módulo ha sido diseñado para aquellos usuarios que quieren "seguridad" maximizar el rendimiento de sus compresores alternativos

La HP-Guard permite un nivel de control para los compresores de pistón no era posible anteriormente. Por ejemplo, conociendo la potencia de carga real, el usuario sabe si o no la máquina está funcionando a una condición de sobrecarga o de subcarga.

Si se necesita más de compresión, el operador sabe, sin depender de las curvas de carga inexactas cuánta carga adicional de la máquina puede llevar.

Cargas Rod y el porcentaje de reversión varilla también se monitorizan continuamente por lo que el usuario puede evaluar la cantidad de tensión y compresión que la varilla está experimentando. Esta información muy importante sobre todo en los compresores de alta velocidad que, si se ignoran, pueden provocar daños catastróficos.

Disponible en versiones de un solo usuario y licencias de red multiusuario

Adquisición de Datos

El módulo HP-Guard acepta hasta doce sensores de presión dinámica (seis cilindros de doble efecto), además de las señales de entrada de ángulo del cigüeñal referencia de velocidad / fase.

El procesador interno calcula PHI cilindro final, carga total, las cargas dinámicas barra, porcentaje de varilla de inversión, y cilindros eficiencias volumétricas finales. Estos datos calculados, junto con succión y la presión de descarga y la velocidad, se comunica al sistema de PLC / DCS del usuario a través del enlace RS-485 COM estándar.

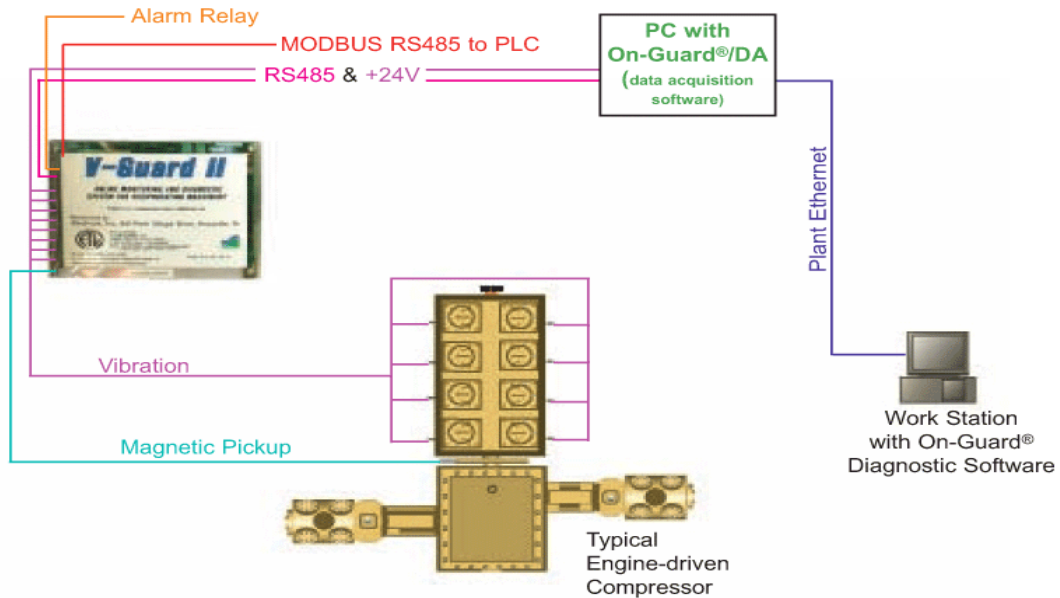
En-Guard™ software puede ser suministrada para proporcionar una visualización de usuario local para el seguimiento y tendencias de los datos de rendimiento del compresor.

Un relé opcional también está disponible para la indicación de alarma remota.

Si las temperaturas de aspiración y de descarga están disponibles en el del usuario del PLC / DCS, los datos pueden ser transferidos a la Módulo HP-Guard vía RS 485-comunicador. Con estas temperaturas disponibles, el HP-Guard puede calcular la capacidad, el balance de flujo, las temperaturas teóricas de descarga y distancias calculadas

4.9.3 V Guard II

Figura 45. Modulo V Guard II



Fuente: Cortesía de Windrock

El V-Guard II es el módulo de la vibración de ocho canales de Windrock. Cada módulo acepta hasta ocho acelerómetros y se puede utilizar como un sistema de monitorización de la vibración autónomo para controlar ya sea maquinaria de movimiento alternativo o centrífugos o, cuando se conecta a RS-485 enlace de Windrock com, para añadir capacidades adicionales de vibración a la C-Guard, HP-Guardia, o E-Guard módulos. Como un dispositivo autónomo, el V-Guard II puede proporcionar ocho canales de datos de vibración al sistema PLC / DCS del usuario a través de RS 485-comunicador. Un relé opcional para indicación de alarma remota

4.9.3.1 Características principales

- Utiliza el módulo "inteligente" de Windrock de 8 canales por módulo de API 670 monitoreo de vibración
- La arquitectura de sistema modular que puede configurarse para satisfacer sus requisitos de control
- La instalación es simple, rápido y barato
- Puede ser montado en la cubierta de la máquina para reducir la longitud de tramos de cable
- Dos puertos de comunicaciones
- PLC / DCS a través de MODBUS
- Los datos dinámicos a software de diagnóstico
- Software opcional On-Guard TM de diagnóstico para el monitoreo, tendencias e informes
- On-Guard TM software disponible en un solo usuario y versiones de licencia de red multi-usuario

El módulo de vibración V-Guard II es la solución de Windrock para el monitoreo de la vibración de la maquinaria de movimiento alternativo y centrífuga. El (8) ódulos de ocho canales, otro miembro de On-Guard de Windrock TM familia de módulos

"inteligentes", tiene su propio procesador, la memoria y es capaz de realizar la detección de la alarma y la comprobación de errores.

