



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA**

**“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y
DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS, EN
LA CENTRAL DE FACILIDADES DE PRODUCCIÓN DEL
BLOQUE 15, PETROAMAZONAS, CANTÓN SHUSHUFINDI,
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS”**

AUTOR: ING. DARÍO FERNANDO SÁNCHEZ BARROSO

**Proyecto de Investigación, presentado ante el Instituto de Postgrado y
Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la
obtención del grado de Magíster en GESTIÓN DEL
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

RIOBAMBA – ECUADOR

MAYO - 2015



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Proyecto de Investigación, titulado “ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS, EN LA CENTRAL DE FACILIDADES DE PRODUCCIÓN DEL BLOQUE 15, PETROAMAZONAS, CANTÓN SHUSHUFINDI”, de responsabilidad del Sr. DARIO FERNANDO SANCHEZ BARROSO ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Ing. Fernando Esparza; M. Sc.

PRESIDENTE

.....

Ing. Washington Zabala; M. Sc.

DIRECTOR

.....

Ing. Marco Santillán; M. Sc.

MIEMBRO

.....

Ing. Pablo Sinchiguano M. Sc.

MIEMBRO

.....

COORDINADOR SISBIB ESPOCH

Mayo-2016

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, DARIO FERNANDO SÁNCHEZ BARROSO, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Proyecto de Investigación, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

FIRMA

C.I. 160042572-0

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, DARIO FERNANDO SÁNCHEZ BARROSO, declaro que el presente Proyecto de Investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, 16 de Mayo de 2016

DARIO FERNANDO SÁNCHEZ BARROSO

C.I. 160042572-0

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por su esfuerzo y paciencia, a Petroamazonas, por brindarme las facilidades para la realización de esta investigación, a mi tutor y asesores por sus directrices para el desarrollo de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

	pág.
PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DERECHOS INTELECTUALES.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
TÉRMINOS Y DEFINICIONES.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
 CAPÍTULO I	
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Formulación del problema.....	12
1.4 Sistematización del problema.....	12
1.5 Objetivos.....	13
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	13
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	13
1.6 Justificación.....	14
1.7 Hipótesis.....	14
 CAPÍTULO II	
2. MARCO DE REFERENCIA.....	16
2.1 Marco teórico.....	16
2.2 Marco conceptual.....	19
2.1.1 <i>Fundamentos de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD)</i>	19

2.2.2	<i>Confiabilidad</i>	20
2.2.3	<i>Índices de Confiabilidad</i>	21
2.2.4	<i>Mantenibilidad</i>	24
2.2.5	<i>Índices de Mantenibilidad</i>	25
2.2.6	<i>Disponibilidad</i>	29
2.2.6.1	<i>Disponibilidad genérica</i>	31
2.2.6.2	<i>Disponibilidad inherente</i>	32
2.2.6.3	<i>Disponibilidad alcanzada</i>	32
2.2.6.4	<i>Disponibilidad operacional</i>	33
2.2.6.5	<i>Disponibilidad operacional generalizada</i>	34
2.2.7	<i>Cálculo de los parámetros de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD)</i>	34
2.2.8	<i>Determinación de parámetros</i>	40
2.2.8.1	<i>Método gráfico en papeles de alineación</i>	40
2.2.8.2	<i>Método de mínimos cuadrados</i>	40
2.2.8.3	<i>Método de máxima verosimilitud (MLE)</i>	43
2.2.9	<i>Distribuciones</i>	44
2.2.9.1	<i>Distribución de Weibull</i>	44
2.2.9.2	<i>Distribución log-normal</i>	47
2.2.9.3	<i>Distribución normal</i>	47
2.2.9.4	<i>Distribución exponencial</i>	50
2.2.9.5	<i>Distribución gamma</i>	52
2.2.10	<i>Pruebas de bondad de ajuste (Goodness of Fit)</i>	53
2.2.10.1	<i>Kolmogorov-Smirnov</i>	54
2.2.10.2	<i>Anderson Darling</i>	55
2.2.10.3	<i>J12 Chi Cuadrado</i>	56
2.2.11	<i>Curva de Davies</i>	57
2.2.12	<i>Software - cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste</i>	60

CAPÍTULO III

3.	MÉTODOS Y MATERIALES.....	62
3.1	Tipo de investigación.....	62
3.2	Diseño de la investigación.....	63
3.3	Censo.....	64
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	65
3.5	Fases de la investigación.....	66

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70
4.1	Determinación de los tiempos de buen funcionamiento (UT) y tiempos no operativos (DT).....	70
4.2	Estimación de parámetros de No Confiabilidad del sistema.....	74
4.2.1	<i>Alineación mediante el método de los mínimos cuadrados COM107A.....</i>	<i>75</i>
4.2.1.1	<i>Calidad de la alineación.....</i>	<i>77</i>
4.2.1.2	<i>Pruebas de bondad de ajuste (Goodness of Fit).....</i>	<i>77</i>
4.2.1.3	<i>Análisis de curvas, regresión No Confiabilidad para el COM107A.....</i>	<i>78</i>
4.2.2	<i>Alineación mediante el método de los mínimos cuadrados COM107B.....</i>	<i>79</i>
4.2.2.1	<i>Calidad de la alineación.....</i>	<i>80</i>
4.2.2.2	<i>Pruebas de bondad de ajuste (Goodness of Fit).....</i>	<i>81</i>
4.2.2.3	<i>Análisis de curvas, regresión No Confiabilidad para el COM107B.....</i>	<i>82</i>
4.3	Estimación de parámetros de Mantenibilidad del sistema.....	83
4.3.1	<i>Alineación mediante el método de los mínimos cuadrados COM107A.....</i>	<i>83</i>
4.3.1.1	<i>Calidad de la alineación.....</i>	<i>86</i>
4.3.1.2	<i>Pruebas de bondad de ajuste (Goodness of Fit).....</i>	<i>87</i>
4.3.1.3	<i>Análisis de curvas, regresión Mantenibilidad para el COM107A.....</i>	<i>87</i>

4.3.2	<i>Alineación mediante el método de los mínimos cuadrados</i>	
	<i>COM107B</i>	88
4.3.2.1	<i>Calidad de la alineación</i>	90
4.3.2.2	<i>Pruebas de bondad de ajuste (Goodness of Fit)</i>	90
4.3.2.3	<i>Análisis de curvas, regresión Mantenibilidad para el COM107B</i>	91
4.4	<i>Cálculo de la Disponibilidad del sistema de compresión de gas</i>	91
4.5	<i>Índices de Confiabilidad</i>	92
4.5.1	<i>Confiabilidad</i>	92
4.5.2	<i>No Confiabilidad o Infiabilidad</i>	93
4.5.3	<i>Densidad de probabilidad de fallas</i>	93
4.5.4	<i>Tasa de fallas</i>	93
4.5.5	<i>Tiempo medio entre fallas (MTBF)</i>	94
4.5.6	<i>Duración de vida asociada a la Confiabilidad</i>	94
4.6	<i>Índices de Mantenibilidad</i>	94
4.6.1	<i>Mantenibilidad</i>	95
4.6.2	<i>Densidad de reparaciones</i>	95
4.6.3	<i>Tiempo medio entre reparaciones (MTTR)</i>	95
4.7	<i>Estrategias de Mantenimiento</i>	97
CONCLUSIONES		101
RECOMENDACIONES		104
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1-1: Bloque 15, Petroamazonas EP.....	3
Figura 2-1: Islas de producción (Well Pads) del bloque15.....	3
Figura 3-1: Vista principal de la Central de Facilidades de Producción.....	4
Figura 4-1: Subsistema COM107A y COM107B.....	4
Figura 5-1: Subsistema de acumulación de gas.....	5
Figura 6-1: Gráfico de órdenes de trabajo correctivas del sistema de compresión de gas.....	6
Figura 7-1: Gráfico de órdenes de trabajo correctivas por cada área de Mantenimiento COM107A.....	7
Figura 8-1: Gráfico de costo de Mantenimiento correctivo del COM107A vs sistema.....	9
Figura 9-1: Gráfico de órdenes de trabajo correctivas por cada área de Mantenimiento COM107B.....	10
Figura 10-1: Gráfico de costo de Mantenimiento correctivo del COM107A vs sistema.....	11
Figura 1-2: Curvas de Confiabilidad, No Confiabilidad, densidad y tasa de fallos.....	28
Figura 2-2: Curvas de Mantenibilidad, densidad de reparaciones y tasa de fallos.....	28
Figura 3-2: Diagrama UT y DT, siglas y nomenclaturas.....	30
Figura 4-2: Modelo universal e integral, propuesto para la medición CMD.....	39
Figura 5-2: Ajuste de una línea recta en los ejes X o Y.....	41
Figura 6-2: Parámetro de forma beta de Weibull.....	45
Figura 7-2: Función de tasa de fallas en Weibull.....	45
Figura 8-2: Función de densidad de probabilidad de fallas en Weibull.....	46
Figura 9-2: Función acumulada de fallas o función de No Confiabilidad en Weibull.....	46
Figura 10-2: Función de Confiabilidad para log normal con varias desviaciones σ y una misma media μ	48

Figura 11-2:	Función de tasa de fallas λ en distribución logarítmica.....	48
Figura 12-2:	Función de densidad de probabilidad de fallas en distribución normal.....	49
Figura 13-2:	Función de Confiabilidad en distribución normal.....	50
Figura 14-2:	Función de No Confiabilidad distribución normal.....	50
Figura 15-2:	Función densidad de probabilidad de falla en distribución exponencial.....	51
Figura 16-2:	Función de No Confiabilidad distribución exponencial.....	51
Figura 17-2:	Función de Confiabilidad distribución exponencial.....	52
Figura 18-2:	Función de Confiabilidad distribución gamma.....	52
Figura 19-2:	Función de densidad de probabilidad de falla distribución gamma.....	53
Figura 20-2:	Valores críticos en Anderson Darling.....	56
Figura 21-2:	Curva básica de la bañera.....	57
Figura 22-2:	Fases de curva de la bañera o de Davies.....	58
Figura 23-2:	Curva de Davies, acciones y tácticas adecuadas acorde al valor del beta.....	59
Figura 24-2:	Zonas comunes del beta en Weibull con otras distribuciones.....	59
Figura 25-2:	Software - cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, ingreso de datos.....	60
Figura 26-2:	Software - cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, resultados.....	61
Figura 1-4:	Base de datos, ordenes de trabajo sistema COM107.....	71
Figura 2-4:	Inclusión de horómetros a cada OT.....	71
Figura 3-4:	Cálculo de UT y DT.....	72
Figura 4-4:	Refinamiento de UT y DT.....	72
Figura 5-4:	Gráfico de ajuste de una línea recta en los ejes X y Y.....	76
Figura 6-4:	Gráfico, curva de Confiabilidad, No Confiabilidad, densidad de fallas y tasa de fallas del COM107A.....	78
Figura 7-4:	Gráfico de ajuste de una línea recta en los ejes X y Y.....	80
Figura 8-4:	Gráfico, curva de Confiabilidad, No Confiabilidad, densidad de fallas y tasa de fallas del COM107B.....	82

Figura 9-4:	Gráfico de ajuste de una línea recta en los ejes X y Y.....	86
Figura 10-4:	Gráfico, curva de Mantenibilidad y densidad de reparaciones COM107A.....	88
Figura 11-4:	Gráfico de ajuste de una línea recta en los ejes X y Y.....	89
Figura 12-4:	Gráfico, curva de Mantenibilidad y densidad de reparaciones COM107B.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

		pág.
Tabla 1-4:	Descripción de los campos de la base de datos de MAXIMO.....	70
Tabla 2-4:	UT y DT de los subsistemas COM107A y COM107B.....	73
Tabla 3-4:	Métodos de estimación para la No Confiabilidad del COM107A.....	74
Tabla 4-4:	Métodos de estimación para la No Confiabilidad del COM107B.....	75
Tabla 5-4:	Alineación, método de los mínimos cuadrados COM107A.....	76
Tabla 6-4:	Pendiente e intercepto de la recta alineada, regresión F (t) COM107A.....	76
Tabla 7-4:	Determinación de parámetros, regresión F (t) COM107A.....	76
Tabla 8-4:	Resultados ecuaciones de calidad de alineación COM107A.....	77
Tabla 9-4:	Resultados pruebas de bondad de ajuste F (t) COM107A.....	77
Tabla 10-4:	Alineación, método de los mínimos cuadrados COM107B.....	79
Tabla 11-4:	Pendiente e intercepto de la recta alineada, regresión F (t) COM107B.....	79
Tabla 12-4:	Determinación de parámetros, regresión F (t) COM107B.....	80
Tabla 13-4:	Resultados ecuaciones de calidad de alineación COM107B.....	81
Tabla 14-4:	Resultados pruebas de bondad de ajuste F (t) COM107B.....	81
Tabla 15-4:	Métodos de estimación para la Mantenibilidad del COM107A.....	84
Tabla 16-4:	Métodos de estimación para la Mantenibilidad del COM107B.....	84
Tabla 17-4:	Alineación, método de los mínimos cuadrados, regresión M (t) COM107A.....	85
Tabla 18-4:	Pendiente e intercepto de la recta alineada, regresión M (t) COM107A.....	85

Tabla 19-4:	Determinación de parámetros, regresión M (t) COM107A.....	85
Tabla 20-4:	Resultados ecuaciones de calidad de alineación, regresión, M (t) COM107A.....	86
Tabla 21-4:	Resultados pruebas de bondad de ajuste M (t) COM107A.....	87
Tabla 22-4:	Alineación, método de los mínimos cuadrados, regresión M (t) COM107B.....	88
Tabla 23-4:	Pendiente e intercepto de la recta alineada, regresión M (t) COM107B.....	89
Tabla 24-4:	Determinación de parámetros, regresión M (t) COM107B.....	89
Tabla 25-4:	Resultados ecuaciones de calidad de alineación, regresión, M (t) COM107B.....	90
Tabla 26-4:	Resultados pruebas de bondad de ajuste M (t) COM107B.....	90
Tabla 27-4:	Resultados índices de Confiabilidad COM107A.....	96
Tabla 28-4:	Resultados índices de Mantenibilidad COM107A.....	96
Tabla 29-4:	Resultados índices de Confiabilidad COM107B.....	96
Tabla 30-4:	Resultados índices de Mantenibilidad COM107B.....	97
Tabla 31-4:	Modos de fallo, causas y consecuencias del sistema de compresión.....	98

ÍNDICE DE ECUACIONES

		pág.
Ecuación 1:	Confiabilidad distribución Weibull.....	21
Ecuación 2:	Confiabilidad distribución Exponencial.....	22
Ecuación 3:	Probabilidad de fallo, distribución Weibull y Exponencial.....	22
Ecuación 4:	Densidad de probabilidad de fallo, distribución Weibull.....	22
Ecuación 5:	Densidad de probabilidad de fallo, distribución Exponencial.....	23
Ecuación 6:	Tasa de fallos, distribución Weibull.....	23
Ecuación 7:	Tasa de fallos, distribución Exponencial.....	23
Ecuación 8:	Tiempo medio entre fallas, distribución Weibull.....	24
Ecuación 9:	Tiempo medio entre fallas, distribución Exponencial.....	24
Ecuación 10:	Mantenibilidad, distribución Weibull.....	26
Ecuación 11:	Mantenibilidad, distribución Exponencial.....	26
Ecuación 12:	Densidad de reparaciones, distribución Weibull.....	26
Ecuación 13:	Densidad de reparaciones, distribución Exponencial.....	27
Ecuación 14:	Tiempo medio para reparar, distribución Weibull.....	27
Ecuación 15:	Tiempo medio para reparar, distribución Exponencial.....	27
Ecuación 16:	Disponibilidad.....	29
Ecuación 17:	Disponibilidad genérica.....	31
Ecuación 18:	Disponibilidad genérica ampliada.....	31
Ecuación 19:	Tiempo medio entre fallas cuando $MTBF \cong UT$	32
Ecuación 20:	Down Time en función de tiempos logísticos.....	32
Ecuación 21:	Disponibilidad Inherente.....	32

Ecuación 22:	Disponibilidad Alcanzada.....	32
Ecuación 23:	Tiempo medio entre mantenimientos.....	33
Ecuación 24:	Tiempo medio entre mantenimientos en función de mantenimientos correctivos y preventivos.....	33
Ecuación 25:	Disponibilidad operacional.....	33
Ecuación 26:	Disponibilidad operacional generalizada.....	34
Ecuación 27:	Método de los mínimos cuadrados.....	40
Ecuación 28:	Pendiente (b).....	41
Ecuación 29:	Intercepto (a).....	41
Ecuación 30:	Parámetro de escala (η).....	42
Ecuación 31:	Parámetro de forma (β).....	42
Ecuación 32:	Ajuste.....	42
Ecuación 33:	Error estándar.....	42
Ecuación 34:	Coeficiente de determinación muestral R^2	43
Ecuación 35:	Coeficiente de correlación R.....	43
Ecuación 36:	Máxima verosimilitud.....	44
Ecuación 37:	Máxima verosimilitud.....	44
Ecuación 38:	Prueba Kolmogorov-Smirnov.....	54
Ecuación 39:	Kolmogorov-Smirnov, valor crítico.....	54
Ecuación 40:	Prueba de Anderson Darling.....	55
Ecuación 41:	Prueba Ji^2 Chi cuadrado.....	56

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Confiabilidad R (t):	Probabilidad de que un equipo opere sin fallas, durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación.
Mantenibilidad M (t):	Probabilidad de que un equipo o sistema pueda volver a su estado normal de operación después de ser intervenido.
Disponibilidad (A):	Probabilidad que un equipo opere satisfactoriamente, cuando éste sea requerido.
UT:	Tiempo útil (Up Time), tiempo en el que el equipo funciona correctamente.
DT:	Tiempo no operativo (Down Time), tiempo en el que el equipo deja de funcionar a causa de una falla.
TBF:	Tiempo de buen funcionamiento, tiempo entre fallas.
TTR:	Tiempo para reparar, tiempo que demora la reparación neta de un equipo.
MTBF:	Tiempo medio entre fallas (Mean Time Between Failure), tiempo promedio de funcionamiento del equipo hasta la falla.
MTTR:	Tiempo medio para reparar (Mean Time To Repair), tiempo promedio de reparación del equipo, hasta la puesta en marcha.
CMD:	Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad, técnica que permite ejercer control sobre el sistema de gestión de mantenimiento.
RAM:	Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad, técnica que permite ejercer control sobre el sistema de gestión de mantenimiento.
TPM:	Mantenimiento productivo total.
RCA:	Análisis causa raíz.
RCM:	Mantenimiento centrado en confiabilidad.
SoFu:	Estado de funcionamiento correcto de equipo.
SoFa:	Estado de Falla, el equipo no funciona correctamente.
CPF:	Central de Facilidades de Producción.
EP:	Empresa Pública.
OT:	Orden de trabajo.

RESUMEN

La investigación, análisis de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad, del sistema de compresión de gas de la central de facilidades de producción del bloque 15, Petroamazonas EP, situado en el cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos se situó en la fase II de madurez o vida útil dentro de la curva de Davies. Se establecieron las ecuaciones matemáticas que gobiernan cada uno de sus subsistemas, las mismas que permitieron conocer el estado actual del sistema y predecir su comportamiento futuro. La metodología utilizada para la obtención de la Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD), fue la propuesta por el autor Mora Gutiérrez, en donde se inició analizando los datos de tiempo de buen funcionamiento (UT) y tiempo no operativo por reparación (DT). La disponibilidad (inherente) fue seleccionada de acuerdo al contexto operativo de la empresa. Los datos fueron obtenidos mediante investigación documental y sustentada además con entrevistas a personal de operación y mantenimiento de la empresa. Se estimó los parámetros de no confiabilidad para el COM107A 47.84%, COM107B 26.01%, en un periodo de 1080 horas y de mantenibilidad para el COM107A 66.87%, COM107B 67.03% para un lapso de 24 horas. Posteriormente se obtuvieron los valores de beta (β) para el COM107 0.98, COM107B 1.29, eta (η) COM107A 1474.02, COM107B 857.52, tiempo medio entre fallas (MTBF) COM107A 1484.18 horas y COM107B 793.02 horas, y tiempo medio entre reparaciones (MTTR) COM107A 21 horas, COM107B 23.5 horas. Con esto se concluyó que el COM107B es el subsistema de mayor criticidad y de alta prioridad dentro del sistema de compresión de gas. En base a los resultados obtenidos se recomendó a la Superintendencia de mantenimiento del bloque 15 de Petroamazonas EP, el ajuste de las frecuencias de mantenimiento preventivo y predictivo de los subsistemas COM107A y COM107B, que componen el sistema de compresión de gas.

Palabras Clave: <TIEMPO DE BUEN FUNCIONAMIENTO>, <TIEMPO NO OPERATIVO>, <PARÁMETRO DE FORMA (BETA)>, <PARÁMETRO DE ESCALA (ETA)>, < TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS>, < TIEMPO MEDIO PARA REPARAR>, <CONFIABILIDAD>, <MANTENIBILIDAD>, <DISPONIBILIDAD>, <PRODUCCIÓN PETROLERA>, <BLOQUE 15 PETROAMAZONAS EP>, <SHUSHUFINDI (CANTÓN)>, <SUCUMBÍOS (PROVINCIA)>, <SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS>

SUMMARY

The present research was led to an analysis of Reliability, Maintainability and Availability from Gas Compression System of central production facilities Block 15, Petroamazonas EP, located in Shushufindi, Sucumbíos province; it stood in phase II maturity or life within the curve Davies. The mathematical equations that govern each of its subsystem were established, which allowed them to know the current state of the system and predict their future behavior. The methodology used to obtain reliability, maintainability and availability (RAM), was proposed by the author Mora Gutierrez, where began analyzing data from up time (UT) and down time (DT). Availability (inherent) was select according to the operating context of the company. Data were obtained through documentary research and further supported by interviews with operating and maintenance personnel of the A company. Unreliability parameters for COM107A 47.84%, 2601% COM107B was estimated over a period of 1080 hours and maintainability for COM107A 66.87%, 67.03% COM107B within 24 hours. Then the values were obtained (β) for COM107A 0.98, COM107B 1.29, eta (η) COM107A 1474.02 COM107B 857.52, mean time between failures (MTBF) COM107A 1484.18 COM107B 793.02 hours and hours and mean time between repair (MTTR) were obtained COM107A 21 hours COM107B 23.5 Hours. With this it was concluded that the COM107B is the most critical subsystem and high priority system center of gas compression. Based on the results obtained were recommend the Superintendence of Maintenance Block 15 Petroamazonas EP, adjusting the frequency of preventive and predictive maintenance of COM107A and COM107B subsystems, comprising the gas compression system.

Keywords: <UP TIME>, <DOWN TIME>, <SHAPE PARAMETER BETA >, < SCALE PARAMETER ETA>, < MEAN TIME BETWEEN FAILURES>, <MEAN TIME TO REPAIR> <RELIABILITY> <MAINTAINABILITY> <AVAILABILITY>, <PRODUCTION OIL>, <BLOCK 15 PETROAMAZONAS EP>, <SHUSHUFINDI (CANTON) SUCUMBÍOS (PROVINCE)>, <GAS COMPRESSION SYSTEM>

CAPITULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

En el bloque quince (15), perteneciente a la empresa estatal petrolera Petroamazonas EP, ubicado en la provincia de Sucumbíos, se encuentra la Central de Facilidades de Producción CPF. Uno de los sistemas de mayor criticidad dentro de la operación es el sistema de compresión de gas, debido a que es el encargado de suministrar el combustible (gas) para la generación de energía eléctrica, entre otras aplicaciones dentro del campo.

De aquí la necesidad de mantener un control total del mantenimiento, garantizando la disponibilidad operativa en todo momento. Además de contar con una herramienta que oriente a la toma de decisiones inmediatas acorde a contexto operacional del sistema.

El objetivo de la investigación se basa en proponer la optimización del mantenimiento del sistema de compresión de gas en base al análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. Con lo cual se espera tener un control sobre el sistema de mantenimiento.

Para esto se realiza el análisis de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad, basado en la metodología propuesta por el autor Mora, donde se empieza tomando los datos de tiempos de buen funcionamiento (UT) y tiempo de fuera de operación por reparación (DT), de la bitácora de mantenimiento.

Con los datos obtenidos se procede a parametrizar y modelar estadísticamente mediante la distribución de Weibull. Se logra con esto ubicar el sistema dentro de la curva de Davies, y así recomendar las mejores estrategias de mantenimiento. Los índices de confiabilidad y mantenibilidad, permiten conocer el estado actual del sistema y predecir acciones futuras.

En este estudio se realiza además, como plan piloto para la inclusión de técnicas predictivas mediante modelación estadística y matemática dentro de la empresa estatal petrolera

1.2 Planteamiento del problema

Petroamazonas EP, es una empresa pública ecuatoriana dedicada a la exploración y producción de hidrocarburos. Opera 20 bloques, 17 ubicados en la cuenca Oriente del Ecuador y tres en la zona del Litoral.

Varios puntos de su operación cuentan con las certificaciones ISO 9001, de calidad; la certificación ambiental ISO 14001; de seguridad industrial y salud ocupacional OHSAS 18001 (Sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional).

El bloque quince (15), se encuentra localizado en la comunidad de Limoncocha, cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos. Éste actualmente produce aproximadamente, treinta mil cien (30100) barriles por día (Bbls/día) de petróleo, doscientos cinco mil ochocientos (205800) Bbls/día de agua y seis mil cuarenta y cinco (6045) MSCF millones de pies cúbicos por día de gas. (Petroamazonas, 2015)

El fluido extraído es una mezcla de crudo, gas y agua, el cual mediante procesos de separación trifásicos es separado para la obtención del producto final, el petróleo.

El petróleo es bombeado, a través del oleoducto, mientras que sus efluentes son tratados en la central de facilidades de producción (CPF).

El agua de formación es reinyectada nuevamente al subsuelo, mientras que el gas es procesado y aprovechado como combustible en hornos, incineradores y su principal aplicación en la generación de energía eléctrica.

El gas empleado en la central de generación, proviene de un sistema de compresión de gas, conformado por dos subsistemas que se denominan; skid de compresión COM107A y COM107B, de los cuales uno se encuentra siempre operativo y el otro en stand by

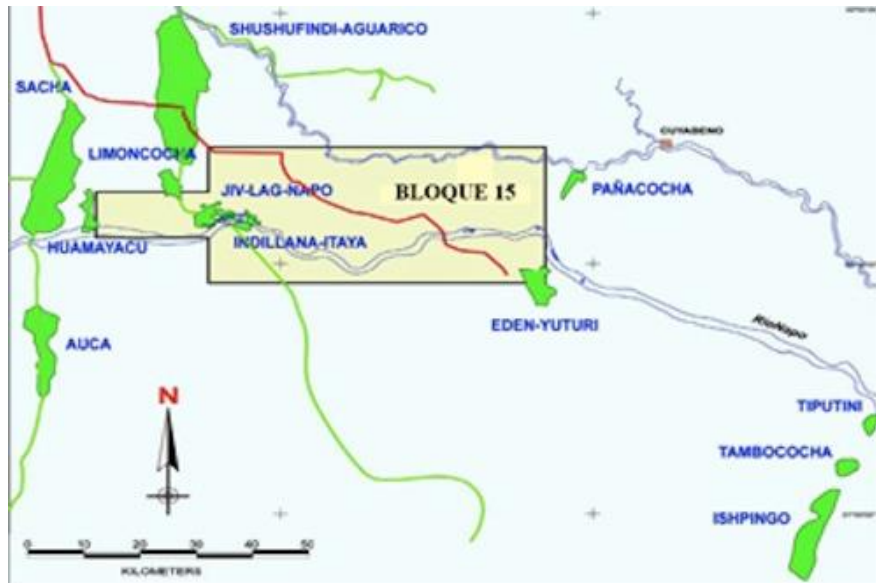


FIGURA 1-1. Bloque 15, Petroamazonas EP
Fuente: Petroamazonas EP

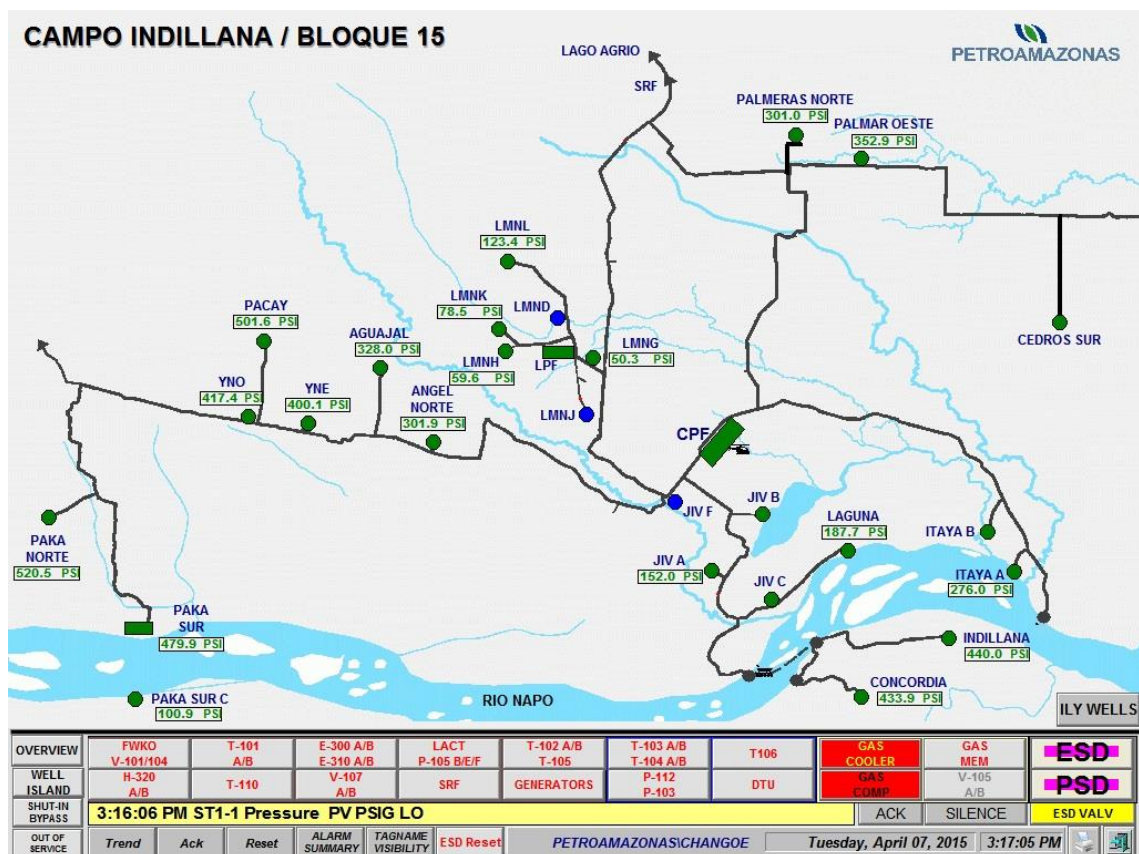


FIGURA 2-1. Islas de producción de producción (Well Pads) del bloque 15
Fuente: Sistema Scada, Petroamazonas EP

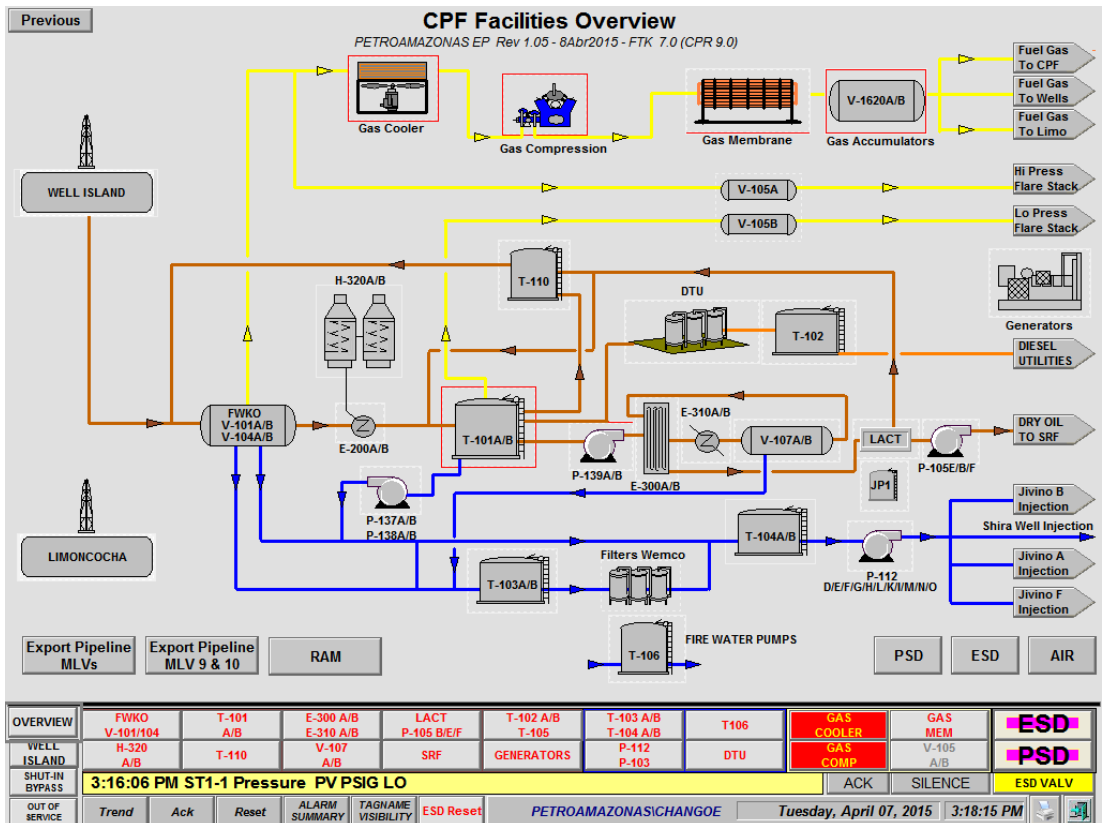


FIGURA 3-1. Vista principal de la central de facilidades de producción
 Fuente: Sistema Scada, Petroamazonas EP

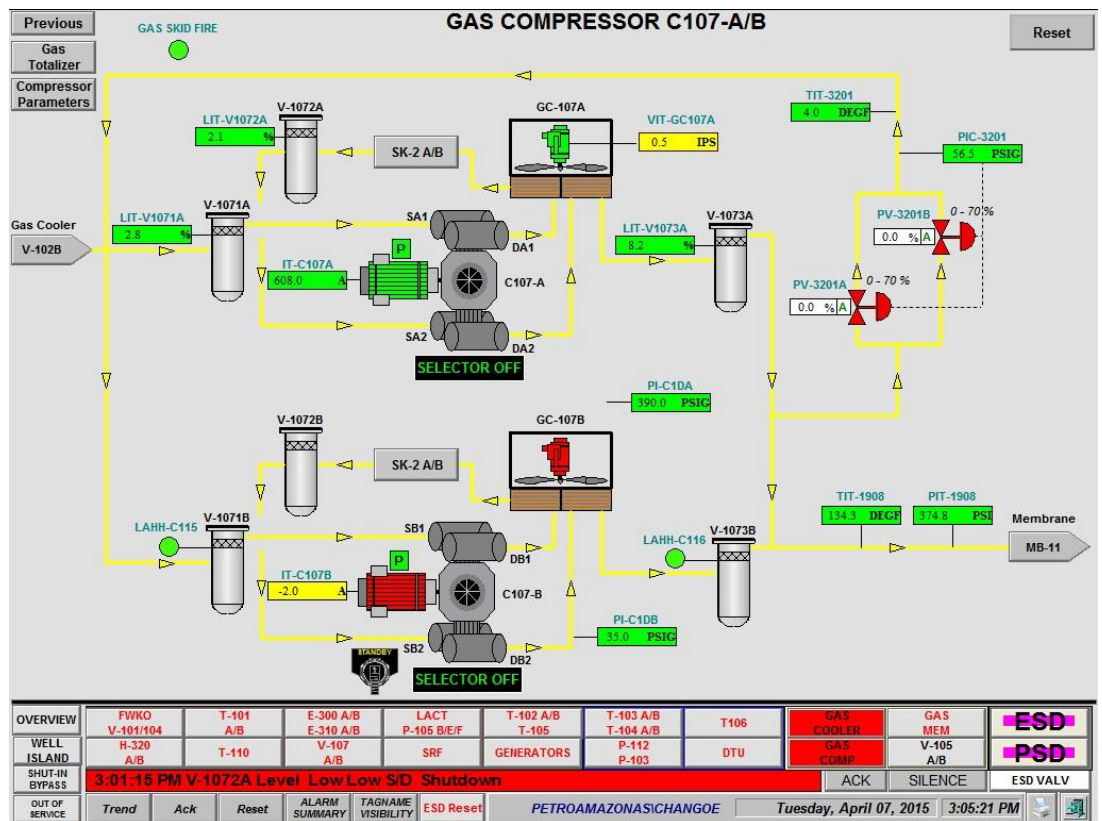


FIGURA 4-1. Subsistema COM107A y COM107B
 Fuente: Sistema Scada, Petroamazonas EP

Cada uno de los subsistemas está compuesto por un compresor recíprocante de gas marca Ariel de cuatro (4) etapas, cuya potencia es ochocientos sesenta (860) BHP y gira a una velocidad de 1200 rpm (revoluciones por minuto), éste se encuentra acoplado a un motor eléctrico, componentes de acumulación, enfriamiento, refrigeración, control y seguridad. Ver figura 4-1. Ver Anexo O.

A continuación del sistema de compresión, se encuentra un sistema de membranas que se encarga de separar parte del CO₂ contenido en el gas, con el fin de mejorar el poder calórico antes de su uso.

El sobrante CO₂ con trazas de gas es enviado a la chimenea (FLARE) y quemado al ambiente, mientras que gas tratado se almacena en dos acumuladores de noventa y tres punto tres (93.3) m³ cada uno. (Petroamazonas, 2012)

El gas tratado y acumulado es utilizado como combustible en nueve (9) motores Jenbacher que generan un promedio de cinco punto ocho (5.8) mega watts [MW] con un consumo medio diario de mil setecientos cincuenta y cuatro (1754) millones de pies cúbicos estándar (mscf). Cuatro (4) motores Waukesha que generan un promedio de dos punto cuatro (2.4) mega watts [MW] con un consumo medio de ochocientos (800) millones de pies cúbicos estándar. (Petroamazonas, 2015)

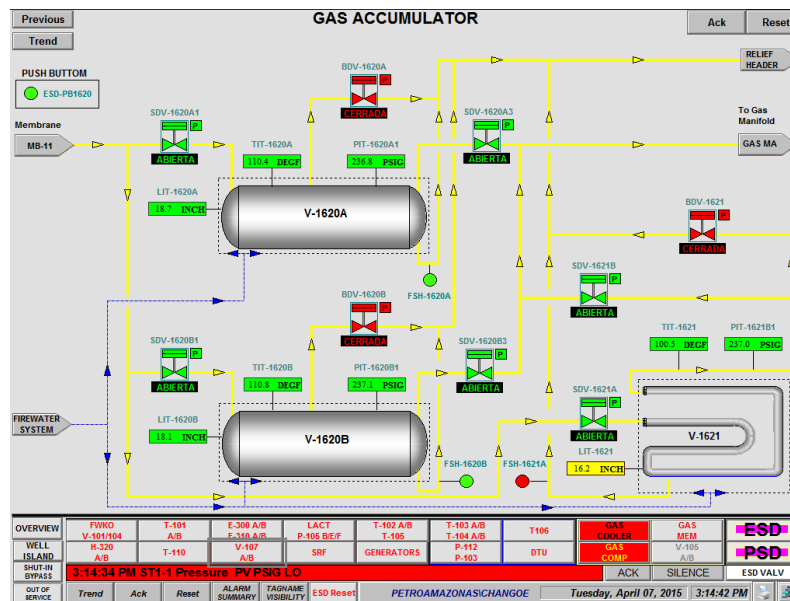


FIGURA 5-1. Subsistema de acumulación de gas
Fuente: Sistema Scada, Petroamazonas EP

Uno de los sistemas de alta criticidad dentro de la planta de procesos de CPF, es el sistema de compresión de gas. Éste como se mencionó anteriormente es uno de los pilares fundamentales para la generación eléctrica a bajo costo.

A lo largo de su vida operativa, el sistema de compresión de gas, ha presentado fallas recurrentes dentro de sus principales subsistemas, componentes y/o elementos.

Es así que dentro del historial de mantenimiento extraído de la base de datos del sistema para la gestión de activos EAM MÁXIMO OIL & GAS, se evidencia claramente el número de órdenes de trabajo (OT), correctivas que han presentado los activos que conforman el sistema. Ver ANEXO A.

La presente investigación se realiza para un periodo de nueve años (9), debido a que la base de datos de MÁXIMO OIL & GAS, se encuentra cargada desde 2007 hasta 2015.

Según (EAM MAXIMO OIL & GAS, 2015), en los últimos nueve (9) años, el sistema ha presentado un total de ciento diecinueve (119) órdenes de trabajo correctivas, de las cuales se atribuyen sesenta y cinco (65) al COM107A (55%) y cincuenta y cuatro (54) al COM107B (45%).

ÓRDENES DE TRABAJO CORRECTIVAS SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS

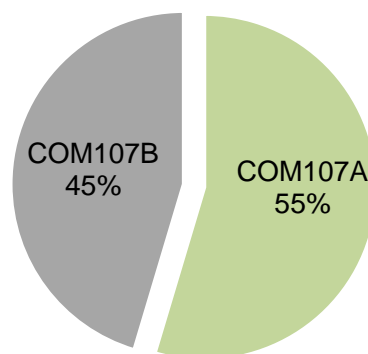


FIGURA 6-1. Gráfico de OT correctivas del sistema de compresión de gas
Fuente: MÁXIMO OIL AND GAS. Realizado por Sánchez Darío, 2015

En el COM107A, el cincuenta y cinco (55) % del total de las fallas se origina por problemas de índole mecánico, mientras que un treinta y siete (37) % son debido a fallas de instrumentos y control, y un restante ocho (8) % a fallas de origen eléctrico. Ver figura 7-1.

Según (EAM MAXIMO OIL & GAS, 2015) y (ORACLE, 2015), las fallas de origen mecánico, representan uno de los rubros más altos en cuanto a mantenimientos correctivos, como se muestra en la figura 8-1.

De este modo en el periodo de tiempo en el cual se realiza este estudio (2007-2015), se ha consumido un total de sesenta y nueve mil setecientos cincuenta dólares con cuarenta y un centavos (\$69750.41) en materiales. Seis mil ciento noventa y seis dólares con veinte y seis centavos (\$6196.26) en mano de obra con trecientas seis horas (306) horas de paro no programado del activo.

El treinta y siete (37) % de las fallas adjudicadas al área de instrumentación ocasiona un consumo un presupuesto de catorce mil setecientos noventa y seis dólares con noventa y un centavos (\$14796.91) en materiales. Dos mil ochocientos treinta y siete dólares con noventa y dos centavos (\$2837.92) en mano de obra con ciento doscientas sesenta y nueve punto cincuenta (269.50) horas de paro del activo.

ÓRDENES DE TRABAJO CORRECTIVAS POR ÁREA

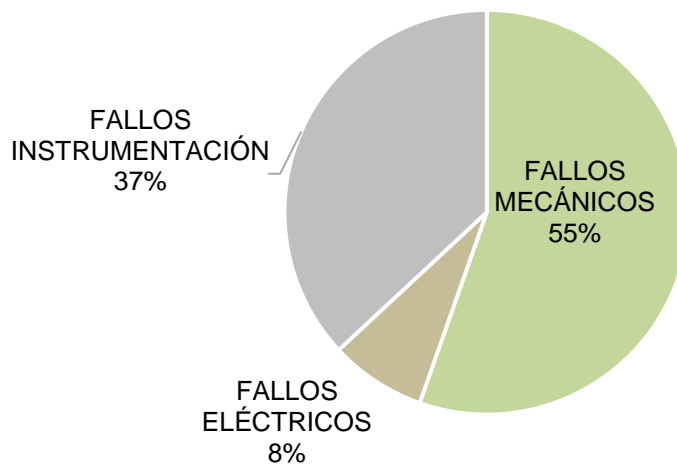


FIGURA 7-1. Gráfico de OT correctivas por cada área de mantenimiento COM107A

Fuente: MÁXIMO OIL AND GAS. Realizado por Sánchez Darío, 2015

De este modo en el periodo de tiempo en el cual se realiza este estudio (2007-2015), se ha consumido un total de sesenta y nueve mil setecientos cincuenta dólares con cuarenta y un centavos (\$69750.41) en materiales. Seis mil ciento noventa y seis dólares con veinte y seis centavos (\$6196.26) en mano de obra con trecientas seis horas (306) horas de paro no programado del activo.

El treinta y siete (37) % de las fallas adjudicadas al área de instrumentación ocasiona un consumo un presupuesto de catorce mil setecientos noventa y seis dólares con noventa y un centavos (\$14796.91) en materiales. Dos mil ochocientos treinta y siete dólares con noventa y dos centavos (\$2837.92) en mano de obra con ciento doscientas sesenta y nueve punto cincuenta (269.50) horas de paro del activo.

Y el restante ocho (8) % de fallas eléctricas representaron un consumo de seis mil noventa y cuatro dólares con noventa y tres centavos (\$6094.93) en materiales.

Cuatrocientos dieciocho dólares con cincuenta y cuatro centavos (\$418.54) en mano de obra y una pérdida en horas de funcionamiento de veinte y ocho (28) horas, siendo el rubro más bajo del sistema.

Esto genera un total de pérdidas económicas de cien mil noventa y cuatro dólares con noventa y siete centavos (\$100094.97) entre materiales y mano de obra, y seiscientas tres punto cinco horas (603.5) de paro no programado del activo.

El mismo paro, ocasiona que no se genere aproximadamente cuatrocientos noventa y cuatro punto siete mega watts (464.7) MW, con un costo de cincuenta y un mil ciento dieciséis dólares con cuarenta y cinco centavos (\$ 51116.45), y cinco mil ciento once punto noventa y seis (5111.96) MSCF de gas que deben quemarse a la atmósfera a causa del paro de este activo. (EAM MAXIMO OIL & GAS, 2015), (Petroamazonas, 2015) (ORACLE, 2015).

COSTO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO COM107A

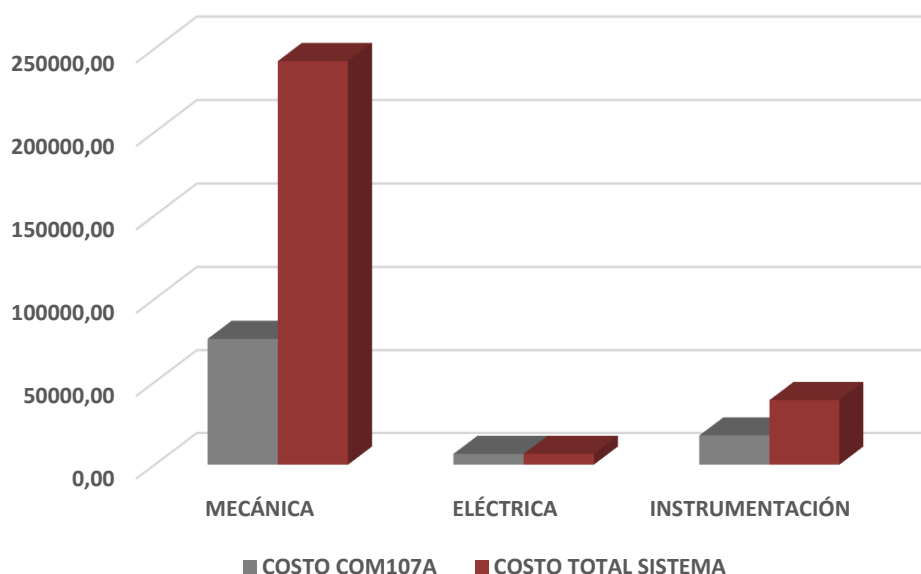


FIGURA 8-1. Gráfico de costo de mantenimiento correctivo del COM107A vs Sistema

Fuente: MAXIMO OIL AND GAS. Realizado por Sánchez Darío, 2015

Según (EAM MAXIMO OIL & GAS, 2015), en el COM107B, el cincuenta y siete (57) % del total de las fallas se origina por problemas mecánicos. Mientras el restante cuarenta y tres (43) % son debido a fallas de instrumentos y control, como se muestra en la figura 9-1, destacando además que no se registran fallas eléctricas en este subsistema.

Las fallas de origen mecánico, representan un costo de ciento cincuenta y siete mil ciento ocho dólares con cuarenta y cuatro centavos (\$157108.44), en lo que respecta a materiales utilizados en mantenimientos correctivos. Un costo de mano de obra de nueve mil trescientos cincuenta y tres dólares con once centavos (\$ 9353.11) trecientas ochenta punto cinco horas (380.50) paro del activo.

Las fallas de origen mecánico, representan un costo de ciento cincuenta y siete mil ciento ocho dólares con cuarenta y cuatro centavos (\$157108.44), en lo que respecta a materiales utilizados en mantenimientos correctivos.

Un costo de mano de obra de nueve mil trescientos cincuenta y tres dólares con once centavos (\$ 9353.11) trecientas ochenta punto cinco horas (380.50) paro del activo.

ÓRDENES DE TRABAJO CORRECTIVAS POR ÁREA

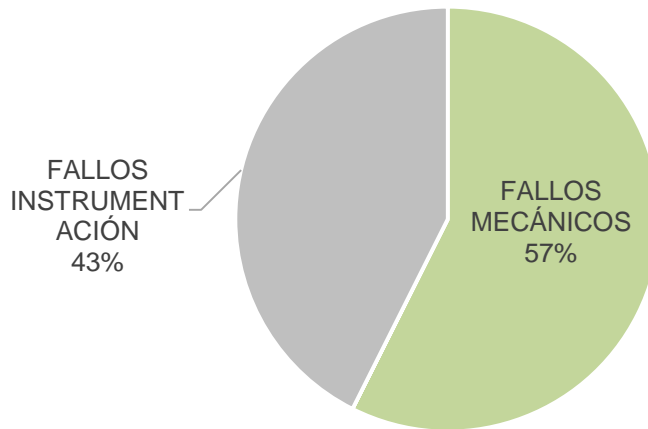


FIGURA 9-1. Gráfico de OT correctivas por cada área de mantenimiento COM107B

Fuente: MAXIMO OIL AND GAS. Realizado por Sánchez Darío, 2015

Las fallas de origen mecánico, representan un costo de ciento cincuenta y siete mil ciento ocho dólares con cuarenta y cuatro centavos (\$157108.44), en lo que respecta a materiales utilizados en mantenimientos correctivos. Un costo de mano de obra de nueve mil trescientos cincuenta y tres dólares con once centavos (\$ 9353.11) trecientas ochenta punto cinco horas (380.50) paro del activo.

El cuarenta y tres (43) % de las fallas de control e instrumentos consumen un presupuesto de diecisiete mil seiscientos treinta y tres dólares con ochenta y siete centavos (17633.87) en materiales.

Un costo de mano de obra de tres mil setecientos cuarenta y cuatro dólares con siete centavos (3744.07), y un total de horas de trecientas cincuenta y cinco (355) horas en paros no programados.

Es decir que el total de pérdidas económicas asociadas a paros no programados del subsistema de compresión COM107B, es de ciento ochenta y siete mil ochocientos treinta y nueve dólares con cuarenta y nueve centavos (\$187839.49) empleados en materiales y mano de obra. Esto con un paro de setecientos treinta y cinco punto cincuenta horas (735.50).

Ocasionando como consecuencia que no se generen quinientos sesenta y seis punto treinta y tres mega watts (566.33) MW, sesenta y dos mil doscientos noventa y seis dólares con ochenta y cinco centavos (\$ 62296.85). Además que como consecuencia ambiental se tiene seis mil setecientos diecisiete punto cincuenta y siete (6717.57) MSCF de gas que deben quemarse a la atmosfera a causa del paro de este activo. (EAM MAXIMO OIL & GAS, 2015), (ORACLE, 2015), (Petroamazonas, 2015)

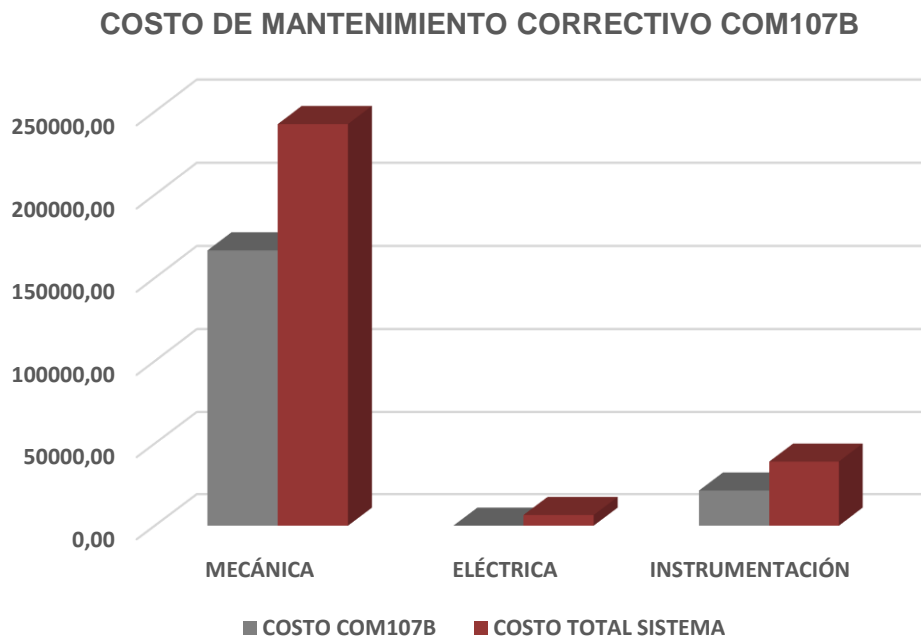


FIGURA 10-1. Gráfico de costo de mantenimiento correctivo del COM107B vs Sistema
Fuente: MAXIMO OIL AND GAS. Realizado por Sánchez Darío, 2015

De ahí se puede concluir que el sistema estudiado ha generado una pérdida total de doscientos ochenta y siete mil novecientos treinta y cuatro dólares con cuarenta y seis centavos (\$287934.46) correspondiente a materiales y mano de obra que se utilizaron para atender los mantenimientos correctivos. Ciento trece mil cuatrocientos trece dólares con treinta centavos (\$113413.30) en pérdidas por la no generación de energía a causa de la ausencia de combustible gas. (EAM MAXIMO OIL & GAS, 2015), (ORACLE, 2015).

Al mantenerse las condiciones actuales de operación y mantenimiento del sistema de compresión de gas, se estimarían costos cada vez más elevados para las actividades de mantenimiento, se mantendría la metodología de aplicar correcciones y no acciones

correctivas, que ataquen la causa raíz de las fallas, y las estrategias de mantenimiento seguirían siendo empíricas y no acorde un modelo de gestión basado en conocimientos teóricos.

Esto contribuiría de una manera directamente proporcional a la disminución progresiva de la disponibilidad del sistema, hasta llegar al fallo funcional del mismo. En base a lo expuesto, se hace indispensable, garantizar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema de compresión de gas, estableciendo bases y metas que contribuyan al cumplimiento de los objetivos de la empresa.

Además, la constante rotación del personal debido a la situación actual de la industria petrolera, contribuye a que la mantenibilidad de los activos sufra un decremento paulatino, ya que la experiencia adquirida en este tipo de activos industriales es muy limitada entre los técnicos.

La presente investigación, busca medir la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema de compresión de gas, fundamentada en modelos matemáticos estadísticos y establecer estrategias de mantenimiento que permita su optimización.

1.3 Formulación del problema

¿El análisis de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema de compresión de gas, establece la optimización de la gestión de mantenimiento en la central de facilidades de producción del bloque 15, Petroamazonas EP, cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos?

1.4 Sistematización del problema

¿La confiabilidad del equipo, permite determinar los índices de confiabilidad, en base a los tiempos operativos o de buen funcionamiento?

¿La mantenibilidad del equipo, permite determinar los índices de mantenibilidad, en base a los tiempos de reparación?

¿La disponibilidad del equipo, se determina en base al tiempo medio entre fallas y el tiempo medio entre reparaciones?

¿El parámetro de forma β de la distribución de Weibull permite, identificar en qué etapa de vida operativa se encuentra el equipo y establecer las mejores estrategias de mantenimiento?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Proponer la optimización del mantenimiento del sistema de compresión de gas en base al análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, de CPF, bloque 15, Petroamazonas EP, cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos

1.5.2 Objetivos específicos

Determinar los índices de confiabilidad el sistema en base a los tiempos operativos registrados en el historial de mantenimiento.

Establecer los índices de mantenibilidad del sistema en base a los tiempos de reparación registrados en el historial de mantenimiento.

Definir los índices de disponibilidad del sistema en base al tiempo medio entre fallas y el tiempo medio entre reparaciones.

Identificar la etapa de vida operativa del sistema en base al parámetro de forma β y establecer las estrategias de mantenimiento.

1.6 Justificación

Debido a la alta criticidad que representa el sistema de compresión de gas de CPF, bloque quince (15), el número de fallas recurrentes, así como los altos costos de mantenimiento correctivo. Es necesario establecer una correcta gestión de mantenimiento a fin de garantizar una adecuada disponibilidad operacional del sistema.

Durante la vida operativa del sistema se ha venido practicando una estrategia fundamentada en mantenimientos preventivos con frecuencia trimestral, apuntalados de monitoreo basado en condición como ultrasonido, vibraciones y termografía.

Esto con el fin garantizar la disponibilidad de al menos uno de los dos compresores que componen el sistema. Pese a las técnicas aplicadas en la actualidad, el sistema trabaja en ocasiones hasta la indisponibilidad del mismo.

La presente investigación dará a conocer el estado actual del sistema de compresión de gas de CPF, bloque 15, en base a un análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD), así se podrán determinar parámetros reales del sistema.

Los resultados del análisis CMD permitirán mejorar la gestión de mantenimiento, contribuyendo a la optimización de recursos necesarios. De igual manera, el estudio corroborará la etapa de vida operativa del sistema, a fin de establecer adecuadas estrategias de mantenimiento a aplicarse.

El aporte científico se evidencia mediante el establecimiento de un modelo matemático estadístico del análisis CMD, para el sistema en estudio y la predicción de su comportamiento a lo largo de su vida operativa.

1.7 Hipótesis

El análisis de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema de compresión de gas permite tener un control total sobre el sistema de mantenimiento.

Variables independientes:

- Alta criticidad del sistema de compresión de gas.
- Técnicas de mantenimiento no acordes a la realidad operacional del sistema.
- Fallos recurrentes.

Variables dependientes:

- Baja confiabilidad por cada subsistema COM107A y COM107B.
- Altos costos de mantenimiento.
- Pérdida de producción.

CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco teórico

A continuación se muestra una serie de trabajos especiales de grado, postgrado y publicaciones, que sirvieron de guía para el presente trabajo de investigación.

Vergara, E. (2007). *Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema de crudo diluido de Petrozuata*. Venezuela.

Realizó un estudio cuyo objetivo era detectar debilidades en el sistema y proponer acciones correctivas para el aumento en la capacidad de bombeo prevista para el 2008, optimizó el uso de equipos reduciendo costos y fallas con el menor riesgo.

Como metodología para lograr sus objetivos, utilizó el análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad CMD o (RAM) por sus siglas en inglés, esta técnica se basa en el estudio probabilístico de los tiempos promedios entre fallas y los tiempos promedios para reparar.

Del estudio se concluyó que, la disponibilidad del sistema de crudo diluido estaba por debajo de lo establecido, lo cual implicaba el incumplimiento de los pronósticos de bombeo para el 2008. Se logró además la reducción de costos y fallas del sistema, optimizando así la tasa de producción del mismo.

Morales, L. (2011). *Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema de compresión de gas de levantamiento de PDVSA, Petroregional de Lago SA*. Maracaibo.

Este trabajo tuvo como propósito el análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema de compresión de gas de levantamiento de PDVSA

Petroregional del Lago S. A, cuyo objetivo fue analizar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad esperada del sistema de compresión de gas y sus respectivos componentes; respondiendo a la necesidad de aumentar la confiabilidad y la disponibilidad del sistema para disminuir la producción diferida.

Como resultados se obtuvo valores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema, se simuló escenarios futuros con valores bajos de mantenibilidad y valores altos de confiabilidad.

Caña, A. (2006). *Análisis RAM de la planta de inyección de agua Resor de petróleo de Venezuela S.A.* Venezuela.

Este proyecto tuvo como propósito analizar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la planta de inyección de agua RESOR, con la finalidad de incrementar la capacidad de inyección en esta planta.

El objetivo principal de la investigación fue proponer una mejora basada en el análisis de los indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, con el fin de cumplir los requerimientos actuales y futuros de inyección de agua.

Como resultado se obtuvo que la confiabilidad del sistema en las condiciones actuales es nula, lo que implica la presencia de fallas en forma continua. Respecto a la disponibilidad actual presenta valores aceptables de entre setenta y cinco (75) a noventa y uno (91) %, mientras que el tiempo para reparar, variable que mide la mantenibilidad es aceptable, ya que la puesta en marcha de los equipos es inmediata.

Por último el autor recomienda la instalación de un tren adicional de bombas que satisfaga el requerimiento de reinyección de agua, mejorando así la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema.

Kristjanpoller, F. et. al. (2010). *Caso de Estudio sobre el análisis de la Fiabilidad en una planta de triturado de mineral en Chile.*

Este estudio tiene como objetivo analizar desde el punto de vista de la fiabilidad, el comportamiento de aquellos procesos de triturado y molienda de mineral que se llevan a cabo en una mina de cobre ubicada en el norte de Chile.

La finalidad de este análisis es la identificación de factores de pérdida y equipos críticos considerando para ello las dimensiones de Fiabilidad, Mantenibilidad, Utilización y Productividad, lo cual permitirá determinar las causas de las pérdidas del sistema, así como definir las acciones de mejora posibles (mejoras por ejemplo en cuanto a planificación, equipos y prácticas operacionales).

Una vez analizada la efectividad global de los procesos e identificados los equipos críticos, este artículo finaliza con las conclusiones donde se resumen sucintamente los resultados principales alcanzados en este estudio, proponiendo futuras mejoras en el caso de estudio planteado, así como otras aplicaciones en términos de gestión del mantenimiento y de la garantía de grandes plantas industriales

Pupo, I. (2014). *Estrategias de mantenimiento y operación en la línea de trituración y apilamiento Cerro Matoso S.A. Montelibano – Colombia, desde el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad alcanzada.*

En esta investigación se plantea como objetivo principal la optimización de los procesos de mantenimiento y producción de LITRAC, a partir del análisis de parámetros universales CMD.

Como resultado de la investigación se obtiene que el mantenimiento correctivo se aplica con frecuencias cortas, el mantenimiento preventivo no está siendo efectivo debido a que el mantenimiento actual tiene frecuencias muy cortas. Además que el MTTR tiene valores muy pequeños, siendo esto beneficioso para la empresa.

Con esto propone cambiar a una estrategia de mantenimiento predictivo, en la cual se monitoree el equipo en operación, así como realizar ejercicios de RCM para el equipo de mayor criticidad.

Zarate, M. (2012). *Análisis RAMS*

El objetivo general de esta investigación es realizar una plantilla en la cual se pueda realizar cualquier análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad CMD o RAMS por sus siglas en inglés, evitando así, que los analistas desperdicien su tiempo en la búsqueda de información. Además se ilustra con un ejemplo para el mejor entendimiento de los pasos a seguir durante el proceso de análisis.

Como consecuencia de la investigación se obtiene que no existe una norma específica para el análisis RAMS. La fiabilidad depende de la asignación de tasas de fallo y reparaciones de los elementos que componen el sistema.

Es necesario acompañar el análisis RAMS de un estudio económico, debido a que las acciones a implementarse deben estar basadas en un análisis de costo-riesgo.

Por último se recomienda una actualización de datos dinámica a la plantilla, durante todo el ciclo de vida, para el aprovechamiento eficiente de esta herramienta.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Fundamentos del CMD.

El Mantenimiento es una ciencia, esta definición facilita que se desarrollen los conocimientos que se derivan de la práctica industrial y se establezcan diferentes principios y leyes de aceptación universal.

Mora describe el enfoque sistémico kantiano como un sistema de tres elementos personas, artefactos y entorno (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 45). Las personas son el primer elemento del sistema kantiano, generan participación y fundamentan en el aspecto mental la existencia del sistema.

El segundo elemento del sistema kantiano son los artefactos. Para el Mantenimiento este elemento lo ocupa las máquinas, los sistemas de producción, los sistemas informáticos de mantenimiento, los repuestos, herramientas y todos aquellos elementos reales necesarios para poder cumplir su función como sistema.

El tercer y último elemento del sistema kantiano es el entorno o ambiente y corresponde a los sitios donde se desarrolla la naturaleza del sistema, es la ubicación donde están las máquinas, activos, equipos y elementos que conforman el proceso productivo.

El enfoque kantiano de mantenimiento se define como ingeniería de fábricas, indica que las unidades básicas de mantenimiento y operación, tienen relación directa con las

máquinas, la relación entre mantenedores y las máquinas es la Mantenibilidad; la relación entre operadores y las máquinas es la Confiabilidad. (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 45)

2.2.2 Confiabilidad

El papel de mantenimiento es incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades, tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos, y sus funciones van más allá de las reparaciones. Su valor se aprecia en la medida en que éstas disminuyan como resultado de un trabajo planificado y sistemático con apoyo y recursos de una política integral de los directivos. (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 96)

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia a la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es ciento por ciento confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es desconfiable. Un equipo bien diseñado, montado y probado y apropiadamente mantenido no debe fallar nunca; sin embargo, la experiencia ha demostrado que incluso los equipos mejor diseñados, montados y mantenidos no eliminan completamente las fallas. (Bazovsky, 1961, pág. 3)

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno. (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 96) (Nachlas, 1995) (Sexto, 2014).

La definición de confiabilidad muestra que existen cuatro características que determinan su estructura: probabilidad, desempeño satisfactorio, período y condiciones específicas.

Probabilidad: Las mediciones de CM (confiabilidad, mantenibilidad) se hacen en términos de probabilidad, la cual se define en forma clásica, como el resultado de dividir el número de veces de los casos estudiados (intentos o eventos, favorables o no) entre el número total posible de casos (intentos o eventos); en la medida en que la cantidad de intentos o casos posibles sea mayor, la probabilidad se vuelve más exacta y cercana al valor real. (Blanchard, 1994, pág. 14) et al.

Desempeño satisfactorio: Éste indica que se deben establecer criterios específicos para describir lo que se considera como una operación satisfactoria. Implica, además, conocer cuándo el equipo falla y ya no se desempeña satisfactoriamente. (Leemis , 1995)

Periodo: Es la variable aleatoria de la definición de confiabilidad y se refiere a la duración del funcionamiento o longitud de vida; no necesariamente tiene que ser dado en horas, días, meses o años. (Nachlas, 1995)

Condiciones de operación: Son las circunstancias en las que se espera que el equipo funcione; incluyen factores como ubicación geográfica donde se espera que el equipo opere, el medio ambiente, vibraciones, transporte, almacenamiento, empaque, cantidad de la carga, etc. (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 96)

2.2.3 **Índices de Confiabilidad**

La confiabilidad o fiabilidad se debe cuantificar asignándole una función de probabilidad a la variable aleatoria del tiempo de falla.

Según (Park, 2011, págs. 85-86), los índices de fiabilidad constituyen:

1. *Función de Confiabilidad o probabilidad de trabajo sin fallo R (t).*- Es la probabilidad de que un ítem no falle en el intervalo de (0, t), dado que era nuevo o como nuevo en el instante t=0.

Weibull

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Ecuación [1]}$$

Dónde:

R (t): Confiabilidad.

t: tiempo a evaluar.

β : Parámetro de forma.

η : Parámetro de escala.

e: Base logaritmo natural.

Exponencial

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{Ecuación [2]}$$

Dónde:

R (t): Confiabilidad.

t: tiempo a evaluar.

λ : Tasa de fallos.

2. *Función de distribución de fallos acumulados o probabilidad de fallo.*- Es la probabilidad de que un ítem falle en el intervalo de (0, t)

Weibull y exponencial

$$F(t) = 1 - R(t) \quad \text{Ecuación [3]}$$

Dónde:

F (t): No confiabilidad.

R (t): Confiabilidad.

3. *Función densidad de probabilidad de fallo f (t).*- Es la probabilidad de que un ítem que no ha fallado en el intervalo de (0, t) falle en el intervalo (t, t+ Δt)

Weibull

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Ecuación [4]}$$

Dónde:

f (t): Densidad de probabilidad de fallos.

t: tiempo a evaluar.

β : Parámetro de forma.

η : Parámetro de escala.

Exponencial

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

Ecuación [5]

Dónde:

f (t): Densidad de probabilidad de fallos.

t: tiempo a evaluar.

λ : Tasa de fallos.

4. Tasa de fallos (λ).- Se define como la probabilidad de que se produzca una falla del sistema o componente en el intervalo (t, t+ Δt). Se mide en fallas por unidad de tiempo.

Weibull

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

Ecuación [6]

Dónde:

$\lambda(t)$: Tasa de fallos.

t: tiempo a evaluar.

β : Parámetro de forma.

η : Parámetro de escala.

Exponencial

$$\lambda(t) = \lambda$$

Ecuación [7]

Dónde:

λ : Tasa de fallos

$\lambda(t)$: Función tasa de fallos

5. Tiempo medio entre fallas (MTBF).- Es el valor de tiempo promedio esperado para que el componente, equipo o sistema falle.

Weibull

$$MTBF = \eta * \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad \text{Ecuación [8]}$$

Dónde:

MTBF: Tiempo medio entre fallas.

Γ : Distribución gamma.

β : Parámetro de forma.

η : Parámetro de escala.

Exponencial

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Ecuación [9]}$$

Dónde:

MTBF: Tiempo medio entre fallas.

λ : Tasa de fallos.

2.2.4 *Mantenibilidad*

Se denomina mantenibilidad a la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo, puedan regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal, después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica realizar unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción. La normalidad del sistema al restaurarse su funcionalidad se refiere a su cuerpo y a su función. (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 104)

Se asume que para restaurar el nivel de confianza de funcionalidad al equipo, la reparación se hace con personal adecuado con las habilidades necesarias y las herramientas adecuadas, con los datos y la información técnica pertinente, con las características específicas de la función del equipo, con el conocimiento de los factores

ambientales y de entorno que requiere el equipo para funcionar normalmente. (Knezevic, 1996)

La Mantenibilidad es la característica inherente de un activo, asociada a su capacidad de ser recuperado para el servicio (programada/ no programada) a partir de la ejecución de tareas de mantenimiento. En la práctica, se puede expresar en términos de factores de: frecuencia de mantenimiento, tiempo empleado en mantenimiento y costos de mantenimiento. El parámetro fundamental para calcular la mantenibilidad lo constituye el tiempo promedio de reparación (TPPR) de las fallas. (Parra, 2003, pág. 8)

Se representa por $M(t)$, es la función de distribución de la variable aleatoria TTR (Time to repair), esto significa la probabilidad que la variable aleatoria tenga un valor igual o menor que algún valor particular a t . Para la mantenibilidad significa la probabilidad de que la función del sistema se recobre en el momento de mantenimiento o antes. (Knezevic, 1996)

2.2.5 Índices de Mantenibilidad.

La ingeniería de mantenibilidad se crea cuando los diseñadores y fabricantes comprenden la carencia de medidas técnicas y disciplinas científicas en el mantenimiento.

Por esto la ingeniería de mantenibilidad es una disciplina científica que estudia la complejidad, los factores y los recursos relacionados con las actividades que debe realizar el usuario para mantener la mantenibilidad de un producto y que elabora métodos para su cuantificación, evaluación y mejora. (Knezevic, 1993).

Según (Knezevic, 1993) y (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 114), los índices de mantenibilidad constituyen:

1. Función de Mantenibilidad.- Indica la probabilidad o esperanza matemática de que la funcionalidad del equipo sea recuperada en el momento especificado de mantenimiento, o antes del lapso programado para las actividades ejecutarse (tiempo t empleado).

Weibull

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Ecuación [10]}$$

Dónde:

M (t): Mantenibilidad.

t: tiempo a evaluar.

β : Parámetro de forma.

η : Parámetro de escala.

Exponencial

$$M(t) = e^{-\mu t} \quad \text{Ecuación [11]}$$

Dónde:

M (t): Mantenibilidad.

μ : Tasa de reparaciones.

e: base de logaritmo natural.

2. Función densidad de reparaciones

Es la probabilidad de que un ítem que no ha sido reparado en el intervalo de (0, t) se repare en el intervalo (t, t+ Δt).

Weibull

$$m(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Ecuación [12]}$$

Dónde:

m (t): Densidad de reparaciones.

β : Parámetro de forma.

η : Parámetro de escala.

Exponencial

$$m(t) = \mu e^{-\mu t}$$

Ecuación [13]

Dónde:

f(t): Densidad de probabilidad de reparaciones.

t: tiempo a evaluar.

μ : Tasa de fallos.

3. Tiempo Medio para Reparar (MTTR).- Es el valor de tiempo esperado para que el equipo sea reparado.

Weibull

$$MTTR = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1 + \beta}\right)$$

Ecuación [14]

Dónde:

MTTR: Tiempo medio para reparar.

Γ : Distribución gamma.

β : Parámetro de forma.

η : Parámetro de escala.

Exponencial

$$MTTR = \frac{1}{\mu}$$

Ecuación [15]

Dónde:

MTTR: Tiempo medio para reparar.

μ : Tasa de reparaciones.

Los índices de confiabilidad se muestran gráficamente mediante las curvas ilustradas, según las ecuaciones acorde a la distribución usada. Figura 1-2.

Los índices de mantenibilidad se muestran gráficamente mediante las curvas ilustradas, según las ecuaciones acorde a la distribución usada. Figura 2-2

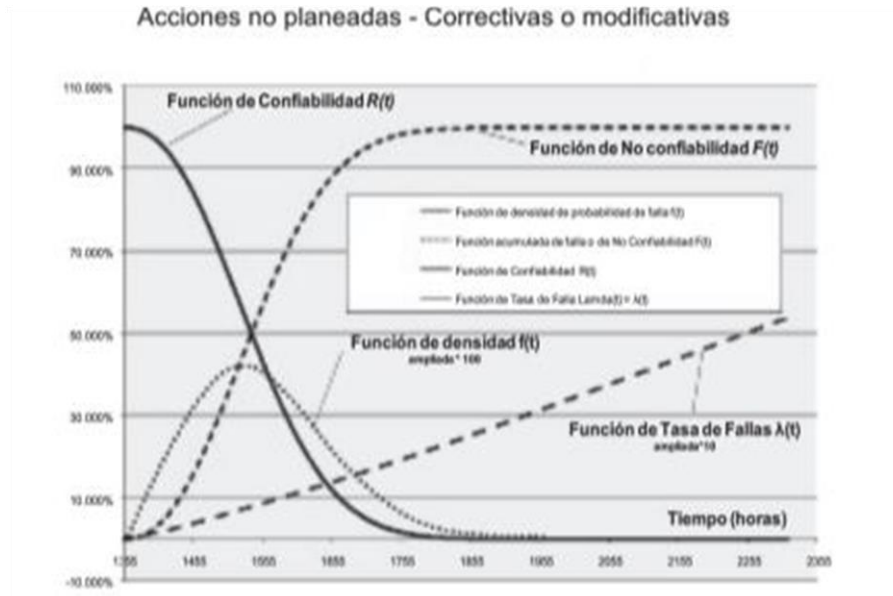


FIGURA 1-2. Curvas de Confiabilidad, no confiabilidad, densidad y tasa de fallos.

Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

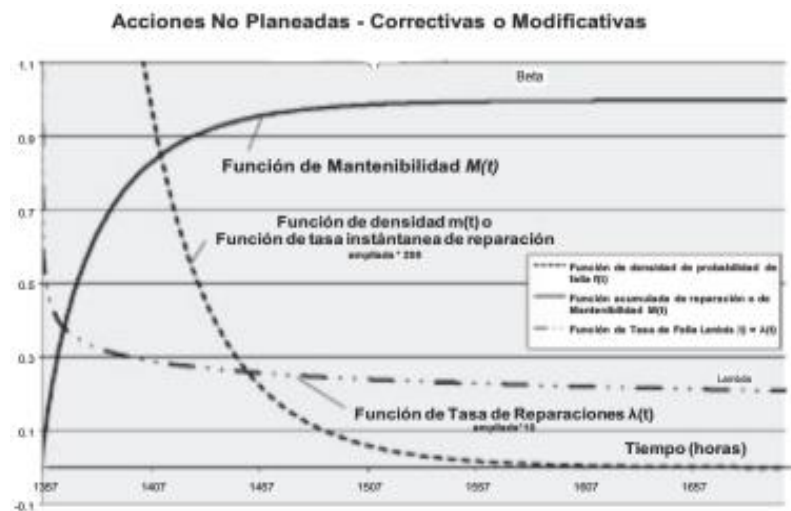


FIGURA 2-1. Curvas de Mantenibilidad, densidad de reparaciones y tasa de fallos

Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

2.2.6 Disponibilidad

La disponibilidad es la probabilidad que un equipo funcione en sus parámetros de diseño en el instante en que se solicite, bajo condiciones establecidas y para un periodo de tiempo determinado. (Blanchard, 1994, pág. 150) et al.

Según, (Rey Sacristan, 1996, pág. 441), (Smith, 1986) la disponibilidad es la probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo y tiempo logístico.

También se puede definir la disponibilidad como una característica que resume cuantitativamente el perfil de operatividad de un elemento. Representa el porcentaje del tiempo disponible (de uso) del activo en un período determinado). Es una medida importante para estimar el factor de utilización de un activo. La disponibilidad relaciona básicamente los tiempos promedios fuera de servicio (TPFS) y los tiempos promedios operativos (TPO). (Parra, 2003, pág. 8)

La disponibilidad está basada únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación. Ésta puede ser además usada como un parámetro para el diseño (Ebeling, 1997, pág. 255).

$$A = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad \text{Ecuación [16]}$$

Dónde:

MTBF: Tiempo medio entre fallos

MTTR: Tiempo medio para reparar

A: Disponibilidad

La disponibilidad es una herramienta útil en situaciones en las que se tienen que tomar decisiones con respecto a la adquisición de un elemento entre varias posibles alternativas. (Knezevic, 1996)

El análisis de la disponibilidad requiere conocer cuáles son los datos que deben tener en cuenta para su cálculo. Se crea un perfil de funcionalidad del equipo cuando sus datos de funcionamiento y parada llevan un registro.

A continuación se define los términos de estado de un equipo o sistema: SoFu como estado de funcionamiento y SoFa estado de falla. Ver figura 3-2.

Dónde:

TTF: Tiempo hasta fallar

TBF: Tiempo entre fallas

UT: tiempo útil en que el equipo funciona correctamente

DT: Tiempo no operativo, f_i : Falla i -ésima.

TTR: Tiempo que demora la reparación

CM: Tiempo que demora la reparación correctiva o modificativa

PM: Tiempo de mantenimientos planeados

LT: Tiempos logísticos o administrativos

ST: Tiempo de entrega de repuestos insumos o recursos humanos

NTTR: Tiempo neto para reparar

PD: retrasos de producción para informar y notificar a mantenimiento de la no funcionalidad del equipo

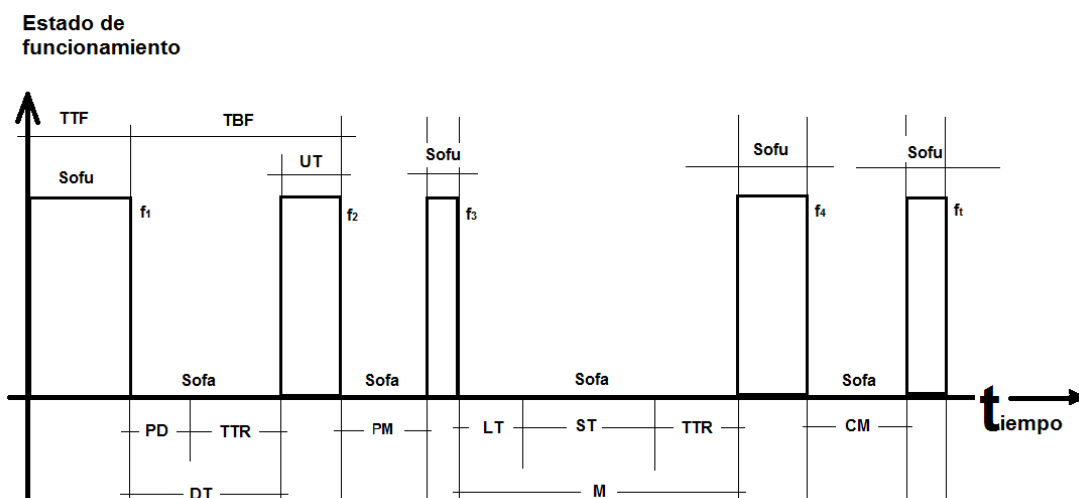


FIGURA 3-2. Diagrama UT y DT, siglas y nomenclaturas

Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

2.2.6.1 Disponibilidad genérica

Se aplica a partir del uso de los tiempos de buen funcionamiento UT (Up Time por sus siglas en inglés) y de los tiempos de reparación o tiempo indisponible por fallo no planificado DT (Down Time), es muy útil donde no hay un desglose de las pérdidas de tiempo que afectan el tiempo total de DT. Es una disponibilidad que suele ser usada para los inicios en procesos donde se quiere medir este parámetro. (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 71)

Existen dos cálculos de la disponibilidad genérica, uno que no tiene en cuenta los mantenimientos preventivos y otra que si los tiene.

$$Ag = \frac{\text{Media de los tiempos utiles con funcionamiento}}{\text{Media de los tiempos utiles + media de los tiempos de no funcionalidad}}$$

$$Ag = \frac{\frac{\sum_{i=1}^m UT_i}{m}}{\frac{\sum_{i=1}^m UT_i}{m} + \frac{\sum_{j=1}^n DT_j}{n}} \quad \text{Ecuación [17]}$$

Dónde:

UT_i : Tiempos útiles.

DT_j : Tiempos no funcionales de la máquina.

m: Número de eventos de UT ,

n: Número de eventos de DT .

Se asume que no hay acciones planeadas M_p dentro de los tiempos DT . Ésta disponibilidad se mide en porcentaje, las demás medidas UT , DT , MUT y MDT se miden en unidades de tiempo: horas, minutos, etcétera.

$$Ag = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento}}{\text{Tiempo en que se puede operar}} = \frac{TT - \sum PM - \sum DT}{TT - \sum PM} \quad \text{Ecuación [18]}$$

Si durante los tiempos de mantenimiento preventivo aparece una falla se consideran como hechos independientes el Mantenimiento preventivo y la reparación, se tratan como eventos diferentes.

$$MTBF = UT + DT, \text{ siempre y cuando } UT \gggg DT \text{ luego } MTBF \cong UT \quad \text{Ecuación [19]}$$

$$DT = LDT + MTTR, \text{ con } LDT \text{ despreciable o igual a cero luego } DT \cong MTTR \quad \text{Ecuación [20]}$$

Dónde:

LDT: Tiempos de demora logísticos.

MTBF: Tiempo medio entre fallos.

MTTR: Tiempo medio para reparar

2.2.6.2 Disponibilidad inherente

Se aplica a partir del uso del MTBF y el MTTR, es muy útil donde se desea controlar las actividades CM, tiene algunas restricciones, éstas son: los tiempos útiles UT deben ser mucho mayores que los tiempos no disponibles DT, en una proporción de 8:1 o más; los tiempos de retrasos o demoras administrativas LT, deben ser mínimos tienden a cero. (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 71).

$$Ag = \frac{MUT}{MUT+MDT} \text{ se transforma en disponibilidad inherente} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad \text{Ecuación [21]}$$

2.2.6.3 Disponibilidad alcanzada

Se aplica a partir del uso del MTBM, MTBMc, MTBMp, MTTR, Mp, es muy útil donde se desea controlar actividades de mantenimiento planeadas y las no planeadas por separado. No tiene en cuenta los tiempos logísticos, ni los administrativos y los de demora por suministro de repuestos. (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 72)

$$\text{Disponibilidad alcanzada} = Aa = \frac{MTBF}{MTBF+M} \quad \text{Ecuación [22]}$$

Los términos de la ecuación 22, el tiempo medio entre mantenimientos *MTBM*, es un indicador de la frecuencia de los mantenimientos, es función de la frecuencia de los

mantenimientos planeados y no planeados, cuando no hay mantenimientos preventivos el *MTBM* se aproxima la *MTBF* (Blanchard, 1994, pág. 150) et al.

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBMc} + \frac{1}{MTBMp}} \quad \text{Ecuación [23]}$$

Es función de los tiempos medios de mantenimiento correctivo y mantenimiento planeado, solo tiene en cuenta tiempos activos de mantenimiento, no administrativos ni logístico. (Blanchard, 1994, pág. 150) et al.

$$MTBM = \frac{\frac{MTTR}{MTBMc} + \frac{Mp}{MTBMp}}{\frac{1}{MTBMc} + \frac{1}{MTBMp}} \quad \text{Ecuación [24]}$$

Dónde:

MTBMc: Tiempo medio entre mantenimientos no planeados.

MTBMp: Tiempo medio entre mantenimientos planeados.

MTTR: Tiempo neto medio para realizar la reparación.

Mp: Tiempo neto medio para ejecutar las tareas proactivas.

2.2.6.4 Disponibilidad operacional

Se aplica a partir del uso de los mismos elementos de la disponibilidad alcanzada agregando los parámetros: ADT, LDT' y LDT, es muy útil para controlar los tiempos de demoras administrativos, recursos humanos o físicos disponibles y trabaja al igual que la alcanzada con las actividades de mantenimiento planeadas y no planeadas. Los expertos indican que su cálculo es costoso.

$$Disp. \text{ operacional} = \frac{MTBM}{MTBM + M'} \quad \text{Ecuación [25]}$$

Dónde:

ADT Tiempos de demora administrativos

LDT' Tiempos logísticos de demora físicos.

LDT Tiempos logísticos totales

En la Ecuación [25] el término se calcula exactamente igual que en [26], la diferencia se encuentra al hacer el cálculo del término *MTTR*, donde al escoger cada *TTRi.....TTRn* neto se le adiciona sus *LDT* ($LDT = ADT + LDT'$) correspondientes a cada reparación.

De la misma manera se hace para calcular *Mp* se incluyen los tiempos *LDT* para cada mantenimiento (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 72)

$$\bar{M}' = \frac{\frac{MTTR}{MTBMc} + \frac{Mp}{MTBMp}}{\frac{1}{MTBMc} + \frac{1}{MTBMp}} \quad \text{Ecuación [26]}$$

2.2.6.5 Disponibilidad operacional generalizada

Se aplica a partir de los elementos de la disponibilidad operacional, agregando el parámetro de Ready Time, es muy útil cuando los equipos están operando pero no están produciendo. Es una disponibilidad muy completa, compleja, de mayor exigencia y costo para su implementación (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 72)

$$\text{Disp. operacional generalizada} = \frac{MTBM'}{MTBM' + \bar{M}'} \quad \text{Ecuación [27]}$$

2.2.7 Cálculo de los parámetros CMD

Entre las ventajas del estudio científico y matemático del CMD, resalta que pretende encontrar una metodología adecuada para medirlas y evaluarlas eficazmente, con el fin de brindar una herramienta fácil de usar para controlar la gestión y operación integral del mantenimiento.

El autor Mora (2009, pp. 68-69), propone un modelo universal para el manejo del CMD y aporta una metodología única y sintética, que permite estimar los parámetros de una

forma única y lógica, de tal manera que los sistemas de medición CMD que se implementen en las diferentes empresas, permitan una comparación similar en el tiempo, ya sea con la propia industria o con otras a nivel internacional, el manejo de la obtención del CMD debe cumplir unos parámetros estadísticos y matemáticos a lo largo del cálculo.

A continuación se detalla la metodología a seguir para en análisis CMD propuesto por el autor. (Mora Gutiérrez, 2009, págs. 68-69)

PASO 1: Empieza con la recolección de datos de campo, su secuencia cronológica, manejo, estilo y manipulación, así como la confirmación de la veracidad de los mismos, para ser usados dentro de cálculos puntuales y de distribuciones. Los datos deben ser tomados validados, tomados de cualquier documento que aporte información al método.

Los departamentos de la organización involucrados directa o indirectamente deberán proporcionar la información relevante acerca de todas las actividades de operación y mantenimiento para la recolección de información.

PASO 2: A continuación se decide y/o selecciona cuál es la disponibilidad a calcular, teniendo en cuenta los datos disponibles y las limitaciones y expectativas que persigue la empresa.

En la presente investigación se selecciona la disponibilidad inherente, ya que ésta sirve para organizaciones que no predicen ni manejan CMD, además que es muy adecuada para inicializar pruebas piloto en las empresas.

Utiliza parámetros UT y DT, los cuales sirve para el cálculo del tiempo medio entre fallas MTBF y tiempo medio entre reparaciones MTTR, y posteriormente la determinación de la disponibilidad mencionada.

PASO 3: Decidir el uso del MLE (método de máxima verosimilitud), o aplicar el método de alineación con sus dos aspectos: estimación de parámetros $F(t)$ (Función de no confiabilidad) y de $M(t)$ (Función de mantenibilidad), con las diferentes alternativas de estimación como: i-kaésimo, rango de medianas con tabla, de Benard o Kaplan y Meyer.

Efectuar la alineación para la función de Weibull en la forma gráfica o numérica de mínimos cuadrados para calcular los parámetros beta y eta.

Obtener el grado de ajuste de los datos mediante la valoración de los índices de bondad.

PASO 4: Realizar los cálculos de los parámetros de Weibull y validar las pruebas de bondad de ajuste, éstas se realizan con tres pruebas Kolmogorov - Smirnov, Anderson-Darling y Chi cuadrado J_i^2 . Realizar la validación de bondad y ajuste para comprobar si los datos que se observan corresponden a la distribución escogida.

Un aporte de este método universal es usar la metodología de Weibull, porque sirve para las tres etapas de la curva de Davies (Figura 21-2), en caso de que no aplique, se va directamente a la función específica que más se adecua al valor de beta (β) que se obtiene en esa etapa de Weibull. Las funciones específicas son: gamma, Log-normal, normal, Rayleigh, etc.

PASO 5: Parametrizar y realizar alineación o MLE que se requiere con otra función específica diferente a Weibull para estimar sus bondades de ajuste a partir del dato de beta (β) resultado del cálculo en el paso cuatro; definir cuál distribución aplica de acuerdo al parámetro.

El objetivo de la alineación es estimar los parámetros de una línea recta que son el intercepto y la pendiente para minimizar el error.

Las pruebas de bondades de ajuste son: Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi cuadrado J_i^2 . Éstas verifican si la muestra de datos seleccionados se ajusta a la distribución seleccionada.

Los datos deben pasar al menos dos pruebas de bondad; se considera aceptable cuando el coeficiente de determinación muestral r^2 se encuentra en el rango 0,9 y 1,0 y el coeficiente de correlación r está en el rango 0,95 y 1,0.

PASO 6: Calcular los parámetros de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad CMD acorde a la función seleccionada por el alineamiento, éstos son: UT, MTBF, MTBM, MTBMc, MTTR, M, M' o su equivalente.

Obtener los índices de confiabilidad y mantenibilidad, mediante la modelación estadística y matemática de los datos. Las ecuaciones obtenidas permitirán graficar las curvas de confiabilidad y mantenibilidad, así como la predicción de eventos futuros dentro del sistema.