Diseño modular V-Guard II permite su uso como un dispositivo de monitoreo de vibración independiente o como parte de un sistema global on-Guard TM, monitorear el rendimiento unitario y condición mecánica.

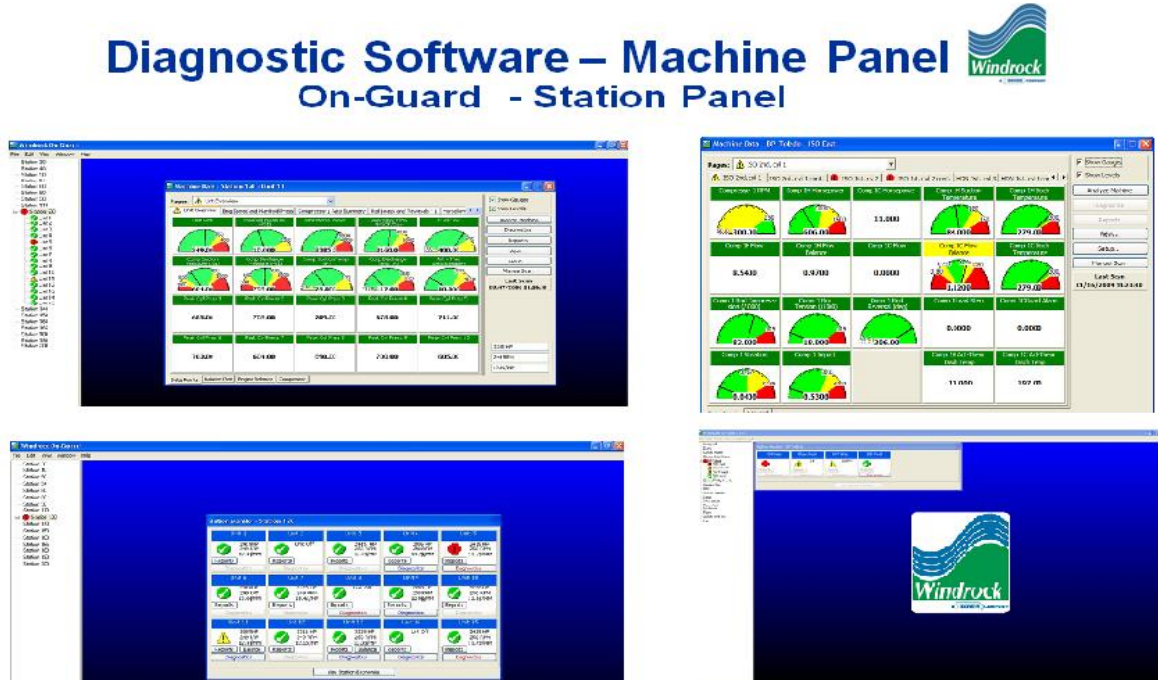
Una de las características realmente únicas del módulo V-Guard II es la capacidad de controlar verdadera vibración pico e impactando en tiempo real, seguimiento continuo de la velocidad (en / s pico), la aceleración (pico de g) y la tensión de polarización en cada canal de cada 1 milisegundo.

Compara próximas entradas contra los límites programables y se comunica a través de RS-485 los valores y las condiciones de alarma de nuevo a la PC del usuario.

El V-Guard II tiene un puerto RS-485 MODBUS incorporado para que su control puede obtener la vibración actual y los valores de impacto. Una estación de trabajo de diagnóstico que se ejecutan en el software-Guard TM ofrece una amplia variedad de informes y gráficos, incluyendo alarmas de maquinaria, sistemas de alarmas, tendencias de varios parámetros, superposiciones de varios parámetros, histogramas estadísticos y correlaciones XY.

4.9.4 software de Diagnostico

Figura 46. Modulo software de diagnostico



Fuente: Cortesía de Windrock

El software On-Guard™ es el monitoreo de Windrock y el programa de software de diagnóstico que se ejecuta en Windows 95 o versiones posteriores. Máquina única, multi-usuario y múltiples versiones de licencia del sitio de la máquina están disponibles. Este sofisticado programa permite al usuario monitorear y traer todas las entradas de datos o los cálculos en el sistema, además de la representación gráfica y la impresión de gráficos e informes dinámicos.