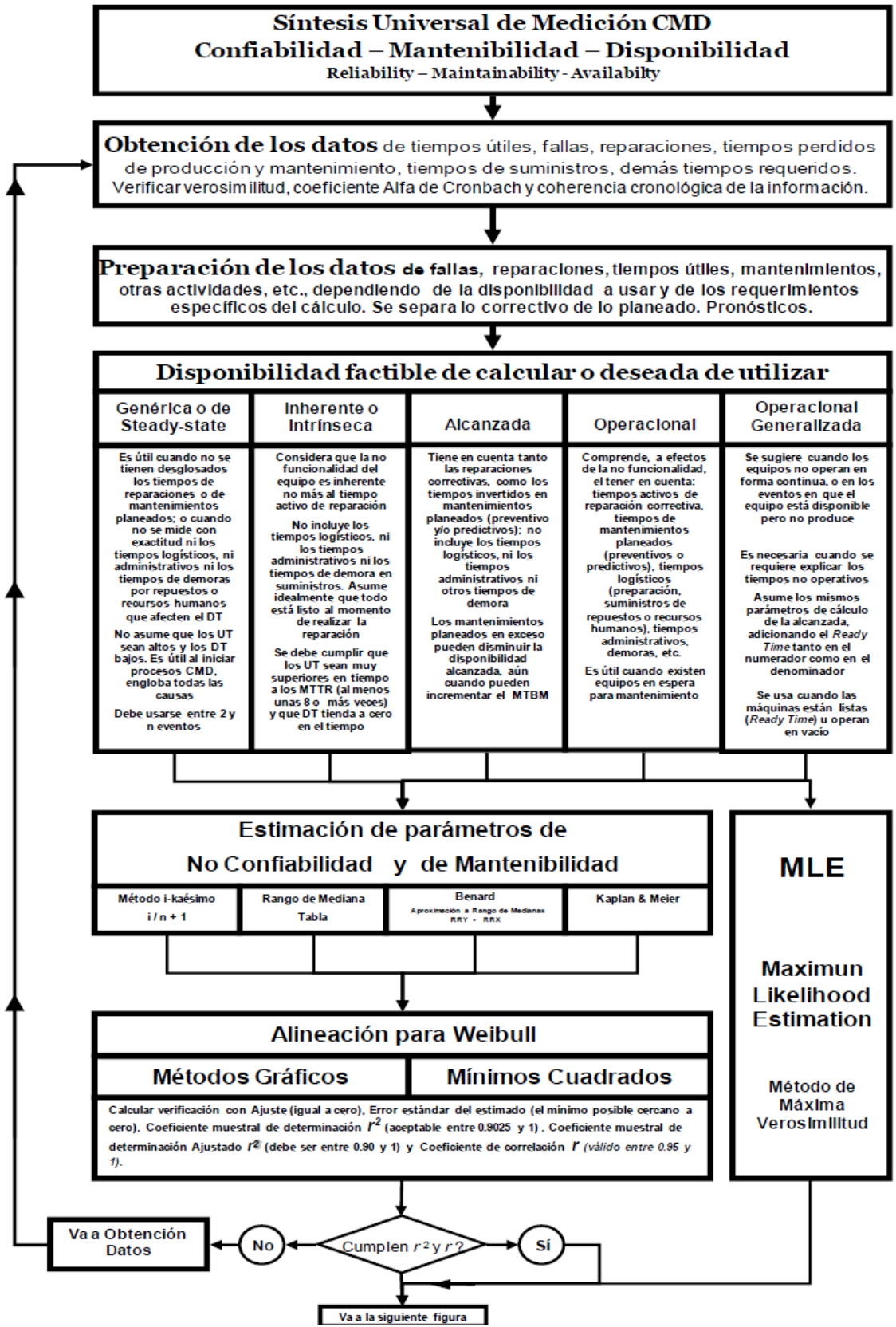
Analizar las curvas de densidad de falla $f(t)$, acumulada de fallas $F(t)$, confiabilidad $R(t)$ y tasa de falla $\lambda(t)$. Realizar los pronósticos de curvas y parámetros.

Patronear y ajustar pronósticos CMD. Analizar los parámetros beta, Eta, MTBF, MTBM, MTBMc, MTTR, M, M', M, Mp, etc. en el tiempo.

Definir una estrategia de mantenimiento acorde a los parámetros e índices de confiabilidad y mantenibilidad obtenidos.

Incluir técnicas de mantenimiento de clase mundial acorde a la vida operativa del sistema representada en la curva de Davies, por medio del parámetro de forma beta y el parámetro de vida característica eta.

En la figura 4-2, se muestra gráficamente la metodología de medición universal del CMD.



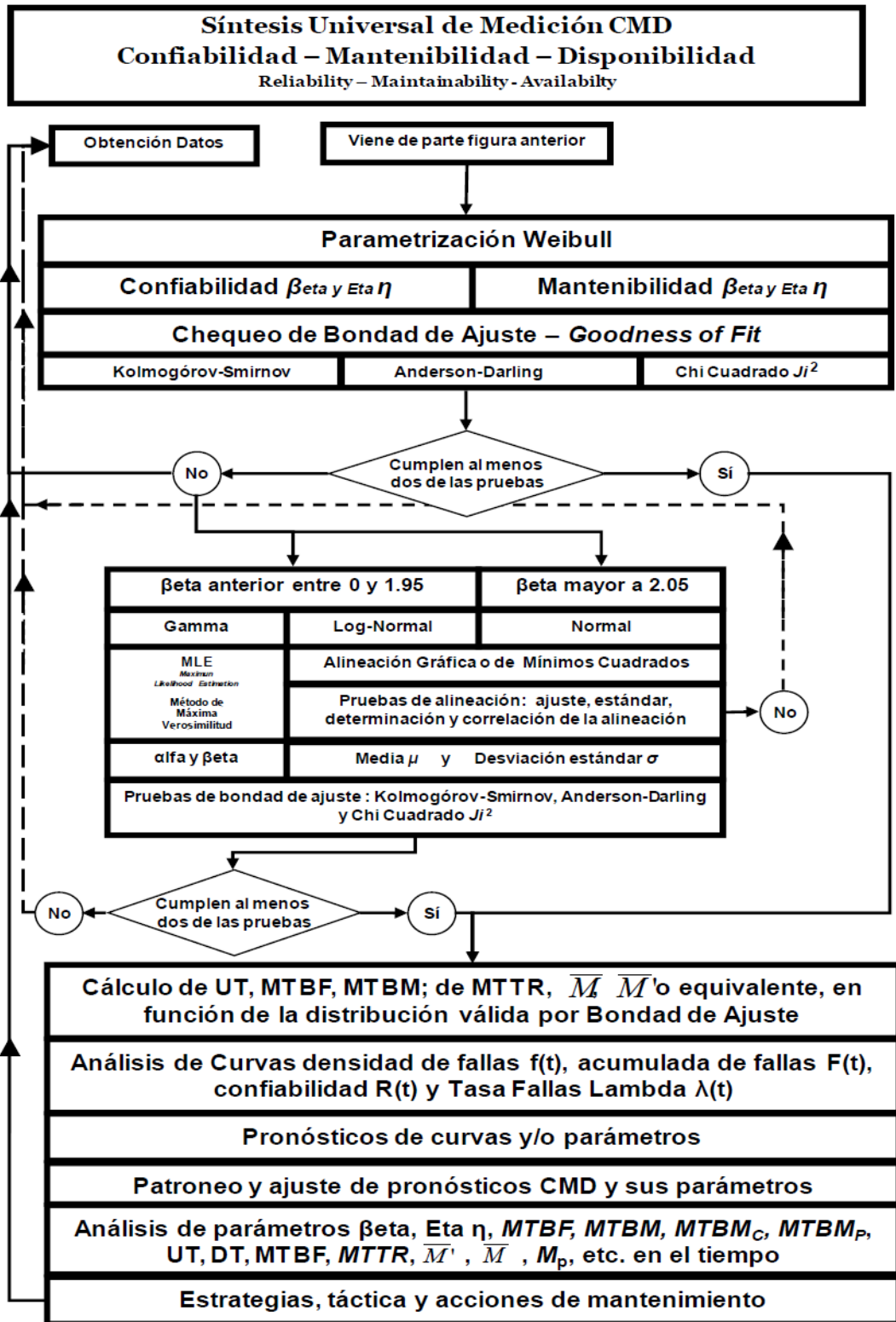


FIGURA 4-2. Modelo universal e integral, propuesto para la medición CMD
 Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

2.2.8 **Estimación de parámetros**

Los métodos más comunes para realizar la estimación de parámetros de una distribución son el método gráfico, el de mínimos cuadrados y el método de máxima verosimilitud. Los dos primeros métodos requieren de la estimación de la función de no confiabilidad o de mantenibilidad. (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 142)

2.2.8.1 **Método gráfico en papeles de alineación**

Los métodos se aplican para graficar los valores de F(t) o de M(t), con sus respectivos tiempos en papeles de alineación que tienen características definidas de acuerdo con el tipo de distribución que mejor describe los datos, para alinear la función y definir los parámetros.

Se conocen el papel de Weibull o Allen Plait, los papeles de alineación de las distribuciones normales, log-normal y exponenciales. El uso de este método gráfico puede conducir a errores importantes en el análisis y en la selección de estrategias, porque tiene un componente de subjetividad. (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 148)

2.2.8.2 **Método de mínimos cuadrados**

El método de análisis de regresión lineal con mínimos cuadrados a una línea recta busca estimar los parámetros de la pendiente y el intercepto que minimicen el componente aleatorio del error. El método requiere que una línea recta se ajuste al conjunto de datos del análisis. (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 158)

$$\sum_{i=1}^N (\hat{a} + \hat{b} * Xi - Yi)^2 \min(a, b) \sum_{i=1}^N (a + b * Xi - Yi)^2 \quad \text{Ecuación [27]}$$

Dónde:

a: intercepto con el eje Y

B: pendiente de la recta,

El símbolo ^ denota valor del cálculo,

Y: variable dependiente

X: variable independiente.

j como los valores diferentes de los puntos hasta N número total de puntos por alinear

(Reliasoft, 2008)

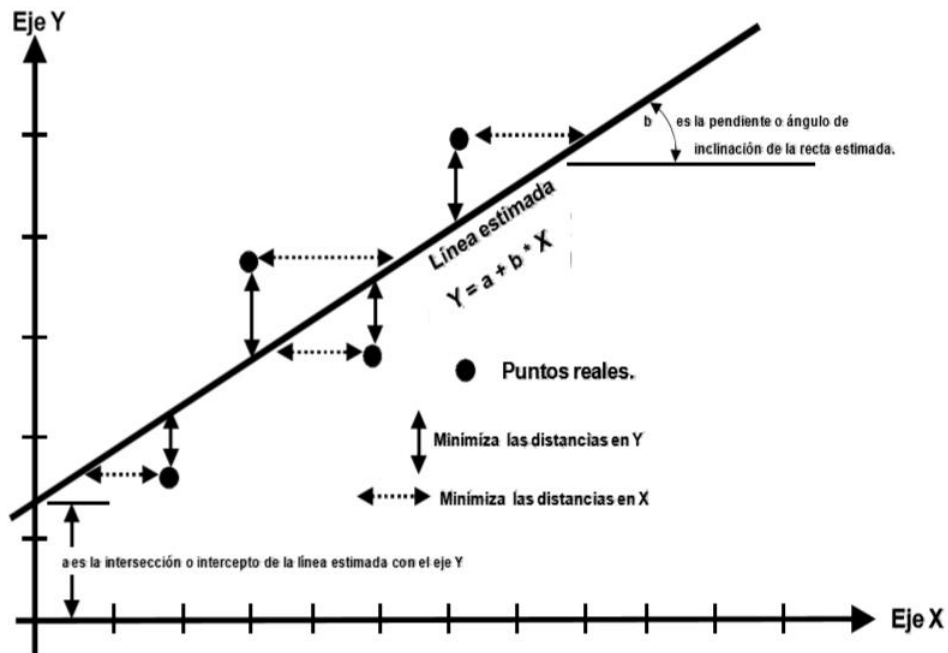


FIGURA 5-2. Ajuste de una línea recta en los ejes X o Y.

Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

La operación matemática se realiza a través de la suma de los cuadrados de las distancias de los puntos a la línea de ajuste de tal manera que esta sea mínima (Reliasoft, 2008).

$$b = \frac{\sum_{j=1}^N X_j * Y_j - N * \bar{X} * \bar{Y}}{\sum_{j=1}^N X_j^2 - N * \bar{X}^2} \quad a = \bar{Y} - b * \bar{X} \quad \text{Ecuación [28]}$$

$$a = \bar{Y} - b * \bar{X} \quad \text{Ecuación [29]}$$

Dónde:

b; es el valor de la pendiente de la recta, con X como los diferentes valores independientes reales y los valores dependientes reales como Y, j es cada uno de los puntos. N; es el total de puntos. \bar{Y} ; es la media o promedio de los reales originales, y es la media o promedio de los X reales del caso. (Levin, 1996, pág. 1171).

Los valores de la pendiente b y la intersección a de la recta alineada, permiten estimar los parámetros de escala Eta η y de forma beta β , mediante las siguientes expresiones.

$$\eta = e^{\left[-\frac{a}{\beta}\right]} = e^{\left[-\frac{\text{Intersección}}{\text{Pendiente}}\right]} \quad \text{Ecuación [30]}$$

$$\beta = b = \text{Pendiente estimada de la recta alineada} \quad \text{Ecuación [31]}$$

Criterios de calidad de alineación

Ajuste de la recta alineada.

$$\text{Ajuste} = \sum |Y_j - \hat{Y}_j| = 0, \text{ o tender a cero} \quad \text{Ecuación [32]}$$

Dónde:

Y: Indicador débil de alineación

\hat{Y} : Valores estimados correspondientes a cada Y

Error estándar del estimado de la recta alineada.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{N-2}} = \text{tender a cero (0) o al mínimo posible} \quad \text{Ecuación [33]}$$

Dónde:

\hat{Y} : Valores estimados correspondientes a la nueva ecuación, $Y = a + b * X$ para cada uno de los Y reales. (Levin, 1996, pág. 1171)

Coefficiente de determinación muestral R^2 y Ajustado.

Evalúa la fuerza, la extensión o grado de asociación que existe entre los puntos correspondientes de las dos variable Y y X. Debe acercarse a uno y se permite como aceptable entre un **rango de 0.9025 y 1.0000**

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2} \quad \text{Ecuación [34]}$$

Coefficiente de correlación

Es una medida que evalúa lo bien que el modelo se ajusta en la regresión lineal, e indica la correlación entre los datos y el estimador de no confiabilidad y mantenibilidad. Se considera aceptable cuando esta **entre 0.95 y 1**.

$$r = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X}) * (Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2 * \sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}} \quad \text{Ecuación [35]}$$

2.2.8.3 Método de máxima verosimilitud (MLE)

Es un método vigoroso para la estimación de parámetros, desde el punto de vista estadístico. Busca obtener el valor más probable de los parámetros de una distribución mediante la maximización de la función de máxima verosimilitud (L) o la de su logaritmo natural (Λ) para aplicar a la función densidad cuyos parámetros se van a estimar.

Este método requiere de un tamaño de muestra considerablemente alto de datos entre treinta y cincuenta a más de cien datos. Para valores pequeños puede causar discrepancias en los análisis (Mora, 2007, pág. 195)

$$L(\theta_1, \theta_2 \dots \dots \theta_k | X_1, X_2, \dots \dots X_R) = L = \prod_{j=1}^R f(X; \theta_1, \theta_2, \dots \dots \theta_k) \quad \text{Ecuación [36]}$$

$$\Lambda = \ln(L) = \sum_{j=1}^R \ln[f(X; \theta_1, \theta_2, \dots \dots \theta_k)] \quad \text{Ecuación [37]}$$

Dónde:

$f(x_j; \theta_1, \theta_2, \dots \dots, \theta_n)$: es la función de densidad de la distribución a la que se le estiman los parámetros. $\theta_1 \theta_2 \dots \dots \theta_n$: parámetros por estimar. X_j : observaciones independientes de los datos de falla. (Reliasoft, 2008).

2.2.9 *Distribuciones.*

Las distribuciones facilitan caracterizar los datos a través de la aplicación de la estadística, las siguientes distribuciones facilitan la interpretación de los parámetros CMD.

2.2.9.1 *Distribución de Weibull*

Al usar la distribución de Weibull se obtiene una ventaja porque permite describir la forma en la curva de Davies (curva de la bañera), donde se definen las tres zonas: infancia o mortalidad infantil, madurez o vida útil y envejecimiento.

Esta distribución posee tres parámetros que le permiten una gran flexibilidad para obtener mejores ajustes (Rojas Arias, 1975, pág. 214). Los parámetros de la distribución de Weibull son:

- Gamma – parámetro de posición (γ): Indica el lapso donde la probabilidad de falla es nula, su cálculo no es fácil y usualmente se asume como valor cero
- Eta-parámetro de escala o característica de vida útil (η): Su valor es muy importante para determinar la vida útil del sistema.

- Beta-parámetro de forma (β): Refleja la dispersión de los datos y determina la forma de la distribución. Basado en beta la distribución toma varias formas y esto es lo que la adecua a la curva de Davies (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 164)

Parámetro de forma Beta de Weibull	
Valor (β)	Características
$0 < \beta < 1$	Tasa de falla decreciente.
$\beta = 1$	Distribución exponencial.
$1 < \beta < 2$	Tasa de falla creciente, cóncava.
$\beta = 2$	Distribución Rayleigh.
$\beta > 2$	Tasa de falla creciente, convexa.
$3 \leq \beta \leq 4$	Tasa de falla creciente se aproxima a la distribución normal; simétrica.

FIGURA 6-2. Parámetro de forma beta de Weibull.
Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

Curvas de la distribución de Weibull con diferentes β .

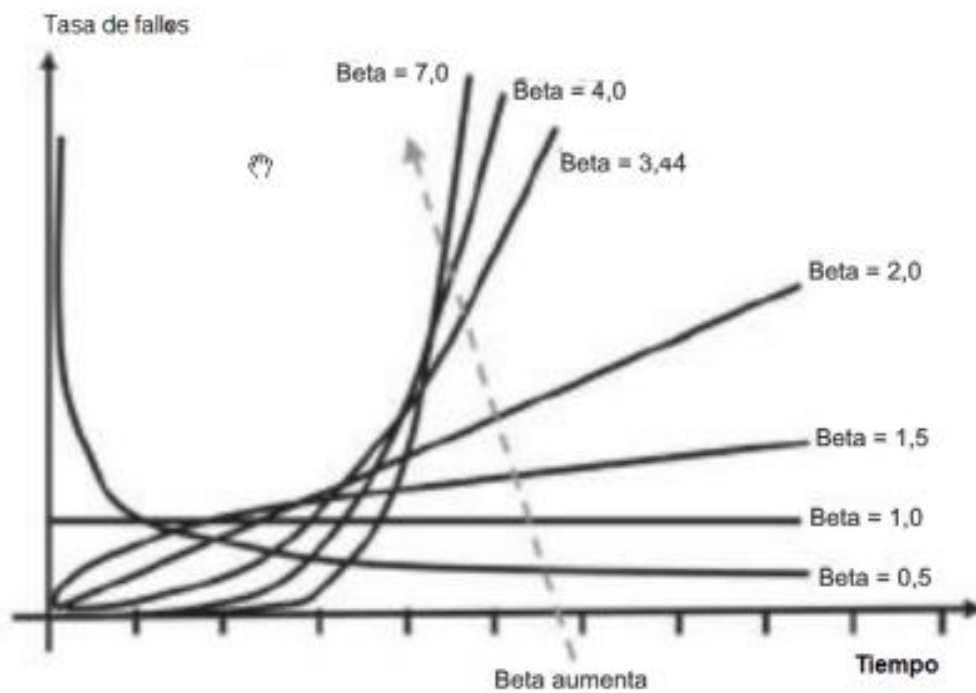


FIGURA 7-2. Función de tasa de fallas en Weibull
Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

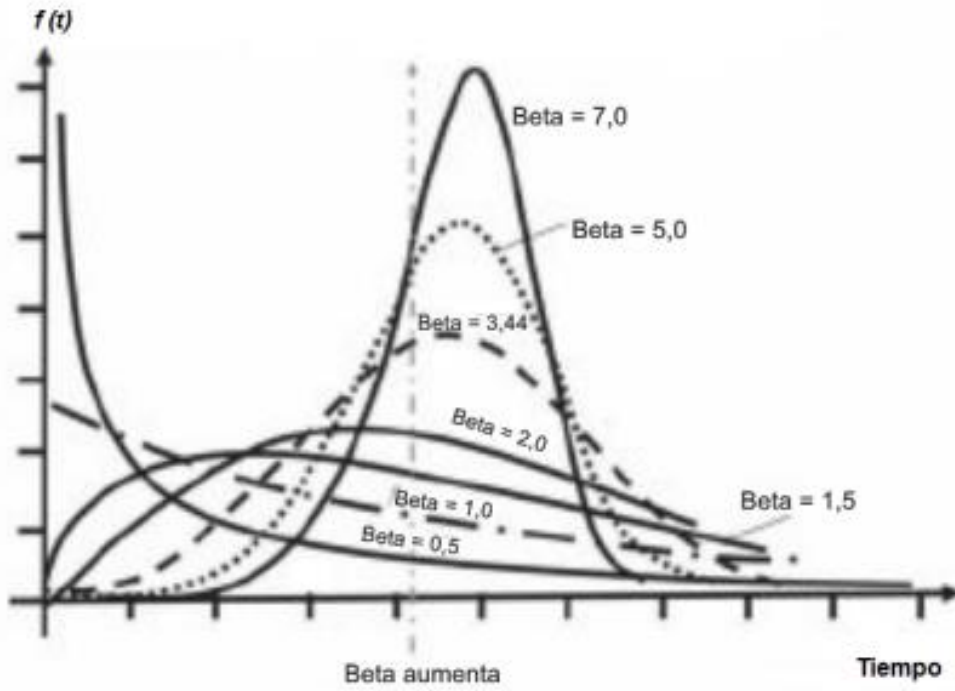


FIGURA 8-2. Función de densidad de probabilidad de fallas en Weibull
Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

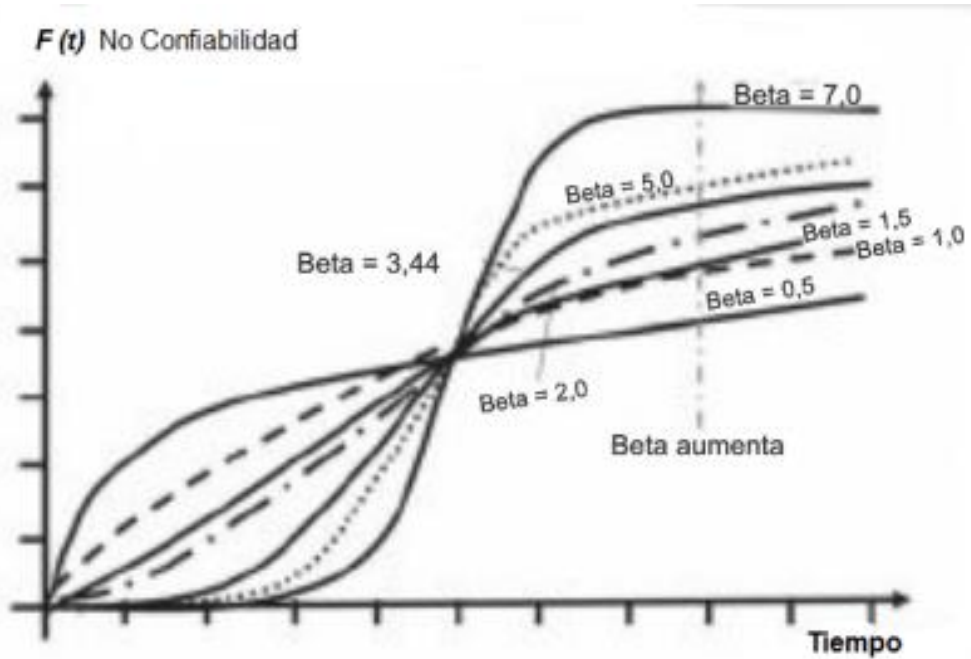


FIGURA 9-2. Función Acumulada de fallas o función de No Confiabilidad en Weibull
Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

2.2.9.2 Distribución Log-normal

La distribución Log-normal es una probabilidad frecuentemente utilizada para expresar el comportamiento de observaciones con asimetría positiva, en donde la mayoría de los valores ocurren en las proximidades de un valor mínimo.

Según Cabrera (1998), una condición para la validez de que una variable se distribuya Log-normal es que x sea la resultante de un número elevado de causas independientes con efectos positivos, que se componen de manera multiplicativa y cada una de estas causas tiene un efecto despreciable frente al global.

La distribución Log-normal de la función de tasa de fallas puede tomar varias formas, una de ellas es decreciente, con tendencia hacia su derecha, muy semejante a la fase de mortalidad infantil de la curva de Davies donde los valores de beta están entre 0,00 y 0,95.

Otra forma es creciente y cóncava como se observa en la fase donde beta está entre 1,05 y 1,95. Es útil como segunda opción después de que Weibull no cumpla con la bondad de ajuste en los rangos del factor de forma beta descrito.

Para el rango de beta de 0,95 y 1,05 con tasa de fallas constante se recomienda usar Log-normal o gamma, debido a que Weibull en este rango no trabaja muy bien.

Curvas de la distribución de Log-normal. Ver figura 10-2, 11,2.

2.2.9.3 Distribución normal

En estadística y probabilidad se llama distribución normal, distribución de Gauss o distribución gaussiana, a una de las distribuciones de probabilidad de variable continua que con más frecuencia aparece aproximada en fenómenos reales.

La importancia de esta distribución radica en que permite modelar numerosos fenómenos naturales, sociales y psicológicos. Mientras que los mecanismos que subyacen a gran parte de este tipo de fenómenos son desconocidos, por la enorme cantidad de variables incontrolables que en ellos intervienen (Wikipedia, 2015)

2.2.9.4 *Distribución normal*

En estadística y probabilidad se llama distribución normal, distribución de Gauss o distribución gaussiana, a una de las distribuciones de probabilidad de variable continua que con más frecuencia aparece aproximada en fenómenos reales.

La importancia de esta distribución radica en que permite modelar numerosos fenómenos naturales, sociales y psicológicos. Mientras que los mecanismos que subyacen a gran parte de este tipo de fenómenos son desconocidos, por la enorme cantidad de variables incontrolables que en ellos intervienen (Wikipedia, 2015)

Es una distribución que se presenta con frecuencia cuando el desgaste comienza a afectar la vida útil del componente, la distribución normal conocida también como de Gauss trabaja en los rangos de $-\infty$ a $+\infty$. Para trabajar con vida útil debe truncarse para trabajar solo desde el rango de 0 a $+\infty$ porque la vida de un componente no puede tener valores negativos.

Los expertos recomiendan usar la estimación de parámetros mediante la distribución normal, cuando la distribución de Weibull no supera la prueba de bondad de ajuste y el valor estimado de no confiabilidad de beta sea superior a 2,05.

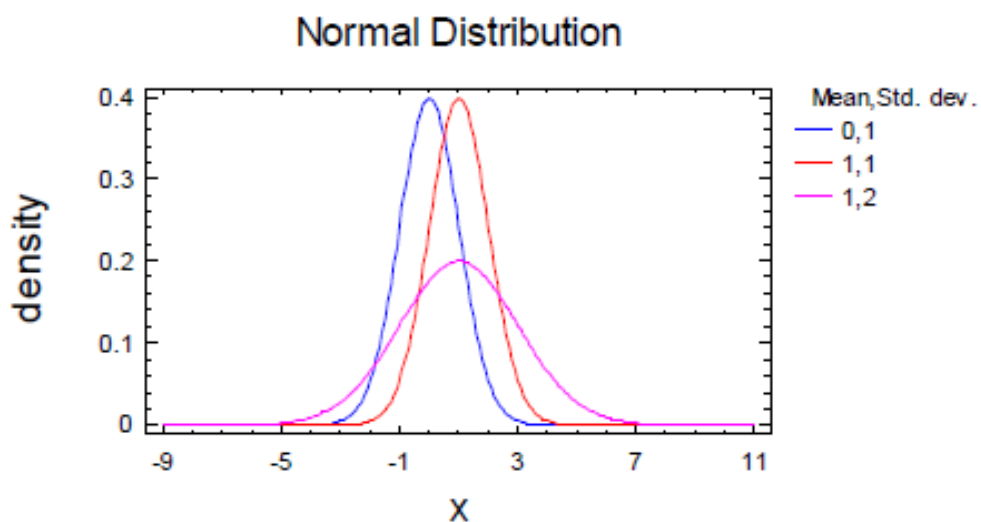


FIGURA 12-2. Función de densidad de probabilidad de fallas en distribución normal

Fuente: (Alvarez, 2009)

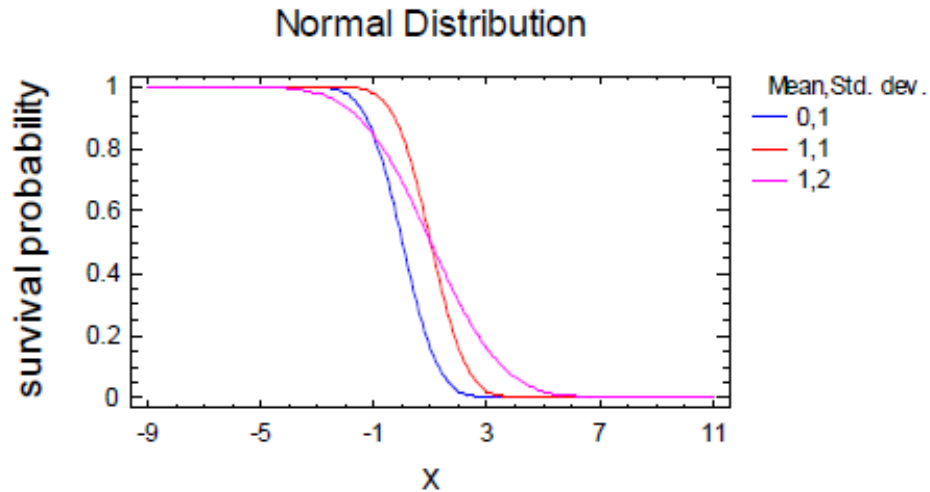


FIGURA 13-2. Función de Confiabilidad en distribución normal
 Fuente: (Alvarez, 2009)

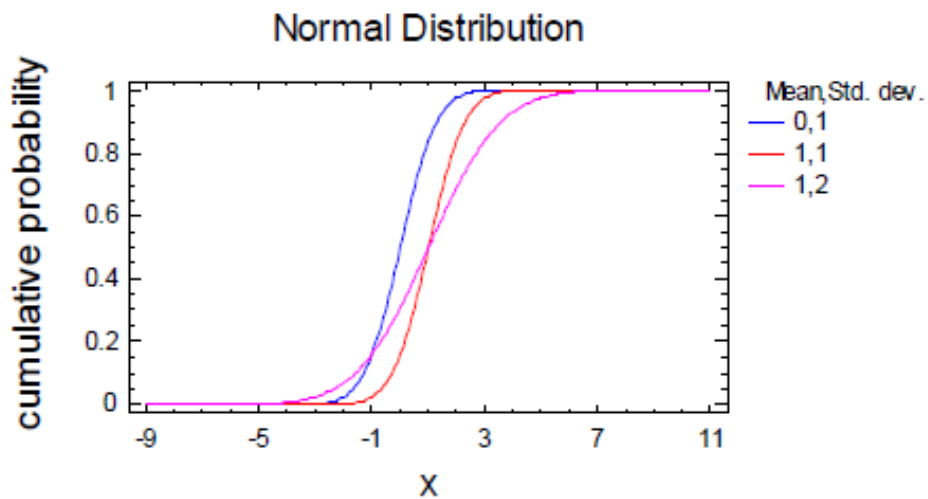


FIGURA 14-2. Función de No Confiabilidad distribución normal
 Fuente: (Alvarez, 2009)

2.2.9.5 *Distribución exponencial*

Es una distribución que es un caso especial de la distribución gamma. Es muy útil cuando el beta de Weibull alcanza un valor de 1 ± 0.05 y la tasa de fallas es constante, su importancia está en que casi todos los componentes tienen durante su operación normal una intensidad de falla constante (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 183).

Se utiliza también para modelar tiempo de vida de componentes electrónicos. Además se usa para la planeación del tiempo entre dos sucesos que sigan el proceso de Poisson Homogéneo y para el tiempo que transcurre hasta que se produce una falla (no depende del tiempo transcurrido).

Los expertos recomiendan usar la distribución gamma o Log-normal cuando beta de Weibull esté entre 0,95 y 1,05 en remplazo de la distribución exponencial, por ser las anteriores más fáciles de manejar

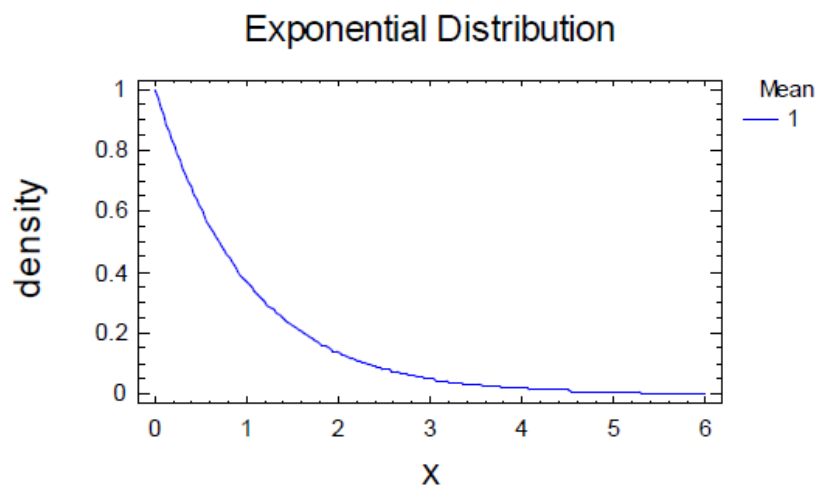


FIGURA 15-2. Función densidad de probabilidad de falla en distribución exponencial
Fuente: (Alvarez, 2009)

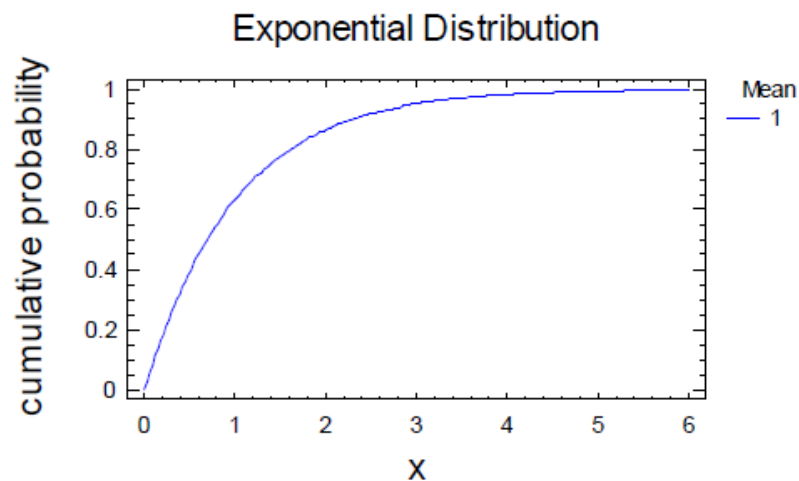


FIGURA 16-2. Función de no confiabilidad distribución exponencial
Fuente: (Alvarez, 2009)

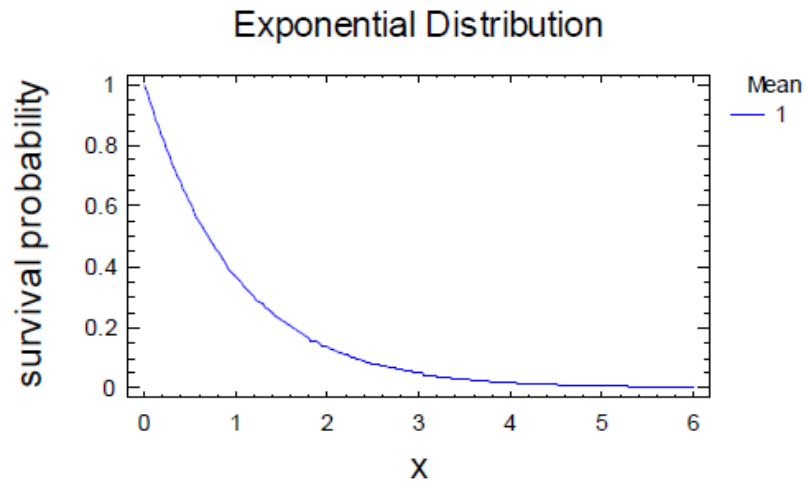


FIGURA 17-2. Función de confiabilidad distribución exponencial
Fuente: (Alvarez, 2009)

2.2.9.6 Distribución gamma.

Es una distribución para modelar los tiempos de falla de equipos durante su periodo de rodaje, también para modelar equipos en standby (Rojas Arias, 1975, pág. 214). Es una distribución de dos parámetros, el parámetro de escala lambda (λ) y el parámetro de forma alfa (α). Los parámetros de la distribución gamma se calculan por medio del método de máxima verosimilitud o MLE, esta distribución toma el nombre de Erlang cuando el factor de forma alfa es un número entero positivo.

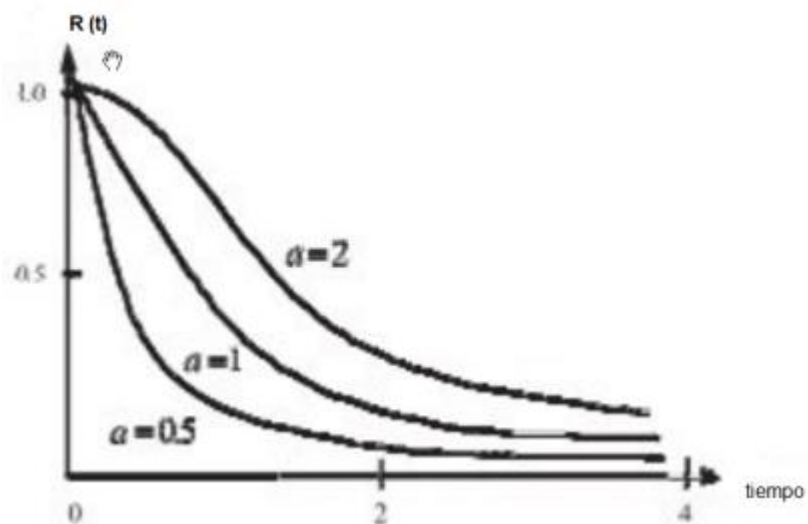


FIGURA 18-2. Función de confiabilidad distribución gamma
Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

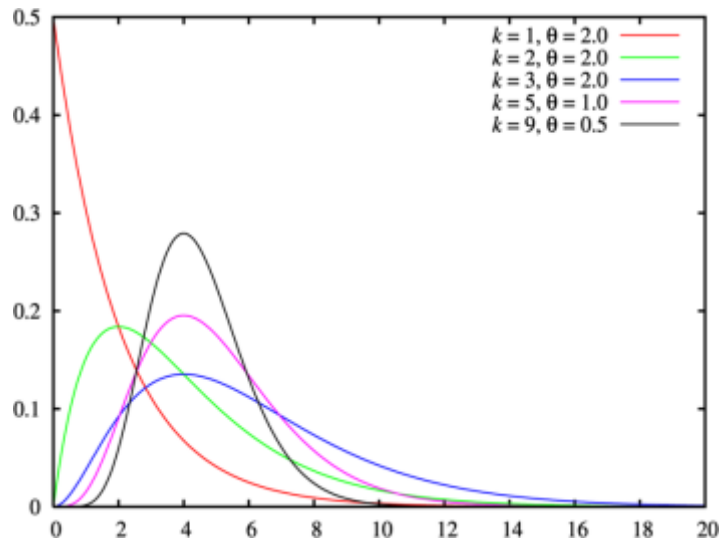


FIGURA 19-2. Función de densidad de probabilidad de falla distribución gamma
Fuente: (Wikipedia, 2015)

2.2.10 Pruebas de bondad de ajuste (Goodness of fit)

Las pruebas de bondad de ajuste o goodness of fit por sus siglas en inglés, buscan comprobar una hipótesis, según la cual los datos que se observan corresponden a una distribución seleccionada bajo los parámetros estimados; entre otras pruebas para juzgar el ajuste de una muestra, se incluyen los métodos visuales y las pruebas de tendencia. (Nist Sematech, 2003)

Las investigaciones estadísticas proporcionan una gran cantidad de pruebas que se pueden realizar para determinar si una muestra de datos corresponde a una distribución específica.

Entre ellas están la J_i^2 , la de Kolmogorov, la de Kolmogorov-Smirnov, la de Anderson-Darling, la de Cramer von Mises, la de Watson, la de Kuiper, entre otras. (Software Statgraphics)

Para efectos de comprobación en el método CMD propuesto por Mora (Modelo universal e integral, propuesto para la medición CMD), se realizan J_i^2 , la de Kolmogorov-Smirnov y la de Anderson-Darling, ya que son bastante comunes y se pueden desarrollar con muchas clases de software existentes, a la vez que se complementan unas con otras (Mora, 2007, pág. 2012)

2.2.10.1 Prueba de Kolmogorov-Smirnov

La prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (K-S1) se usa para decidir si una muestra de datos proviene de una población con una distribución específica; la prueba está basada en la función de distribución acumulada empírica.

La prueba K-S es una medida definida como el máximo valor de la diferencia absoluta entre dos funciones de distribución acumulada. Entre sus ventajas se encuentra que no depende de la distribución con la cual es comparada, lo que le da un alto grado de independencia y de exactitud, es decir, tiene una relación estricta respecto al número de datos y no hay que modificarla para que sea válida. Entre sus desventajas están que tiende a ser más sensible cerca al centro de la distribución que hacia los extremos o colas.

$$E_N = \frac{n(j)}{N} \quad \text{Ecuación [38]}$$

Dónde:

EN: función de distribución acumulada empírica.

n (j): número de la posición ordenada del dato.

N: número total de datos.

Dónde:

Ho: los datos siguen una distribución especificada.

Ha: los datos no siguen la distribución especificada.

$$D = \text{máximo } |F(Y_j) - E_j| \quad \text{Ecuación [39]}$$

Dónde:

(Yj): función de distribución acumulada por probar

Ej: función empírica

La prueba es aceptada cuando el valor D es menor que el valor crítico ($D_{\text{crítico}}$), para el nivel de significancia seleccionado y rechazada en caso contrario.

Los valores críticos se encuentran tabulados. (Nist Sematech, 2003), (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 202)

2.2.10.2 Prueba de Anderson Darling

En estadística, la prueba de Anderson-Darling es una prueba no paramétrica sobre si los datos de una muestra provienen de una distribución específica.

La prueba de Anderson-Darling (A-D) se usa para probar si una muestra de datos procede de una población con una distribución determinada. Esta prueba es una modificación de la prueba K-S (Kolmogorov-Smirnov), en la cual se da más peso a los valores extremos o colas.

La prueba A-D usa la distribución específica para calcular los valores críticos, lo cual da la ventaja de hacerla más sensible a la prueba; su desventaja es requerir el cálculo del valor crítico para cada distribución de datos (Nist Sematech, 2003). La mayoría de los programas estadísticos ofrecen esta prueba.

La prueba A-D está definida como:

Ho: los datos siguen una distribución especificada

Ha: los datos no siguen la distribución especificada

$$A^2 = -N - \sum_{j=1}^N \frac{(2j-1)}{N} [\ln F(Y_j) + \ln(1 - F(Y_{N+1-j}))] \quad \text{Ecuación [40]}$$

Dónde:

A^2 : Prueba Anderson Darling

N: número total de datos

F (Y_j): función de distribución acumulada por probar

j: número de la posición ordenada del dato

La prueba de Anderson Darling es aceptada cuando el valor A^2 es menor al valor crítico (A^2 crítico) para el nivel de significancia seleccionado y rechazada en caso contrario, ver la figura 20-2. (Mora, 2007, pág. 204), (Nist Sematech, 2003)

Valores críticos de A^2 para las distribuciones normal y Log-normal				
a	0,1	0,05	0,025	0,01
A^2 crítico	0,631	0,752	0,873	1,035

Valores críticos de A^2 para las distribuciones exponencial y Weibull				
a	0,1	0,05	0,025	0,01
A^2 crítico	0,631	0,752	0,873	1,035

FIGURA 20-2. Valores críticos en Anderson Darling
Fuente: (Mora, 2007)

2.2.10.3 Prueba J^2 Chi Cuadrado

La prueba J^2 Chi cuadrado (X^2)³ se usa para probar si una muestra de datos proviene de una población con distribución específica. La prueba puede ser aplicada a cualquier distribución univariada, a la cual se pueda estimar su función de distribución acumulada.

La prueba es alternativa a K-S y a A-D. (Nist Sematech, 2003)

La prueba J^2 está definida como:

H_0 : los datos siguen una distribución especificada.

H_a : los datos no siguen la distribución especificada.

$$X^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \quad \text{Ecuación [41]}$$

Dónde:

k: número de segmentos en los que está dividida la muestra

O_j : frecuencia observada para el segmento j

E_j : frecuencia esperada para el segmento j

2.2.11 Curva de Davies

La función de tasa de falla por su forma característica es conocida como curva de la bañera y expresa los tres períodos típicos de un equipo: mortalidad infantil, vida útil y desgaste, como se observa en el gráfico. (Kelly, 1998)

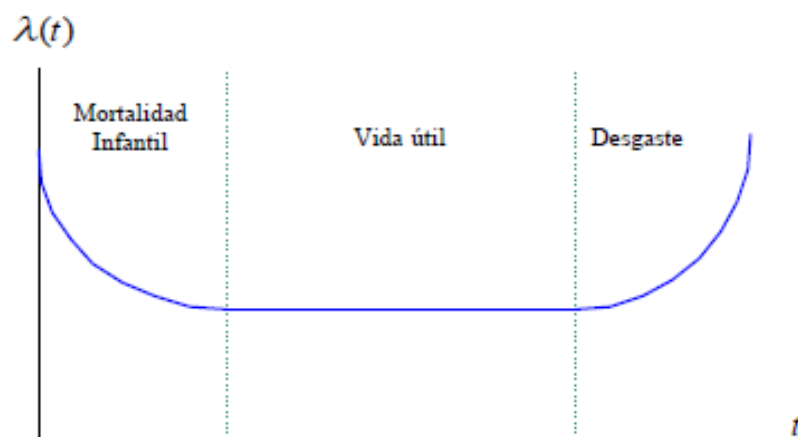


FIGURA 21-2. Curva básica de la bañera
Fuente: (Ebeling, 1997)

También tiene el nombre de la curva de la bañera, en la figura 21-2, se muestra cómo se desarrolla en el tiempo la tasa de falla $\lambda(t)$ y el parámetro de forma β del activo que se evalúa.

Las diferentes acciones que se deciden sobre las tareas de mantenimiento y operación dependen entre otros factores de la curva de la bañera.

Se pueden observar varias fases: fase uno llamada de mortalidad infantil o de rodaje, fase dos de madurez o de vida útil y la fase tres o de envejecimiento. Esta última fase tiene tres etapas (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 106)

Etapa uno de la fase tres, en esta etapa la tasa de fallas empieza a crecer en forma suave, las fallas son reconocidas y empiezan a usarse las acciones preventivas es una etapa en que la ingeniería de confiabilidad inicia a ejercer dominio sobre el sistema y el control de sus fallos

Etapa dos de la fase tres, en esta etapa la tasa de fallas empieza a crecer de forma constante, es en esta etapa donde las acciones preventivas pasan a ser acciones predictivas, el comportamiento de las fallas comienza a ser predecible

Etapa tres de la fase tres, es la zona de envejecimiento donde la vida útil del equipo se acelera y la tasa de fallos se incrementa de forma rápida, en esta etapa se usan las acciones correctivas y modificativas; cuando la mantenibilidad no mejora se usa como última alternativa la sustitución o la reposición



FIGURA 22-2. Fases de Curva de la bañera o de Davies
Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

En la figura 23-2, se puede apreciar las estrategias de mantenimiento a tomar en base al parámetro de forma beta β , en donde se denota que la línea, a medida que se vuelve más gruesa la aplicación de la táctica es más eficiente, ya que se acomoda más a las características de las fallas y de su tasa.

Adicional en la figura 24-2, se muestra la banda de aplicabilidad de las diferentes distribuciones más utilizadas en la curva de Davies o de la bañera.

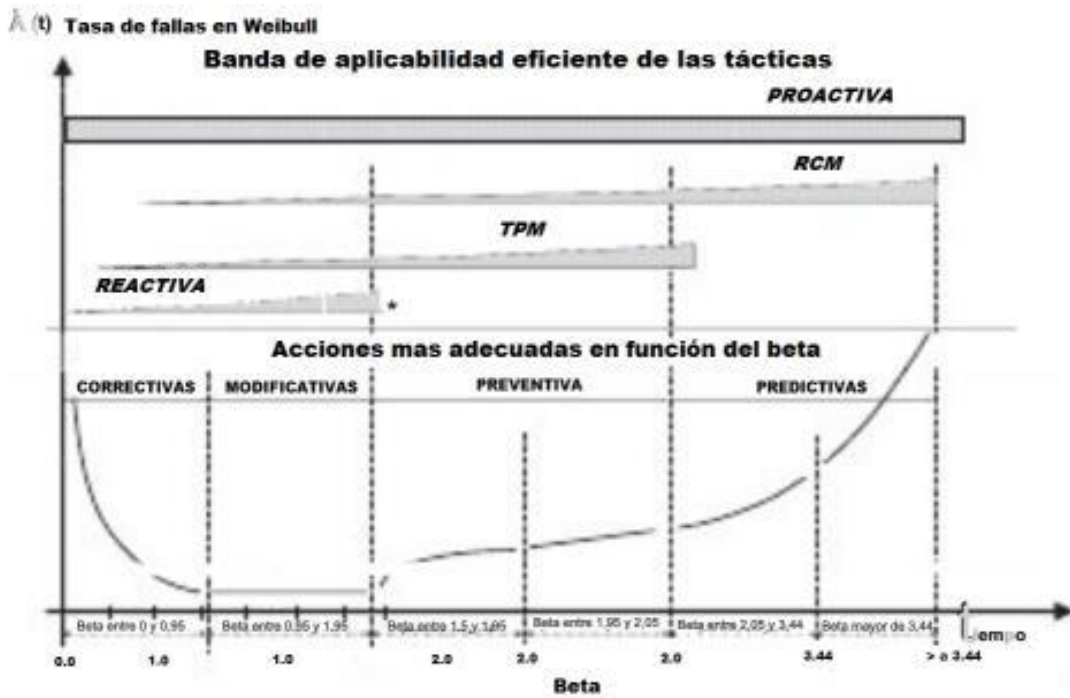


FIGURA 23-2. Curva de Davies, acciones y tácticas adecuadas, acorde al valor del beta.
Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

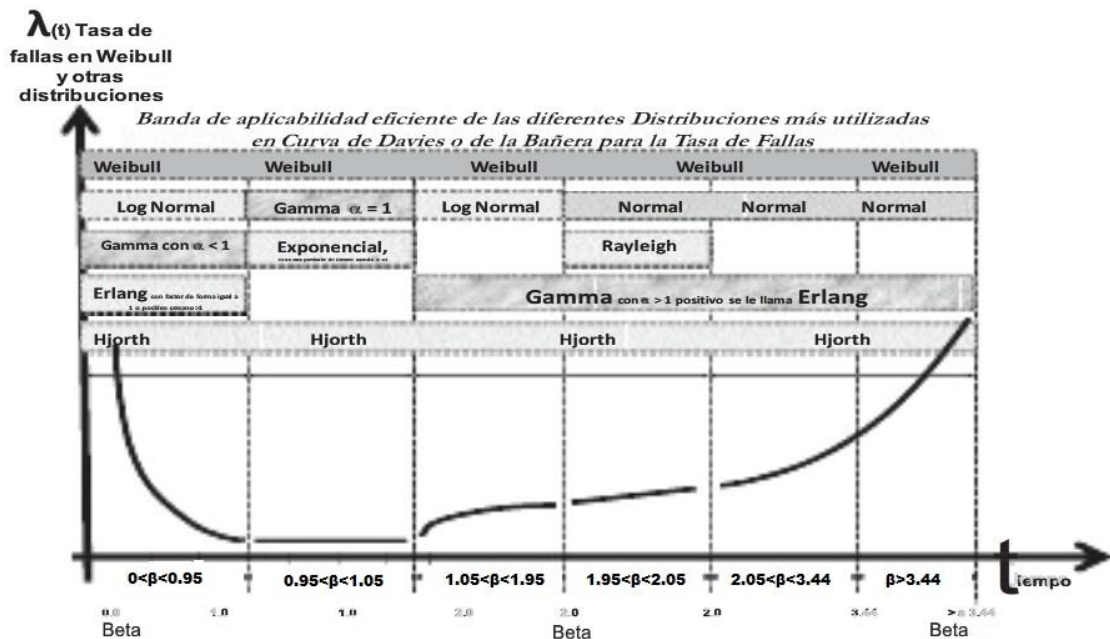


FIGURA 24-2. Zonas comunes del beta en Weibull (para cálculos de la tasa de fallas y otros parámetros) con otras distribuciones.
Fuente: (Mora Gutiérrez, 2009)

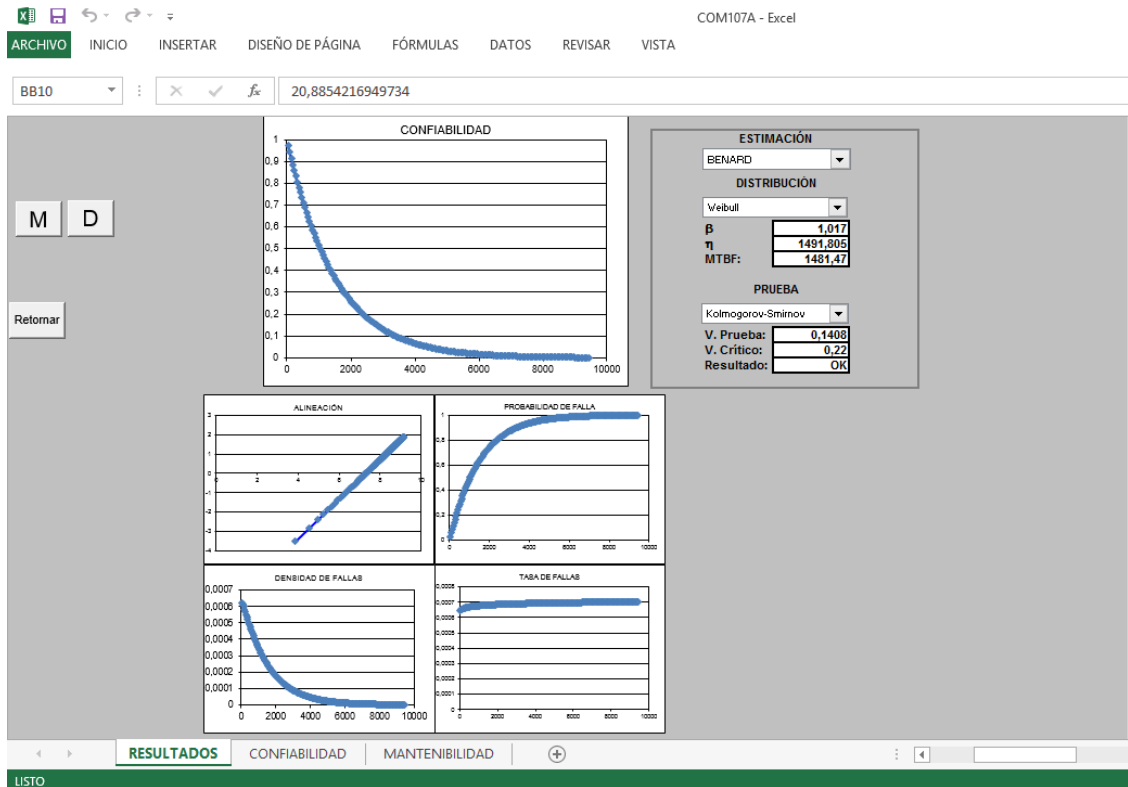


FIGURA 26-2. Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, Plataforma de resultados

Fuente: Ing. Luis Alberto Mora Gutiérrez

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de investigación

Para el presente trabajo, se selecciona una investigación de tipo descriptivo, ya que como menciona Bavaresco (2006, p. 20), los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, características y los perfiles de personas, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis, es decir miden, evalúan y recolectan datos sobre diversos conceptos, variables, aspectos del fenómeno a investigar.

La investigación descriptiva se guía por preguntas de investigación que se formula el investigador; cuando se plantean hipótesis en los estudios descriptivos, éstas se formulan a nivel descriptivo y se prueban dichas hipótesis.

Se soporta principalmente en técnicas como la encuesta, la entrevista, la observación y la revisión documental. (Bernal Torres, 2006, pág. 113)

Para Chávez (1994, p.135) las investigaciones descriptivas son todos aquellos estudios que se orientan a recolectar informaciones relacionada con el estado real de las personas, objetos, situaciones o fenómeno, tal cual como se presentan en el momento de su recolección.

La presente investigación puede catalogarse como descriptiva por orientarse a la búsqueda de conocimientos específicos de la realidad, ya se pretende definir criterios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema estudiado, para con ello establecer las mejores estrategias de mantenimiento a aplicarse.

3.2 Diseño de la Investigación

Un diseño es una estructura a seguir en una investigación, ya que permite ejercer control de la misma con el fin de encontrar mejores resultados y sobretodo que sean confiables para la investigación. Como también permite encontrar las relaciones con todos los interrogantes sugeridos desde la hipótesis del problema. Esta constituye la mejor estrategia a seguir por el investigador para la adecuada solución del problema planteado.

En este estudio se opta por una investigación documental debido a que se usaron fuentes de recolección de datos como: base de datos, manuales de fabricante, informes y reportes, etc.

La investigación documental constituye el inicio de cualquier investigación de campo, por cuanto permite un conocimiento previo o bien el soporte documental o bibliográfico referente al tema de estudio, conociéndose los antecedentes o quienes hayan escrito sobre el tema. (Bavaresco De Pietro, 2006, págs. 20-30)

Por otra parte este estudio puede considerarse como No experimental, ya que en éste no es posible manipular las variables o asignar aleatoriamente los participantes o los tratamientos. De hecho no hay condiciones o estímulos planeados que se administren a los participantes del estudio. (Kerlinger, 1985)

Según (Bulege, 2013), los diseños no experimentales se caracteriza por no manipular deliberadamente la variable independiente. El investigador para este tipo de diseños no experimentales solo se sustrae a contemplar los fenómenos en su estado natural para luego analizarlos.

Dentro de los diseños no experimentales se encuentran los diseños longitudinales, éste consiste en analizar los cambios que se dan a través del tiempo, de determinadas categorías, conceptos, eventos. (Bulege, 2013)

En la presente investigación se empezó recolectando datos del sistema analizado, datos como tiempos de buen funcionamiento UT, tiempos de reparación DT, historial de fallos, costos de materiales y horas hombre, ordenes de trabajo (OT) correctivas, reportes de generación, reportes de horómetros del sistema de compresión.

Los datos fueron extraídos del sistema de gestión de activos MAXIMO OIL AND GAS, los mismos que se validaron mediante entrevistas a los encargados de operación y mantenimiento para una mejor calidad de la información.

Las entrevistas se estructuraron con el fin de corroborar datos incoherentes y/o faltantes dentro de las órdenes de trabajo reportadas en el sistema de gestión de activos MAXIMO OIL AND GAS según el formato adjunto. Ver Anexo M.

Se entrevistó a 10 personas de alta trayectoria y experiencia, encargadas de la operación y el mantenimiento del sistema de compresión de gas en distintas áreas, (mecánica, eléctrica, control y producción). Ver Anexo L.

Los resultados (Ver Anexo N), contribuyeron a la mejora de la información extraída del sistema MAXIMO OIL AND GAS, lo cual permitió garantizar la calidad de los mismos previa la modelación estadística para la obtención de las ecuaciones que gobiernan el sistema.

3.3 Censo

La población es el universo de la investigación sobre el cual se pretende generalizar los resultados. Las poblaciones deben situarse claramente en torno a sus características de contenido, lugar y en tiempo. (Pulido Rodríguez, 2007, pág. 51)

En base a lo manifestado, la población escogida para el presente estudio, se centra en el sistema de compresión de gas ubicado en la Central de Facilidades de Producción (CPF), en el bloque 15, dentro de la comunidad de Limoncocha, cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos, en Ecuador.

Este sistema está conformado por dos (2) compresores reciprocantes impulsados por motor eléctrico, cada uno con sus acumuladores de succión y descarga, enfriadores de gas e instrumentación y control.

En virtud del tamaño finito de la población, no se hizo necesario determinar una muestra, por lo tanto, se utilizó el censo poblacional que es la técnica que permite evaluar todas las unidades de análisis de la investigación para presentar sus características.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Una investigación es científicamente válida al estar sustentada en información verificable, que responda lo que se pretende demostrar con la hipótesis formulada. Para ello, es imprescindible realizar un proceso de recolección de datos en forma planificada y teniendo claros objetivos sobre el nivel y profundidad de la información a recolectar.

Las fuentes de información; Son todos aquellos medios de los cuales procede la información, que satisfacen las necesidades de conocimiento de una situación o problema presentado, que posteriormente será utilizado para lograr los objetivos esperados. (Torres, 2006, pág. 3)

La presente investigación es de origen primario, es decir su fuente de información es primaria y de observación directa, debido a que los datos provienen directamente de la población o muestra de la población.

La observación es el método fundamental de obtención de datos de la realidad, consiste en obtener cualquier información mediante la percepción intencionada y la selectiva, ilustrada e interpretativa de un objeto o de un fenómeno determinado. (Bavaresco De Pietro, 2006, pág. 95)

Este estudio se basa en la observación documental o bibliográfica, ya que tiene su apoyo en distintos tipos de documentos y notas de contenido.

La recolección de datos de esta investigación se realiza mediante técnicas, como observación de parámetros en situ, entrevistas a personal de alta trayectoria y experiencia, y análisis de documentos archivados en el sistema de gestión de activos EAM MAXIMO OIL AND GAS, en las bitácoras de operación y mantenimiento del bloque 15, ubicados en la Intranet. Ver Anexo O.

Instrumentos como: cámara fotográfica, computador portátil, software para el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, cuadernos de notas, fueron necesarios para el desarrollo de la investigación.

3.5 Fases de la investigación

La elaboración de esta investigación se basa en la aplicación de un análisis CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) o RAM por sus siglas en inglés (Reability, Availability, Maintainability). La cual tiene como principal propósito y objetivo según (Mora Gutiérrez, 2009), brindar una herramienta fácil de usar para controlar la gestión y la operación integral del mantenimiento. A la vez que permite predecir el comportamiento futuro de corto plazo de los equipos, en cuanto a fallas, reparaciones, tiempos útiles, etc.

Para la realización del análisis CMD del sistema de compresión de gas de CPF, bloque 15, el estudio se enfocó en realizar un diagnóstico de la disponibilidad para un periodo de nueve (9) años de operación desde el 1 de enero del 2007 hasta el 20 de Noviembre del 2015. Esto debido a que los datos existentes se registran en ese periodo.

Posteriormente se caracteriza según el método universal para pronosticar el CMD del autor (Mora Gutiérrez, 2009, pág. 68)

A continuación se resumen las fases que se llevaron a cabo para la realización de la presente investigación, tomando como referencia el **Método Universal para Pronosticar el CMD**.

Fase 1: Empieza con la recolección de datos de campo, su secuencia cronológica, manejo, estilo y manipulación. Así como la confirmación de la veracidad de los mismos, para ser usados dentro de cálculos puntuales y de distribuciones.

Se determinan los equipos y componentes del sistema de compresión de gas que generan un alto impacto en el desempeño y la disponibilidad del proceso.

Según el sistema (EAM MAXIMO OIL AND GAS, 2015) / historial de fallos, el motor eléctrico, compresor recíprocante y sistema de instrumentación y control presentaron el

mayor número de fallos en el periodo estudiado 2007-2015. Los mismos que fueron objeto de este estudio.

De la base de datos extraída de MAXIMO, se depura en una hoja Excel las órdenes de trabajo OT que tengan redundancia o no sean de aporte para el estudio. Además se realizan entrevistas al personal de operación y mantenimiento para mejorar la calidad de la información a modelar.

En esta base de datos se reflejan el número de OT (orden de trabajo), descripción de la OT, equipo intervenido, fecha de inicio y fin de la actividad, duración de la actividad de mantenimiento, costos de materiales utilizados, costos de hora-hombre, número de horas de intervención del equipo, etc.

Una vez procesada la base de datos se ingresan los horómetros por cada falla en el periodo de tiempo analizado, tomando estos datos del reporte de horómetros de la planta CPF. Posteriormente se realiza la estimación y cálculo de los tiempos de buen funcionamiento UT y tiempos de reparación DT.

Obtenidos los datos de UT y DT, se verifica que no existan datos repetidos, ya que según (Mora Gutiérrez, 2009), si existen tiempos de buen funcionamiento UT y tiempos de reparación DT repetidos se deberá dejar solo uno, el más crítico a la luz de las fallas.

Adicional se tiene en cuenta que para modelar los comportamientos de fallas es necesario tener al menos 31 datos, es decir cumplir con el teorema del límite central.

Fase 2: Se decide cual es la disponibilidad a calcular, teniendo en cuenta los datos disponibles y las limitaciones y/o expectativas dentro de la empresa.

En la presente investigación se selecciona la disponibilidad inherente. Ésta sirve para organizaciones que no predicen ni manejan CMD, además que es muy adecuada para inicializar pruebas piloto en las empresas. Utiliza parámetros UT y DT. (Mora Gutiérrez, 2009)

Con los datos obtenidos y los argumentos detallados anteriormente se escoge trabajar con la disponibilidad inherente (A_i)

Fase 3: Emplear el uso del MLE (método de máxima verosimilitud), o aplicar el método de alineación con sus dos aspectos: estimación de parámetros $F(t)$ (Función de no confiabilidad) y de $M(t)$ (Función de mantenibilidad), con las diferentes alternativas de estimación como: i-kaésimo, rango de medianas con tabla, de Benard o Kaplan y Meyer.

Se decide aplicar el uso de la estimación de parámetros de No Confiabilidad y de Mantenibilidad, para lo cual se crea una hoja de Excel denominada *Transformaciones en lo no planeado V1R3*. En ésta se realizan los cálculos de los métodos de estimación i-kaesimo, Rango de las Medianas, Bernard y Kaplan Meier.

Se realiza la alineación para Weibull mediante el método de los mínimos cuadrados. Y con los datos se verifica que cumpla con los rangos permitidos del coeficiente de determinación y del coeficiente de correlación.

Se obtiene además el parámetro de forma beta β y el parámetro de escala eta η , así como el MTBF y el MTTR.

Fase 4: Realizar los cálculos de los parámetros de Weibull y validar las pruebas de bondad de ajuste, éstas se realizan con tres pruebas Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi cuadrado Ji^2 . Realizar la validación de bondad y ajuste para comprobar si los datos que se observan corresponden a la distribución escogida

Mediante el software - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, se realizan las pruebas de bondad de ajuste, seleccionando tres de ellas; Kolmogorov – Smirnov, Anderson Darling y Chi cuadrado.

Se verifica que cumpla al menos 2 de las tres pruebas, siguiendo el modelo de Mora. En la presente investigación tanto el subsistema COM107A, como el COM107B, cumplieron satisfactoriamente las condiciones, por lo que se prosigue mediante la distribución de Weibull.

Fase 5: Se calculan los parámetros CMD acorde a la función seleccionada (Weibull), estos son: UT, DT, MTBF, MTTR y A_g . Se Analizan las curvas de densidad de falla $f(t)$, acumulada de fallas $F(t)$, confiabilidad $R(t)$ y tasa de falla $\lambda(t)$, para la Confiabilidad y las curvas de Mantenibilidad y densidad de reparaciones para la Mantenibilidad.

Se describen las diferentes ecuaciones correspondientes a los índices de Confiabilidad y Mantenibilidad.

Y por último de acuerdo al parámetro de forma beta β , se define las estrategias a emplear para el mejoramiento de la gestión actual de mantenimiento del sistema de compresión de gas analizado.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación de los Tiempos de buen funcionamiento (UT) y tiempos de parada (DT)

En base a los datos de MAXIMO OIL & GAS, ver ANEXO A, se obtienen los tiempos de buen funcionamiento UT y los tiempos fuera de operación DT.

Se empieza recolectando los datos del historial de mantenimiento extraído del sistema MAXIMO, tabla 1-4. Se construye una matriz en una hoja Excel, con el fin de poder cuantificar los datos. Como se observa en la figura 4-1, los datos extraídos de MAXIMO, son los siguientes:

Tabla 1-4: Descripción de los campos de la base de datos de MAXIMO

CAMPOS	DESCRIPCIÓN
No ORDER	Número de orden de trabajo
DESCRIPTION	Descripción de la actividad de mantenimiento
WORKTYPE	Tipo de trabajo (Correctivo CME, Preventivo PMT, etc.)
AREA	Área que realiza el trabajo (mecánica, eléctrica, control)
TAG	Identificación del equipo / subsistema (COM107A, COM107B)
ACTMATCOST	Costo de materiales e insumos asociada a la orden de trabajo.
ACTLABCOST	Costo de horas-hombre asociadas a la orden de trabajo.
ACTSTART	Fecha de inicio de trabajo.
ACTFINISH	Fecha de culminación de trabajo.
ESTDUR	Duración del trabajo realizado, en horas.

Fuente: (EAM MAXIMO OIL & GAS, 2015)

Con los datos obtenidos, se incluye a cada una de las órdenes de trabajo, las horas a las cuales se realizó la actividad de mantenimiento correctivo, como se muestra en la

figura 2-4. Esto con el fin de poder cuantificar el tiempo transcurrido entre fallas secuenciales. Los horómetros son extraídos del reporte diario de la planta de procesos CPF. Ver anexo J.

Data Base COM107AB sistem									
No ORDER	DESCRIPTION	WORKTYPE	AREA	TAG	ACTMATCOST	ACTLABCOST	ACTSTART	ACTFINISH	ESTDUR
OT-0717341	REVISION DE COMPRESOR DE GAS COM107A (CPF)	CME	CR-CPF-INS	COM107A	121,38	30,09	04-feb-2007	14-feb-2007	3,00
OT-0759439	CHEQUEO INSTRUMENTACION COMPRESOR DE GAS	CME	CR-CPF-INS	COM107B	0,00	41,85	06-abr-2007	09-abr-2007	0,00
OT-0760531	CHEQUEO INSTRUMENTACION COMPRESOR DE GAS	CME	CR-CPF-INS	COM107B	1.575,69	101,98	10-abr-2007	12-abr-2007	0,00
OT-0778963	CHEQUEO DE SENSOR DE NIVEL COMPRESOR GAS	CME	CR-CPF-INS	COM107B	119,47	39,20	01-may-2007	08-may-2007	0,00
OT-0787273	CORRECCION DE FUGAS DE GAS COM-107B (CPF)	CME	CR-CPF-MES	COM107B	0,00	86,24	21-may-2007	21-may-2007	0,00
OT-07136771	CALIBRACION DE SW DE NIVEL DE ACEITE DE	CME	CR-CPF-INS	COM107B	0,00	66,64	27-jul-2007	27-jul-2007	0,00
OT-07204046	CAMBIO DE VALVULA DE SUCCION E INSPECCIONES	CME	CR-CPF-MES	COM107A	533,48	47,12	26-oct-2007	26-oct-2007	4,50
OT-07215095	CAMBIO DE SENSOR DE FLUJO DIGITAL NO FLOW	CME	CR-CPF-INS	COM107A	599,76	39,20	06-nov-2007	06-nov-2007	5,00
OT-07243192	CORRECCION DE FUGAS DE ACEITE EN COM107A	CME	CR-CPF-MES	COM107A	0,00	148,96	06-dic-2007	07-dic-2007	10,00
OT-07247258	REPARACION DE CAPILAR DE 1" BOMBA DE ACEITE EN	CME	CR-CPF-INS	COM107A	78,84	78,40	13-dic-2007	13-dic-2007	5,00
OT-07243299	CHEQUEO Y CALIBRACION DE SW DE NIVEL DE ACEITE	CME	CR-CPF-INS	COM107A	69,16	78,40	06-dic-2007	07-dic-2007	10,00
OT-07251756	REVISION DE TRANSDUCTORES DE PRESION DEL COM-	CME	CR-CPF-INS	COM107B	135,85	301,55	18-dic-2007	23-dic-2007	25,00
OT-08269705	FALLA COMPRESOR POR ALTA TEMPERATURA DE	CME	CR-CPF-MES	COM107A	0,00	320,15	10-ene-2008	12-ene-2008	20,00

FIGURA 1-4. Base de datos, Ordenes de trabajo sistema COM107

Fuente: Extraído de (EAM MAXIMO OIL & GAS, 2015)

No	DESCRIPTION	WORI	TAG	ACTSTAR	ACTFINIS	ESTD	HOROMET
OT-0717341	REVISION DE COMPRESOR DE GAS COM107A (CPF) HIDALGOG	CME	COM107A	04-feb-2007	14-feb-2007	22,00	33222
OT-0759439	CHEQUEO INSTRUMENTACION COMPRESOR DE GAS COM107B (CPF) HAROF	CME	COM107B	06-abr-2007	09-abr-2007	4,00	20288
OT-0760531	CHEQUEO INSTRUMENTACION COMPRESOR DE GAS COM107B (CPF) PAGUAYM	CME	COM107B	10-abr-2007	12-abr-2007	15,00	20346
OT-0778963	CHEQUEO DE SENSOR DE NIVEL COMPRESOR GAS COM107B (CPF) HIDALGOG	CME	COM107B	01-may-2007	08-may-2007	17,00	20718
OT-0787273	CORRECCION DE FUGAS DE GAS COM-107B (CPF) ESPINOZW	CME	COM107B	21-may-2007	21-may-2007	12,00	21009
OT-07136771	CALIBRACION DE SW DE NIVEL DE ACETE DE COMPRESOR DE GAS COM107B (CPF)	CME	COM107B	27-jul-2007	27-jul-2007	9,00	21108
OT-07204046	CAMBIO DE VALVULA DE SUCCION E INSPECCIONES GENERALES(CPF)ESTRADAU	CME	COM107A	26-oct-2007	26-oct-2007	4,50	38483
OT-07215095	CAMBIO DE SENSOR DE FLUJO DIGITAL NO FLOW TIMER (CPF) PAGUAYM	CME	COM107A	06-nov-2007	06-nov-2007	5,00	38483
OT-07243192	CORRECCION DE FUGAS DE ACETE EN COM107A (CPF) ESPINOZW	CME	COM107A	06-dic-2007	07-dic-2007	10,00	38656
OT-07247258	REPARACION DE CAPILAR DE 1" BOMBA DE ACETE EN COM107A (CPF) GUEVARAR	CME	COM107A	13-dic-2007	13-dic-2007	5,00	38706
OT-07243299	CHEQUEO Y CALIBRACION DE SW DE NIVEL DE ACEITE (CPF) PAGUAYM	CME	COM107A	06-dic-2007	07-dic-2007	10,00	39183
OT-07251756	REVISION DE TRANSDUCTORES DE PRESION DEL COM-107B (CPF) PAREDEF -GH	CME	COM107B	18-dic-2007	23-dic-2007	25,00	21842
OT-08269705	FALLA COMPRESOR POR ALTA TEMPERATURA DE DESCARGA COM-107 A (CPF)	CME	COM107A	10-ene-2008	12-ene-2008	20,00	39377
OT-08297111	CAMBIO DE ACEITE COMPRESOR 107-A (CPF) FREIRED	CME	COM107A	16-feb-2008	16-feb-2008	3,00	39569

FIGURA 2-4. Inclusión de horómetros a cada OT

Fuente: Reporte diario de horómetros. Planta de procesos CPF - Petroamazonas

Se efectúa la validación de la información mediante entrevistas realizadas a personal de operación y mantenimiento, siguiendo el formato desarrollado. Ver ANEXOS L y M. Con los datos validados, se realiza la resta de horas entre actividades correctivas secuenciales como se observa en la figura 3-4. Obteniendo así los valores de tiempo de buen funcionamiento UT. Y el tiempo no operativo después de la falla DT, es obtenido directamente del tiempo de duración de mantenimiento correctivo, extraído de MAXIMO.

OT	DESCRIPCION	FECHA	HOROMETRO	UT	DT
OT-09940444	CHEQUEO DE EQUIPO Y CAMBIO DE VALVULA DE SUCCION COM107B (C)	28-dic.-09	25406	307	4,5
OT-101047466	CHEQUEO Y CAMBIO DE VALVULA TERMOSTATICA CPF ESTRADAU	4-abr.-10	26308	902	4
OT-101097367	CHEQUEO DE COMPRESOR DE GAS COM107B (CPF) @EG#HB(16,17jun)	23-jun.-10	28167	1859	13

FIGURA 3-4. Cálculo de UT y DT

Fuente: Hoja de cálculo procesamiento de horómetros .xls. Sánchez, D.

Siguiendo la metodología propuesta por Mora (2009, p.223), si existen tiempos de buen funcionamiento UT o tiempos de reparación DT repetidos se deberá dejar solo uno, el más crítico a la luz de las fallas, como se observa en la figura 4-4.

Una vez eliminados los datos repetidos, se realiza una tabla con los valores ordenados de menor a mayor, para comenzar con la modelación estadística. Es necesario verificar si una vez depurados los datos repetidos, el número restante cumple con el teorema del límite central para la correcta modelación estadística de los datos.

UT Y DT DE MAYOR A MENOR

UT	DT
109	1
138	2
162	2,5
164	3
229	3
240	3,5
243	3,5
282	4
307	4,5
316	5
364	6
372	7
372	8
390	8,5
399	9
430	10
518	11
632	11
634	13
762	16
802	17

FIGURA 4-4. Refinamiento de UT y DT

Fuente: Hoja de cálculo procesamiento de horómetros .xls. Sánchez, D.

En la tabla 2-4, se muestra los valores de tiempos de buen funcionamiento UT y tiempos de reparación en acciones correctivas DT, los cuales servirán para los cálculos de tiempo medio entre fallas MTBF y tiempo medio entre reparaciones MTTR, así como para la modelación estadística mediante distribuciones y determinación de la disponibilidad.

Tabla 2-4: UT y DT de los subsistemas COM107A y COM107B

UT Y DT COM107A		UT Y DT COM107B	
UT (horas)	DT (horas)	UT (horas)	DT (horas)
144	1	109	1
172	2	138	2
192	3	162	2.5
194	3.5	164	3
213	5	229	3.5
223	8	240	4
259	8.5	243	4.5
339	9	282	5
444	9.5	307	6
477	10	316	7
544	10.5	364	8
642	11	372	8.5
708	12	390	9
793	13	399	10
803	14	430	11
816	14.5	518	13
1013	15	632	16
1035	16	634	17
1112	17	762	18
1307	18	802	19
1310	19	835	20
1440	20	875	21
1488	21	902	23
1514	22	1068	26
1632	27	1107	37.5
2067	30	1112	40
3772	34	1154	48
4829	46	1237	50
5261	46.5	1378	68.5
6889	93.5	1859	91
7515	109	2334	124
		2502	
		3025	

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

4.2 Estimación de parámetros de No Confiabilidad.

En base a los datos de tiempo de buen funcionamiento UT, se realiza el análisis por los cuatro métodos de estimación, i-kaesimo, rango de las Medianas, Bernard y Kaplan Meier.

De éstos se toman los valores críticos, los más altos del i-kaesimo para valores menores al 50% y para los mayores se trabaja con el rango de las Medianas.

Tabla 3-4: Métodos de estimación para la No Confiabilidad del COM107A

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN, PARÁMETROS DE NO CONFIABILIDAD COM107A					
j	DATOS DE OPERACIÓN SIN FALLAS DE MENOR	I-KAESIMO	RANGO MEDIANAS	BERNARD	KAPLAN & MEIER
1	144	0,03125	0,02210	0,02229	-0,49726
2	172	0,06250	0,05560	0,05414	-0,46233
3	192	0,09375	0,08530	0,08599	-0,42659
4	194	0,12500	0,11720	0,11783	-0,39004
5	213	0,15625	0,14910	0,14968	-0,35266
6	223	0,18750	0,18090	0,18153	-0,31444
7	259	0,21875	0,21280	0,21338	-0,27536
8	339	0,25000	0,24470	0,24522	-0,23542
9	444	0,28125	0,27670	0,27707	-0,19460
10	477	0,31250	0,30860	0,30892	-0,15288
11	544	0,34375	0,34050	0,34076	-0,11026
12	642	0,37500	0,37240	0,37261	-0,06672
13	708	0,40625	0,40430	0,40446	-0,02225
14	793	0,43750	0,43620	0,43631	0,02317
15	803	0,46875	0,46810	0,46815	0,06956
16	816	0,50000	0,50000	0,50000	0,11691
17	1013	0,53125	0,53190	0,53185	0,16526
18	1035	0,56250	0,56380	0,56369	0,21461
19	1112	0,59375	0,59570	0,59554	0,26499
20	1307	0,62500	0,62760	0,62739	0,31639
21	1310	0,65625	0,67950	0,65924	0,36885
22	1440	0,68750	0,69150	0,69108	0,42237
23	1488	0,71875	0,72340	0,72293	0,47697
24	1514	0,75000	0,75530	0,75478	0,53266
25	1632	0,78125	0,78720	0,78662	0,58947
26	2067	0,81250	0,81910	0,81847	0,64741
27	3772	0,84375	0,85100	0,85032	0,70649
28	4829	0,87500	0,88280	0,88217	0,76673
29	5261	0,90625	0,91470	0,91401	0,82815
30	6889	0,93750	0,94650	0,94586	0,89076
31	7515	0,96875	0,97790	0,97771	0,95459

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Tabla 4-4: Métodos de estimación para la No Confiabilidad del COM107B

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN, PARÁMETROS DE NO CONFIABILIDAD COM107B					
j	DATOS DE OPERACIÓN SIN FALLAS DE MENOR	I-KAESIMO	RANGO MEDIANAS	BERNARD	KAPLAN & MEIER
1	109,00	0,02941	0,03080	0,02096	-0,59390
2	138,00	0,05882	0,05030	0,05090	-0,55903
3	162,00	0,08824	0,08020	0,08084	-0,52342
4	164,00	0,11765	0,11020	0,11078	-0,48703
5	229,00	0,14706	0,14010	0,14072	-0,44987
6	240,00	0,17647	0,17010	0,17066	-0,41192
7	243,00	0,20588	0,20010	0,20060	-0,37317
8	282,00	0,23529	0,23010	0,23054	-0,33361
9	307,00	0,26471	0,26010	0,26048	-0,29324
10	316,00	0,29412	0,29000	0,29042	-0,25202
11	364,00	0,32353	0,33000	0,32036	-0,20997
12	372,00	0,35294	0,35000	0,35030	-0,16705
13	390,00	0,38235	0,38000	0,38024	-0,12327
14	399,00	0,41176	0,41000	0,41018	-0,07861
15	430,00	0,44118	0,44000	0,44012	-0,03305
16	518,00	0,47059	0,47000	0,47006	0,01341
17	632,00	0,50000	0,50000	0,50000	0,06079
18	634,00	0,52941	0,53000	0,52994	0,10910
19	762,00	0,55882	0,56000	0,55988	0,15835
20	802,00	0,58824	0,59000	0,58982	0,20856
21	835,00	0,61765	0,63000	0,61976	0,25974
22	875,00	0,64706	0,65000	0,64970	0,31190
23	902,00	0,67647	0,68000	0,67964	0,36506
24	1068,00	0,70588	0,71000	0,70958	0,41923
25	1107,00	0,73529	0,74000	0,73952	0,47442
26	1112,00	0,76471	0,76990	0,76946	0,53066
27	1154,00	0,79412	0,79990	0,79940	0,58794
28	1237,00	0,82353	0,82990	0,82934	0,64630
29	1378,00	0,85294	0,87990	0,85928	0,70573
30	1859,00	0,88235	0,88990	0,88922	0,76626
31	2334,00	0,91176	0,91980	0,91916	0,82790
32	2502,00	0,94118	0,94970	0,94910	0,89067
33	3025	0,97059	0,97920	0,97904	0,95458

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

4.2.1 *Alineación mediante el método de los mínimos cuadrados COM107A*

A continuación se realiza la alineación por el método de los mínimos cuadrados, regresión para la No Confiabilidad F (t).

Utilizando los valores de la tabla 5-4, se calcula la pendiente (b) y el intercepto (a), según la ecuación [28] y [29] correspondientemente.

Tabla 6-4: Pendiente e intercepto de la recta alineada – regresión F (t) COM107A

Pendiente (b)	0.9842
Intercepto (a)	-7.18058

Fuente: Transformaciones en lo no planeado V1R4. xls

Según las ecuaciones [31], [30] y [8] correspondientemente se tiene:

Tabla 7-4: Determinación de parámetros – regresión F (t) COM107A

Parámetro de forma beta β = pendiente = b	0.98
Parámetro de escala η	1474.02
MTBF (Tiempo medio entre fallas)	1484.18

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Tabla 5-4: Alineación, método de los mínimos cuadrados – regresión F (t) COM107A

j	t _j	F(t _j)	Y de la regresión	X de la regresión	X _j *Y _j	X _j ²
1	144	0,03125	-3,449904	4,96981	-17,14538	24,69904
2	172	0,06250	-2,740493	5,14749	-14,10667	26,49670
3	192	0,09375	-2,318307	5,25750	-12,18849	27,64126
4	194	0,12500	-2,013419	5,26786	-10,60640	27,75033
5	213	0,15625	-1,772551	5,36129	-9,50316	28,74345
6	223	0,18750	-1,571953	5,40717	-8,49982	29,23751
7	259	0,21875	-1,398934	5,55683	-7,77363	30,87834
8	339	0,25000	-1,245899	5,82600	-7,25861	33,94228
9	444	0,28125	-1,107931	6,09582	-6,75375	37,15908
10	477	0,31250	-0,981647	6,16752	-6,05432	38,03826
11	544	0,34375	-0,864616	6,29895	-5,44617	39,67676
12	642	0,37500	-0,755015	6,46459	-4,88086	41,79090
13	708	0,40625	-0,651435	6,56244	-4,27501	43,06567
14	793	0,43750	-0,552752	6,67582	-3,69008	44,56662
15	803	0,46875	-0,458039	6,68835	-3,06353	44,73409
16	816	0,50000	-0,366513	6,70441	-2,45725	44,94917
17	1013	0,53190	-0,275657	6,92067	-1,90773	47,89569
18	1035	0,56380	-0,186746	6,94216	-1,29642	48,19354
19	1112	0,59570	-0,099160	7,01392	-0,69550	49,19501
20	1307	0,62760	-0,012288	7,17549	-0,08818	51,48765
21	1310	0,67950	0,129161	7,17778	0,92709	51,52056
22	1440	0,69150	0,162147	7,27240	1,17920	52,88778
23	1488	0,72340	0,250901	7,30519	1,83288	53,36577
24	1514	0,75530	0,341973	7,32251	2,50410	53,61916
25	1632	0,78720	0,436578	7,39756	3,22961	54,72392
26	2067	0,81910	0,536383	7,63385	4,09467	58,27572
27	3772	0,85100	0,643857	8,23536	5,30239	67,82116
28	4829	0,88280	0,762614	8,48239	6,46879	71,95102
29	5261	0,91470	0,900804	8,56808	7,71816	73,41193
30	6889	0,94650	1,074345	8,83768	9,49472	78,10461
31	7515	0,97790	1,338201	8,92466	11,94298	79,64949

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

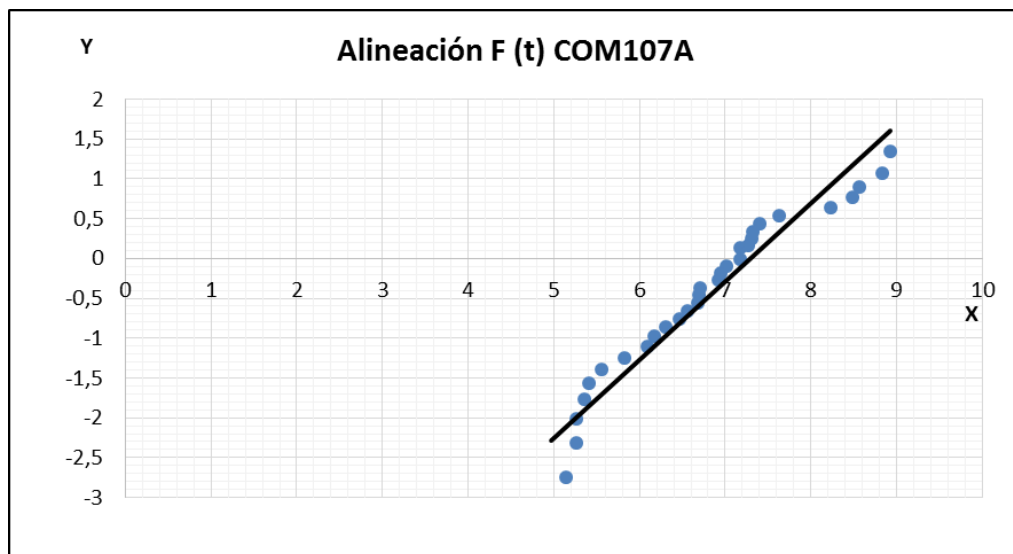


FIGURA 5-4. Gráfico de ajuste de una línea recta en los ejes X y Y.

Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos

4.2.1.1 *Calidad de la alineación*

A continuación se muestra los resultados obtenidos de la calidad de alineación, según las ecuaciones [32], [33], [34], [35]. Tabulación de datos ver ANEXO B

Tabla 8-4: Resultados ecuaciones de calidad de alineación–regresión, F (t) COM107A

Parámetros	Valor calculado	Valores Aceptables
Ajuste	3,10862E-15	0
Error estándar (Se)	0,338	mínimo posible (cerca a cero)
Coefficiente de determinación (r ²)	0,917	0,9025 - 1
Coefficiente de correlación (r)	0,957	0,95 - 1

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Se observa que los valores de los parámetros, se encuentran dentro del rango aceptable, por lo que se tiene una buena calidad en la alineación.

4.2.1.2 *Pruebas de bondad de ajuste (Goodness of Fit)*

Se realiza las pruebas de bondad de ajuste para la No Confiabilidad del COM107A, mediante el Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos, del autor (Mora Gutiérrez, 2009). Ver ANEXO C.

Tabla 9-4: Resultados pruebas de bondad de ajuste F (t) COM107A

Prueba de Kolmogorov - Smirnov	CUMPLE
Prueba de Anderson Darling	NO CUMPLE
Prueba de Ji Chi cuadrado	CUMPLE

Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos

Como se observa en la tabla 9-4, los valores cumplen con dos (2) de las tres (3) pruebas de bondad de ajuste, por lo que se corrobora que los datos analizados siguen la distribución de Weibull.

Por otro lado actualmente el mantenimiento preventivo se lo realiza cada tres (3) meses, independientemente de sus horómetros, por lo que sí se sabe que los subsistemas COM107A y COM107B alternan semanalmente su funcionamiento y funcionan 24 horas diarias, se tendría un tiempo de mil ochenta (1080) horas. A este intervalo de tiempo la probabilidad de fallo según la curva sería de cuarenta y cuatro (44) %.

4.2.2 Alineación mediante el método de los mínimos cuadrados COM107B

Tabla 10-4: Alineación, método de los mínimos cuadrados – regresión F (t) COM107B

j	t _j	F(t _j)	Y de la regresión	X de la regresión	X _j *Y _j	x _j ²
1	109,0	0,02941	-3,511471	4,69135	-16,47353	22,00874
2	138,0	0,05882	-2,803054	4,92725	-13,81136	24,27783
3	162,0	0,08824	-2,381917	5,08760	-12,11823	25,88364
4	164,0	0,11765	-2,078137	5,09987	-10,59822	26,00864
5	229,0	0,14706	-1,838444	5,43372	-9,98960	29,52533
6	240,0	0,17647	-1,639093	5,48064	-8,98328	30,03740
7	243,0	0,20588	-1,467402	5,49306	-8,06053	30,17372
8	282,0	0,23529	-1,315784	5,64191	-7,42353	31,83112
9	307,0	0,26471	-1,179330	5,72685	-6,75384	32,79679
10	316,0	0,29412	-1,054672	5,75574	-6,07042	33,12857
11	364,0	0,32353	-0,939390	5,89715	-5,53973	34,77642
12	372,0	0,35294	-0,831678	5,91889	-4,92262	35,03330
13	390,0	0,38235	-0,730147	5,96615	-4,35616	35,59491
14	399,0	0,41176	-0,633694	5,98896	-3,79517	35,86766
15	430,0	0,44118	-0,541420	6,06379	-3,28305	36,76949
16	518,0	0,47059	-0,452574	6,24998	-2,82858	39,06219
17	632,0	0,50000	-0,366513	6,44889	-2,36360	41,58817
18	634,0	0,53000	-0,281008	6,45205	-1,81307	41,62894
19	762,0	0,56000	-0,197256	6,63595	-1,30898	44,03579
20	802,0	0,59000	-0,114740	6,68711	-0,76728	44,71742
21	835,0	0,63000	-0,005764	6,72743	-0,03878	45,25834
22	875,0	0,65000	0,048621	6,77422	0,32937	45,89011
23	902,0	0,68000	0,130532	6,80461	0,88822	46,30278
24	1068,0	0,71000	0,213396	6,97354	1,48812	48,63030
25	1107,0	0,74000	0,297935	7,00941	2,08835	49,13181
26	1112,0	0,76990	0,384746	7,01392	2,69858	49,19501
27	1154,0	0,79990	0,475574	7,05099	3,35327	49,71645
28	1237,0	0,82990	0,571753	7,12044	4,07113	50,70073
29	1378,0	0,87990	0,751147	7,22839	5,42959	52,24960
30	1859,0	0,88990	0,791347	7,52779	5,95710	56,66768
31	2334,0	0,91980	0,925541	7,75534	7,17788	60,14528
32	2502,0	0,94970	1,095190	7,82485	8,56969	61,22821
33	3025,0	0,97920	1,353978	8,01467	10,85168	64,23488

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Utilizando los valores de la tabla se calcula la pendiente (b) y el intercepto (a), según la ecuación [28] y [29] correspondientemente.