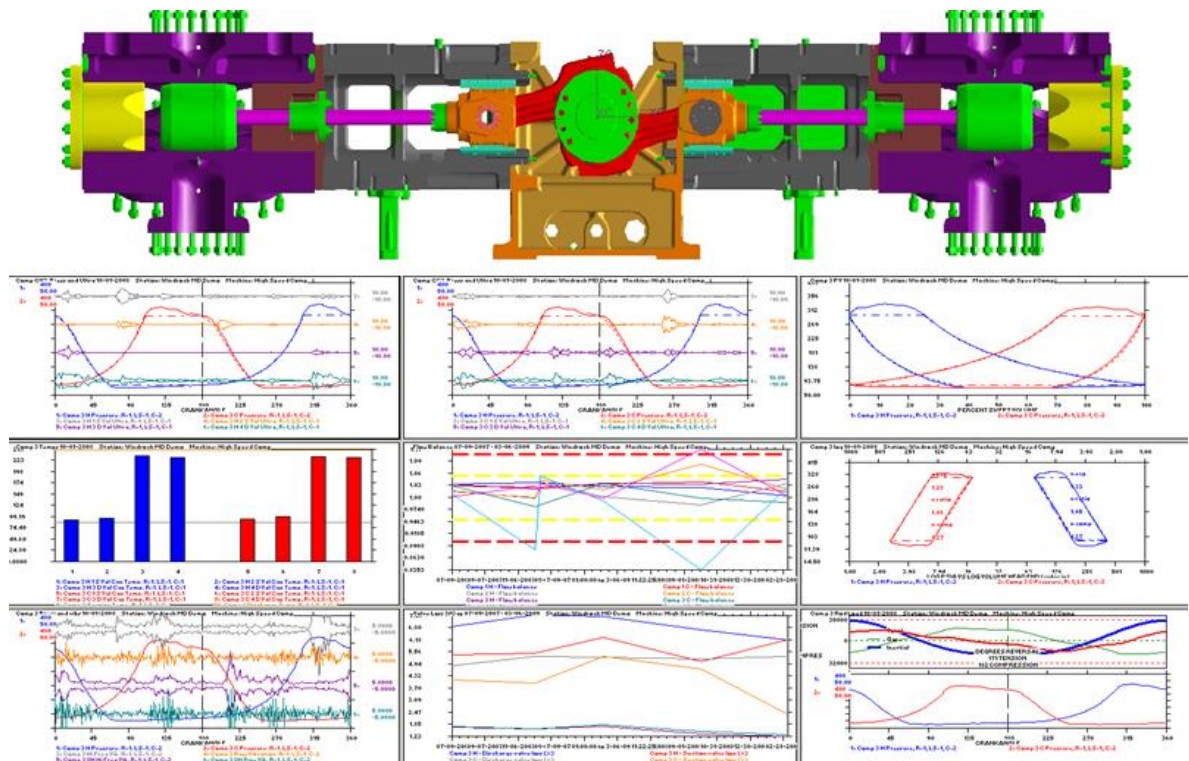
También incluye el "experto" de Windrock módulo de diagnóstico compresor. El módulo A-Guard™ "experto" proporciona alarmas WinWizard para asesorar al personal de planta de la fuga de la válvula, anillos, la falta de inversión de la barra, la sobrecarga del cilindro y los eventos relacionados con las vibraciones que se producen. Estas alarmas significativas son poderosas herramientas a los

operadores y proporcionar información clara por el mal funcionamiento del compresor más típicos

También y además de las características de visualización que muestran estos dos grandes fabricantes, permite además de visualizarlos datos locales, en consolas de operador y demás en campo, puede visualizar vía WEB.

Resumen grafico del sistema de monitoreo en línea

Figura 47. Resumen grafico del sistema de monitoreo en línea



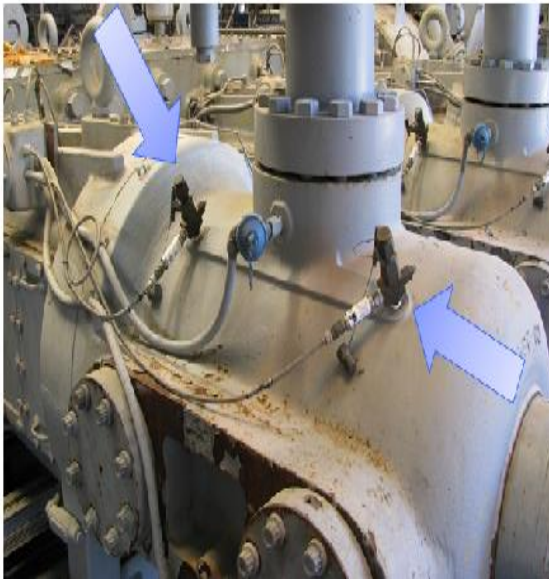
Fuente: Cortesía de Windrock

5. MONTAJE DE ELEMENTOS DEL SISTEMAS DE MONITOREO EN LINEA EN LOS COMPRESORES RECIPROCANTES.

5.1 SENSORES DE PRESIÓN.

Figura 48. Instalación de sensores de presión en cilindros de compresores reciprocantes.