Tabla 11-4: Pendiente e intercepto de la recta alineada – regresión F (t) COM107B

Pendiente (b)	1.2917
Intercepto (a)	-8.7244

Fuente: Transformaciones en lo no planeado V1R4. xls

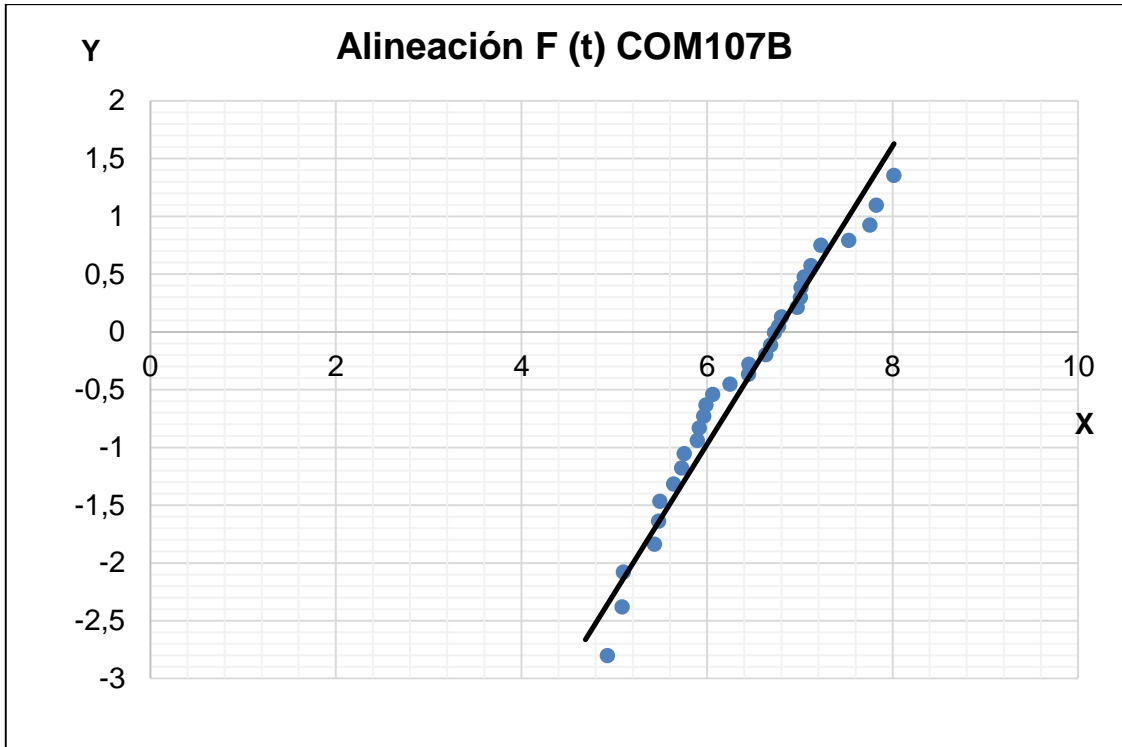


FIGURA 7-4. Gráfico de ajuste de una línea recta en los ejes X y Y
Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos

De donde según las ecuaciones [31], [30] y [8] correspondientemente se tiene:

Tabla 12-4: Determinación de parámetros – regresión F (t) COM107B

Parámetro de forma beta β = pendiente = b	1.29
Parámetro de escala η	857.52
MTBF (Tiempo medio entre fallas)	793.02

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

4.2.2.1 *Calidad de la alineación*

A continuación se muestra los resultados obtenidos de la calidad de alineación, según las ecuaciones [32], [33], [34], [35]. Tabulación de datos ver ANEXO D.

Tabla 13-4: Resultado ecuaciones de calidad de alineación–regresión, F (t) COM107B

Parámetros	Valor calculado	Valores Aceptables
Ajuste	0.000	0
Error estándar (Se)	0,252	mínimo posible (cerca a cero)
Coefficiente de determinación (r ²)	0,954	0,9025 - 1
Coefficiente de correlación (r)	0,976	0,95 - 1

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Se observa que los valores de los parámetros, se encuentran dentro del rango aceptable, por lo que se tiene una buena calidad en la alineación.

4.2.2.2 Pruebas de bondad de ajuste (Goodness of Fit)

Se realiza las pruebas de bondad de ajuste para la No Confiabilidad del COM107B, mediante el Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos, del autor (Mora Gutiérrez, 2009). Ver ANEXO E.

Tabla 14-4: Resultados pruebas de bondad de ajuste F (t) COM107B

Prueba de Kolmogorov - Smirnov	CUMPLE
Prueba de Anderson Darling	CUMPLE
Prueba de Ji Chi cuadrado	CUMPLE

Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos

Como se observa en la tabla 14-4, los valores cumplen con tres (3) de las tres (3) pruebas de bondad de ajuste, por lo que se corrobora que los datos analizados siguen la distribución de Weibull.

En la figura 8-4, se observa que la función densidad de fallas adopta una distribución de Weibull con un β mayor a uno, donde en el transcurso del tiempo se incrementa la probabilidad de fallas hasta llegar a un máximo a las trecientas quince (315) horas, de allí en adelante empieza a disminuir paulatinamente la probabilidad demostrando al igual que el COM107A, que el sistema ha fallado suficientes veces y que cada vez será menor la probabilidad de que una nueva falla aparezca.

Debido a que los dos subsistemas COM107A y COM107B fueron instalados al mismo tiempo su vida útil se encuentra alrededor de dieciocho (18) años, en donde la experiencia y el conocimiento de las fallas han sido constantes para todos los elementos del sistema.

4.2.2.3 *Análisis de curvas, regresión No Confiabilidad para el COM107B*

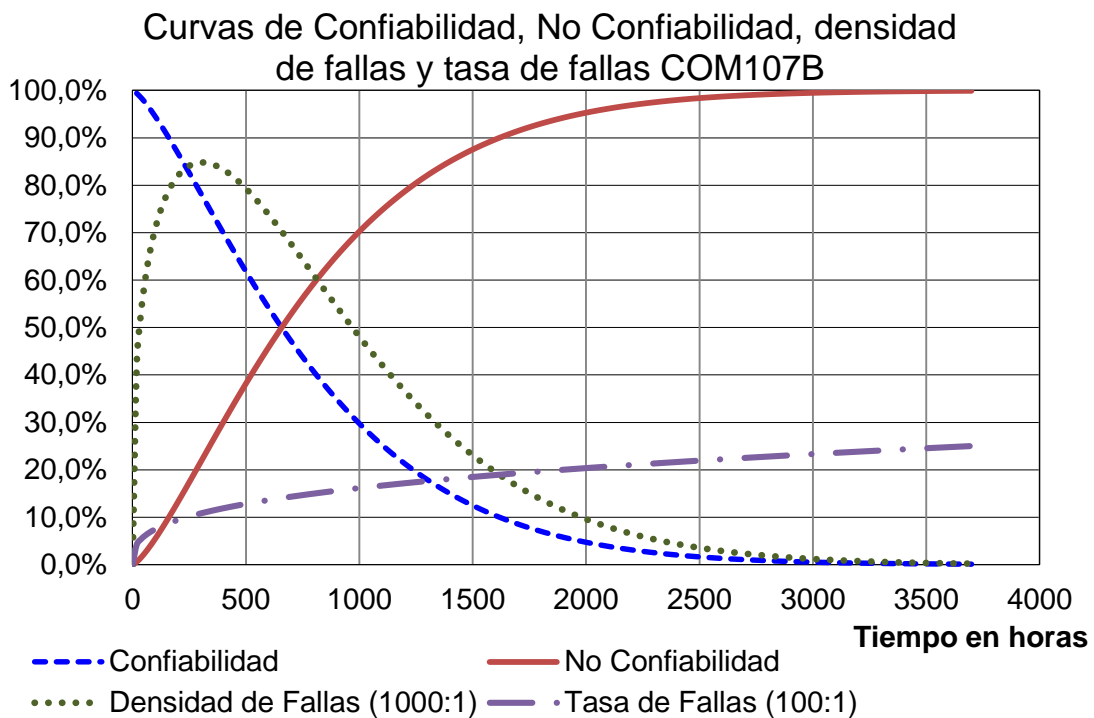


FIGURA 8-4. Gráfico, curva de Confiabilidad, No Confiabilidad, densidad de fallas y tasa de fallas del COM107B

Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos.

La función tasa de fallas se muestra constante en el tiempo, con una leve tendencia creciente, debido a que el parámetro β es mayor que uno. Esto evidencia que el COM107B aún se encuentra en dentro de la fase II de madurez o vida útil de la curva de Davies.

Debido a que tanto el COM107A y COM107B, forman parte de un mismo sistema, la fallas se presentan muy similares, esto es alto niveles de condensados en los acumuladores, los cuales ocasionan daños en válvulas y otros elementos, múltiples

intentos de arranque, que comprometen el sistema de lubricación y la parte motriz del sistema y variaciones a nivel de gas.

Como se observa en la curva de No Confiabilidad a diferencia del COM107A, tan solo a las dos mil (2000) horas, la probabilidad de fallas es del noventa y cinco (95) %, por lo que la recomendación del fabricante de realizar mantenimientos preventivos cada cuatro mil (4000) horas nunca se podría cumplir.

Los mantenimientos actuales efectuados a las mil ochenta (1080) horas, según la figura 8-4, tendrían una probabilidad de fallo del setenta y cuatro (74) %. Se puede evidenciar claramente que el equipo crítico actual es el COM107B

4.3 Estimación de parámetros de Mantenibilidad

En base a los datos de tiempo de reparación DT obtenidos, se realiza el análisis por los cuatro métodos de estimación, i-kaésimo, rango de las Medianas, Bernard y Kaplan Meier.

Para el cálculo se toman los valores críticos, los más altos del i-kaésimo para valores menores al cincuenta (50) % y para los mayores se trabaja con el rango de las Medianas, como se observa en las figuras 15-4, y 16-4.

4.3.1 Alineación mediante el método de los mínimos cuadrados COM107A

A continuación se realiza la alineación para la función Mantenibilidad $M(t)$.

Utilizando los valores de la tabla 17-4, se calcula la pendiente (b) y el intercepto (a), según la ecuación [28] y [29] correspondientemente.

Tabla 18-4: Pendiente e intercepto de la recta alineada – regresión $M(t)$ COM107A

Pendiente (b)	1.117
Intercepto (a)	-3.448

Fuente: Transformaciones en lo no planeado V1R4. xlsx

Tabla 15-4: Métodos de estimación para la Mantenibilidad del COM107A

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN, PARÁMETROS DE MANTENIBILIDAD COM107A					
j	DATOS DE REPARACIÓN MENOR A MAYOR	I-KAESIMO	RANGO MEDIANAS	BERNARD	KAPLAN & MEIER
1	1,0	0,03125	0,02210	0,02229	-0,49726
2	2,0	0,06250	0,05560	0,05414	-0,46233
3	3,0	0,09375	0,08530	0,08599	-0,42659
4	3,5	0,12500	0,11720	0,11783	-0,39004
5	5,0	0,15625	0,14910	0,14968	-0,35266
6	8,0	0,18750	0,18090	0,18153	-0,31444
7	8,5	0,21875	0,21280	0,21338	-0,27536
8	9,0	0,25000	0,24470	0,24522	-0,23542
9	9,5	0,28125	0,27670	0,27707	-0,19460
10	10,0	0,31250	0,30860	0,30892	-0,15288
11	10,5	0,34375	0,34050	0,34076	-0,11026
12	11,0	0,37500	0,37240	0,37261	-0,06672
13	12,0	0,40625	0,40430	0,40446	-0,02225
14	13,0	0,43750	0,43620	0,43631	0,02317
15	14,0	0,46875	0,46810	0,46815	0,06956
16	14,5	0,50000	0,50000	0,50000	0,11691
17	15,0	0,53125	0,53190	0,53185	0,16526
18	16,0	0,56250	0,56380	0,56369	0,21461
19	17,0	0,59375	0,59570	0,59554	0,26499
20	18	0,62500	0,62760	0,62739	0,31639
21	19	0,65625	0,67950	0,65924	0,36885
22	20	0,68750	0,69150	0,69108	0,42237
23	21	0,71875	0,72340	0,72293	0,47697
24	22	0,75000	0,75530	0,75478	0,53266
25	27	0,78125	0,78720	0,78662	0,58947
26	30	0,81250	0,81910	0,81847	0,64741
27	34	0,84375	0,85100	0,85032	0,70649
28	46	0,87500	0,88280	0,88217	0,76673
29	46,5	0,90625	0,91470	0,91401	0,82815
30	93,5	0,93750	0,94650	0,94586	0,89076
31	109	0,96875	0,97790	0,97771	0,95459

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Tabla 16-4: Métodos de estimación para la Mantenibilidad del COM107B

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN, PARÁMETROS DE MANTENIBILIDAD COM107B					
j	DATOS DE REPARACIÓN MENOR A MAYOR	I-KAESIMO	RANGO MEDIANAS	BERNARD	KAPLAN & MEIER
1	1,00	0,03125	0,02210	0,02229	-0,49726
2	2,00	0,06250	0,05560	0,05414	-0,46233
3	2,50	0,09375	0,08530	0,08599	-0,42659
4	3,00	0,12500	0,11720	0,11783	-0,39004
5	3,50	0,15625	0,14910	0,14968	-0,35266
6	4,00	0,18750	0,18090	0,18153	-0,31444
7	4,50	0,21875	0,21280	0,21338	-0,27536
8	5,00	0,25000	0,24470	0,24522	-0,23542
9	6,00	0,28125	0,27670	0,27707	-0,19460
10	7,00	0,31250	0,30860	0,30892	-0,15288
11	8,00	0,34375	0,34050	0,34076	-0,11026
12	8,50	0,37500	0,37240	0,37261	-0,06672
13	9,00	0,40625	0,40430	0,40446	-0,02225
14	10,00	0,43750	0,43620	0,43631	0,02317
15	11,00	0,46875	0,46810	0,46815	0,06956
16	13,00	0,50000	0,50000	0,50000	0,11691
17	16,00	0,53125	0,53190	0,53185	0,16526
18	17,00	0,56250	0,56380	0,56369	0,21461
19	18,00	0,59375	0,59570	0,59554	0,26499
20	19	0,62500	0,62760	0,62739	0,31639
21	20	0,65625	0,67950	0,65924	0,36885
22	21	0,68750	0,69150	0,69108	0,42237
23	23	0,71875	0,72340	0,72293	0,47697
24	26	0,75000	0,75530	0,75478	0,53266
25	37,5	0,78125	0,78720	0,78662	0,58947
26	40	0,81250	0,81910	0,81847	0,64741
27	48	0,84375	0,85100	0,85032	0,70649
28	50	0,87500	0,88280	0,88217	0,76673
29	68,5	0,90625	0,91470	0,91401	0,82815
30	91	0,93750	0,94650	0,94586	0,89076
31	124	0,96875	0,97790	0,97771	0,95459

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Tabla 17-4: Alineación, método de los mínimos cuadrados – regresión M (t) COM107A

j	t _j	M(t _j)	Y de la regresión	X de la regresión	X _j *Y _j	X _j ²
1	1,0	0,03125	-3,449904	0,00000	0,00000	0,00000
2	2,0	0,06250	-2,740493	0,69315	-1,89957	0,48045
3	3,0	0,09375	-2,318307	1,09861	-2,54692	1,20695
4	3,5	0,12500	-2,013419	1,25276	-2,52234	1,56942
5	5,0	0,15625	-1,772551	1,60944	-2,85281	2,59029
6	8,0	0,18750	-1,571953	2,07944	-3,26878	4,32408
7	8,5	0,21875	-1,398934	2,14007	-2,99381	4,57988
8	9,0	0,25000	-1,245899	2,19722	-2,73752	4,82780
9	9,5	0,28125	-1,107931	2,25129	-2,49427	5,06831
10	10,0	0,31250	-0,981647	2,30259	-2,26033	5,30190
11	10,5	0,34375	-0,864616	2,35138	-2,03304	5,52897
12	11,0	0,37500	-0,755015	2,39790	-1,81045	5,74990
13	12,0	0,40625	-0,651435	2,48491	-1,61876	6,17476
14	13,0	0,43750	-0,552752	2,56495	-1,41778	6,57897
15	14,0	0,46875	-0,458039	2,63906	-1,20879	6,96462
16	14,5	0,50000	-0,366513	2,67415	-0,98011	7,15107
17	15,0	0,53190	-0,275657	2,70805	-0,74649	7,33354
18	16,0	0,56380	-0,186746	2,77259	-0,51777	7,68725
19	17,0	0,59570	-0,099160	2,83321	-0,28094	8,02710
20	18,0	0,62760	-0,012288	2,89037	-0,03552	8,35425
21	19,0	0,67950	0,129161	2,94444	0,38031	8,66972
22	20,0	0,69150	0,162147	2,99573	0,48575	8,97441
23	21,0	0,72340	0,250901	3,04452	0,76387	9,26912
24	22,0	0,75530	0,341973	3,09104	1,05705	9,55454
25	27,0	0,78720	0,436578	3,29584	1,43889	10,86254
26	30,0	0,81910	0,536383	3,40120	1,82434	11,56814
27	34,0	0,85100	0,643857	3,52636	2,27047	12,43522
28	46,0	0,88280	0,762614	3,82864	2,91978	14,65849
29	46,5	0,91470	0,900804	3,83945	3,45859	14,74139
30	93,5	0,94650	1,074345	4,53796	4,87534	20,59309
31	109,0	0,97790	1,338201	4,69135	6,27796	22,00874

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Utilizando los valores de la tabla 17-4, se calcula la pendiente (b) y el intercepto (a), según la ecuación [28] y [29] correspondientemente.

Tabla 18-4: Pendiente e intercepto de la recta alineada – regresión M (t) COM107A

Pendiente (b)	1.117
Intercepto (a)	-3.448

Fuente: Transformaciones en lo no planeado V1R4. xlsx

De donde según las ecuaciones [31], [30] y [8] correspondientemente se tiene:

Tabla 19-4: Determinación de parámetros – regresión M (t) COM107A

Parámetro de forma beta β = pendiente = b	1.11
Parámetro de escala η	21.89
MTTR (Tiempo medio entre reparaciones)	21.02

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

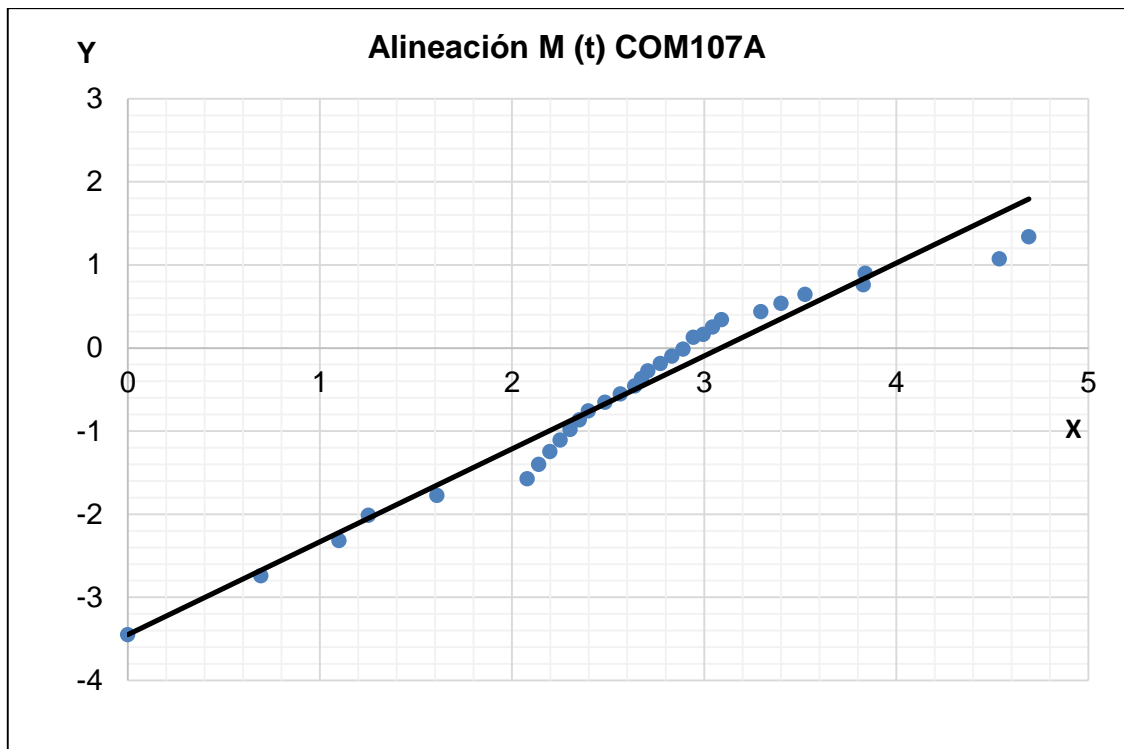


FIGURA 9-4. Gráfico de ajuste de una línea recta en los ejes X y Y.

Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos

4.3.1.1 *Calidad de la alineación*

A continuación se muestra los resultados obtenidos de la calidad de alineación, según las ecuaciones [32], [33], [34], [35]. Tabulación ver ANEXO F.

Tabla 20-4: Resultados calidad de alineación–regresión, M (t) COM107A

Parámetros	Valor calculado	Valores Aceptables
Ajuste	0.000	0
Error estándar (Se)	0,231	mínimo posible (cercano a cero)
Coefficiente de determinación (r ²)	0,960	0,9025 - 1
Coefficiente de correlación (r)	0,980	0,95 - 1

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Se observa que los valores de los parámetros, se encuentran dentro del rango aceptable, por lo que se tiene una buena calidad en la alineación.

4.3.1.2 Pruebas de bondad de ajuste (Goodness of Fit)

Se realiza las pruebas de bondad de ajuste para la Mantenibilidad del COM107A, mediante el Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos, del autor (Mora Gutiérrez, 2009). Ver ANEXO G.

Tabla 21-4: Resultados pruebas de bondad de ajuste M (t) COM107A

Prueba de Kolmogorov - Smirnov	CUMPLE
Prueba de Anderson Darling	NO CUMPLE
Prueba de Ji Chi cuadrado	CUMPLE

Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos

Como se observa en la tabla 21-4, los valores cumplen con dos (2) de las tres (3) pruebas de bondad de ajuste, por lo que se corrobora que los datos analizados siguen la distribución de Weibull.

4.3.1.3 Análisis de curvas, regresión Mantenibilidad para el COM107A

Como se observa en la figura 10-4, la función densidad de reparaciones muestra como la probabilidad va decreciendo conforme avanza el tiempo.

La función de mantenibilidad indica claramente que el sesenta y seis (66) % de las fallas se reparan en un tiempo menor a veinte y cuatro (24) horas.

Los factores contribuyentes a la actual mantenibilidad son principalmente, la gestión oportuna de recursos en cuanto a materiales e insumos y personal especializado para las reparaciones.

Curvas de Mantenibilidad y densidad de reparaciones

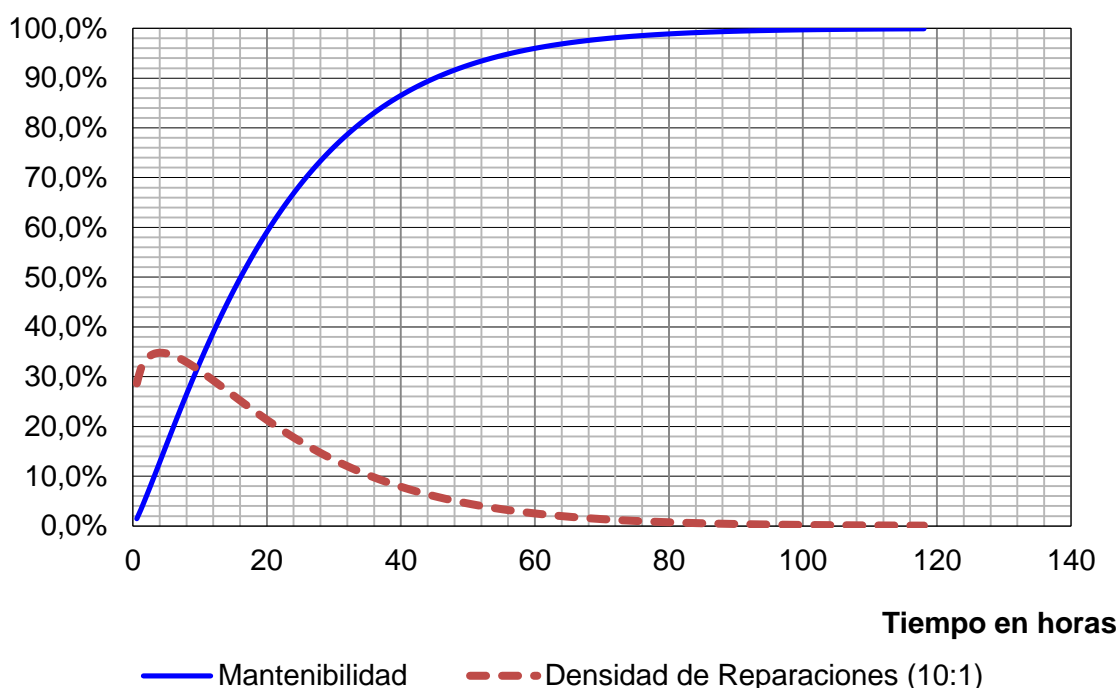


FIGURA 10-4. Gráfico, curva de Mantenibilidad y densidad de reparaciones COM107A
Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos

4.3.2 Alineación mediante el método de los mínimos cuadrados COM107B

A continuación se realiza la alineación por el método de los mínimos cuadrados, regresión para la Mantenibilidad $M(t)$ del subsistema de compresión COM107B. Utilizando los valores de la tabla 22-4, se calcula la pendiente (b) y el intercepto (a), según la ecuación [28] y [29] correspondientemente.

Tabla 22-4: Pendiente e intercepto de la recta alineada – regresión $M(t)$ COM107B

Pendiente (b)	0.969
Intercepto (a)	-2.972

Fuente: Transformaciones en lo no planeado V1R4. xls

De donde según las ecuaciones [31], [30] y [8] correspondientemente se tiene:

Tabla 23-4: Determinación de parámetros – regresión M (t) COM107B

Parámetro de forma β = pendiente = b	0.97
Parámetro de escala η	21.49 h
MTRR (Tiempo medio entre reparaciones)	21.79 h

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Tabla 24-4: Alineación, método de los mínimos cuadrados – regresión M (t) COM107B

j	t_j	M(t_j)	Y de la regresión	X de la regresión	$X_j \cdot Y_j$	X_j^2
1	1,0	0,03125	-3,449904	0,00000	0,00000	0,00000
2	2,0	0,06250	-2,740493	0,69315	-1,89957	0,48045
3	2,5	0,09375	-2,318307	0,91629	-2,12424	0,83959
4	3,0	0,12500	-2,013419	1,09861	-2,21197	1,20695
5	3,5	0,15625	-1,772551	1,25276	-2,22059	1,56942
6	4,0	0,18750	-1,571953	1,38629	-2,17919	1,92181
7	4,5	0,21875	-1,398934	1,50408	-2,10410	2,26225
8	5,0	0,25000	-1,245899	1,60944	-2,00520	2,59029
9	6,0	0,28125	-1,107931	1,79176	-1,98514	3,21040
10	7,0	0,34050	-0,876413	1,94591	-1,70542	3,78657
11	8,0	0,34050	-0,876413	2,07944	-1,82245	4,32408
12	8,5	0,37240	-0,763887	2,14007	-1,63477	4,57988
13	9,0	0,40430	-0,657745	2,19722	-1,44521	4,82780
14	10,0	0,43620	-0,556772	2,30259	-1,28202	5,30190
15	11,0	0,46810	-0,459974	2,39790	-1,10297	5,74990
16	13,0	0,50000	-0,366513	2,56495	-0,94009	6,57897
17	16,0	0,53190	-0,275657	2,77259	-0,76428	7,68725
18	17,0	0,56380	-0,186746	2,83321	-0,52909	8,02710
19	18,0	0,59570	-0,099160	2,89037	-0,28661	8,35425
20	19,0	0,62760	-0,012288	2,94444	-0,03618	8,66972
21	20,0	0,67950	0,129161	2,99573	0,38693	8,97441
22	21,0	0,69150	0,162147	3,04452	0,49366	9,26912
23	23,0	0,72340	0,250901	3,13549	0,78670	9,83132
24	26,0	0,75530	0,341973	3,25810	1,11418	10,61519
25	37,5	0,78720	0,436578	3,62434	1,58231	13,13585
26	40,0	0,81910	0,536383	3,68888	1,97865	13,60783
27	48,0	0,85100	0,643857	3,87120	2,49250	14,98620
28	50,0	0,88280	0,762614	3,91202	2,98336	15,30392
29	68,5	0,91470	0,900804	4,22683	3,80755	17,86612
30	91,0	0,94650	1,074345	4,51086	4,84622	20,34785
31	124,0	0,97790	1,338201	4,82028	6,45050	23,23511

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

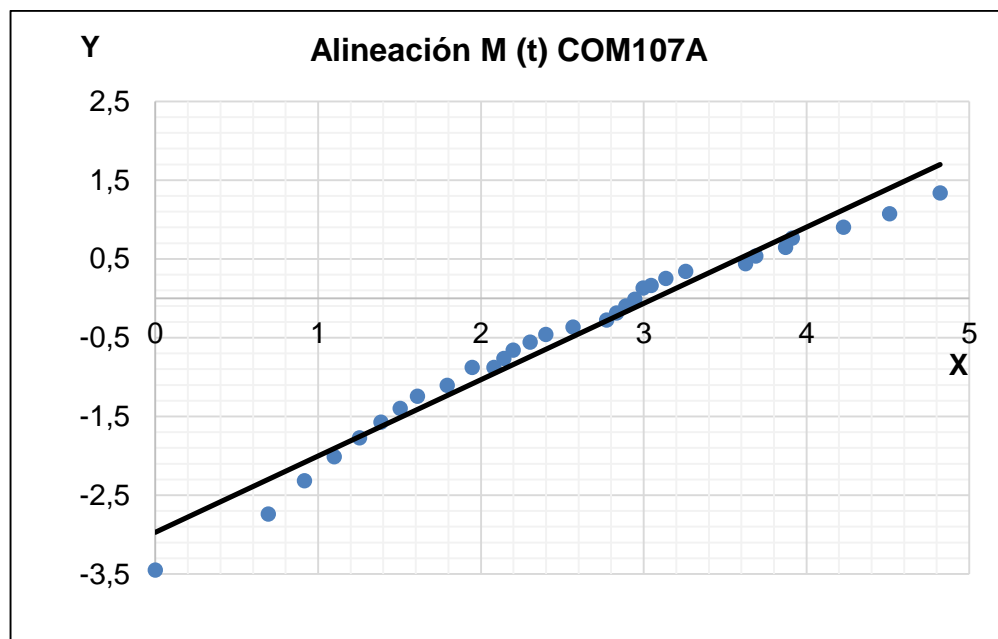


FIGURA 11-4. Gráfico de ajuste de una línea recta en los ejes X y Y.

Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos

4.3.2.1 Calidad de la alineación

A continuación se muestra los resultados obtenidos de la calidad de alineación, según las ecuaciones [32], [33], [34], [35]. Tabulación ver ANEXO H

Tabla 25-4: Resultados ecuaciones de calidad de alineación–regresión, M (t) COM107B

Parámetros	Valor calculado	Valores Aceptables
Ajuste	0.000	0
Error estándar (Se)	0,204	mínimo posible (cerca a cero)
Coefficiente de determinación (r ²)	0,969	0,9025 - 1
Coefficiente de correlación (r)	0,984	0,95 - 1

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Se observa que los valores de los parámetros, se encuentran dentro del rango aceptable, por lo que se tiene una buena calidad en la alineación.

4.3.2.2 Pruebas de bondad de ajuste (Goodness of Fit)

Se realiza las pruebas de bondad de ajuste para la Mantenibilidad del COM107B, mediante el Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos, del autor (Mora Gutiérrez, 2009). Ver ANEXO I.

Tabla 26-4: Resultados pruebas de bondad de ajuste M (t) COM107B

Prueba de Kolmogorov - Smirnov	CUMPLE
Prueba de Anderson Darling	CUMPLE
Prueba de Ji Chi cuadrado	CUMPLE

Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos

Como se observa en la tabla 26-4, los valores cumplen con tres (3) de las tres (3) pruebas de bondad de ajuste, por lo que se corrobora que los datos analizados siguen la distribución de Weibull.

4.3.2.3 Análisis de curvas, regresión Mantenibilidad para el COM107B

Al igual que en el COM107A, la función densidad de reparaciones muestra que la probabilidad de falla en el tiempo disminuye paulatinamente, es decir la probabilidad de reparaciones se minimiza en el tiempo.

De la función de mantenibilidad se puede concluir que el sesenta y ocho (68) % de las fallas se reparan en un tiempo menor a veinte y cuatro (24) horas, como se muestra en la figura 12-4.

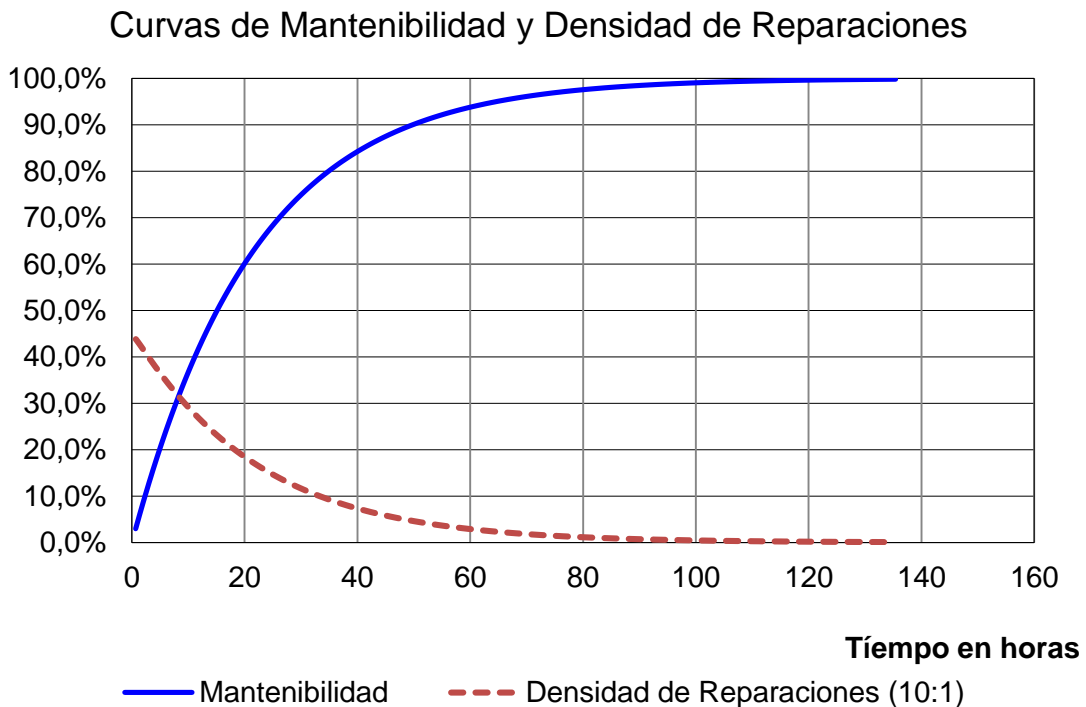


FIGURA 12-4. Gráfico, curva de Mantenibilidad y densidad de reparaciones COM107B
Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, plataforma para ingreso de datos

4.4 Cálculo de la disponibilidad del Sistema de Compresión de Gas

Según la ecuación [17] la disponibilidad del sistema cuando se encuentra en línea en COM107A será:

Disponibilidad (software)	=	98,61
Disponibilidad (calculada)	=	98,66

Se realiza una comparación entre la disponibilidad calculada y la disponibilidad arrojada por el software en donde se puede observar que la variación es mínima.

Según la ecuación [17] la disponibilidad del sistema cuando se encuentra en línea en COM107B es:

Disponibilidad (software)	=	97,35
Disponibilidad (calculada)	=	97.24

De aquí se puede concluir que pese a que la confiabilidad es baja en los dos subsistemas COM107A y COM107B, la disponibilidad es elevada debido a la redundancia que existe dentro del sistema de compresión de gas.

Otro factor que influye directamente en la elevada disponibilidad del sistema, es el bajo MTTR que tiene cada uno de los subsistemas, es así que en promedio el 68 % de las fallas son reparadas en menos de 24 horas.

4.5 Índices de Confiabilidad

Con el fin de poder pronosticar o predecir de mejor manera los sucesos futuros dentro del sistema de compresión de gas, y brindar una herramienta practica para la toma de decisiones, se determinan a continuación las ecuaciones matemáticas que gobiernan al sistema, mediante sus índices de confiabilidad, tanto para el subsistema COM107A como para el COM107B.

4.5.1 Confiabilidad

Según la ecuación [1] se tiene:

$$R(t)_{COM107A} = e^{-\left(\frac{t}{1474.03}\right)^{0.98}}$$

$$R(t)_{COM107B} = e^{-\left(\frac{t}{857.53}\right)^{1.29}}$$

4.5.2 **No Confiabilidad o Infiabilidad**

Según la ecuación [3] se tiene:

$$F(t)_{COM107A} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1474.03}\right)^{0.98}}$$

$$F(t)_{COM107B} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{857.53}\right)^{1.29}}$$

4.5.3 **Densidad de probabilidad de fallas**

Según la ecuación [4] se tiene:

$$f(t)_{COM107A} = \frac{0.98}{1474.03} \left(\frac{t}{1474.03}\right)^{0.98-1} * e^{-\left(\frac{t}{1474.03}\right)^{0.98}}$$

$$f(t)_{COM107A} = \frac{1.29}{857.53} \left(\frac{t}{857.53}\right)^{1.29-1} * e^{-\left(\frac{t}{857.53}\right)^{1.29}}$$

4.5.4 **Tasa de fallas**

Según la ecuación [6] se tiene:

$$\lambda (t)_{COM107A} = \frac{0.98}{1474.03} \left(\frac{t}{1474.03} \right)^{0.98-1}$$

$$\lambda (t)_{COM107B} = \frac{1.29}{857.53} \left(\frac{t}{857.53} \right)^{1.29-1}$$

4.5.5 **Tiempo medio entre fallas MTBF**

Según la ecuación [8] se tiene:

$$MTBF_{COM107A} = 1474.03 * \Gamma \left(1 + \frac{1}{1 + 0.98} \right)$$

$$MTBF_{COM107B} = 857.53 * \Gamma \left(1 + \frac{1}{1 + 1.29} \right)$$

4.5.6 **Duración de vida asociada a la fiabilidad**

Si se despeja la ecuación [1], se obtiene una ecuación que muestra el tiempo de vida del activo acorde a una fiabilidad o confiabilidad deseada.

$$t_{COM107A} = 1474.03 * \left(\frac{1}{Ln R (t)} \right)^{0.98}$$

$$t_{COM107B} = 857.53 * \left(\frac{1}{Ln R (t)} \right)^{1.29}$$

4.6 **Índices de Mantenibilidad**

Se determinan a continuación las ecuaciones matemáticas que gobiernan al sistema, mediante sus índices de Mantenibilidad.

4.6.1 *Mantenibilidad*

Según la ecuación [10] se tiene:

$$M(t)_{COM107A} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{21.90}\right)^{1.12}}$$

$$M(t)_{COM107B} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{21.49}\right)^{0.97}}$$

4.6.2 *Densidad de reparaciones*

Según la ecuación [12] se tiene:

$$m(t)_{COM107A} = \frac{1.12}{21.90} \left(\frac{t}{21.90}\right)^{1.12-1} * e^{-\left(\frac{t}{21.90}\right)^{1.12}}$$

$$m(t)_{COM107B} = \frac{0.97}{21.49} \left(\frac{t}{21.49}\right)^{0.97-1} * e^{-\left(\frac{t}{21.49}\right)^{0.97}}$$

4.6.3 *Tiempo medio entre reparaciones*

Según la ecuación [12] se tiene:

$$MTTR_{COM107A} = 21.90 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1 + 1.12}\right)$$

$$MTTR_{COM107B} = 21.49 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1 + 0.97}\right)$$

En las tablas 27-4, 28-4, 29-4 y 30-4, se presentan los índices de Confiabilidad y Mantenibilidad.

Tabla 27-4: Resultados índices de Confiabilidad COM107A

FUNCIÓN	ECUACIONES MATEMÁTICAS	ESTADO ACTUAL t = 1080 h	PREDICCIÓN PARA t=1500 h
ÍNDICES DE CONFIABILIDAD	$R(t)_{COM107A} = e^{-\left(\frac{t}{1474.03}\right)^{0.98}}$	47.84%	36.16%
	$F(t)_{COM107A} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1474.03}\right)^{0.98}}$	52.16%	63.84%
	$f(t)_{COM107A} = \frac{0.98}{1474.03} \left(\frac{t}{1474.03}\right)^{0.98-1} * e^{-\left(\frac{t}{1474.03}\right)^{0.98}}$	3.2×10^{-4}	2.4×10^{-4}
	$\lambda(t)_{COM107A} = \frac{0.98}{1474.03} \left(\frac{t}{1474.03}\right)^{0.98-1}$	660×10^{-6}	660×10^{-6}
	$MTBF_{COM107A} = 1474.03 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1 + 0.98}\right)$	1306 h	1484.18 h

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Tabla 28-4: Resultados índices de Mantenibilidad COM107A

FUNCIÓN	ECUACIONES MATEMÁTICAS	ESTADO ACTUAL t = 21.5 h	PREDICCIÓN PARA t=20 h
ÍNDICES DE MANTENIBILIDAD	$M(t)_{COM107A} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{21.90}\right)^{1.12}}$	62.45%	59.5%
	$m(t)_{COM107A} = \frac{1.12}{21.90} \left(\frac{t}{21.90}\right)^{1.12-1} * e^{-\left(\frac{t}{21.90}\right)^{1.12}}$	0.031	0.030
	$MTTR_{COM107A} = 21.90 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1 + 1.12}\right)$	21 h	19.3 h

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Tabla 29-4: Resultados índices de Confiabilidad COM107B

FUNCIÓN	ECUACIONES MATEMÁTICAS	ESTADO ACTUAL t = 1080 h	PREDICCIÓN PARA t=1000 h
ÍNDICES DE CONFIABILIDAD AD	$R(t)_{COM107B} = e^{-\left(\frac{t}{857.53}\right)^{1.29}}$	26.01%	30
	$F(t)_{COM107B} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{857.53}\right)^{1.29}}$	73.99%	70

	$f(t)_{COM107A} = \frac{1.29}{857.53} \left(\frac{t}{857.53}\right)^{1.29-1} * e^{-\left(\frac{t}{857.53}\right)^{1.29}}$	4.1×10^{-4}	4.6×10^{-4}
	$\lambda(t)_{COM107B} = \frac{1.29}{857.53} \left(\frac{t}{857.53}\right)^{1.29-1}$	1.6×10^{-3}	1.5×10^{-3}
	$MTBF_{COM107B} = 857.53 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1 + 1.29}\right)$	759.66	759.66

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Tabla 30-4: Resultados índices de Mantenibilidad COM107B

FUNCIÓN	ECUACIONES MATEMÁTICAS	ESTADO ACTUAL t = 23 h	PREDICCIÓN PARA t = 21 h
ÍNDICES DE MANTENIBILIDAD	$M(t)_{COM107B} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{21.49}\right)^{0.97}}$	65.46%	61.48%
	$m(t)_{COM107A} = \frac{0.97}{21.49} \left(\frac{t}{21.49}\right)^{0.97-1} * e^{-\left(\frac{t}{21.49}\right)^{0.97}}$	0.033	0.031
	$MTTR_{COM107B} = 21.49 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1 + 0.97}\right)$	23.13 h	21 h

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

4.7 Estrategias de mantenimiento

El parámetro de forma β del sistema de compresión de gas, compuesto por el COM107A y COM107B, se ubican dentro de la fase II de madurez o vida útil de la curva de Davies, donde la tasa de fallas es constante, el sistema y sus modos de falla son conocidos.

Las fallas en esta fase de la curva son producidas principalmente por:

- Operación indebida de los equipos
- Sobrecarga en la capacidad de producción
- Cambios constantes en las condiciones de operación
- Eventos inesperados al azar.

Dentro del sistema de compresión de gas COM107, se puede resumir los modos de fallas más comunes, así como sus causas y consecuencias, con el fin de optimizar en base a estos la gestión de mantenimiento a recomendar.

Tabla 31-4: Modos de fallo, causas y consecuencias del sistema de compresión

MODO DE FALLO	CAUSADO POR	CONSECUENCIA
Alta temperatura en las válvulas de succión y descarga	Altos niveles de condensado en los scrubber de succión	Rotura y/o averías de válvulas de succión y descarga
Alta o baja presión en los scrubber de succión y descarga	Variación de la presión de entrada de gas	Daños en la válvula reguladora de presión.
Alarmas de lubricación, temperatura, corriente etc.	Perdida de comunicación, y/o alarmas erróneas	Indisponibilidad inmediata del equipo
Alta o baja presión de gas en las diferentes etapas de compresión	Variación de caudal de gas a la entrada del sistema	Alta temperatura, daños en válvulas de succión y descarga
Baja presión de lubricante en los cilindros	Inadecuada operación al momento de arranque	Daños en la bomba de pre lubricación, y/o cilindros por falta de lubricante

Realizado por: Sánchez Darío, 2015

Como se mencionó en capítulos anteriores la gestión de mantenimiento actual, consiste en mantenimientos preventivos trimestrales, un monitoreo por ultrasonido y parámetros de temperatura quincenal, con el fin de detectar fallas tempranas en válvulas de las diferentes etapas de compresión

El fabricante del compresor recomienda que los mantenimientos preventivos sean realizados cada cuatro mil (4000) horas. Pero como se observó en los análisis de las curvas de confiabilidad esto no se puede cumplir debido a las condiciones operativas que soportan estos equipos.

Se propone optimizar la gestión de mantenimiento del sistema de compresión de gas, de acuerdo a los resultados obtenidos, presentados mediante sus índices de confiabilidad y mantenibilidad, en base a las siguientes recomendaciones:

Para el COM107A:

1. Ajustar la frecuencia de mantenimiento preventivo de trimestral (3 meses) a por horas, específicamente a mil quinientas (1500) horas con una confiabilidad del 36 %, esto debido a que la disponibilidad del sistema es de más del 95%. Esto

permitirá el ahorro de insumos, materiales y mano de obra, por sobremantenimiento.

2. Debido a que la curva de densidad de fallas, es decreciente y el MTBF es 1484.18 horas, se recomienda realizar monitoreo basado en condición por ultrasonido cada 1000 horas, dejando un margen de error que se ira ajustando en el transcurso del tiempo y acorde a los resultados obtenidos.
3. Con el fin de elevar la confiabilidad del sistema, es necesario aplicar las técnicas cualitativas de confiabilidad Análisis de modos, efectos de falla y criticidad (FMECA) y Análisis causa raíz (RCA), para disminuir o erradicar las causas puntuales que ocasionan grandes pérdidas en recursos.
4. Mantener como mínimo los parámetros actuales de mantenibilidad ya que según los datos, el 66% de las fallas se reparan en un tiempo menor a 24 horas. Esto contribuye a la elevada disponibilidad existente.
5. Según la curva de Davies (banda de aplicabilidad eficiente de las tácticas), en la fase II de madurez o vida útil, el sistema se encuentra en el punto exacto para aplicar la técnica de Mantenimiento productivo total (TPM). Por lo que se recomienda evaluar la posibilidad de empezar la implementación como un piloto.

Para el COM107B:

1. Cambiar la frecuencia de mantenimiento preventivo de trimestral (3 meses) a horometro, cada mil (1000) horas, con una confiabilidad del 30 %.