Online Pressure Sensors



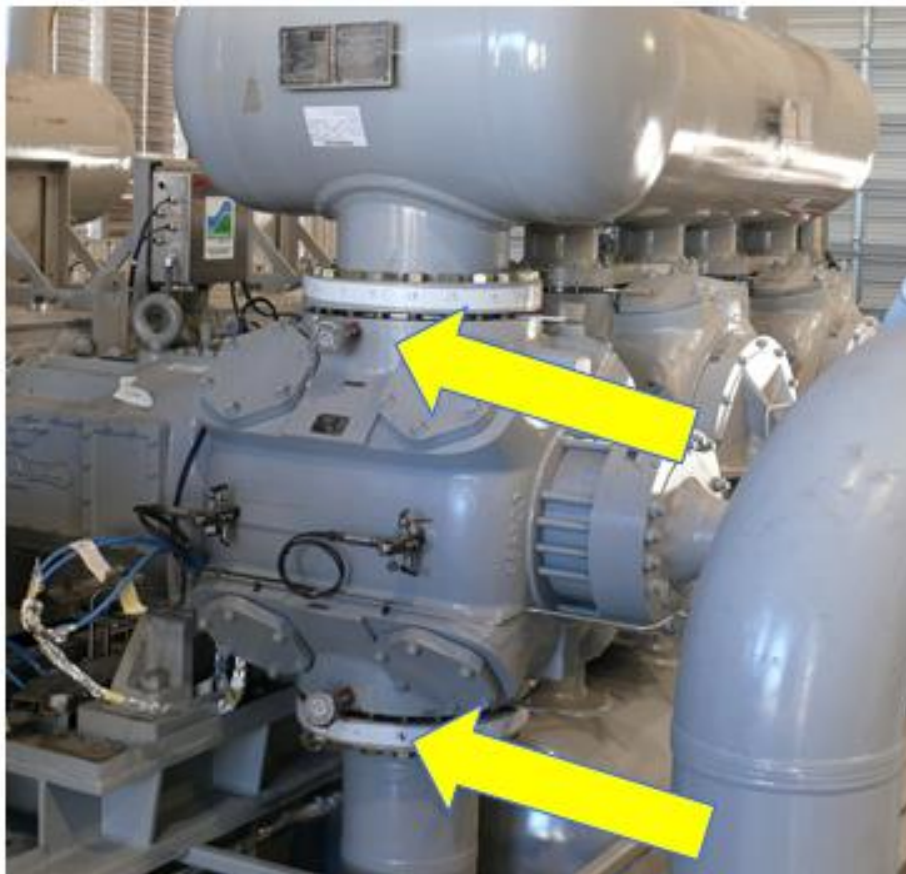
Fuente: Cortesía de Windrock

Este sensor se realiza de manera no intrusiva, se instala al lado y/o parte superior del cilindro compresor.

5.2 SENSORES DE TEMPERATURA.

Figura 49. Instalación de sensores de temperatura en cilindros de compresores recíprocos.

Temperature Sensors



Fuente: Cortesía de Windrock

Este sensor se realiza de manera no intrusiva, se instala a la entrada y salida del gas al cilindro compresor. También se instala de manera interna para monitorear el estado de empaquetadura.

5.3 ACELEROMETROS

Figura 50. Instalación del acelerómetro en cilindros de compresores recíprocos.



Fuente: Cortesía de Windrock

Este sensor se realiza de manera no intrusiva, se instala a lado del cilindro compresor

5.4 SENSORES DE PROXIMIDAD.

Figura 51. Instalación de Sensores de Proximidad en cilindros de compresores recíprocos.



Fuente: Cortesía de Windrock

Este sensor se instala de manera no intrusiva, se instala dentro del compresor apoyándose de la misma tornillería sin necesidad de hacer perforaciones. Este sensor puede tener funciones de medir distancias como son: caída de vástago, estabilidad de cigüeñal, cruceta y demás. Este tipo de instalación es típico para montajes de equipos de monitoreo estacionarios o en línea.

5.5 MAGNETIC PICKUP

Figura 52. Instalación de Sensores Magnetic Pickup en Compresores reciprocantes.