El cambio permitirá que no se desperdicien recursos ya que en ocasiones el equipo no opera un número de horas razonables dentro del trimestre, para realizar un mantenimiento preventivo.

2. Se propone ajustar la frecuencia de mantenimiento predictivo de quincenal a 500 horas, dejando un margen de error, que se ajustara acorde a los resultados obtenidos.

3. Implementar la técnica de RCA, FMECA, que permita identificar las causas de la diferencia de parámetros entre el COM107A y COM107B, si el contexto operativo es el mismo.
4. Mantener como mínimo los parámetros actuales de mantenibilidad ya que según los datos, el 68% de las fallas se reparan en un tiempo menor a 24 horas. Esto es importante debido que influye directamente en la disponibilidad del sistema.
5. Según la curva de Davies (banda de aplicabilidad eficiente de las tácticas), en la fase II de madurez o vida útil, el sistema se encuentra en el punto exacto para aplicar la técnica del TPM. Por lo que se recomienda evaluar la posibilidad de empezar la implementación como un piloto.

Se recomienda finalmente controlar y medir permanentemente los valores CMD, para constatar el mejoramiento continuo de los indicadores.

CONCLUSIONES

- Los datos del sistema de compresión de gas siguen la distribución de Weibull. Esto se ratifica mediante las pruebas de bondad de ajuste.
- Los parámetros de confiabilidad del COM107A son determinados a través del modelo universal para la predicción del CMD, y están en los valores: $\beta=0.98$; $\eta=1474.02$ h; MTBF=1484.18 h.
- El parámetro de forma β para el COM107A es de cero punto noventa y ocho (0.98), lo cual indica que el equipo se encuentra dentro de la fase II de madurez o vida útil de la curva de Davies.
- El parámetro de vida característica η es de mil cuatrocientos setenta y cuatro punto cero dos (1474.02) h, representa el tiempo probable de funcionamiento del sistema antes de que aparezca la falla, y se constituye una referencia para determinar la frecuencia de mantenimiento.
- El MTBF del COM107A es de mil cuatrocientos ochenta y cuatro (1484.18) h y representa el tiempo medio probable de funcionamiento del sistema.
- Los parámetros de mantenibilidad del COM107A son determinados a través del modelo universal para la predicción del CMD, y están en los valores: $\beta=1.11$; $\eta=21.89$ h; MTTR=21.02 h
- El parámetro de vida característica η es de veinte y uno punto ochenta y nueve (21.89) h para el COM107A, representa el tiempo probable de restauración del sistema a sus condiciones normales de operación, y se constituye una referencia para la planificación de logística y recursos.
- El MTTR representa el tiempo medio entre reparaciones y es de veinte y un punto cero dos (21.02) horas e indica el valor promedio del tiempo probable utilizado para las reparaciones del COM107A.

- Los parámetros de confiabilidad del COM107B son determinados a través del modelo universal para la predicción del CMD, y están en los valores: $\beta=0.1.29$; $\eta=857.52$ h; $MTBF=793.02$ h.
- El parámetro de forma β para el COM107B es de uno punto veinte y nueve (1.29), lo cual indica que el equipo se encuentra dentro de la fase II de madurez o vida útil de la curva de Davies.
- El parámetro de vida característica η es de ochocientos cincuenta y siete punto cincuenta y dos (857.52) h, representa el tiempo probable de funcionamiento del sistema antes de que aparezca la falla, y se constituye una referencia para determinar la frecuencia de mantenimiento.
- El MTBF del COM107B es de setecientos noventa y tres punto cero dos (793.02) h y representa el tiempo medio probable de funcionamiento del sistema.
- Los parámetros de mantenibilidad del COM107B son determinados a través del modelo universal para la predicción del CMD, y están en los valores: $\beta=0.97$; $\eta=21.49$ h; $MTTR=21.79$ h
- El parámetro de vida característica η es de veinte y uno punto cuarenta y nueve (21.49) h para el COM107B, representa el tiempo probable de restauración del sistema a sus condiciones normales de operación, y se constituye una referencia para la planificación de logística y recursos.
- El MTTR representa el tiempo medio entre reparaciones y es de veinte y un punto setenta y nueve (21.79) horas e indica el valor promedio del tiempo probable utilizado para las reparaciones del COM107B.
- La disponibilidad inherente es de noventa y ocho punto sesenta y un (98.61) y representa la probabilidad de que cumpla su función.
- Los índices de fiabilidad y mantenibilidad permiten controlar la gestión de mantenimiento y efectuar acciones o estrategias que permitan mitigar las fallas antes de su ocurrencia.

- Por medio de esta investigación se ha logrado caracterizar las ecuaciones matemáticas, que gobiernan el sistema de compresión de gas de CPF, bloque 15.
- Los índices de confiabilidad y mantenibilidad, permitirán la toma de decisiones de una manera rápida y acertada, siempre y cuando el análisis CMD, sea actualizado y alimentado permanentemente.
- La hipótesis planteada se confirma, ya que con los índices de confiabilidad y mantenibilidad se logra tener un control total sobre la gestión de mantenimiento, permitiendo ajustar de manera inmediata las frecuencias de mantenimientos preventivos, predictivos y la recomendación de utilizar las técnicas cualitativas de confiabilidad como; análisis de modos, efectos y criticidad de fallas (FMECA), análisis causa raíz (RCA), Mantenimiento productivo total (TPM).
- Las conclusiones de la investigación concuerdan con los objetivos planteados.

RECOMENDACIONES

- Ajustar la frecuencia de mantenimiento preventivo de trimestral (3 meses) a por horas, a mil quinientas (1500) horas para el COM107A y mil (1000) horas para el COM107B.
- Con base en el MTBF, realizar monitoreo basado en condición por ultrasonido cada mil (1000) horas para el COM107A y quinientas (500) horas para el COM107B.
- Implementar las técnicas de RCA, FMECA y TPM que permita identificar la causa raíz, modos, efectos y criticidad de las fallas; y el mantenimiento productivo total que involucra a todos los departamentos que constituyen la empresa permitiendo una mejor gestión.
- Capacitar a personal de operaciones en tareas básicas de mantenimiento, como drenado constante de fluidos y correcto arranque de los equipos, a fin de evitar fallas de operación por error humano.
- Controlar y medir permanentemente los valores CMD, que permita el mejoramiento continuo de la gestión de mantenimiento.
- Realizar un análisis causa-raíz, que permita identificar los malos actores dentro del sistema, que ocasionan los costos más elevados de mantenimientos correctivos.
- Proponer el análisis complementario de esta investigación relativo a la gestión de mejoras.

BIBLIOGRAFÍA

Banyeras, L. (2005). *Bombas, ventiladores y compresores*. Barcelona – España: Ceac, 2005.

Bavaresco de Pietro, A. (2006). *Como hacer un diseño de investigación*. (5ª ed). Maracaibo – Venezuela: Ediluz. pp. 20-100.

Bazovsky, I. (1961). *Reliability theory and practice*. New Jersey – Estados Unidos: Prentice – Hall. p. 3

Bernal, C. (2006). *Metodología de la Investigación. Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. (2ª ed). México DF – México: Person Education. p.113.

Blanchard, B. S., Verma, D., Peterson, E. (1994). *Maintenibility: A key to effective service ability and maintenance management*. New York – Estados Unidos: A John Wiley & Sons, INC. pp. 14, 150.

Bulege, W. (2013). *Diseños experimentales y no experimentales en la investigación científica. En ponencia Diseños de Investigación*. Lima – Peru: Universidad Continental.

[27 de Agosto del 2015]

<http://es.slideshare.net/wbulege/diseos-de-investigacin-21399026>

Caña, A. (2006). *Análisis RAM de la planta de inyección de agua Resor de petroleos de Venezuela S.A.* (TÉSIS). (Especialidad). Universidad Simón Bolívar. Departamento de Postgrado. Maracaibo - Venezuela. pp. 41-64.

[07 de Febrero del 2015]

<http://159.90.80.55/tesis/000133297.pdf>

Carrión, M. (2007). *Determinación y evaluación de los índices de fiabilidad de la desaladora de crudo de la refinería Amazonas 1 del complejo industrial Shushufindi*. (TESIS). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Mecánica. Escuela de Ingeniería de Mantenimiento. Riobamba – Ecuador.

Chávez, N. (1994). *Introducción a la Investigación Educativa*. Maracaibo – Venezuela: ARS Gráfica. p. 135

Colombia. Alfaomega (2015). *Mantenimiento Planeación y Control, material de apoyo*. Bogota – Colombia.

[3 de marzo del 2015]

<http://libroweb.alfaomega.com.co/catalogo/mantenimientoplaneacion/libreacceso>

Ebeling, C. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York – Estados Unidos: McGraw Hill. p. 255

Ecuador, Petroamazonas EP., Departamento de Operaciones. (2015). *Resúmen del proceso de gas en el CPF. Shushufindi* – Ecuador: Autores

Ecuador, Petroamazonas EP., Departamento de Optimización de generación eléctrica. (2014). *Proyecto de optimización de generación eléctrica OGE*. Informe de proyecto. Quito – Ecuador: Autores.

Ecuador, Petroamazonas EP., Departamento de Operaciones. (2015). *Reporte Diario de producción bloque 15. Shushufindi*– Ecuador. Autores.

[15 de Septiembre del 2015].

www.petroamazonas.gob.ec

Ecuador, Petroamazonas EP., Departamento de Mantenimiento. (2015). *Informe de datos de planta de generación, CPF-BLOQUE 15*. Shushufindi – Ecuador. Autores

España. Aenor UNE-EN 13306. (2002). *Actualización sobre normativa de mantenimiento. Parte 3: términos y definiciones*. Madrid – España.

Estados Unidos. ARIEL CO. (2014). *Compresores de gas para uso Industrial*. Mount Vernon - Estados Unidos.

[15 de Mayo del 2015]

<http://es.arielcorp.com/Productos/JGR/>

Estados Unidos. IBM. (2015). *Sistema informatico para la gestión de activos EAM MAXIMO OIL AND GAS*.

[28 de Enero del 2015]

<http://uiowmax06/maximo/webclient/login/login.jsp>

Estados Unidos. NIST SEMATECH. (2013). *E-Handbook os Statistical Methods*.

Estados Unidos: U.S. Department of Commerce.

[26 de Septiembre del 2015].

<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>

Estados Unidos. ORACLE. (2011). *Sistema de Gestión de base de datos*. Estados Unidos: Oracle Corporation. 2011

[05 de mayo del 2015].

http://uiolebs02.petroamazonas.ecpetro.corp:8010/OA_HTML/OA.jsp?page=/oracle

Kelly, A. (1997). *Gestión del Mantenimiento Industrial*. Madrid – España: Fundaciones REPSOL

Kerlinger, F. (1985). *Enfoque conceptual de la Investigación del comportamiento*. México DF – México: Interamericana.

Knezevik, J. (1993). *Reliability, Maintainability and Supportability Engineering*. Londres – Inglaterra: McGraw Hill.

Knezevik, J. (1996). *Mantenibilidad*. Madrid - España: Isdefe.

Kristjanpoller, F. (2010). *Caso de estudio sobre el análisis de la Fiabilidad en una planta de triturado de mineral en Chile*. Revista Ingeniería y Gestión de Mantenimiento. (Chile). Volumen especial N° 71 [5 de agosto del 2015].
http://taylor.us.es/sim/resultados_ficha.php?id=92

Lemmis, L. (1995). *Reability: Probabilistic Models and Statistical Methods*. New Jersey – Estados Unidos: Prentice Hall International

Levin, R. (1996). *Estadística para Administradores*. México DF- México: Prentice Hall International. p. 1171

Mora, L. (2009). *Mantenimiento Planeación, Ejecución y control*. Medellin - Colombia: Alfaomega. pp. 45-244.

Mora, L. (2007). *Mantenimiento Estratégico Empresarial*. Medellin - Colombia: EAFIT. pp. 150-244

Morales, I. & Lopez, A. (2011). *Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema de compresión de gas de levantamiento de PDVSA, Petroregional de Lago SA*. (TESIS). (Ingeniería) Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Industrial. Maracaibo – Venezuela. pp. 75-116

Nachlas, J. (1995). *Fiabilidad*. Madrid – España: Isdefe

O'Connor, P. (2002). *Practical Reliability Engineering*. Stevenage. (4ª ed).
Stevenage – Inglaterra: Wiley. p. 540.

Parra, C. (2003) *Modelo integral para optimizar la confiabilidad en instalaciones petroleras*. En 2º Congreso mundial de mantenimiento. Bahia – Brasil: IgeCon. p. 8.

Pulido, R. (2007). *Abordaje Hermético de la investigación cualitativa*. (2ª ed).
Bogota – Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia. p. 51.

Reliasoft. (2008). Software para calculo de confiabilidad. Sao Paulo – Brasil
[28 de Noviembre del 2015].

<http://www.reliasoft.com/support>

Rengifo, S. & Valencia, A. M. (2009). *Simulación del comportamiento futuro de los indicadores CM y costos de mantenimiento en un caso industria*. (TESIS).
(Ingeniería) Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica. Escuela de Ingeniería. Medellin – Colombia. pp. 37-61.

Rey, F. (1996). *Hacia la excelencia en Mantenimiento*. Madrid – España: TGP
Hoshing, S. L. p. 441.

Rojas, J. (1975). *Introducción a la confiabilidad*. Bogota – Colombia: Universidad de los Andes. p. 214

Sexto, L. F. (2014). *Ingeniería de fiabilidad, material de estudio*. En maestría de *Gestión de Mantenimiento*. Riobamba – Ecuador: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo

Sexto, L. F. (2014). *Inspección basada en análisis de fallas y riesgos, material de estudio En maestría de Gestión de Mantenimiento*. Riobamba – Ecuador. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo

Smith, C. (1986). *Introduction to Reliability in Desing*. Malabar - Estados Unidos: Robert E. Krieger, Publishing Company

STATGRAPHICS. (2015). *Software for data analysis, statistical modeling and predictive analytics*. Virginia – Estados Unidos
[30 de Octubre del 2015].

<http://www.statgraphics.com/>

Torres, M. (2006). Método de recolección de datos para una investigación. *Ingeniería Primero*. Guatemala. p. 3
[2 de Noviembre del 2015].

http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_03_BAS01

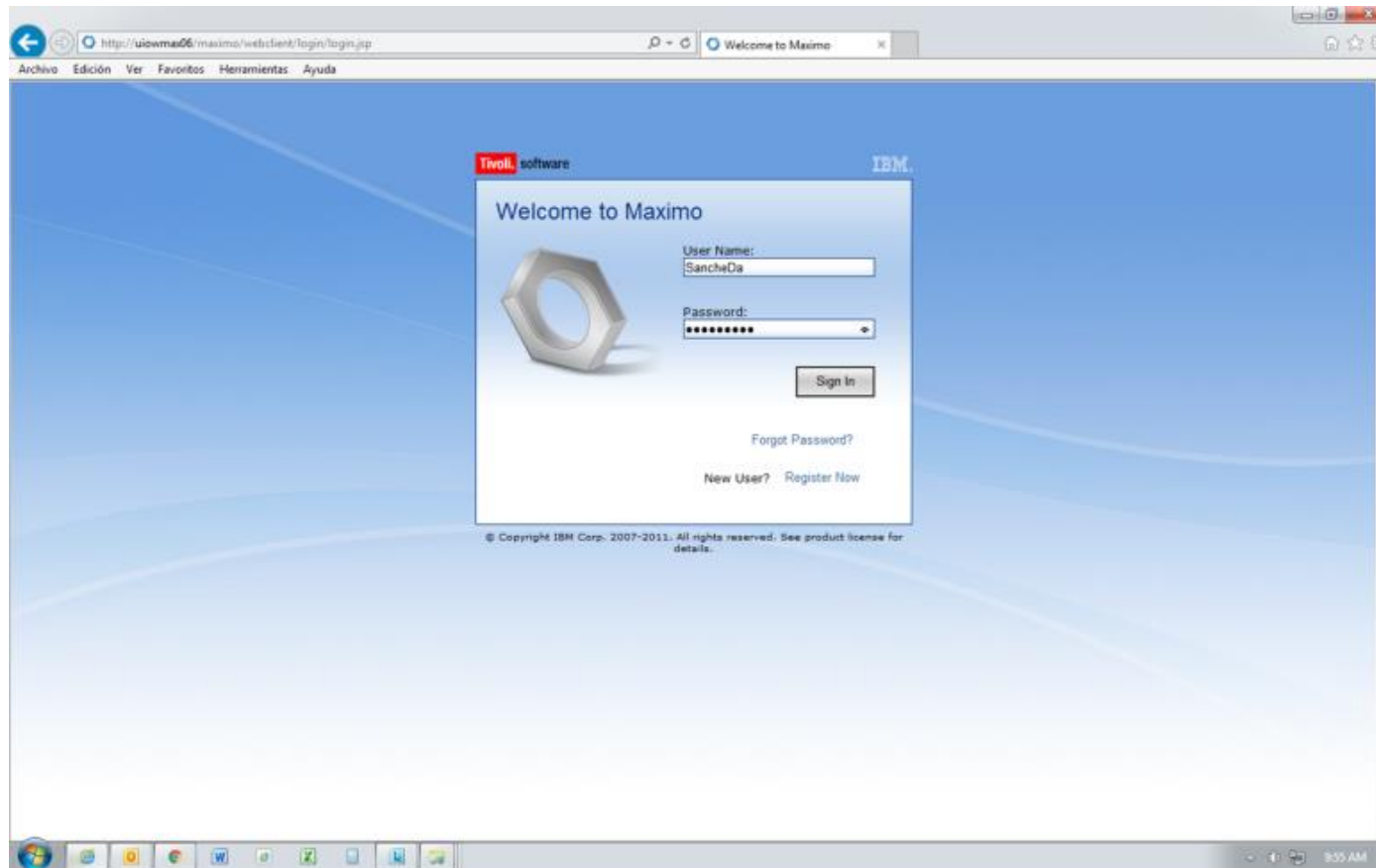
Vergara, E. (2007). *Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema de crudo diluido de Petrozuata*. (TESIS). Especialidad Universidad Simon Bolivar. Decanato de Estudios de Posgrado. Caracas – Venezuela. pp. 53-68
[7 de Julio del 2015].

http://www.postgrado.usb.ve/archivos/95/Trabajo_Final_An%C3%A0lisis_RAM_Edgar_Vergara_Marzo2007.pdf

Zarate, M. (2012). *Análisis RAMS*. (TESIS). Ingeniería Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Mecánica. Madrid – España. pp. 57-97.

ANEXOS

ANEXO A. Historial de mantenimiento del sistema de compresión de gas COM107A y COM107B, imágenes software MAXIMO OIL & GAS



Fuente: Sistema de gestión de activos MAXIMO OIL & GAS

Work Order Tracking (Oil)

Go To: Reports Start Center Profile Sign Out

Find: Select Action

Advanced Search Save Query Bookmarks

Work Orders Filter 1 - 20 of 90

Work Order	Description	Acta	Location	Asset Tag	Asset	Status	Status Date	Priority	Site
OT-09831961	CHEQUEO DEL COM107A	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	23/09/09 09:33 AM	2	PAM
OT-09911806	REVISION DE COMPRESOR DE GAS COM107A (CPF)	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	27/11/09 01:04 PM	1	PAM
OT-101049090	CHEQUEO POR ALTA TEMPERATURA CPF ESTRADAU	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	04/04/10 01:50 PM	1	PAM
OT-101130866	CAMBIO DE PISTON DEL CL # 3 COM107A (CPF) TAMAMP	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	23/09/10 08:10 AM	2	PAM
OT-101133126	CHEQUEO DE COMPRESOR GAS COM107A @PWHB(13,14age): CERRAR	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	17/08/10 10:20 AM	2	PAM
OT-110013692	CHEQUEO DE VALVULA DE CONTROL DE PRESION COM107A @MP	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	08/02/11 01:47 PM	2	PAM
OT-110025600	CAMBIO DE VALVULAS DE SUCCION Y DESCARGA CILINDRO 2A COM-107A (CPF...	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	20/02/11 11:18 AM	2	PAM
OT-110108952	REPARACION DE VALVULAS COM107A(CPF)ESTRADAU	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	20/06/11 06:36 PM	2	PAM
OT-120077333	REVISION DE COMPRESOR COM107A (CPF) TAMAMP	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	12/03/12 11:19 AM	2	PAM
OT-07247250	REPARACION DE CAPLAR DE 1° BOMBA DE ACEITE EN COM107A (CPF)#...	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	19/12/07 02:40 PM	2	PAM
OT-0784630	COMPLETACION DE ACEITE (CPF)ESTRADAU	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	21/05/07 09:52 PM	1	PAM
OT-08269705	FALLA COMPRESOR POR ALTA TEMPERATURA DE DESCARGA COM-107 A (CPF)#0...	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	18/01/08 06:01 PM	1	PAM
OT-08519583	CAMBIO DE LINEAS DE LUBRICACION Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO COM107A #00...	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	19/11/08 04:15 PM	3	PAM
OT-08555656	COM107A COMPLETAR DISPENSADOR DE ACEITE (CPF) XDUAMANAJ	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	08/01/09 10:13 AM	1	PAM
OT-06557204	CHEQUEO DE ALARMA EN COMPRESOR DE GAS COM107A ORTIZL (DReyes Ok 26...	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	29/12/08 09:53 AM	1	PAM
OT-06577204	COMPLETAR NIVELES DE ACEITE DE COMPRESORES COM107A-B (CPF) FR...	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	21/01/09 02:24 PM	2	PAM
OT-09674912	RELLENADO DE ACEITE EN COMPENSADOR COM107A (CPF) ESPNOZW	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	05/05/09 03:02 PM	2	PAM
OT-09762021	COMPLETAR ACEITE COM-107A Y COM-107B (CPF) ESPNOZW	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	05/08/09 06:36 AM	1	PAM
OT-09871982	COMPLETACION DE ACEITE EN TK DE ABASTECIMIENTO COM107A (CPF)...	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	27/10/09 10:58 AM	2	PAM
OT-09878968	CAMBIO DE LINEAS PRELUBRICACION COM107A (CPF) HAROF	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	04/11/09 09:56 AM	1	PAM

Select Records

9:57 AM

Fuente: Sistema de gestión de activos MAXIMO OIL & GAS

Work Order Tracking (Oil)

Find: Select Action

Work Orders Filter 1 - 20 of 63

Work Order	Description	Area	Location	Asset Tag Num	Asset	Status	Status Date	Priority	Site
OT-0759439	CHEQUEO INSTRUMENTACION COMPRESOR DE GAS COM107B (CPF) HAROF	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	09/04/07 06:38 AM	1	PAM
OT-29762821	COMPLETAR ACEITE COM-107A Y COM-107B (CPF) ESPINOZW	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	05/08/09 08:36 AM	1	PAM
OT-29912156	CHEQUEO DE COMPRESOR COM107B (CPF) ESTRADAU	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	27/11/09 05:30 PM	1	PAM
OT-29932923	CAMBIO SW DE NIVEL DE ACEITE COM-107B (CPF) PAGUAYM	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	16/12/09 07:21 AM	1	PAM
OT-101126386	CORRECCION DE FUGAS DE ACEITE COM107B (CPF) MEC ESTRADAU	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	09/08/10 05:39 PM	1	PAM
OT-110054860	CHEQUEO DE COMPRESOR GAS COM107B Y REVISION SISTEMA DE DRENAJE DE CONDE...	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	16/04/11 10:13 AM	1	PAM
OT-110057525	REVISION DE COMPRESOR POR ALTA TEMPERATURA COM107B (CPF) MES...	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	30/04/11 01:01 PM	1	PAM
OT-110122073	COMPLETAR ACEITE DE COM-107 A/B (MEC) (CPF)PACHECOS	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	23/06/11 12:11 AM	2	PAM
OT-110252658	COMPLETADO DE ACEITE EN EL COM107A/B (CPF-MEC) CARRERAM	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	28/10/11 10:05 AM	2	PAM
OT-120036376	REVISION COMPRESOR GAS Y SCRUBER V102B @PT+V+EQ(3FEB) (...)	CR-CPF-MS	CPFSKFLTNK	V-102	EQ-33559	CLOSE	15/02/12 07:32 AM	2	PAM
OT-120075219	REHABILITACION COMUNICACION MODBUS COM107A/B @EG (5,6MAR)	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	10/03/12 05:55 AM	2	PAM
OT-130075092	COMPLETACION DE ACEITE COM-107A/B CPF FRERED	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107A	EQ-20389	CLOSE	08/03/13 04:58 PM	2	PAM
OT-150762472	CAMBIO DE RETENEDOR EN EL SISTEMA DE LUBRICACION FORZADA COM-107B (...)	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	21/07/15 04:55 PM	1	PAM
OT-150916509	CAMBIO DE VALVULAS COM-107B (MES) (CPF) PACHECOS	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CAN	24/08/15 12:56 PM	2	PAM
OT-151113193	REVISION VALVULA DE CONTROL DE PRESION DE GAS COM107B @CA+JG(13OCT...	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	19/10/15 02:07 PM	1	PAM
OT-151254719	CAMBIO VALVULAS DE DESCARGA CYL1 COM-107B(CPF)ZALAMEAF	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	INPRG	16/11/15 09:16 AM	2	PAM
OT-2778963	CHEQUEO DE SENSOR DE NIVEL COMPRESOR GAS COM107B (CPF) HDALGOO	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	08/05/07 10:07 AM	1	PAM
OT-120177663	CAMBIO DE VALVULAS COMPRESOR COM107B (CPF) MES ESTRADAU	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	04/06/12 12:49 PM	2	PAM
OT-120187702	CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA CILINDRO 3 Y 4 COM107B CPF FRERED	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	14/06/12 07:49 AM	2	PAM
OT-130270420	CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA PRIMERA ETAPA COM 107B CPF FRERED	CR-CPF-MS	CPFSKC107	COM107B	EQ-20390	CLOSE	18/07/13 01:32 PM	2	PAM

Select Records

10:02 AM

Fuente: Sistema de gestión de activos MAXIMO OIL & GAS

Work Order Tracking (Oil)

Find: Select Action

Work Order: **OT-150916506** CAMBIO DE VALVULAS COM-107B (MES) (CPF) PACHECOS

Location: **CPFSKC107** >> **CPF GAS COMPRESSOR SKID C107**

Asset: **EQ-20390** >> **GAS COMPRESSOR COM107B (CPF)**

Configuration Item: >>

Parent WO: >>

Classification: >>

Class Description: >>

Launch Entry Name: >>

Repair Facility: >>

Repair Facility Site: >>

Site: **PAM**

Class: **WORKORDER**

Work Type: **CME**

Asset Tag Num: **COM107B**

GL Account: >>

Failure Class: **COAXAI**

Problem Code: **PDE**

Attachments

Status: **CAN**

Status Date: **24/06/15 12:56 PM**

Inherit Status Changes?

Accepts Charges?

Is Task?

Under Flow Control?

Suspend Flow Control?

Flow Action: >>

Downtime?

Require Asset Downtime?

Flow Action Assist?

MOC Required?

Storeroom Material Status: >>

Direct Issue Material Status: >>

Work Package Material Status: >>

Material Status Last Updated: >>

Job Details

Job Plan: >> **PT Code: F**

PI: >> **PT Number: 369.514**

Safety Plan: >>

Contract: >>

Job Plan Revision #: >>

Asset Details

Asset Up?

Warranties Exist?

SLA Applied?

Charge to Store?

Priority

AssetLocation Priority: **1**

Priority: **2**

Priority Justification: >>

Risk Assessment: >>

Assurance Activity?

Multiple Assets, Locations and CIs: Filter >> 0 - 0 of 0

Asset	TAG PAM	Description	Location	Description	Sequence	Mark Progress?	Site
...No rows to display...							

10:03 AM

Fuente: Sistema de gestión de activos MAXIMO OIL & GAS

Work Order Tracking (Oil)

Work Order: OT-130031349 CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA 1a ETAPA COM107A Site: PAM Status: CLOSE

Parent WO: >>

Children of Work Order OT-130031349 0 - 0 of 0

Tasks for Work Order OT-130031349 1 - 1 of 1

Sequence	Task Summary	Estimated Duration	Status
10	CAMBIO DE VALVULA DE DESCARGA DE LA PRIMERA ETAP	0:00	CLOSE

Labor Materials Services Tools

Labor 1 - 2 of 2

Task	Labor	Name	Type	Approved?	Start Date	Start Time	End Time	Regular Hours	Rate
CR-CPF-MEH	>>	AYUDANTE DE MECANICA	WORK	<input checked="" type="checkbox"/>	25/01/13	01:00 PM	06:00 PM	5:00	6,37
ESTRADAU	>>	ESTRADA MAZON UFREDO PLUTARCO	WORK	<input checked="" type="checkbox"/>	25/01/13	01:00 PM	06:00 PM	5:00	11,84

Select Labor Select Planned Labor New Row

Fuente: Sistema de gestión de activos MAXIMO OIL & GAS

Historial de mantenimiento del sistema de compresión de gas COM107A, Tabulación.

HISTORIAL DE FALLOS DEL SISTEMA DE COMPRESION DE GAS COM107																
No	DESCRIPTION	WOPF	STATUS	LOCACION	AREA	ASSE	TAG	ACTMAT	ACTLAP	ACTSTART	ACTFINISH	ESTD ¹	FAILURE ²	PROBLE ⁴	STATUS	HOROMETR ⁵
OT-0717341	REVISION DE COMPRESOR DE GAS COM107A (CPF) HIDALGOG	CME	16-Feb-2007	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	121.36	30.09	04-Feb-2007	14-Feb-2007	22.00	COSSCP	BRD	CLOSE	33222
OT-0720446	CAMBIO DE VALVULA DE SUCCION E INSPECCIONES	CME	24-Nov-2007	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	533.48	47.12	26-Oct-2007	26-Oct-2007	4.50	COREGP	OHE	CLOSE	38483
OT-07215095	CAMBIO DE SENSOR DE FLUJO DIGITAL NO FLOW TIMER (CPF) PAGUAYM	CME	27-Nov-2007	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	599.76	39.20	06-Nov-2007	06-Nov-2007	5.00	COAXGL	ERO	CLOSE	38483
OT-07243192	CORRECCION DE FUGAS DE ACEITE EN COM107A (CPF) ESPINOZW	CME	17-Dec-2007	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	148.96	06-Dec-2007	07-Dec-2007	10.00	COREGP	ELP	CLOSE	38656
OT-07247258	REPARACION DE CAPILAR DE 1" BOMBA DE ACEITE EN COM107A (CPF)	CME	19-Dec-2007	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	78.84	78.40	13-Dec-2007	13-Dec-2007	5.00	COSCPG	STD	CLOSE	38706
OT-07243299	CHEQUEO Y CALIBRACION DE SW DE NIVEL DE ACEITE (CPF) PAGUAYM	CME	08-Jan-2008	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	69.16	78.40	06-Dec-2007	07-Dec-2007	10.00	COAXGP	ERO	CLOSE	39183
OT-08269705	FALLA COMPRESOR POR ALTA TEMPERATURA DE DESCARGA COM-107 A	CME	18-Jan-2008	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	320.15	10-Jan-2008	12-Jan-2008	20.00	COREGE	FTS	CLOSE	39377
OT-08297111	CAMBIO DE ACEITE COMPRESOR 107-A (CPF) FREIRED	CME	26-Feb-2008	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	433.51	26.82	16-Feb-2008	16-Feb-2008	3.00	COREGP	FTS	CLOSE	39569
OT-08519583	CAMBIO DE LINEAS DE LUBRICACION Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	CME	19-Nov-2008	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	65.04	05-Nov-2008	05-Nov-2008	2.00	COREGL	AIR	CLOSE	46458
OT-08549812	CAMBIO DE VALVULA DE 1" DE DRENAJE DE CONDENSADOS DE COM107	CME	19-Dec-2008	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	137.98	180.63	13-Dec-2008	15-Dec-2008	11.00	VAGLGP	FTC	CLOSE	46458
OT-08557204	CHEQUEO DE ALARMA EN COMPRESOR DE GAS COM107A ORTEL (RReyes)	CME	29-Dec-2008	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	192.54	48.88	26-Dec-2008	26-Dec-2008	4.00	PSLSCP	ERO	CLOSE	46458
OT-08555656	COM107A COMPLETAR DISPENSADOR DE ACEITE (CPF) XGUAMANAJ	CME	08-Jan-2009	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	483.39	17.68	24-Dec-2008	24-Dec-2008	2.00	COCCEGP	OTH	CLOSE	46458
OT-09674912	RELLENADO DE ACEITE EN COMPENSADOR COM107A (CPF) ESPINOZW	CMP	05-May-2009	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	549.80	25.82	29-Apr-2009	29-Apr-2009	1.50	COREGP	OTH	CLOSE	47826
OT-09831961	CHEQUEO DEL COM107A	CME	23-Sep-2009	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	88.33	33.90	18-Sep-2009	18-Sep-2009	2.00	COAXGP	OTH	CLOSE	51287
OT-09878968	CAMBIO DE LINEAS PRELUBRICACION COM107A (CPF) HAROF	CMP	04-Nov-2009	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	115.55	30.55	31-Oct-2009	31-Oct-2009	5.00	COREGP	SER	CLOSE	52594
OT-09878959	CORREGIR FUGA DE GAS COM107A (CPF) ESTRADAU	CMP	04-Nov-2009	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	189.38	393.28	30-Oct-2009	31-Oct-2009	16.00	COREGP	ELP	CLOSE	52594
OT-09911886	REVISION DE COMPRESOR DE GAS COM107A (CPF)	CME	27-Nov-2009	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	1,860.60	114.92	23-Nov-2009	24-Nov-2009	10.00	CORE	ERO	CLOSE	52594
OT-09912157	CHEQUEO Y/O REPARACION DE COMPRESOR COM107A (CPF) ESTRADAU	CME	28-Nov-2009	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	67.33	25-Nov-2009	25-Nov-2009	3.00	COCCEGP	FTS	CLOSE	52594
OT-09941020	CHEQUEO GENERAL DEL EQUIPO COM107A (CPF) ESTRADAU	CME	01-Jan-2010	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	577.73	482.53	20-Dec-2009	22-Dec-2009	18.00	COCCEGP	FTS	CLOSE	52766
OT-101018298	COMPENSACION DE ACEITE COM-107A (CPF) FLORESR	CMP	27-Feb-2010	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	570.00	51.63	22-Feb-2010	22-Feb-2010	3.00	COAXGP	OTH	CLOSE	54033
OT-101047020	REPARACION EN BOMBA DE ACEITE DEL COMPRESOR DE GAS COM107A	CME	04-Apr-2010	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	9.73	164.45	30-Mar-2010	30-Mar-2010	11.00	COAXGP	FTS	CLOSE	54183
OT-101049090	CHEQUEO POR ALTA TEMPERATURA CPF ESTRADAU	CME	04-Apr-2010	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	86.04	31-Mar-2010	31-Mar-2010	3.50	COAXGP	OHE	CLOSE	54183
OT-101055344	COM107 COMPLETAR NIVELES DE ACEITE EN SURTIDOR (CPF) XGUAMANAJ	CMP	15-Apr-2010	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	1,177.06	6.37	09-Apr-2010	09-Apr-2010	1.00	COAXGI	OTH	CLOSE	54206
OT-101057001	REVISION DEL SISTEMA DE LUBRICACION COM107A(CPF) FLORESR	CME	20-Apr-2010	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	226.19	12-Apr-2010	13-Apr-2010	16.00	COAXGL	SER	CLOSE	54206
OT-101059012	CHEQUEO DE COMPRESOR DE GAS COM107A @EG(15-16abr):CERRAR	CME	24-Apr-2010	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	1,625.93	70.56	14-Apr-2010	16-Apr-2010	8.00	COREGP	FTS	CLOSE	54206
OT-101076759	CAMBIO DE BOMBA DEL DISPENSADOR DE ACEITE COM 107A (CPF)	CME	16-May-2010	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	983.37	60.84	13-May-2010	13-May-2010	4.00	PLUCEIT	STD	CLOSE	54206
OT-101100889	CAMBIO DE PACKING COM107A (CPF) ESTRADAU	CME	09-Jul-2010	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	5,679.40	737.91	23-Jun-2010	26-Jun-2010	32.00	COAXGP	ELLJ	CLOSE	54206
OT-101127027	CORRECCION DE FUGAS DE ACEITE COM107A (CPF) ESTRADAU	CMP	09-Aug-2010	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	49.16	04-Aug-2010	04-Aug-2010	2.00	COREGP	ELP	CLOSE	54251
OT-101129388	ALINEACION DE EJES COM107A (CPF) REPORTE ADJUNTO	CME	13-Aug-2010	CPFSKC107	CR-CPF-PME	EQ-20389	COM107A	0.00	67.50	08-Aug-2010	08-Aug-2010	4.50	COREGP	FTS	CLOSE	54275
OT-101133126	CHEQUEO DE COMPRESOR GAS COM107A @FP#HB(13.14ago):CERRAR	CME	17-Aug-2010	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	1,557.68	340.38	12-Aug-2010	14-Aug-2010	28.00	COSSCP	SPS	CLOSE	54352
OT-101130866	CAMBIO DE PISTON DEL CIL # 3 COM107A (CPF) TAMAMP	CMP	23-Aug-2010	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	1,217.32	413.04	09-Aug-2010	11-Aug-2010	24.00	COREGP	FTS	CLOSE	54496
OT-101138821	CORRECCION DE FUGA DE ACEITE POR MANGUERA DE ENTRADA COM107A	CMP	29-Aug-2010	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	72.84	21-Aug-2010	21-Aug-2010	3.00	COAXGP	OTH	CLOSE	54640
OT-110013892	CHEQUEO DE VALVULA DE CONTROL DE PRESION COM107A @MP	CME	08-Feb-2011	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	531.75	44.20	04-Feb-2011	04-Feb-2011	6.00	COREGP	HJO	CLOSE	885
OT-110025890	CAMBIO DE VALVULAS DE SUCCION Y DESCARGA CILINDRO 2A COM-107A	CME	20-Feb-2011	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	235.82	16-Feb-2011	17-Feb-2011	10.00	COREGP	OTH	CLOSE	954
OT-110057524	REVISION DE COMPRESOR COM107A (CPF) MES ESTRADAU	CME	16-Apr-2011	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	222.56	30-Mar-2011	01-Apr-2011	9.00	COREGP	FTS	CLOSE	1113
OT-110081609	DESMONTAJE DE COUPLING Y REVISION DE COMPRESOR COM-107A (MES)	CME	09-May-2011	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	84.21	02-May-2011	02-May-2011	5.50	COAXGI	FTS	CLOSE	1167
OT-110108952	REPARACION DE VALVULAS COM107A(CPF)ESTRAU	CME	20-Jun-2011	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	7,626.80	11.84	03-Jun-2011	03-Jun-2011	1.00	COAXGE	OTH	CLOSE	1983
OT-110273432	REVISION DE COMPRESOR Y CAMBIO DE VALVULAS (CPF) MES ESTRADAU	CMP	16-Nov-2011	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	252.61	10-Nov-2011	12-Nov-2011	11.00	COAXGI	OTH	CLOSE	3563
OT-110273372	REVISION DE COMPRESOR COM107A (CPF) ESTRADAU	CME	16-Nov-2011	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	1.97	12-Nov-2011	12-Nov-2011	0.17	COAXGE	OTH	CLOSE	3563
OT-110276262	RECTIFICACION DE CONEXION A TIERRA COM107A / COM107B XSUAAREZV	CME	18-Nov-2011	CPFSKC107	CR-CPF-ELS	EQ-20389	COM107A	484.56	148.40	13-Nov-2011	13-Nov-2011	10.00	GENERAL	OTH	CLOSE	3563
OT-110283798	DESMONTAJE DE COUPLING PARA PRUEBAS EN VACIO COM-	CME	29-Nov-2011	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	189.31	18-Nov-2011	19-Nov-2011	11.00	COAXGL	FTS	CLOSE	3615
OT-110283256	RECTIFICACION DE MANZANA DE EJE DEL MOTOR COM107A (CPF)	CME	02-Dec-2011	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	233.23	16-Nov-2011	17-Nov-2011	13.00	COREGP	OTH	CLOSE	3615
OT-120075219	REHABILITACION COMUNICACION MODBUS COM107AB @EG (5.6MAR)	CME	10-Mar-2012	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	0.00	314.36	01-Mar-2012	08-Mar-2012	29.00	COREGP	SER	CLOSE	4727
OT-120073784	CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA CIL # 3 COM-107A (CPF) FREIRED	CME	11-Mar-2012	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	107.17	02-Mar-2012	02-Mar-2012	7.00	COREGP	OHE	CLOSE	4727
OT-120073333	REVISION DE COMPRESOR COM107A (CPF) TAMAMP	CME	12-Mar-2012	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	247.60	08-Mar-2012	08-Mar-2012	10.50	COAXGP	OHE	CLOSE	4727
OT-120177661	CAMBIO DE VALVULAS COM107A MES ESTRADAU	CME	06-Jun-2012	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	72.84	26-May-2012	26-May-2012	4.00	COREGP	OHE	CLOSE	6652
OT-120186237	DESMONTAJE DE COUPLING VERIFICACION DE MOTOR ELECTRO	CME	14-Jun-2012	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	119.25	05-Jun-2012	05-Jun-2012	4.00	COREGP	OTH	CLOSE	6702
OT-120198849	CAMBIO DE INDICADORES DE TEMPERATURA COM107A(CPF)	CME	26-Jun-2012	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	0.00	111.16	13-Jun-2012	14-Jun-2012	12.00	PSTSGP	ERO	CLOSE	6702
OT-120197773	REPARAR MOTOR AFTER COOLER COM107A (CPF) XCABEZAJU.	CME	14-Jul-2012	CPFSKC107	CR-CPF-ELS	EQ-20389	COM107A	0.00	106.00	19-Jun-2012	19-Jun-2012	7.00	EMACGH	VB	CLOSE	6794
OT-120172033	CHEQUEO DE COMPRESOR DE GAS COM107A @EG#HB#DU(13.JUL.)	CME	04-Aug-2012	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	0.00	125.06	29-Oct-2012	29-Oct-2012	17.00	COAXGP	FTS	CLOSE	8104
OT-130028325	REVISION DE INSTRUMENTACION Y PRUEBAS DE ARRANQUE COM107A	CME	28-Jan-2013	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	0.00	341.96	21-Jan-2013	27-Jan-2013	25.00	COREGP	SPS	CLOSE	8634
OT-130031349	CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA 1a ETAPA COM107A (CPF) ESTRADAU	CME	10-Feb-2013	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	91.05	25-Jan-2013	25-Jan-2013	5.00	COREGP	NOI	CLOSE	8648
OT-130124453	CAMBIO DE VALVULAS COM107A CPF FREIRED	CME	05-Apr-2013	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20389	COM107A	0.00	153.10	31-Mar-2013	31-Mar-2013	8.50	COREGP	OHE	CLOSE	8987
OT-130204864	VERIFICACION DE SETS POINTS DE PRESION DE SUCCION COM107A @EG	CME	25-Jun-2013	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20674	COM107A	0.00	102.98	07-Jun-2013	08-Jun-2013	8.00	COBLAI	ERO	CLOSE	10022
OT-130237264	CAMBIO DE BREAKER PRINCIPAL DEL COM107A (CPF) XSUAAREZV	CME	01-Jul-2013	CPFSKC107	CR-CPF-ELS	EQ-20389	COM107A	0.00	66.78	14-Jun-2013	14-Jun-2013	4.50	GENERAL	BRD	CLOSE	10166
OT-130237345	MONITORIO DE SEÑALES DE CONTROL COMPRESOR DE GAS COM107A	CME	02-Jul-2013	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	0.00	58.88	25-Jun-2013	26-Jun-2013	5.00	PSVWC	UNK	CLOSE	10166
OT-140631823	REVISION ARRANQUE COMPRESOR GAS COM107A @EG#HB#DU(13.JUL.)	CME	25-Jul-2014	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20389	COM107A	0.00	125.06	13-Jul-2014	13-Jul-201					