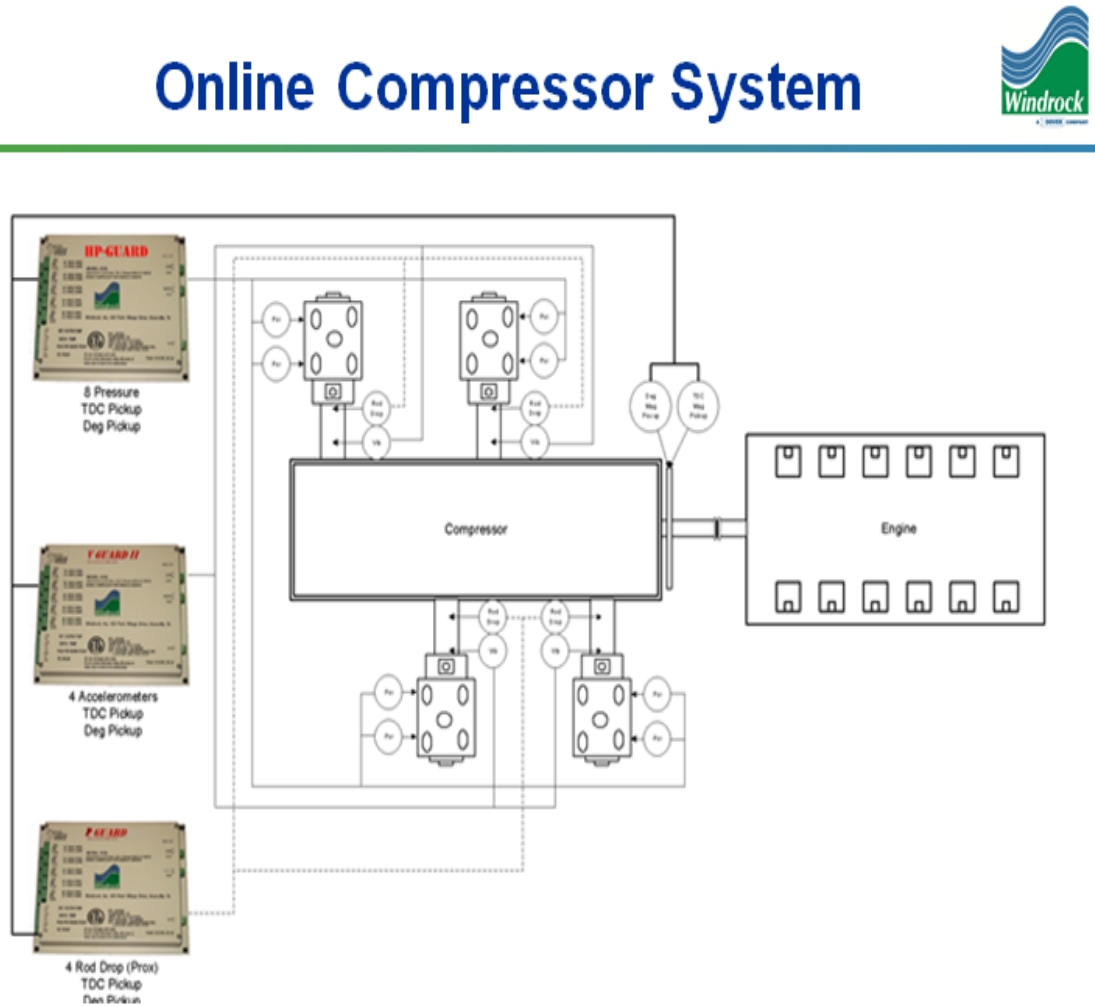


Fuente: Cortesía de Windrock

Este sensor se instala de manera no intrusiva, se instala típicamente en el acople compresor y equipo impulsor (motor de combustión interna, motor eléctrico etc.). Este sensor se ajusta al sistema apoyándose de la misma tornillería sin necesidad de hacer perforaciones. El sensor puede tener funciones de convertir las revoluciones del compresor en forma de pulsos proporcional al número de vueltas.

5.6 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE MONITOREO EN LINEA.

Figura 53. Diagramas generales de Compresor Reciprocantes en línea.



Fuente: Cortesía de Windrock

5.7 PANEL DE CONTROL WINDROCK

Figura 54. Instalación de Paneles de control Windrock en Compresores recíprocos.