Historial de mantenimiento del sistema de compresión de gas COM107B, Tabulación

HISTORIAL DE FALLOS DEL SISTEMA DE COMPRESION DE GAS COM107

No	DESCRIPTION	WORK	STATUS	LOCACION	AREA	ASSE	TAG	ACTMAT	ACTLA	ACTSTART	ACTFINISH	ESTD	FAILURE	PROBLEMA	STATUS	HOROMETR
OT-0759439	CHEQUEO INSTRUMENTACION COMPRESOR DE GAS COM107B (CPF)	CME	09-Apr-2007	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	0.00	41.85	06-Apr-2007	09-Apr-2007	4.00	PSLSGP	FTF	CLOSE	20288
OT-0760531	CHEQUEO INSTRUMENTACION COMPRESOR DE GAS COM107B (CPF)	CME	17-Apr-2007	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	1,575.69	101.98	10-Apr-2007	12-Apr-2007	15.00	COAXGP	OTH	CLOSE	20346
OT-0778963	CHEQUEO DE SENSOR DE NIVEL COMPRESOR GAS COM107B (CPF)	CME	08-May-2007	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	119.47	39.20	01-May-2007	08-May-2007	17.00	PSLSCW	ERO	CLOSE	20718
OT-0787273	CORRECCION DE FUGAS DE GAS COM-107B (CPF) ESPINOZW	CME	23-May-2007	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	86.24	21-May-2007	21-May-2007	12.00	COREGP	ELP	CLOSE	21009
OT-07136771	CALIBRACION DE SW DE NIVEL DE ACEITE DE COMPRESOR DE GAS	CME	30-Jul-2007	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	0.00	66.64	27-Jul-2007	27-Jul-2007	9.00	COREGL	OTH	CLOSE	21108
OT-07251756	REVISION DE TRANSDUCTORES DE PRESION DEL COM-107B (CPF)	CME	09-Jan-2008	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	135.85	301.55	18-Dec-2007	23-Dec-2007	25.00	PSPSPG	ERO	CLOSE	21842
OT-08471068	INSPECCION DEL SISTEMA DE LUBRICACION COM107B (CPF) ESTRADAU	CME	03-Oct-2008	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	992.10	18.00	22-Sep-2008	22-Sep-2008	1.00	COREGP	PDE	CLOSE	21910
OT-09874660	CHEQUEO POR ALTA TEMPERATURA EN CILINDRO DE DESCARGA DE BAJA	CME	02-Nov-2009	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	570.00	135.18	24-Oct-2009	25-Oct-2009	7.00	COREGP	OHE	CLOSE	24911
OT-09912156	CHEQUEO DE COMPRESOR COM107B (CPF) ESTRADAU	CME	27-Nov-2009	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	850.72	23-Nov-2009	25-Nov-2009	30.00	COREGP	OTH	CLOSE	24911
OT-09914586	CHEQUEO DE COMPRESOR COM107B (CPF) ESTRADAU	CME	01-Dec-2009	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	4,534.37	254.62	27-Nov-2009	29-Nov-2009	11.00	COREGP	NOI	CLOSE	24935
OT-09932923	CAMBIO SW DE NIVEL DE ACEITE COM-107B (CPF) PAGUAYM	CME	16-Dec-2009	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	321.54	26.52	14-Dec-2009	14-Dec-2009	2.50	COREGP	OTH	CLOSE	25099
OT-09940444	CHEQUEO DE EQUIPO Y CAMBIO DE VALVULA DE SUCCION COM107B (CPF)	CME	28-Dec-2009	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	81.95	19-Dec-2009	19-Dec-2009	4.50	COREGP	NOI	CLOSE	25406
OT-101047466	CHEQUEO Y CAMBIO DE VALVULA TERMOSTATICA CPF ESTRADAU	CME	04-Apr-2010	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	103.90	29-Mar-2010	31-Mar-2010	4.00	COAXGP	OHE	CLOSE	26308
OT-101097367	CHEQUEO DE COMPRESOR DE GAS COM107B (CPF) @EG#HB(16,17)un	CME	23-Jun-2010	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	23.73	135.60	16-Jun-2010	17-Jun-2010	13.00	COREGP	SER	CLOSE	28167
OT-101128386	CORRECCION DE FUGAS DE ACEITE COM107B (CPF) MEC ESTRADAU	CMP	09-Aug-2010	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	769.42	49.16	06-Aug-2010	06-Aug-2010	2.00	COAXGP		CLOSE	29274
OT-101206608	REVISION DE COMPRESOR DE GAS COM107B	CME	14-Dec-2010	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	26.89	84.75	08-Dec-2010	08-Dec-2010	5.00	PSDIGP	OTH	CLOSE	220
OT-101212491	CAMBIO DE CONTROL DE NIVEL DEL COM107B (CPF)	CME	21-Dec-2010	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	549.82	50.85	18-Dec-2010	18-Dec-2010	3.00	PSDIGP	OTH	CLOSE	239
OT-110049341	REVISION DE CONTROL COM107B (CPF) GH	CME	16-Apr-2011	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	6,885.65	111.16	19-Mar-2011	25-Mar-2011	16.00	COAXGI	AIR	CLOSE	2741
OT-110054660	CHEQUEO DE COMPRESOR GAS COM107B Y REVISION SISTEMA DE	CME	16-Apr-2011	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	3,273.16	452.92	26-Mar-2011	31-Mar-2011	25.00	VAGAGE	FTC	CLOSE	2741
OT-110057525	REVISION DE COMPRESOR POR ALTA TEMPERATURA COM107B (CPF) MES	CME	30-Apr-2011	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	16,065.00	369.67	30-Mar-2011	01-Apr-2011	21.00	COREGP	SPS	CLOSE	3041
OT-110076943	CHEQUEO DE FUGA EN SISTEMA DE GAS @#PT#BR(23ABR)	CME	05-May-2011	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	964.67	343.34	23-Apr-2011	29-Apr-2011	29.00	COREGP	ELP	CLOSE	3140
OT-110094645	REVISION COMPRESOR DE GAS COM107B (CPF) MES ESTRADAU	CMP	18-May-2011	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	1,062.00	63.74	14-May-2011	14-May-2011	3.50	COREGP		CLOSE	3422
OT-110213250	REVISION DE COMPRESOR Y CAMBIO DE MOTOR (CPF) MES TAMAMP	CME	25-Sep-2011	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	3,069.82	1,362.56	17-Sep-2011	23-Sep-2011	48.50	EMACDC	LIW	CLOSE	4534
OT-110213433	REVISION DE TABLERO DE CONTROL COM107B (CPF) HAROF	CME	25-Sep-2011	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	794.71	176.80	17-Sep-2011	18-Sep-2011	20.00	PSDIGP	OTH	CLOSE	4534
OT-110283963	AJUSTE BASE DE COMPRESOR COM-107B (CPF)ZALAMEAF	CME	30-Nov-2011	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	16.11	235.80	21-Nov-2011	22-Nov-2011	10.00	COAXGI	FTS	CLOSE	5688
OT-110306964	REPARACION MIRILLA COM107B @PT(12DIC)	CME	14-Dec-2011	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	5.42	36.66	12-Dec-2011	12-Dec-2011	3.00	COREGP	ELP	CLOSE	5917
OT-120046278	REVISION DE INSTRUMENTACION GAS COMPRESOR COM107B	CME	15-Feb-2012	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	0.00	186.45	10-Feb-2012	10-Feb-2012	11.00	COREGP	SPS	CLOSE	6792
OT-120060772	REVISION DE TABLERO DE CONTROL DEL COM 107 B(CPF)FH	CME	29-Feb-2012	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	0.00	159.12	22-Feb-2012	25-Feb-2012	18.00	COREGP	OTH	CLOSE	6930
OT-120057086	REVISION DE COMPRESOR COM107B(CPF) FREIERD	CME	11-Mar-2012	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	0.00	120.47	21-Feb-2012	22-Feb-2012	7.00	COREGP	FTS	CLOSE	6993
OT-120068998	CAMBIO VALVULAS DE DESCARJA EN CILINDRO DE COMPRESOR COM107B	CME	11-Mar-2012	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	107.17	01-Mar-2012	01-Mar-2012	7.00	COREGP	OHE	CLOSE	6993
OT-120148332	REVISION DE COMPRESOR COM107B (CPF) TAMAMP	CME	14-May-2012	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	77.45	06-May-2012	06-May-2012	5.50	COAXGP	VIB	CLOSE	7061
OT-120177663	CAMBIO DE VALVULAS COMPRESOR COM107B(CPF) MES ESTRADAU	CME	04-Jun-2012	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	145.68	27-May-2012	27-May-2012	8.00	COREGP	OHE	CLOSE	7106
OT-120187702	CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA CILINDRO 3 Y 4 COM107B CPF	CME	14-Jun-2012	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	216.80	04-Jun-2012	04-Jun-2012	10.00	COREGP	OHE	CLOSE	7294
OT-120290109	CAMBIO DE CIGUEAAL COM107B (CPF) MES ESTRADAU	CME	18-Sep-2012	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	3,171.00	24-Aug-2012	01-Sep-2012	91.00	COAXGP	VIB	CLOSE	8531
OT-120372595	CAMBIO DE VALVULA DE DESCARGA DE LA PRIMERA ETAPA COM107B (CPF)	CME	04-Nov-2012	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	145.68	29-Oct-2012	29-Oct-2012	7.00	COREGP	INL	CLOSE	9293
OT-120423959	REPARACION DE VALVULAS POR PARTE DE HOERBIGER (CPF) ESTRADAU	CMP	11-Mar-2013	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	3.95	08-Mar-2013	08-Mar-2013	1.00	PUREGP	INL	CLOSE	11627
OT-130224014	CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA CIL. 1, 2a ETAPA (CPF) MES	CME	25-Jun-2013	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	39.36	10-Jun-2013	11-Jun-2013	5.50	COREGP	FTS	CLOSE	12664
OT-130239560	CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA EN CILINDRO #2 COM107B	CME	29-Jun-2013	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	86.72	21-Jun-2013	21-Jun-2013	4.00	COAXGP	FTS	CLOSE	12664
OT-130270420	CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA PRIMERA ETAPA COM107B CPF	CME	18-Jul-2013	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	53.59	14-Jul-2013	14-Jul-2013	3.50	COAXGP	OHE	CLOSE	12990
OT-130398422	CAMBIO DE LA VALVULA DE CONTROL DEL COMPRESOR COM107B	CME	08-Dec-2013	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	0.00	169.50	11-Nov-2013	11-Nov-2013	10.00	COAXAI	SER	CLOSE	13005
OT-130595906	CAMBIO DE VALVULAS COM-107B (CPF) (MES) PACHECOS	CME	30-Dec-2013	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	0.00	189.35	20-Dec-2013	20-Dec-2013	7.00	COAXAI	OTH	CLOSE	13114
OT-130594302	CAMBIO DE VALVULAS E INSPECCION DE COMPRESOR COM107B	CME	30-Dec-2013	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	108.20	18-Dec-2013	18-Dec-2013	4.00	COAXAI	FTS	CLOSE	13114
OT-140042250	CORRECCION DE FUGA DE ACEITE POR LA LINEA DEL PORTAFILTRO COM-	CME	24-Jan-2014	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	74.55	60.24	18-Jan-2014	18-Jan-2014	3.50	COAXAI	ELLU	CLOSE	13357
OT-140152082	CAMBIO VALVULAS SUCCION Y DESCARGA CYL#2 COM107B	CME	06-Mar-2014	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	125.25	26-Feb-2014	26-Feb-2014	5.00	COAXAI	FTS	CLOSE	13875
OT-140245076	CAMBIO DE SWITCH DE NIVEL DE ACEITE DEL COM-107B @FVI(28mar) ++NO	CME	03-Apr-2014	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	357.27	36.66	28-Mar-2014	28-Mar-2014	3.00	COAXAI	SPS	CLOSE	14115
OT-140424145	CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA EN LA 2 Y 4 ETAPA COM107B (CPF)	CME	04-Jun-2014	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	86.05	26-May-2014	26-May-2014	6.00	COAXAI	BRD	CLOSE	14431
OT-141081260	CAMBIO VALVULAS COM107B(CPF)ZALAMEAF	CME	27-Nov-2014	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	240.95	16-Nov-2014	17-Nov-2014	14.00	COAXAI	FTS	CLOSE	15430
OT-150106458	CAMBIO DE VALVULAS DE DESCARGA ETAPA 2 Y 4 COM-107B SANCHEDA	CMP	06-Feb-2015	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	8,204.36	28.42	29-Jan-2015	29-Jan-2015	2.00	COAXAI	INL	CLOSE	15499
OT-150216328	CHEQUEO DE COM-107B POR ALARMA DE ALTA TEMP DE ACEITE	CME	04-Mar-2015	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	93.28	146.29	25-Feb-2015	27-Feb-2015	9.00	COAXAI	STP	CLOSE	15871
OT-150156188	REVISION DE APAGADO COMPRESOR GAS COM107B @MP(30ENE) **NO	CME	17-Mar-2015	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	0.00	1,141.24	30-Jan-2015	25-Feb-2015	124.00	COAXAI	SPS	CLOSE	16033
OT-150762472	CAMBIO DE RETENEDOR EN EL SISTEMA DE LUBRICACION FORZADA COM-	CME	21-Jul-2015	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	25.53	502.70	14-Jul-2015	15-Jul-2015	20.00	COAXAI	OTH	CLOSE	16685
OT-151113193	REVISION VALVULA DE CONTROL DE PRESION DE GAS COM107B	CME	19-Oct-2015	CPFSKC107	CR-CPF-INS	EQ-20390	COM107B	0.00	81.28	15-Oct-2015	15-Oct-2015	2.50	COAXAI	ERO	CLOSE	17463
OT-151254719	CAMBIO VALVULAS DE DESCARGA CYL1 COM-107B(CPF)ZALAMEAF	CME	16-Nov-2015	CPFSKC107	CR-CPF-MES	EQ-20390	COM107B	0.00	0.00	16-Nov-2015	16-Nov-2015	6.00	COAXAI	FTS	INPRG	17500

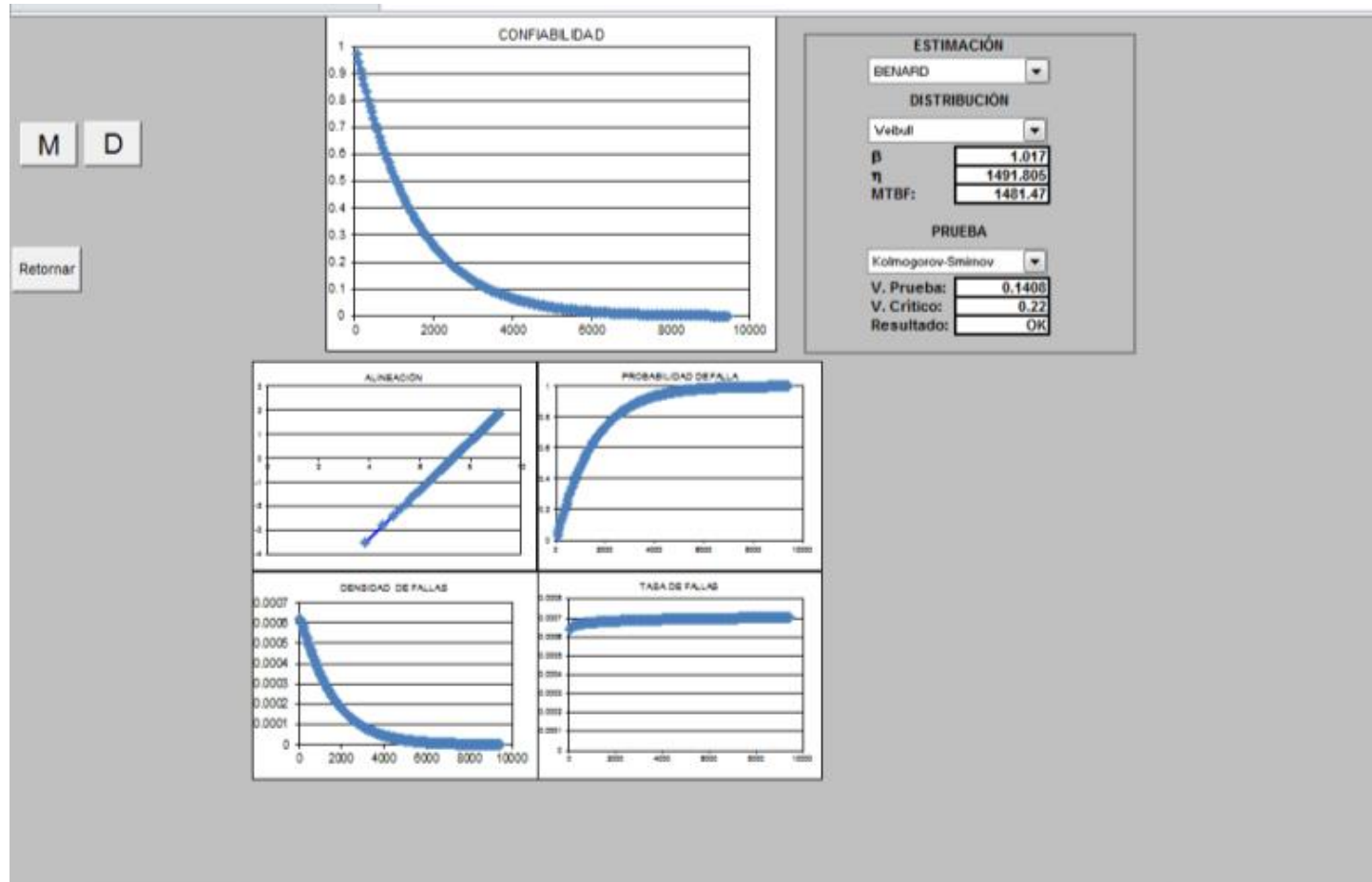
Realizado por: Sánchez D.

ANEXO B. Calidad de alineación–regresión, F (t) COM107A.

\hat{Y}_j	$ Y_j - \hat{Y}_j $	$X_j - X_{media}$	$[X_j - X_{media}]^2$	$Y_j - Y_{media}$	$(X_j - X_{media}) * (Y_j - Y_{media})$	$[Y_j - Y_{media}]^2$	$[Y - \hat{Y}]^2$
-2.28922	-1.16068	-1.79346	3.21651	-2.92583	5.24737	8.56048	1.34718
-2.11435	-0.62614	-1.61578	2.61075	-2.21642	3.58125	4.91251	0.39206
-2.00608	-0.31222	-1.50578	2.26738	-1.79423	2.70172	3.21927	0.09748
-1.99588	-0.01753	-1.49542	2.23628	-1.48934	2.22719	2.21815	0.00031
-1.90393	0.13137	-1.40198	1.96556	-1.24848	1.75034	1.55869	0.01726
-1.85877	0.28682	-1.35610	1.83902	-1.04788	1.42103	1.09805	0.08226
-1.71148	0.31254	-1.20645	1.45552	-0.87486	1.05547	0.76538	0.09768
-1.44655	0.20065	-0.93728	0.87849	-0.72183	0.67655	0.52103	0.04026
-1.18099	0.07306	-0.66745	0.44549	-0.58386	0.38970	0.34089	0.00534
-1.11043	0.12878	-0.59576	0.35493	-0.45757	0.27260	0.20937	0.01658
-0.98107	0.11646	-0.46433	0.21560	-0.34054	0.15812	0.11597	0.01356
-0.81805	0.06303	-0.29869	0.08921	-0.23094	0.06898	0.05333	0.00397
-0.72174	0.07030	-0.20083	0.04033	-0.12736	0.02558	0.01622	0.00494
-0.61015	0.05739	-0.08745	0.00765	-0.02868	0.00251	0.00082	0.00329
-0.59781	0.13977	-0.07492	0.00561	0.06603	-0.00495	0.00436	0.01954
-0.58201	0.21549	-0.05886	0.00346	0.15756	-0.00927	0.02483	0.04644
-0.36916	0.09351	0.15740	0.02477	0.24842	0.03910	0.06171	0.00874
-0.34802	0.16127	0.17888	0.03200	0.33733	0.06034	0.11379	0.02601
-0.27739	0.17823	0.25064	0.06282	0.42491	0.10650	0.18055	0.03177
-0.11837	0.10608	0.41221	0.16992	0.51179	0.21096	0.26192	0.01125
-0.11611	0.24527	0.41451	0.17182	0.65323	0.27077	0.42672	0.06016
-0.02299	0.18514	0.50912	0.25921	0.68622	0.34937	0.47090	0.03428
0.00928	0.24162	0.54191	0.29367	0.77498	0.41997	0.60059	0.05838
0.02633	0.31564	0.55923	0.31274	0.86605	0.48432	0.75004	0.09963
0.10020	0.33638	0.63429	0.40232	0.96065	0.60933	0.92285	0.11315
0.33276	0.20362	0.87058	0.75790	1.06046	0.92321	1.12457	0.04146
0.92477	-0.28091	1.47208	2.16703	1.16793	1.71929	1.36406	0.07891
1.16791	-0.40529	1.71912	2.95537	1.28669	2.21197	1.65557	0.16426
1.25223	-0.35143	1.80480	3.25730	1.42488	2.57162	2.03028	0.12350
1.51758	-0.44324	2.07440	4.30316	1.59842	3.31577	2.55494	0.19646
1.60319	-0.26498	2.16138	4.67156	1.86227	4.02508	3.46807	0.07022

Realizado por: Sánchez D.

ANEXO C. Pruebas de bondad de ajuste F (t) COM107A.



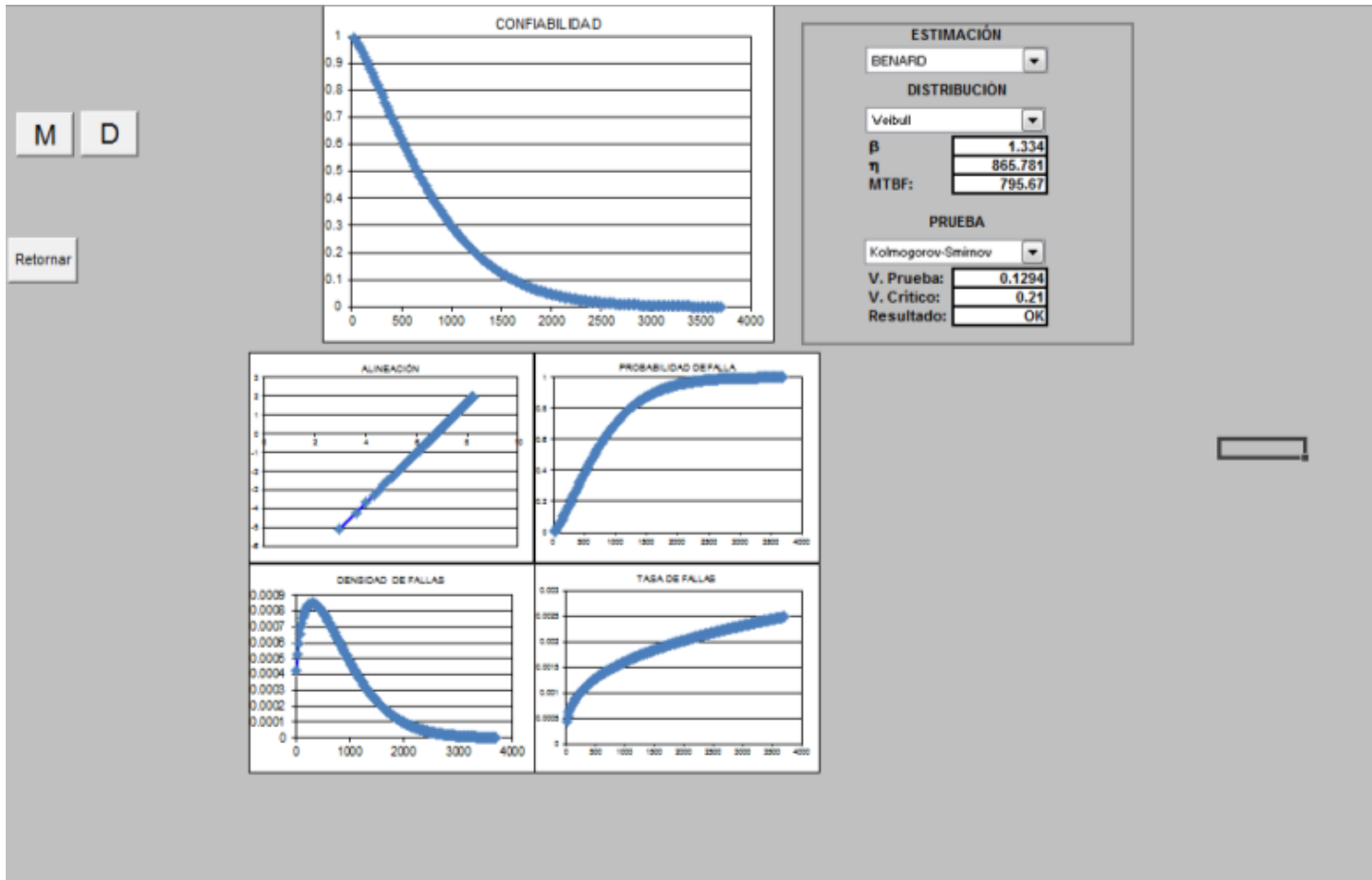
Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, Plataforma de resultados.

ANEXO D. Calidad de alineación–regresión, F (t) COM107B.

\hat{Y}_j	$ Y_j - \hat{Y}_j $	$X_j - X_{media}$	$[X_j - X_{media}]^2$	$Y_j - Y_{media}$	$(X_j - X_{media}) * (Y_j - Y_{media})$	$[Y_j - Y_{media}]^2$	$[Y - \hat{Y}]^2$
-2.66446	-0.84701	-1.65630	2.74334	-2.98651	4.94657	8.91924	0.71743
-2.35973	-0.44332	-1.42040	2.01753	-2.27809	3.23580	5.18971	0.19653
-2.15261	-0.22930	-1.26006	1.58774	-1.85696	2.33987	3.44828	0.05258
-2.13676	0.05863	-1.24779	1.55697	-1.55318	1.93803	2.41235	0.00344
-1.70551	-0.13293	-0.91393	0.83527	-1.31348	1.20043	1.72524	0.01767
-1.64491	0.00582	-0.86701	0.75171	-1.11413	0.96597	1.24129	0.00003
-1.62886	0.16146	-0.85459	0.73032	-0.94244	0.80540	0.88819	0.02607
-1.43659	0.12081	-0.70574	0.49808	-0.79082	0.55812	0.62540	0.01459
-1.32687	0.14754	-0.62080	0.38540	-0.65437	0.40623	0.42820	0.02177
-1.28955	0.23488	-0.59191	0.35036	-0.52971	0.31354	0.28059	0.05517
-1.10688	0.16749	-0.45050	0.20295	-0.41443	0.18670	0.17175	0.02805
-1.07880	0.24712	-0.42876	0.18383	-0.30672	0.13151	0.09408	0.06107
-1.01776	0.28762	-0.38150	0.14555	-0.20519	0.07828	0.04210	0.08272
-0.98829	0.35460	-0.35869	0.12866	-0.10873	0.03900	0.01182	0.12574
-0.89164	0.35022	-0.28387	0.08058	-0.01646	0.00467	0.00027	0.12265
-0.65113	0.19856	-0.09768	0.00954	0.07239	-0.00707	0.00524	0.03943
-0.39419	0.02768	0.10124	0.01025	0.15845	0.01604	0.02511	0.00077
-0.39011	0.10910	0.10440	0.01090	0.24395	0.02547	0.05951	0.01190
-0.15256	-0.04469	0.28830	0.08311	0.32771	0.09448	0.10739	0.00200
-0.08647	-0.02827	0.33946	0.11523	0.41022	0.13925	0.16828	0.00080
-0.03439	0.02862	0.37978	0.14423	0.51920	0.19718	0.26957	0.00082
0.02606	0.02257	0.42657	0.18196	0.57358	0.24467	0.32900	0.00051
0.06531	0.06522	0.45696	0.20882	0.65549	0.29954	0.42967	0.00425
0.28352	-0.07013	0.62589	0.39174	0.73836	0.46213	0.54517	0.00492
0.32985	-0.03192	0.66176	0.43792	0.82290	0.54456	0.67716	0.00102
0.33567	0.04907	0.66626	0.44391	0.90971	0.60611	0.82757	0.00241
0.38356	0.09201	0.70334	0.49468	1.00054	0.70371	1.00107	0.00847
0.47328	0.09847	0.77279	0.59721	1.09671	0.84753	1.20278	0.00970
0.61271	0.13843	0.88074	0.77570	1.27611	1.12392	1.62845	0.01916
0.99947	-0.20812	1.18014	1.39274	1.31631	1.55343	1.73267	0.04331
1.29339	-0.36785	1.40769	1.98158	1.45050	2.04185	2.10396	0.13531
1.38318	-0.28799	1.47719	2.18210	1.62015	2.39328	2.62489	0.08294
1.62837	-0.27439	1.66701	2.77894	1.87894	3.13222	3.53041	0.07529

Realizado por: Sánchez D.

ANEXO E. Pruebas de bondad de ajuste F (t) COM107B.



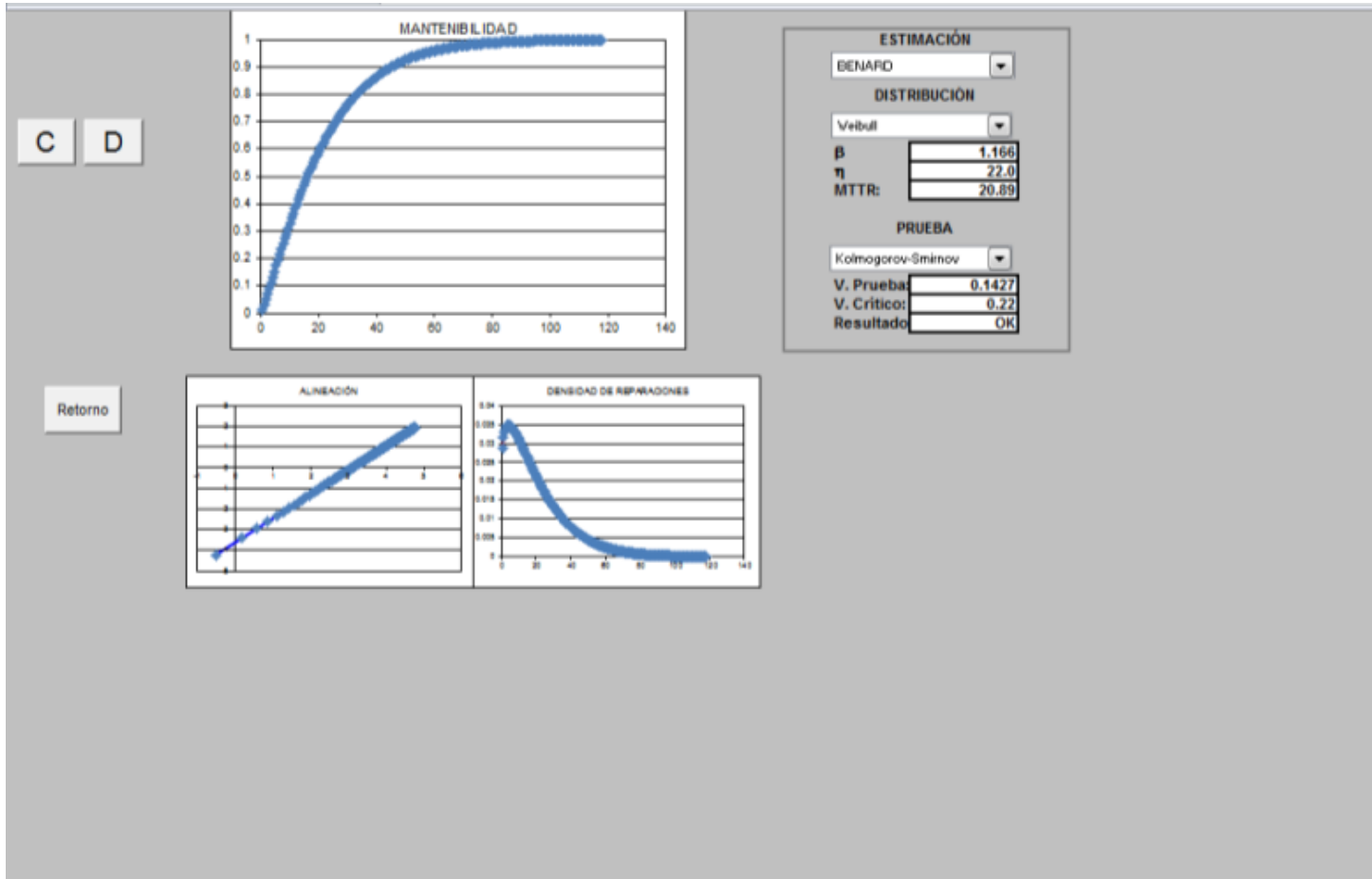
Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, Plataforma de resultados

ANEXO F. Calidad de alineación–regresión, M (t) COM107A.

\hat{Y}_j	$ Y_j - \hat{Y}_j $	$X_j - X_{media}$	$[X_j - X_{media}]^2$	$Y_j - Y_{media}$	$(X_j - X_{media}) * (Y_j - Y_{media})$	$[Y_j - Y_{media}]^2$	$[Y - \hat{Y}]^2$
-3.44883	-0.00107	-2.61734	6.85049	-2.92583	7.65790	8.56048	0.00000
-2.67427	-0.06622	-1.92420	3.70253	-2.21642	4.26483	4.91251	0.00439
-2.22118	-0.09712	-1.51873	2.30655	-1.79423	2.72496	3.21927	0.00943
-2.04893	0.03551	-1.36458	1.86208	-1.48934	2.03233	2.21815	0.00126
-1.65036	-0.12219	-1.00791	1.01587	-1.24848	1.25835	1.55869	0.01493
-1.12515	-0.44680	-0.53790	0.28934	-1.04788	0.56366	1.09805	0.19963
-1.05741	-0.34152	-0.47728	0.22779	-0.87486	0.41755	0.76538	0.11664
-0.99354	-0.25236	-0.42012	0.17650	-0.72183	0.30325	0.52103	0.06369
-0.93312	-0.17481	-0.36605	0.13399	-0.58386	0.21372	0.34089	0.03056
-0.87580	-0.10585	-0.31476	0.09907	-0.45757	0.14403	0.20937	0.01120
-0.82128	-0.04333	-0.26597	0.07074	-0.34054	0.09057	0.11597	0.00188
-0.76930	0.01428	-0.21945	0.04816	-0.23094	0.05068	0.05333	0.00020
-0.67207	0.02063	-0.13244	0.01754	-0.12736	0.01687	0.01622	0.00043
-0.58262	0.02987	-0.05239	0.00275	-0.02868	0.00150	0.00082	0.00089
-0.49981	0.04177	0.02171	0.00047	0.06603	0.00143	0.00436	0.00174
-0.46060	0.09408	0.05680	0.00323	0.15756	0.00895	0.02483	0.00885
-0.42271	0.14706	0.09071	0.00823	0.24842	0.02253	0.06171	0.02163
-0.35060	0.16385	0.15524	0.02410	0.33733	0.05237	0.11379	0.02685
-0.28285	0.18369	0.21587	0.04660	0.42491	0.09173	0.18055	0.03374
-0.21898	0.20669	0.27303	0.07454	0.51179	0.13973	0.26192	0.04272
-0.15856	0.28772	0.32710	0.10699	0.65323	0.21367	0.42672	0.08278
-0.10124	0.26339	0.37839	0.14318	0.68622	0.25966	0.47090	0.06937
-0.04672	0.29762	0.42718	0.18248	0.77498	0.33105	0.60059	0.08858
0.00526	0.33671	0.47370	0.22439	0.86605	0.41025	0.75004	0.11337
0.23411	0.20247	0.67849	0.46035	0.96065	0.65180	0.92285	0.04099
0.35184	0.18454	0.78385	0.61443	1.06046	0.83124	1.12457	0.03405
0.49171	0.15215	0.90902	0.82631	1.16793	1.06167	1.36406	0.02315
0.82949	-0.06688	1.21130	1.46724	1.28669	1.55856	1.65557	0.00447
0.84157	0.05923	1.22211	1.49355	1.42488	1.74136	2.03028	0.00351
1.62212	-0.54778	1.92062	3.68877	1.59842	3.06995	2.55494	0.30006
1.79353	-0.45533	2.07400	4.30149	1.86227	3.86237	3.46807	0.20732

Realizado por: Sánchez D.

ANEXO G. Pruebas de bondad de ajuste M (t) COM107A.



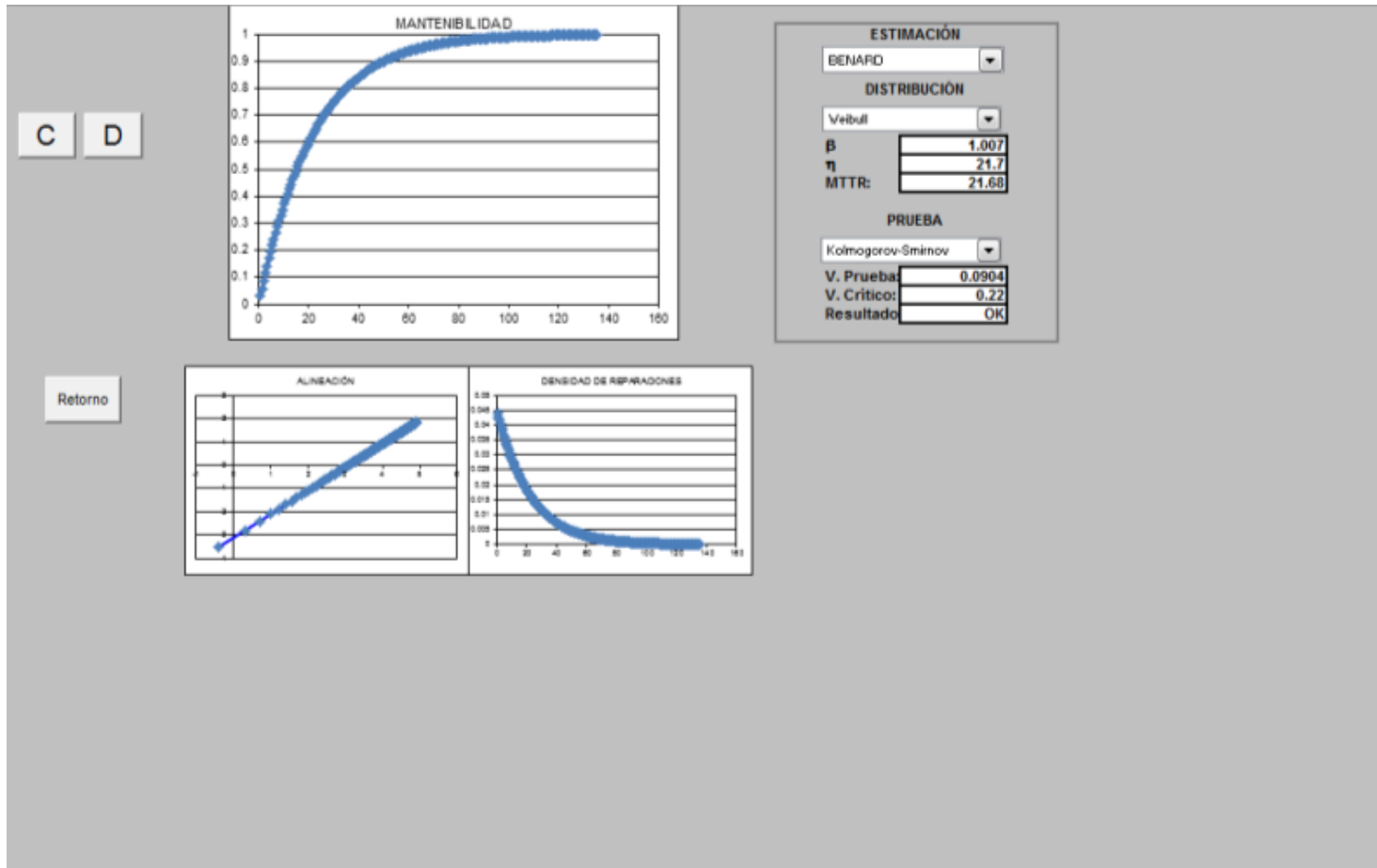
Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, Plataforma de resultados

ANEXO H. Calidad de alineación–regresión, M (t) COM107B.

\hat{Y}_j	$ Y_j - \hat{Y}_j $	$X_j - X_{media}$	$[X_j - X_{media}]^2$	$Y_j - Y_{media}$	$(X_j - X_{media}) * (Y_j - Y_{media})$	$[Y_j - Y_{media}]^2$	$[Y - \hat{Y}]^2$
-2.97267	-0.47723	-2.52933	6.39753	-2.92816	7.40630	8.57413	0.22775
-2.30101	-0.43948	-1.83619	3.37158	-2.21875	4.07404	4.92286	0.19314
-2.08478	-0.23352	-1.61304	2.60191	-1.79657	2.89794	3.22765	0.05453
-1.90811	-0.10530	-1.43072	2.04696	-1.49168	2.13417	2.22510	0.01109
-1.75874	-0.01381	-1.27657	1.62963	-1.25081	1.59675	1.56452	0.00019
-1.62935	0.05740	-1.14304	1.30654	-1.05021	1.20043	1.10294	0.00329
-1.51522	0.11628	-1.02526	1.05115	-0.87719	0.89935	0.76947	0.01352
-1.41312	0.16722	-0.91990	0.84621	-0.72416	0.66615	0.52440	0.02796
-1.23645	0.12852	-0.73757	0.54402	-0.58619	0.43236	0.34362	0.01652
-1.08708	0.21067	-0.58342	0.34038	-0.35467	0.20692	0.12579	0.04438
-0.95769	0.08127	-0.44989	0.20240	-0.35467	0.15956	0.12579	0.00661
-0.89894	0.13506	-0.38927	0.15153	-0.24214	0.09426	0.05863	0.01824
-0.84356	0.18581	-0.33211	0.11030	-0.13600	0.04517	0.01850	0.03453
-0.74146	0.18469	-0.22675	0.05141	-0.03503	0.00794	0.00123	0.03411
-0.64911	0.18913	-0.13144	0.01728	0.06177	-0.00812	0.00382	0.03577
-0.48723	0.12072	0.03562	0.00127	0.15523	0.00553	0.02410	0.01457
-0.28603	0.01037	0.24326	0.05917	0.24608	0.05986	0.06056	0.00011
-0.22728	0.04054	0.30388	0.09234	0.33500	0.10180	0.11222	0.00164
-0.17189	0.07274	0.36104	0.13035	0.42258	0.15257	0.17858	0.00529
-0.11950	0.10721	0.41511	0.17231	0.50945	0.21148	0.25954	0.01150
-0.06980	0.19896	0.46640	0.21753	0.65090	0.30358	0.42367	0.03959
-0.02252	0.18467	0.51519	0.26542	0.68389	0.35233	0.46770	0.03410
0.06563	0.18527	0.60616	0.36743	0.77264	0.46835	0.59698	0.03433
0.18443	0.15754	0.72876	0.53110	0.86371	0.62944	0.74600	0.02482
0.53932	-0.10275	1.09501	1.19904	0.95832	1.04937	0.91838	0.01056
0.60186	-0.06548	1.15955	1.34455	1.05812	1.22694	1.11963	0.00429
0.77853	-0.13467	1.34187	1.80061	1.16560	1.56408	1.35862	0.01814
0.81809	-0.05547	1.38269	1.91183	1.28436	1.77587	1.64957	0.00308
1.12314	-0.22234	1.69750	2.88151	1.42255	2.41477	2.02364	0.04943
1.39836	-0.32402	1.98153	3.92645	1.59609	3.16269	2.54749	0.10499
1.69819	-0.35999	2.29095	5.24844	1.85994	4.26103	3.45939	0.12959

Realizado por: Sánchez D.

ANEXO I. Pruebas de bondad de ajuste M (t) COM107B.



Fuente: Programa - Cálculo de CMD, parámetros, curvas y bondad de ajuste, Plataforma de resultados

ANEXO J. Reporte de horómetros de planta de procesos CPF-B15

01-nov-15									
HORÓMETROS GENERADORES									
ENGINE No. HOROMETRO OBSERVACIONES			ENGINE No. HOROMETRO OBSERVACIONES			HOROMETROS DE AYER Y DIFERENCIA			
C P F ACERO 83			MG2101-14G	36636		CPF			
MG101-1	85714		MG2101-15G	36873		85714	0	36636	0
MG101-9G	55203		MG2101-16G	30200		55184	19	30200	0
MG-102G	44165		MP-2105A	15129		44146	19	15129	0
MG-103G	11997		MP-2105C	2214	no encerado / horometro reset	11978	19	2212	2
MP-330B	79008		MP-2105D	7514		79008	0	7501	13
MP-105E	8932		COM101A	6789		8928	4	6765	24
MP-105F	8299		COM101B	801	517 Encerado / 20-05-2015	8286	13	801	0
MG301-3	25999		COM101C	3022		25999	0	3022	0
			C-2101A	6439			0	6439	0
MG511-4	37783	Interconexión	C-2101B	5865		37783	0	5865	0
MG521-4	106	horometro encerado	C-2101D	18371		106	0	18371	0
MG601-2	18258		C-2802A	10710		18258	0	10686	24
MG601-4	4107		C-2802B	10499		4107	0	10499	0
MG-W13	2795		C-2801B	715		2787	8	713	2
COM107A	25993		C-2801A	704		25969	24	704	0
COM107B	17495					17495	0		
COM111	23707		LIMONCOCHA 10 ACERO 29			23683	24	LIMON-10	
COM112	37663					37663	0		
COM123	13970		PACAY ACERO 73			13970	0	PACAY	
MG8001-3	28713	BLACK START				28713	0		0
									0
									0
			PACAY NORTE					PACAY NORTE	
			MG-W11	59033				59009	24
			MG-W02	18265	Traspaso hacia shushufindi			18265	0
			MG-W22	38816	Trasladado desde naka Sur			38792	24

Fuente: Reporte diario de horómetros Bloque 15. Petroamazonas EP.

ANEXO K. Fotografías Sistema de compresión de gas CPF, B15



Fuente: Fotografías sistema de compresión de Gas CPF
Realizado por: Sánchez D.



Fuente: Fotografías sistema de compresión de Gas CPF
Realizado por: Sánchez D.



Fuente: Fotografías sistema de compresión de Gas CPF
Realizado por: Sánchez D.



Fuente: Fotografías sistema de compresión de Gas CPF
Realizado por: Sánchez D.

ANEXO L. Registro de entrevistas a personal de Operaciones y Mantenimiento

REGISTRO DE ENTREVISTAS PERSONAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIONES (SISTEMA DE COMPRESION DE GAS COM107)

	NOMBRE Y APELLIDO	FIRMA	CÉDULA DE IDENTIDAD O PASAPORTE	CARGO
1	Edison Chandi		100269284-4	PAM / TEC. ELÉCTRICO
2	Gustavo Huelgo		174814162-0	PAM / TEC. Instrumentista.
3	Carlos KREIKER		0703190173	PAM / SUP. MECÁNICO
4	DIEGO GUAMANALLO		0502140700	PAM / SUP ELÉCTRICO
5	Edison Torpanta		1600402349.	PAM / ADM. MTL.
6	FREDY ZUNIGA		1802007540	PAM / MTO MECÁNICO
7	WILLIAM BERNALDO		1803324023	PAM / TEC. MECÁNICO
8	FRANCISCO GARAS		171124492-9	PAM / SUP. PLANTAS
9	MIGUEL CASTRO		130433332-1	PAM / OPERADOR PLANTAS
10	Carlos Avila		1803230778	Tec. Instrumentista
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
ENTREVISTADOR				
Nombre: Ing. Dario Sanchez Barroso				
Firma:				

Realizado por: Sánchez D.

ANEXO M. Formato de entrevista a personal de Operaciones y Mantenimiento.

**SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS COM107 DEL CPF – BLOQUE 15 –
PETROAMAZONAS EP**

ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de corroborar los datos existentes en el sistema de gestión de mantenimiento MAXIMO OIL AND GAS

1. ¿Por favor podría indicar su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia? (FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)
2. Situándonos en el año 20..., mes de, usted recuerda ¿cuál fue el problema que ocasiono la mencionada parada que registra MAXIMO?
3. ¿Recuerda cuánto tiempo paso en paro el sistema, y que consecuencia acarreo este paro?
4. ¿Cuánto tiempo tomo en repararse el equipo que se averió?
5. ¿Existía en stock los repuestos necesarios para reparar inmediatamente la falla que provoco el mencionado paro? (PERSONAL DE MANTENIMIENTO)
6. Según su experiencia, cuantos barriles de crudo cree que se perdió con esta parada del sistema. (respuesta opcional).

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

**SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS COM107 DEL CPF – BLOQUE 15 –
PETROAMAZONAS EP**

ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de corroborar los datos existentes en el sistema de gestión de mantenimiento MAXIMO OIL AND GAS.

1. ¿Por favor podría indicar su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia? (FIRMAR FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

TÉCNICO MECÁNICO 8 años

2. Situándonos en el año 2013 mes de ~~ENE~~, usted recuerda ¿cuál fue el problema que ocasiono la mencionada parada que registra MAXIMO?

* Se cambio la voluuta de descarga de las etapas 2 y 3 por alta presión y se reviso los alarmas.

3. ¿Recuerda cuánto tiempo paso en paro el sistema, y que consecuencia acarreo este paro?

• Se paro cerca de 1 día por que no se encontraba la falla de instrumentación. Disminución de la capacidad de compresión.

4. ¿Cuánto tiempo tomo en repararse el equipo que se averió?

25 - 30 horas con pruebas.