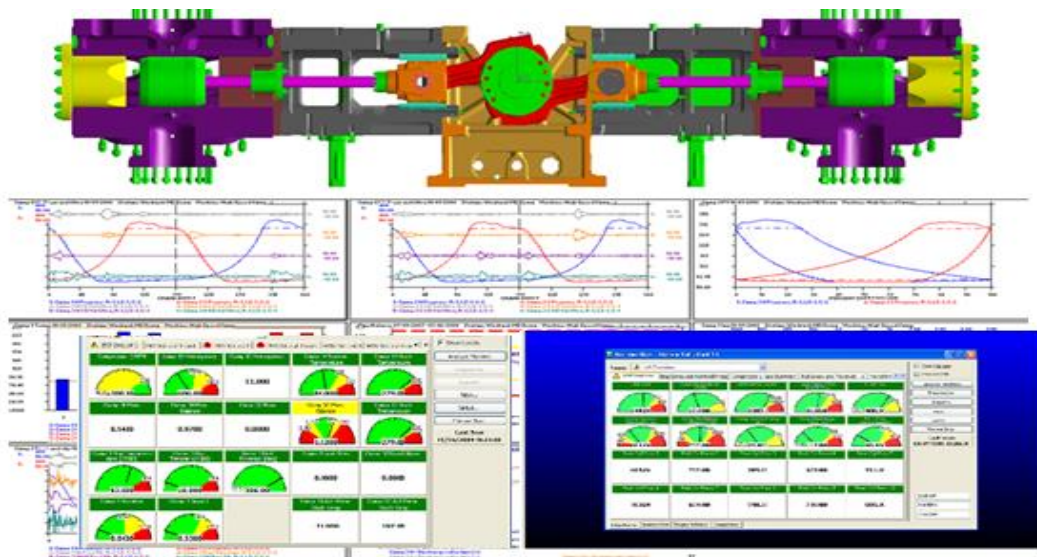
Paneles



Fuente: Cortesía de Windrock

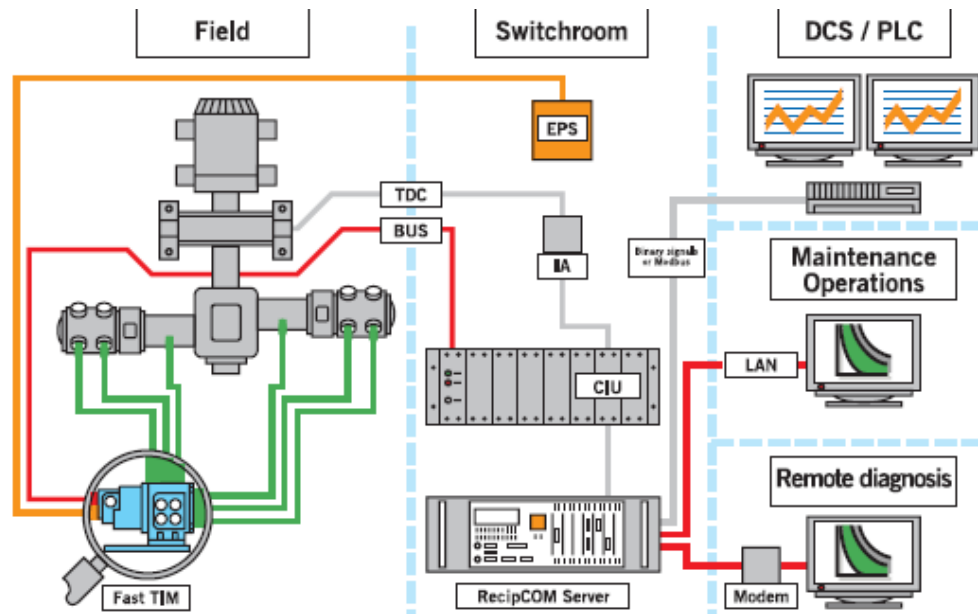
5.8 SISTEMA FINAL DE SISTEMA DE MONITOREO EN LINEA

Figura 55. Sistema Final monitoreo en línea Windrock en Compresores recíprocos.



Fuente: Cortesía de Windrock

Figura 56. Diagrama final monitoreo en línea Windrock en Compresores reciprocantes.



Fuente: Cortesía de Windrock

6. CONCLUSIONES.

Sobre el sistema de monitoreo en línea en comparación de los métodos tradicionales de mantenimiento es decir cuál es o no eficiente los conceptos son muy variados y depende de gran medida de muchos factores para llevar a cabo su implementación. Entre los conceptos que debe medirse para llevar a cabo un estudio en la cual favorezca este tipo de tecnología básicamente se pueden tener estos conceptos como son.

Que tan eficiente quiere ser la Unidad Operativa: es decir, que tanto afecta el equipo compresor al proceso que está instalado.

Extender el tiempo de ejecución entre revisiones o Reducir el tiempo de inactividad no programado. Lo mismo del anterior, si el equipo es crucial y se quiere extender el tiempo de revisiones que recomienda el TBM para reducir costos de mantenimiento y que no afecte su intervención a pérdidas de producción, esta opción puede ser muy favorable para la implementación de esta tecnología, incurriendo que deberá capacitar a personal de la empresa o contratar a un especialista del tema sin con tar con el costo del equipo que puede llegar a ser el 2/5 del valor real del compresor.

También cabe aclarar, que con esta tecnología se evitaría los mantenimientos intrusivos, evita el TBM (mantenimiento basado en tiempo), ahorrando tiempo de paradas y mejor protección del equipo, Identificar oportunidades de mejora en la eficiencia, el rendimiento, la fiabilidad y / o mantenibilidad.

Este análisis de costo beneficio solo es medible si la planta no cuenta con equipo de respaldo, criticidad del producción y valor del producto final. Estos

requerimientos pueden variar de una industria a otra con los mismos requerimientos.

En resumen podemos decir que esta tecnología nos apoya en evitar fallos catastróficos, encontrado o identificando los problema que puede crear un problema más grande. También nos proporciona no solo seguridad del proceso de compresión de gas, sino un aseguramiento de la Calidad de las instalaciones y un medio tecnológico de verificación de los criterios y la calidad antes y durante la adquisición y operación del equipo.

Mejora la Planificación y Programación, Permite a la administración tomar decisiones acerca de los programas de producción y la actividad de mantenimiento. Ayuda a disminuir los inventarios.

Sobre los costos de mantenimiento según el criterio de los fabricantes de este sistemas aseguran que los costos de mantenimiento se reducen a 1/3 de los gastos de mantenimiento por realizar el mantenimiento en el equipo que es perfectamente útil.

Uno de los fabricantes de estos equipos comentan que podemos observar tres características de corto plazo en la mejoras si se implementa esta tecnología a los equipos reciprocantes ya sea motor o compresor como son:

Identificación en el derroche de energía en las mejora en el rendimiento, ya que a etapa temprana podemos identificar fallas de la eficiencia del equipo y por esto se registraría y se ve el ahorro en términos de dólares; reduce salidas de llamadas al departamento de mantenimiento y la realización de mantenimiento extraordinarias en las horas extraordinarias y ayuda a los indicadores de la empresa en disponibilidad de equipos y confiabilidad de los mismos llevándolos a estándares de clase mundo.

También puede decirse que se Ahorraría en stop de compra de Maquinaria disponible (dependiendo de la criticidad del proceso y de la producción), ya que si se realiza un buen seguimiento del comportamiento del equipo y por detección precoz de fallas, se reduce los gastos de repuestos en bodega

Por ultimo con respecto a la inquietud de que si los sistema actuales (Vibraciones, Termografía, Ultrasonido etc). de control que se instalan tradicionalmente para monitorear cualquier tipo de compresor recíproco sea suficiente, según Hoerbiger en su literatura de venta nos expone que para procesos que son críticos , y que no deben permitirse roturas o una operación ineficiente. El monitoreo en línea garantiza un comportamiento fiable, eficiente, seguro y económico. El valor de los costos de reparación de un compresor puede ser realmente alto. Y aún peor, un fallo grave podría provocar un alto riesgo para la seguridad y rentabilidad de la planta.

Por tanto se deja un estudio de cada proceso donde se quiere emigrar a este tipo de tecnología tener estos conceptos que aunque básicos, enmarcaran el camino hacia el estudio de factibilidad en su implementación.

En Colombia, este tipo de tecnología no ha tomado acogida de manera masiva por la estrategia de cada organización, para las empresas transportadoras de gas natural del país se han blindado en la disponibilidad de su proceso, lográndose por la disponibilidad de un equipo en caso de falla y aplicando las rutinas TBM recomendado por el fabricante y las técnicas cotidianas CBM logran gran disponibilidad del proceso. Por ello, no significa que en este país la tecnología no sea útil, sino que utilizan otro tipo de estrategia que en vez de usar recursos para mantener la disponibilidad de lo que se tiene, usan la disponibilidad de un equipos adicional (un equipo en estan Bay), como posible ampliación de la producción y así no quedar corto por decirlo así, de transportar más volumen en algún momento dado, como es el caso del recordado fenómeno del niño, que no es común, pero

se tiene la reserva para un evento de este estilo y responder satisfactoriamente a la demanda.

En esta segunda parte de las conclusiones, se adjuntan tablas genéricas de una serie de datos recopilados de varias fuentes que nos ofrecieron la información y solicitaron quedar en el anonimato por confidencialidad, ya que las cotizaciones investigadas de las Multinacionales que ofrecen este servicio de monitoreo y ventas de repuestos, no permiten la divulgación de la información de manera puntual, es decir que existe una cláusula de confidencialidad con el cliente de NO mostrar el precio de sus productos, aun cuando sean adquiridos por ellos.

Con esta observación se quiere indicar los obstáculos que todavía se presenta en Colombia y más la recopilación de información a manera de Monografía o académica, todo para realizar un análisis de la adquisición o no de esta tecnología de monitoreo en línea de compresores recíprocos. Pero no debemos perder de vista las pautas indicadas anteriormente, se recomienda profundizar con estas bases mostradas pero a nivel de empresa, hacerse a los precios y paquetes que más le convenga a su empresa y reiteramos depende de la criticidad del proceso.

Las fuentes de información principalmente que mostraremos son datos de la empresa HANOVER que nos colaboró con datos aproximados pero se aclara que es información no vinculante; estas informaciones adquiridas fueron la base para organizar de una forma aproximada los precios que se muestran a continuación con fecha 2008.

Tabla 7. Precios aproximados de costo elementos compresores reciprocantes al año 2008.

Item	MODO DE FALLA	Item Reparable	P/N	Cantidad instalada	Cantidad requerida	Costo Unitario Repuestos USD	1 Costo Total Repuestos USD	2 Costo Total Repuestos USD	Costo Parcial USD	Costo Total Mano de Obra USD
1	Packing presion	Packing completo		4	2	1894,34	3788,67		7577,346	
		Kit reparacion		4	2	790,34	1580,67			
2	Crucetas	Crucetas		4	1	3321,62	3321,62		13286,49	
3	Bielas compresoras	Biela		4	1	6769,20	6769,20		27076,812	
4	Casquetes biela compresor	Casquete Biela		4	2	300,44	600,87		1201,746	
5	Casquetes bancada compresor	Casquete bancada		8	2	300,44	600,87		1502,1825	
6	Vastago de piston	Vastago		4	1	1648,55	1648,55	2272,58	4545,156	
		Collar		4	1	271,45	271,45			
		Tuerca		4	1	352,58	352,58			
7	Empaquetadura de aceite	Empaquetadura de aceite		4	2	539,48	1078,96		4315,84	
		Kit reparacion		4	2	256,66	513,32			
8	Anillos de piston	Anillos de piston		5	5	56,01	280,04	640,32	2561,286	
		Banda de desgaste		1	1	360,29	360,29			
9	Pistones compresores	Piston compresor		4	1	4804,36	4804,36		19217,436	
10	Sellos y empaques	Sello Distance P		4	2	30,44	60,88		121,758	
		Sello cilindro		4	2					
11	Cilindro compresor	Cilindro compresor		4	0,5	30788,85	15394,42		123155,382	
12	Bomba de aceite principal compresor	Bomba aceite compr		1	1	2656,02	2656,02		2656,02	
13	Cadena	Chain		1	1	85,59	85,59		85,59	
14	Piñones	SPKT 30T		1	1	84,00	84,00	448,53	897,057	
		SPKT 23T		1	1	141,35	141,35			
		SPKT 23T		1	1	223,18	223,18			
15	Strainer lubricacion compresor	Strainer aceite compr		1	1	255,74	255,74		255,74	
16	Filtros aceite compresor	Filtro Aceite		2	2	162,93	325,86		325,86	
17	Condicion del aceite compresor	80 Galones			1	2208,00	2208,00		2208,00	
18	Valvula termostatica enfriador de aceite compresor			1	1	840,88	840,88		840,88	
19	Intercambiador de calor				1	105,00	105,00		105,00	
20	Termocuplas del cilindro compresor	Termocupla cilindro compresor		4	1	283,12	283,12			
21	Valvulas compresoras succion	Valvula succ completa		16	0,25	1031,45	257,86	92,15	16503,144	
		Kit reparacion valv succ		16	0,75	101,50	76,13			
		Oring		16	0,75	13,19	9,89			
		Gasket		16	0,75	8,17	6,13			
22	Valvulas compresoras descarga	Valvula desc completa		16	0,25	1056,57	264,14	127,19	16905,168	
		Kit reparacion valv succ		16	0,75	148,23	111,17			
		Oring		16	0,75	13,19	9,89			
		Gasket		16	0,75	8,17	6,13			
23	compresor frame			1		57000,00	6769,20		57000,00	
24	Cigüeñal			1		100000,00	100000,00		100000,00	
25	Acople compresor			1		50000,00	50000,00		50000,00	

Fuente: de los Autores.

La tabla anterior, mostro los elementos y precios aproximados a costos del año 2008 y que son elementos más comunes a sufrir deterioro durante su vida operativa.

Con una tabla como esta podemos evaluar si es conveniente instalar un sistema de monitoreo, eso si dependiendo de la importancia del compresor en su proceso o de la disponibilidad de otro. También se tiene encuentra el tiempo de entrega de los repuestos que puede demorar hasta semanas, con ello con un sistema de monitores afianza mas su utilización ya que nos predice y nos informa de mejor manera el comportamiento de los elementos y asi intervenir el equipo de manera preventiva.

A continuación se muestra precios muy aproximados de los diferentes paquetes para el monitoreo.

Tabla 8. Precios promedios por paquetes de protección para sistemas de monitoreo en líneas compresores reciprocantes.

Protecciones monitoreo en Linea	Precio Estimado USD
Vibraciones	\$ 100.000,00
Caida de vastago	\$ 90.000,00
Presiones	\$ 90.000,00
Vibraciones+caida de vastago	\$ 135.000,00
Vibraciones + Presion	\$ 150.000,00
Caida de vastago+ presion	\$ 125.000,00
Vibraciones+Caida de vastago+ presion	\$ 180.000,00

Fuente: Autores.

La tabla anterior, son precios aproximados de los paquetes de protección que pueden ofrecer el sistema de monitoreo en línea.

Según el tipo de protección que se quiera implementar por el comprador, el proveedor arma el paquete y configura el sistema, acomodando y aprovechando las facilidades que ofrece los módulos procesadores reducen significativamente los precios cada vez que se tomen los llamados combos a diferencia que si tomáramos solo monitoreo de vibraciones o solo monitoreo de caída de vástago etc.

La escogencia de cual modulo o no se debe recomendar, los proveedores recomiendan tomar el paquete que más ofrece protección, pero sin embargo ofrece la gama de protecciones que más le convenga al usuario final.

BIBLIOGRAFÍAS

- ARIEL CORPORATION Energía Compresor Gas natural [en línea] Disponible en www.arielcorp.com – Libro Manual Técnico para motores JGK/JGT - Rev. 10/98 Citado 27 de agosto de 2013
- ARIEL Compresores de cilindros opuestos equilibrados para trabajo pesado MANUAL TECNICO [en línea] Disponible en: <http://orion-d.com/img/download/jgk-t-sp.pdf> Citado 3 de agosto de 2013
- ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES. Mantenimiento predictivo –proactivo a través del análisis del aceite [en línea] Disponible en: http://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/3/3206/Curso_Lubricantes.pdf tomado de http://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/3/3206/Curso_Lubricantes.pdf. Citado el 10 de agosto de 2013
- EXPERTISE, RECIPROCATING COMPRESSOR MONITORING AND PROTECTION TAILORED TO YOUR NEEDS [en línea] Disponible en: http://www.hoerbiger.com/upload/file/recipcom_en.pdf. Citado el 17 de Agosto de 2013
- INTRODUCCIÓN A LOS MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD TOMADO DE [en línea] Disponible en: <http://www.maintenanceresources.com/referencelibrary/rcm/rcm1.htm>. Citado el 10 de agosto de 2013
- MONOGRAFÍAS .COM. Compresores reciprocantes [en línea] Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos95/compresores-reciprocantes/compresores-reciprocantes.shtml>. Citado 3 de agosto de 2013

- MURPHY BY ENNOVATION CONTROLS [en línea] Disponible en:<http://www.fwmurphy.co.uk/products/index.htm>. Citado el 17 agosto de 2013
- WINDROCK Presentación Comercial Online Products & Service Overview. [En Línea] Disponible en: www.Windrock.com. Citado el 17 Agosto de 203
- UNIVERSIDAD EXPERIMENTAL RAFAEL MARIA BARALT ASIGNATURA: EQUIPOS DE PROCESO II [en línea] Disponible en :<http://es.scribd.com/doc/84256115/COMPRESORES-RECIPROCANTES> Citada el 27 julio de 2013