5. ¿Existía en stock los repuestos necesarios para reparar inmediatamente la falla que provoco el mencionado paro? (PERSONAL DE MANTENIMIENTO)

SI

6. Según su experiencia, cuantos barriles de crudo cree que se perdió con esta parada del sistema. (respuesta opcional).

Se apago generacion a gas pero no se perdio barriles por que se preudio generacion a Diesel.

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

**SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS COM107 DEL CPF – BLOQUE 15 –
PETROAMAZONAS EP**

ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de corroborar los datos existentes en el sistema de gestión de mantenimiento MAXIMO OIL AND GAS.

1. ¿Por favor podría indicar su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia? (FIRMAR FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

Técnico Mecánico, 12 años desde Oxy.

2. Situándonos en el año 2007 mes de mayo, usted recuerda ¿cuál fue el problema que ocasiono la mencionada parada que registra MAXIMO?

Uso de la planta por alta temperatura en el COM107 (no recuerdo A o B).

3. ¿Recuerda cuánto tiempo paso en paro el sistema, y que consecuencia acarreo este paro?

+0 - 8 horas por cambio de volutas.

4. ¿Cuánto tiempo tomo en repararse el equipo que se averió?

8 horas por volutas.

5. ¿Existía en stock los repuestos necesarios para reparar inmediatamente la falla que provoco el mencionado paro? (PERSONAL DE MANTENIMIENTO)

SI

6. Según su experiencia, cuantos barriles de crudo cree que se perdió con esta parada del sistema. (respuesta opcional).

NO RESPONDE.

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

OT-07204046
OT-07215095

**SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS COM107 DEL CPF – BLOQUE 15 –
PETROAMAZONAS EP**

ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de corroborar los datos existentes en el sistema de gestión de mantenimiento MAXIMO OIL AND GAS.

1. ¿Por favor podría indicar su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia? (FIRMAR FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

Técnico Electrico. 6 años

2. Situándonos en el año 2015, mes de ~~AGO~~ ^{AGO}, usted recuerda ¿cuál fue el problema que ocasiono la mencionada parada que registra MAXIMO?

se quemó los aislamientos del motor electrico COM107B. y se registro problemas de control tambien. 05-10754410

3. ¿Recuerda cuánto tiempo paso en paro el sistema, y que consecuencia acarreo este paro?

La parte electrica se arranco en 2 horas pero lo de control duro ± 11 horas

4. ¿Cuánto tiempo tomo en repararse el equipo que se averió?

13 horas. aproximadamente.

5. ¿Existía en stock los repuestos necesarios para reparar inmediatamente la falla que provoco el mencionado paro? (PERSONAL DE MANTENIMIENTO)

SI

6. Según su experiencia, cuantos barriles de crudo cree que se perdió con esta parada del sistema. (respuesta opcional).

No se registro perdida por que se arranco el COM107A.

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

**SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS COM107 DEL CPF – BLOQUE 15 –
PETROAMAZONAS EP**

ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de corroborar los datos existentes en el sistema de gestión de mantenimiento MAXIMO OIL AND GAS.

1. ¿Por favor podría indicar su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia? (FIRMAR FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

Técnico Mecánico 10 años

2. Situándonos en el año 2011, mes de ~~NOV~~, usted recuerda ¿cuál fue el problema que ocasiono la mencionada parada que registra MAXIMO?

* Problemas de condensado y se trajo el compresor saltaron las protecciones eléctricas
OT: 110273432, OT-110273379, OT-110276262, OT-11027

3. ¿Recuerda cuánto tiempo paso en paro el sistema, y que consecuencia acarreo este paro?

+ 8 - 2 días entre todas las fallas que se corrigieron con pruebas, paro del COM107A.

4. ¿Cuánto tiempo tomo en repararse el equipo que se averió?

46 horas.

5. ¿Existía en stock los repuestos necesarios para reparar inmediatamente la falla que provoco el mencionado paro? (PERSONAL DE MANTENIMIENTO)

SI, solo el coupling no estaba acher.

6. Según su experiencia, cuantos barriles de crudo cree que se perdió con esta parada del sistema. (respuesta opcional).

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

**SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS COM107 DEL CPF – BLOQUE 15 –
PETROAMAZONAS EP**

ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de corroborar los datos existentes en el sistema de gestión de mantenimiento MAXIMO OIL AND GAS.

1. ¿Por favor podría indicar su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia? (FIRMAR FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

18 años desde OXY Técnico Instrument

2. Situándonos en el año 2010, mes de ~~Julio~~ ¿usted recuerda ¿cuál fue el problema que ocasiono la mencionada parada que registra MAXIMO?

OT- 101100892 Alta vibración, estaba desalineado el
OT- 101133126 con el motor, para también existía
problemas de comunicación y alarmas.

3. ¿Recuerda cuánto tiempo paso en paro el sistema, y que consecuencia acarreo este paro?

la parte de control + 0 - un día por que se
tuvo que traer un controlador de otro bloque.

4. ¿Cuánto tiempo tomo en repararse el equipo que se averió?

unos 3 días con la parte mecánica.

5. ¿Existía en stock los repuestos necesarios para reparar inmediatamente la falla que provoco el mencionado paro? (PERSONAL DE MANTENIMIENTO)

NO, no se empujo un controlador.

6. Según su experiencia, cuantos barriles de crudo cree que se perdió con esta parada del sistema. (respuesta opcional).

No se perdieron x que el cor 107 se arranco.

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

**SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS COM107 DEL CPF – BLOQUE 15 –
PETROAMAZONAS EP**

ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de corroborar los datos existentes en el sistema de gestión de mantenimiento MAXIMO OIL AND GAS.

1. ¿Por favor podría indicar su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia? (FIRMAR FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

Téc. Instrumentista 5 años.

2. Situándonos en el año 2011, mes de ~~SEP.~~, usted recuerda ¿cuál fue el problema que ocasiono la mencionada parada que registra MAXIMO?

OT-110213433: Existió un problema de comunicación con el mapa RTD BUS, no se podía con y mandaba apagar el COM107B.

3. ¿Recuerda cuánto tiempo paso en paro el sistema, y que consecuencia acarreo este paro?

+ unas 20 horas con todo y configuración automatización.

4. ¿Cuánto tiempo tomo en repararse el equipo que se averió?

También se hicieron trabajos de mantenimiento que duraron 2 días más (consultar OT) OK

5. ¿Existía en stock los repuestos necesarios para reparar inmediatamente la falla que provoco el mencionado paro? (PERSONAL DE MANTENIMIENTO)

Si

6. Según su experiencia, cuantos barriles de crudo cree que se perdió con esta parada del sistema. (respuesta opcional).

Se arrojó el cor 107A.

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS COM107 DEL CPF – BLOQUE 15 –
PETROAMAZONAS EP

ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de corroborar los datos existentes en el sistema de gestión de mantenimiento MAXIMO OIL AND GAS.

1. ¿Por favor podría indicar su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia? (FIRMAR FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

Operador Líder de Planta. 10 años

2. Situándonos en el año 2009 mes de ~~Nov.~~, usted recuerda ¿cuál fue el problema que ocasiono la mencionada parada que registra MAXIMO?

• 07-09912156 • Se reporto al SUP. Recaudo que se apago el com 107 B por alta temperatura, revision y cambiaron valvulas, pero un día despues volvía a cae.

3. ¿Recuerda cuánto tiempo paso en paro el sistema, y que consecuencia acarreo este paro?

Repararon en medio día (8 horas) y luego del arranque seguía apagandose y luego volvieron a intervenir lo.

4. ¿Cuánto tiempo tomo en repararse el equipo que se averió?

2 días + o - . (48 horas).

5. ¿Existía en stock los repuestos necesarios para reparar inmediatamente la falla que provoco el mencionado paro? (PERSONAL DE MANTENIMIENTO)

Si (aparentemente)

6. Según su experiencia, cuantos barriles de crudo cree que se perdió con esta parada del sistema. (respuesta opcional).

Se apago generacion a gas y se arranca a Diesel.

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

**SISTEMA DE COMPRESIÓN DE GAS COM107 DEL CPF – BLOQUE 15 –
PETROAMAZONAS EP**

ENTREVISTA

La presente entrevista se realiza con fines académicos, con el objetivo de corroborar los datos existentes en el sistema de gestión de mantenimiento MAXIMO OIL AND GAS.

1. ¿Por favor podría indicar su posición dentro de la empresa y sus años de experiencia? (FIRMAR FORMATO DE REGISTRO ADJUNTO)

SUPERVISOR MECÁNICO 8 años

2. Situándonos en el año 2012, mes de MARZO, usted recuerda ¿cuál fue el problema que ocasiono la mencionada parada que registra MAXIMO?

*OT- 12057086

*OT- 120187702

Existió un problema de calidad de gas por lo que recurrentemente estaba condensado al sistema.

3. ¿Recuerda cuánto tiempo paso en paro el sistema, y que consecuencia acarreo este paro?

Pasaron varios días en pruebas pero también paso apagado el equipo y solo funciona el A

4. ¿Cuánto tiempo tomo en repararse el equipo que se averió?

Solo en mano de obra unos 37 horas

5. ¿Existía en stock los repuestos necesarios para reparar inmediatamente la falla que provoco el mencionado paro? (PERSONAL DE MANTENIMIENTO)

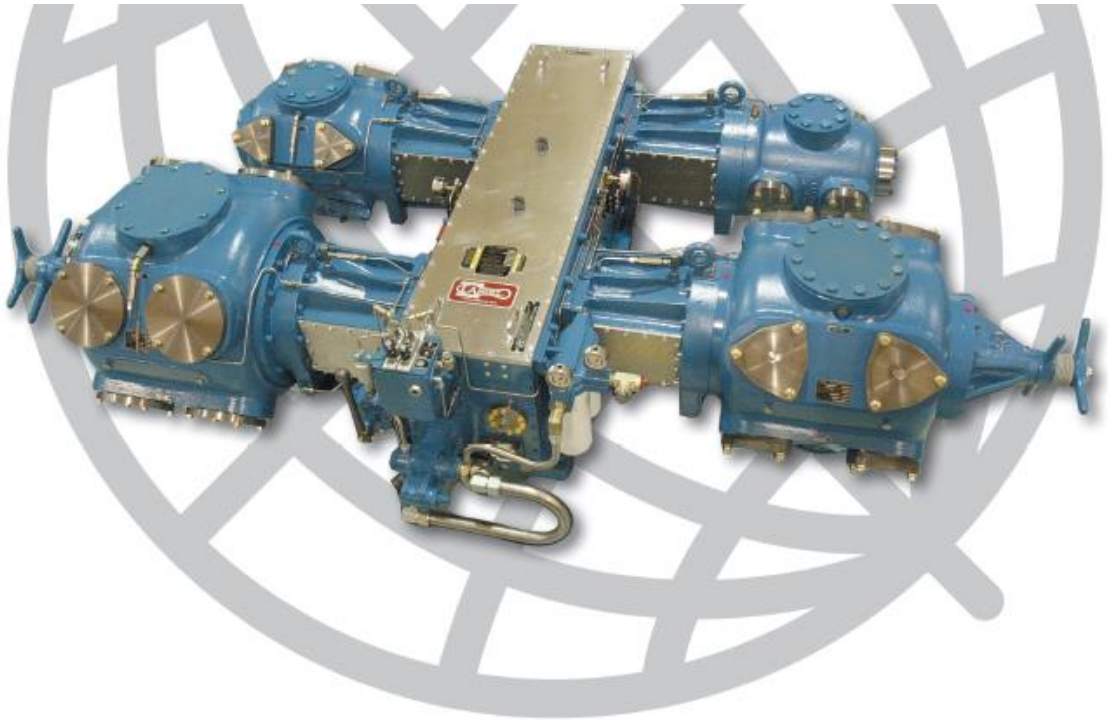
SI

6. Según su experiencia, cuantos barriles de crudo cree que se perdió con esta parada del sistema. (respuesta opcional).

No se registraron pérdidas.

GRACIAS POR SU AMABLE COLABORACIÓN

ANEXO N. Especificaciones técnicas del compresor de gas Ariel. Tipo (Frame) **JGR/4**

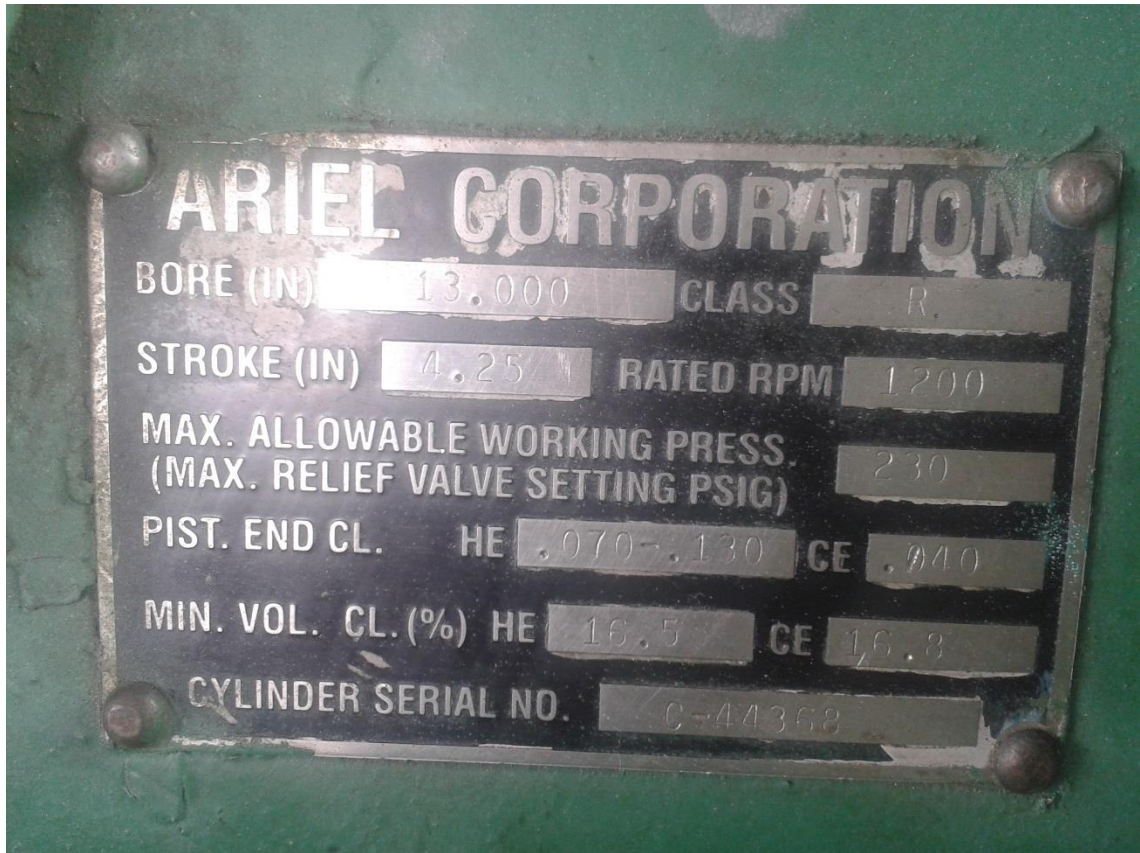


ARIEL JGR and JGJ COMPRESSORS

Frame	JGR/2	JGR/4	JGJ/2	JGJ/4	JGJ/6
Number of throws	2	4	2	4	6
Rated Power, BHP	430	860	620	1240	1860
Rated Power, kW	321	641	462	925	1387
Stroke, inches	4.25	4.25	3.5	3.5	3.5
Stroke, mm	108	108	89	89	89
RPM, maximum	1200	1200	1800	1800	1800
Piston speed, FPM	850	850	1050	1050	1050
Piston speed, m/s	4.32	4.32	5.33	5.33	5.33
Total Rod Load, lbs	32000	32000	42000	42000	42000
Total Rod Load, N	142343	142343	186825	186825	186825
Tension, lbs	16000	16000	21000	21000	21000
Tension, N	71172	71172	93413	93413	93413
Compression, lbs	20000	20000	23000	23000	23000
Compression, kg	88964	88964	102309	102309	102309
Average Weight with cylinders, lbs	3700	7400	3700	7400	11100
Average Weight with cylinders, kg	1680	3355	1680	3355	5035
Maximum Length, inches	43	81	43	81	110
Maximum Length, mm	1092	2057	1092	2057	2794
Maximum Width, inches	104	104	104	104	104
Maximum Width, mm	2642	2642	2642	2642	2642
Crankshaft Centerline, from bottom, inches	12	12	12	12	12
Crankshaft Centerline, from bottom, mm	305	305	305	305	305

Fuente: <http://es.arielcorp.com/Productos/JGR/>


Datos de placa.



Fuente: Datos de placa compresor Ariel CPF - Bloque 15, Petroamazonas EP.

ANEXO O. Bitácoras e operación y mantenimiento, reportes de horómetros, informes.

Plan de mantenimiento (Representante Ariel en Ecuador)

 PETROAMAZONAS	PROYECTO: CONTRATO PRESTACION SERVICIOS HOERBIGER	
	PLAN DE MANTENIMIENTO PERIODICOS	Hoja N° 1 de 3
BLOQUE 15 OPTIMIZACION DE GENERACION ELÉCTRICA		

ANEXO 5.6

PLAN DE MANTENIMIENTO PERIODICOS

Plan de Mantenimiento
Periódicos:


Entiéndase por plan de mantenimiento periódico el mantenimiento que deben recibir el Sistema de Compresión de Gas para mantener su operatividad y buen funcionamiento durante sus 2 años de operación y más allá del mismo.

Objetivo:

Identificar las rutinas que se deben realizar para los mantenimientos periódicos las que incluyen pero no necesariamente se limitan a las siguientes actividades:

Semestral o Cada 4.000 horas (Además del Diario/Mensual)

1. Drene y reemplace el aceite de la caja del lubricador.
2. Cambie el filtro de aceite en este momento, o cuando el diferencial de presión exceda 10 psi (70 kPa).
3. Cambie el aceite. Puede que cambios de aceite más frecuentes sean necesarios si el ambiente es extremadamente sucio, si el proveedor de aceite lo recomienda, o si el análisis de aceite lo determina. Se pueden permitir cambios de aceite menos frecuentes si se completa regularmente el aceite debido al uso del conjunto lubricación forzada.
4. Limpie el elemento sinterizado del pequeño filtro de aceite suministrado en el sistema de lubricación forzada. Tal filtro también se debe limpiar cada vez que se cambia el filtro de aceite principal.
5. Limpie el filtro Y cuando cambie el aceite.
6. Abra el bastidor cuando cambie el aceite e inspeccione visualmente si hay materiales extraños. No se recomienda el desmontaje, salvo si se identifica algún motivo.

 PETROAMAZONAS BLOQUE 15 OPTIMIZACION DE GENERACION ELÉCTRICA	PROYECTO: CONTRATO PRESTACION SERVICIOS HOERBIGER	
	PLAN DE MANTENIMIENTO PERIODICOS	Hoja N° 2 de 3

7. Vuelva a ajustar las tuercas de los espárragos de anclaje con el valor de torque correcto e inspeccione si hay alguna pata floja. Una diferencia superior a 0,002" (0.05 mm) requiere la colocación de nuevos suplementos. En tal caso, realinee en caso de que sea necesario para mantener la alineación del acoplamiento con tolerancia de 0,005" (0,13 mm) LTI.

8. En los cilindros con presión nominal por arriba de 3.500 psi (24.000 kPa), inspeccione la luz entre puntas de los aros de pistón y la luz entre puntas y la proyección radial de la banda de desgaste, si la hay. Reemplace los aros de pistón y bandas de desgaste que no cumplan con los límites máximos presentados en la Tabla 1-6, en la Tabla 1-8, en la Tabla 1-9, en la Tabla 1-11 y en la Tabla 1-13 y antes que el pistón toque el cilindro.

Anual o Cada 8.000 horas (Además del Diario/Mensual/Semestral)

1. Verifique el huelgo de los cojinetes principales, el huelgo de los cojinetes de la biela y el huelgo axial del cigüeñal, utilizando una barreta y un indicador de cuadrante. Si no cumplen con los límites indicados en la Tabla 1-2, página 1-8, reemplace los cojinetes afectados.


2. Verifique el huelgo de la guía de la cruceta con láminas calibradoras. Si no cumple con los límites indicados en la Tabla 1-2, página 1-8, reemplace las partes afectadas.

3. Inspeccione si hay discos rotos o pernos centrales flojos en las válvulas. Reemplace las partes rotas y ajuste los pernos centrales con los valores de torque indicados en la Tabla 1-16, página 1-18.

4. Inspeccione si las áreas alesadas de los cilindros están dañadas o desgastadas. Si hay estrías, de manera que el área total de su sección transversal supera 0,001 pulg²/pulg de circunferencia del cilindro (0,025 mm²/mm de circunferencia del cilindro), se debe reemplazar o rectificar el cilindro a un máximo de 0,020" (0,50 mm). También se lo debe reemplazar o rectificar si la ovalización o conicidad del cilindro supera 0,001 pulg/pulg de su diámetro (0,001 m/m del diámetro del cilindro).

5. Inspeccione la luz entre puntas de los aros de pistón. Reemplace los aros que no cumplan con los límites máximos presentados en la Tabla 1-6, en la Tabla 1-8, en la Tabla 1-9 y en la Tabla 1-13.

6. Inspeccione si los vástagos de los pistones están dañados o excesivamente desgastados. Reemplace el vástago si hay estrías o rayaduras. También reemplácelo si el desgaste supera 0,005" (0,13 mm), si

 PETROAMAZONAS BLOQUE 15 OPTIMIZACION DE GENERACION ELÉCTRICA	PROYECTO: CONTRATO PRESTACION SERVICIOS HOERBIGER	
	PLAN DE MANTENIMIENTO PERIODICOS	Hoja N° 3 de 3

la ovalización supera 0,001" (0,03 mm), o si la conicidad supera 0,002" (0,05 mm).

7. Reacondicione las cajas de empaquetadura de los cilindros.

8. Inspeccione si hay torsiones o flexiones en el bastidor, verificando los suplementos en las patas del compresor.

9. Realinee en caso de que sea necesario para mantener la alineación del acoplamiento con tolerancia de 0,005" (0,13 mm) LTI.

10. Verifique y recalibre todos los indicadores de temperatura y manómetros.

11. Verifique y registre el desgaste del vástago del compresor.

12. Engrase las roscas del eje del VVCP a través del niple, con 2 ó 3 bombeadas de grasa multiuso, utilizando un lubricador manual.

13. Limpie el filtro del respiradero del cárter.

14. Ajuste las cadenas de transmisión.

15. Haga la prueba de presión del bloque o bloques de distribución de lubricación forzada.

Cada 2 años ó 16.000 Horas (Además del Diario/Mensual/Semestral/Anual)

1. Verifique si hay fisuras en los dientes del piñón de la cadena de transmisión del extremo auxiliar y si la cadena está excesivamente elongada.

2. Reacondicione las cajas de los aros raspa-aceite.

Es responsabilidad de la CONTRATISTA i) identificar las actividades periódicas que se deben realizar, ii) generar los Formatos y iii) revisar que se realicen las actividades y registros oportunamente.

GENERADORES JENBACHER				
GENERADORES	MOTOR MARCA	Potencia nominal (KW)	Potencia promedio (KW)	Consumo gas (MSCF)
MG-100A	Jenbacher	1063	0	0
MG-100B	Jenbacher	1063	352	81.81
MG-100C	Jenbacher	1063	500	97.83
MG-100D	Jenbacher	1063	492	96.91
MG-100E	Jenbacher	1063	488	93.38
MG-100F	Jenbacher	1063	493	98.39

GENERADORES WAUKESHA				
GENERADORES	MOTOR MARCA	Potencia nominal (KW)	Potencia promedio (Kw)	Consumo gas (MSCF)
MG-101-9	Waukesha	1000	0	22.18
MG-102	Waukesha	1000	600	150
MG-103	Waukesha	1000	650	155.24
MG-301-3	Waukesha	1000	0	0.00

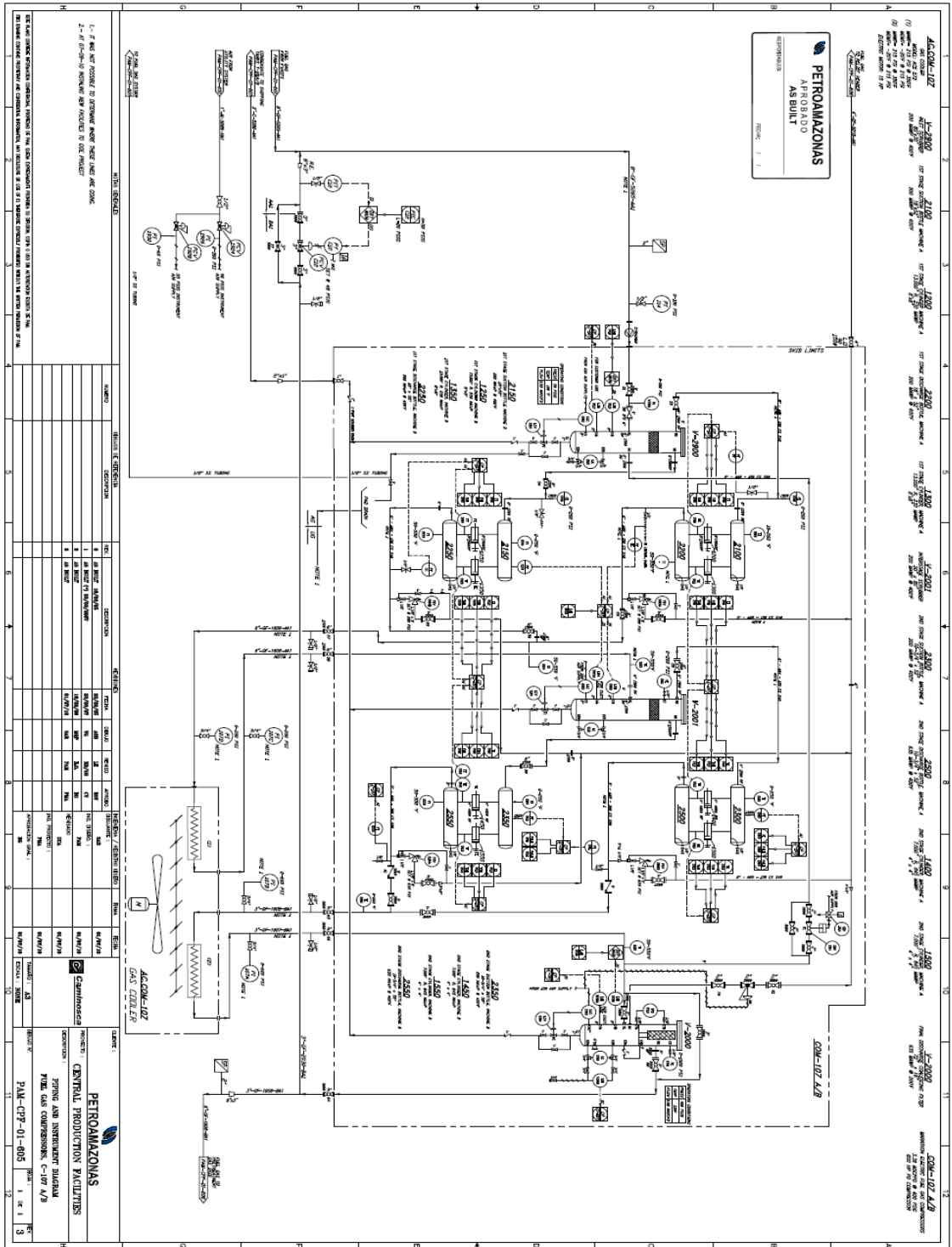
GENERADORES CATERPILLAR				
GENERADORES	MOTOR MARCA	Potencia nominal (KW)	Potencia promedio (Kw)	
MG-101-1	Caterpillar	1100	543	
MG-601-2	Caterpillar	830	342	
MG-601-4	Caterpillar	830	355	
MG-521-4	Caterpillar	830	355	
MG-W13	Caterpillar	1825	0	
MG-W20	Caterpillar	1450	703	
MG-W16	Caterpillar	1450	510	

	Acumulador V-1620A	Acumulador V-1620B	Serpentin V-1621	Volumen Total Acumulado
CAP (FT3)	3283.78	3283.78	2577.59	9145.15
CAP (FT3) (230 PSIG)	51378.83	51378.83	40329.68	143087.34
Tiempo Llenado (hora)	2.10	2.10	1.60	

Tabla 2 TIEMPO DE LLENADO DE LOS ACUMULADORES

Fuente: Planta de Generacion Bloque 15, Petroamazonas EP.

P&ID Sistema de compresión de gas COM107



Fuente: Petroamazonas EP.

Reporte diario de operaciones – horómetros 2007-2015 (3280 archivos)

FORMATO HORAS GENERADORES

02-ene-07

ENGINE No.	HOROMETRO	OBSERVACIONES
LAGUNA		
MG 1001-1	66077	
MG101-3D	74537	
MG101-5		OFF
MG401-3		en taller Overhaul
MG512-1D	32114	
MG521-4		en taller Overhaul
MG-101-5D	19119	
MG-513-1D	24316	
MG601-8	33682	
MG-101-4D	32365	
MG701-2		OFF
MG-W03	26286	
MG-102G	6867	
JIVINO C		
MG301-9		OFF
MG301-2	71651	
MP-502		OFF
MP-265	6517	
JIVINO A		
MG301-3	10327	
MG101-2D	74206	off
MG-301-7		
MG-602-1	11835	
MG-301-4D	10282	
MG-301-1		SE LLEVAN A CPF
MG-101-4		SE LLEVAN A CPF
JIVINO B		
MP-430 C	78650	
MP-430A	65881	
MP-430B	72920	
MP-330D	16208	
MP-430E	25881	
MP-230C	18336	
NEW Power trailer	3167	
JIVINO F		
MP-430D	77297	
MP-103 D	18888	
MP-330E	36141	
ITAYA A		
MG101-5D	DESMONTADO POR MANT. ESTA EN CPF	
MG601-7		OFF
MG1001-2	704	
MG1001-3	51771	
MG-601-1		
MG-601-3	14933	
MG-101-6D	744	
ITAYA B		
MG1002-1	22866	
MG1002-2	23703	
MG1002-3	23934	
UNIDAD LACT (SRF)		
MP-205A	19235	
MP-205B	19236	
MP-205C	19251	
MP-2730	113	
MP-2720	119	
MG-2920	28032	
COM-2800		EN MANTENIMIENTO
MG-401-5	1538	se cambia panel
OVERHAUL		
JIVINO E		
ANGEL NORTE		
PAKA SUR		
MG-103 C	54612	

ENGINE No.	HOROMETRO	OBSERVACIONES
CPF		
MG101-1	16530	
MG511-4	77320	
MG521-4	3228	
MG101-7G	15907	
MG101-8G		OFF
MG101-9G	11188	
MG601-2	89849	
MG601-4	40177	
MP-330C	51552	
MP-105A	14128	
COM-107A	32444	
COM-107B	19712	
COM-112	7241	
MP-330-B	44746	
MP-212 Q	2774	
MP-212 R	9954	
MP-212 S	9497	off
MG-531-4	27044	
MP-2103 F	26126	
MG-70	4247	off
SHIRA		
MP-230B	25540	
INDILLANA		
MG601-5	82716	OFF
MG701-1	70412	
MG701-3	30239	
MG701-4	12164	
LIMONCOCHA		
MG2101-1G	49610	OFF
MG2101-2G	58270	
MG2101-3G	61259	
MG2101-4G	52292	
MG2101-5G	60012	
MG2101-6G	61141	
MG2101-7G	40357	
MG2101-8G	35438	
MG2101-9G	2481	off
MG2101-10G	13951	off
MG-06	22345	
MG-W05		SE LLEVAN A CPF
MP2101-1D		
MP-2105 A	11236	
MP-2105 C		
COM-2101-B	59671	
COM 2101 A	4002	
GATOR		
COM-101 A	1109	CONTADOR DESCALBRADO
COM-101 B	3588	
CONCORDIA		
PLANTA DE LUZ		ESTA EN YAN OESTE
MG-2930	20980	
LIMONCOCHA 10		
MG-501-4	14465	
MG-W02	19716	YANA WEST
MG-W01	19278	YANA WEST
POWER TRAILER		YANA WEST
MG-W07	17103	YANA WEST
MG-103G		LAGUNA
MG-W10	12322	YANA EAST
MG-W05		Sale mant cpf
MG-W08	13925	YAN-EAST
MG-W04	23651	YAN-EAST
MG-W09	13437	YAN-EAST

LAGUNA	CPF		
66053	24	16506	24
74513	24	77296	24
0	24	3204	24
0	24	15907	0
32090	24		
0	24	11164	24
19094	25		
24292	24	89825	24
33658	24	40153	24
32341	24	51528	24
0	24	14128	0
26262	24	32419	25
6843	24	19712	0
JIVINO C		7218	23
0	24	44730	16
71627	24	2750	24
0	24	9931	23
6506	11	9473	24
JIVINO A		27020	24
10303	24	26102	24
74206	0	4247	0
11811	24		
10258	24		
SHIRA		25516	24
JIVINO B		INDILLANA	
78626	24	82716	0
65857	24	70388	24
72896	24	30215	24
16184	24	12140	24
25857	24		
18312	24	49610	0
3143	24	58246	24
	24	61235	24
JIVINO F		52268	24
77273	24	59988	24
18864	24	61117	24
36117	24	40333	24
	24	35414	24
ITAYA A		2481	0
	0	13951	0
	0	22321	24
680	24		0
51747	24		0
	24	11224	12
14908	25		0
	24	59665	6
720	24		0
ITAYA B		4002	0
22842	24	1085	24
23679	24	3588	0
23934	0		0
UNIDAD LACT			
19235	0		
19214	22	CONCORDIA	
19233	18		0
112	1	20956	24
118			
28011	21	LIMON-10	
		14465	0
1538	0	ABRUZZOS	
		19692	24
OVERHAUL		19278	0
JIVINO E		17079	24
			0
		12322	0
ANGEL NORTE			0
		13925	0
PAKA SUR		23627	24
54612	0	13413	24

JIVINO C			
MG301-9	66384		off
MG301-2	66377		
MP-502	3937		OFF
MP-265	4048		

LIMONCOCHA			
MG2101-1G	45722		
MG2101-2G	52973		
MG2101-3G	56065		
MG2101-4G	47023		
MG2101-5G	56799		
MG2101-6G	56000		
MG2101-7G	35082		
MG2101-8G	31215		off
MG2101-9G	8882		off
MG2101-10G	11641		
MG-W04	19333		

01-ago-10

ENGINE No.	HOROMETRO	OBSERVACIONES
AGUAJAL		
MG-W18	5497	
MG-W19	5105	
ANGEL NORTE		
MG501-7	13532	
RS-ROTH-70	12603	RENTADO
CEDROS SUR		
MG-8001-3	12179	Nuevo
MG-W27	1821	
CONCORDIA		
MG2930	44441	
MG2940	6814	
CPF		
MG101-1	46123	
MG-102G	19561	
MG-103G	9096	
MG521-4	197	
MG601-2	14888	
MG601-4	68073	
MP-105A	16535	
MP-330B	64658	
COM107A	54251	
COM107B	29085	
MG101-9G	36354	
MG301-3	5699	
COM112	28814	
COM111	1151	
MG-W-13	18037	
CPF - SHIRA		
MP-2103F	3619	
MP-212Q	25019	
MP-212R	32916	
MP-212S	23561	
MP-330F	5355	
MG-W20	396	
INDILLANA		
MG513-1D	2990	
MG601-5	12738	
MG701-1	91753	
MG701-3	3548	
MG701-4	11070	
ITAYA A		
MG1001-2	351	Horomrto nuevo
MG1001-3	80755	
MG101-6D	25977	ACOPLADO AL GG521-4
MG601-1	26743	
MG601-3	3667	
MG1001-4	21584	
ITAYA B		
MG1002-1	43819	
MG1002-2	49802	
MG1002-3	5915	
JIVINO A		
MG101-2D	97640	
MG602-1	35516	
MG301-4D	832	
JIVINO B		
MP-230B	3348	
MP-330D	10394	
MP-430A	2176	
MP-430C	765	
MP-430 D	13620	
MP-205A	3838	
MG-W10	29453	
MP-430G	9785	
MP-430H	8444	
JIVINO C		
MG2920	48781	
MP-505	4018	
JIVINO E		
MG501-6	15162	

ENGINE No.	HOROMETRO	OBSERVACIONES
JIVINO F		
MP-103D	36852	
MP-330A	15864	
MP-330E	13467	
LAGUNA		
MG1001-1	95631	
MG101-3D	93190	
MG101-4D	62171	
MG101-5D	40658	
MG512-1D	55135	
MG601-6	5107	
MG601-8	57610	
MG701-2	71743	
LIMONCOCHA		
MP2101-1D	14238	
MG2101-1G	72679	
MG2101-2G	86836	
MG2101-3G	89108	
MG2101-5G	88189	
MG2101-6G	89763	
MP-2105A	14609	
MP-2105C	11181	
MG-W03	43431	
MG-W16	8406	
MG2101-11G	6175	
MG2101-12G	5399	
MP-2105D	236	
GEN BACHER	19722	RENTADO
COM-2101-B	71642	
COM 2101 A	5112	
COM-101 A	3447	
COM-101 B	1386	
LIMON-10		
MG401-7	7663	
MP-2103G	13796	
PACAY		
MG-W06	42103	
MG-W11	19067	
PAKA SUR		
MG401-6	8744	
MG8001-1	18357	
MG8001-2	23956	
PALMAR OESTE		
MG-W15	11042	
MG-W17	3032	
MG-W28	1381	
MG-W30	418	
PAÑAYACU		
MG-W2508	2477	
MG-W2608	3003	
UNIDAD LACT-(SRF)		
MG103-C	61808	
MG401-5	10034	
MP-205B	32922	
MP-205C	32931	
MP-430E	32925	
MP-2720	207	
MP-2730	206	
YAMANUNCA		
MG-W21	2567	
MG-JB01	5530	
MG-JB02	5837	
YAMANUNCA 2		
MG-W12	16624	
MG-W14	15314	
YANAQUINCHA ESTE		
MG-W22	4760	
MG-W23	4887	
MG-W24	5186	
YANAQUINCHA OESTE		
MG-W01	35428	
MG-W02	47341	
MG-W09	29829	

E

AGUAJAL		JIVINO F	
5473	24	36844	8
5105	0	15864	0
		13443	24
ANGEL NORTE		LAGUNA	
13508	24	95631	0
12603	0	93190	24
CEDROS SUR		CONCORDIA	
12155	24	40658	0
1821	0	55135	0
		5083	24
44417	24	57586	24
6814	0	71719	24
CPF		LIMONCOCHA	
46099	24	14238	0
19537	24	72679	22
9072	24	86817	19
173	24	89108	9
14864	24	88189	0
68049	24	89739	24
16535	0	14609	0
64638	20	11169	12
54251	0	43407	24
29061	24	8382	24
36348	6	6151	24
5675	24	5375	24
28814	0	236	0
1151	0	19698	24
18013	24	71632	10
		5109	3
		3447	0
		1362	24
3595	24		
24995	24		
32900	16	7663	0
23561	0	13796	0
5355	0		
396	0		
		42103	0
INDILLANA		LIMON-10	
2981	9		
12714	24		
91729	24	8721	23
3524	24	18353	24
11048	22	23955	1
ITAYA A		PALMAR OESTE	
327	24	11018	24
80731	24	3032	0
25977	0	1357	24
26743	0	418	0
3643	24		
21560	24		
PAÑAYACU		INDILLANA	
		2477	0
		2987	16
43819	0		
49778	24		
5891	24	61796	12
		10021	13
JIVINO A		UNIDAD LACT-(SRF)	
97616	24	32901	21
35516	0	32911	20
808	24	32904	21
		207	0
		206	0
JIVINO B		YAMANUNCA	
3324	24	2567	0
10370	24	5506	24
2153	23	5813	24
765	0		
13617	3		
3838	0		
29429	24	16600	24
9785	0	15290	24
8420	24		
YANAQUINCHA ESTE		YAMANUNCA 2	
JIVINO C		YANAQUINCHA OESTE	
48757	24	4760	0
4003	15	4863	24
		5162	24
JIVINO E		YANAQUINCHA OESTE	
15162	0	35404	24
		47317	24
		29805	24

17-nov-15

HORÓMETROS

GENERADORES

ENGINE No.	HOROMETRO	OBSERVACIONES
LAGUNA ACERO 58		
MG101-5D	39760	
MG512-1D	40406	Trasladado OVERHOL C/PF
MGW-04	63201	
MGW-19	43446	
ANGEL NORTE ACERO 51		
RS-ROTH-70		Remedio
MG401-5		Trasladado, Generacion C/PF
MG - W30	30780	
MG-W2608	21249	
CEDEROS SUR		
MG401-7	33034	
MG-14003	1038	
CONCORDIA ACERO 33		
MG2930	16945	
MG-W501-8	30537	
C P F ACERO 83		
MG101-1	85811	
MG101-9G	55357	
MG-102G	44402	
MG-103G	12181	
MP-330B	79008	
MP-105E	9161	
MP-105F	8360	
MG301-3	26131	
MG511-4	37783	Interconexión
MG521-4	106	horometro encerrado
MG601-2	18347	
MG601-4	4123	
MG-W113	2882	
COM107A	26356	
COM107B	17514	
COM111	24086	
COM112	37665	
COM123	13971	
MG8001-3	28713	BLACK START
CPF - SHIRA ACERO 83 + / - 1		
MP-2103F	5083	
MP - 330F	13845	
MP-230C	18371	
MP-2120	22515	
MP-212R	46545	
MP-212S	15527	
MP-430G	3	
INDILLANA		
MG513-1D	4078	Overhaul
MG601-5	11457	
MG701-1	30343	
MG701-2	23275	
MG701-3	8859	
MG701-4	6710	
ITAYA A ACERO 27		
MG1001-2	29588	
MG1001-3	23352	
MG1001-4	51884	Trasladado al bloque 05
MG601-3	15295	
MG601-6	17938	Reparación en locación
MG101-6D	12363	
ITAYA B ACERO 28		
MG1002-1	31340	
MG1002-2	16283	
MG1002-3	38902	
JIVINO A ACERO 20		
MG602-1	58795	Energía de CPF (Centralizado)
MG301-4D	29498	Energía de CPF (Centralizado)
MG101-2D	23768	Energía de CPF (Centralizado)
JIVINO B ACERO 21		
MP-205A	13476	Ingresó en funcionamiento
MP-230B	10568	
MP-103D	17123	
MP-330E	46393	cambio de motor
MP-430C	13934	
MP-430D	32731	Ingresó en funcionamiento
MP-430H	34714	cambio de motor
JIVINO C ACERO 22		
MP-505	19764	
MP-506	9273	
JIVINO E		
JIVINO F ACERO 24		
MP-330A	40013	
MP-430B	56329	330-D

ENGINE No.	HOROMETRO	OBSERVACIONES
LAGUNA ACERO 25		
MG1001-1	22075	Energía de CPF (Centralizado)
MG101-3D	15270	Energía de CPF (Centralizado)
MG101-4D	87385	Energía de CPF (Centralizado)
MG601-8	86421	Energía de CPF (Centralizado)
LIMONCOCHA		
MG2101-1D	1527	
MG2101-1G	107824	
MG2101-2G	116690	
MG2101-3G	121112	
MG2101-5G	123475	
MG2101-6G	122739	
MG2101-11G	45217	
MG2101-12G	46434	
MG2101-13G	36862	
MG2101-14G	37050	
MG2101-15G	37278	
MG2101-16G	30856	
MP-2105A	15129	
MP-2105C	2393	no encerrado / horometro reset
MP-2105D	7514	
COM101A	7173	
COM101B	801	517 Encerrado / 20-05-2015
COM101C	3022	
C-2101A	6439	
C-2101B	5865	
C-2101D	18371	
C-2802A	10902	
C-2802B	10688	
C-2801B	736	
C-2801A	729	
LIMONCOCHA 10 ACERO 29		
PACAY ACERO 73		
PACAY NORTE		
MG-W01	59417	
MG-W02	18265	Traslapo hacia shushufindi
MG-W22	39200	Trasladados desde paka Sur
PAKA NORTE		
MG-W01	62413	
MG-W21	27401	
MG-W24	39622	
MG531-4	42271	
PAKA SUR ACERO 32		
MG-W19	41499	
MG-8901	35246	
MG-8902	34718	
MG-W04	61121	
MG-W20	23748	Nuevo generador
MG-W29	14086	Trasladado de Palmar Oeste
MG-8903	3846	Nuevo generador
MG-8904	4064	Nuevo generador
PALMAR OESTE ACERO 56		
MG401-6	34684	Primo OVERHALL con Hc-34684
MG-W30	33520	
MG8001-1	52825	
MG-W2508	21509	
MG8001-2	55021	
PALMERAS NORTE		
MG601-1	22144	29449
MG-W01	62732	
MG-W2508	21460	Trasladado provisionalmente
MG-W23	34421	
PAÑAYACU		
MG-W27	11712	
MG-14001	30334	Trasladado a CPF
UNIDAD LACT - (SRF)		
MP-430E	57361	
MP-205B	57378	
MP-205C	57285	
MP-205D	16279	
MP-205E	16271	
MP-2720	365	
MP-2720	365	
MG - 103 - C	74636	Trasladado al CPF PENDIENTE
MG501-6	13993	
COM-2805A	137	
COM-2805B	139	
SANTA ELENA ACERO 70		
MTU-01	4221	TRASLADADO
MTU-11	5135	TRASLADADO
MG-14002	34847	
YAMANUNCA 1 ACERO 49		
MG-WB01	50426	
MP-WB02	49106	
EQUIPOS TRASLADADOS AL CPF		
MG531-4	72077	TRASLADADO A CPF
MG-W18	31815	Traslapo al CPF
MGW-03	53171	TRASLADADO AL TALLER
MG2940	14687	TRASLADADO TALLER CPF
MP-2103G	13845	OVERHAULD
MG-2920	62133	
EQUIPOS TRASLADADOS		
MG-W12	45666	TRASLADADO CUYABENO
MG-W14	43080	TRASLADADO A CUYABENO
MG - W - 06	45862	TRASLADADO AL BLOQUE F
MG-W16	12321	TRASLADADO A CUYABENO
MG - W - 05	40296	Trasladado AL BLOQUE 18
MG-W16	28766	Remedio al bloque 05
MG - W - 09	31661	Trasladado al Bloque F
MG-W07	39870	
MG-W10	63398	
MG-W15	19942	TRASLADADO BLOQUE F
RS-ROTH-70		Equipo Remedio

HOROMETROS DE AYER Y DIFERENCIA			
AGUAJAL	LAGUNA	AGUAJAL	LAGUNA
39760	0	22075	0
40406	0	15270	0
63177	24	87385	0
43422	24	86421	0
ANGEL NORTE			
30756	24		
21249	0		
CEDEROS SUR			
33010	24	1527	0
1038	0	107800	24
		116671	19
		121088	24
CONCORDIA			
16921	24	123451	24
		122715	24
		45193	24
30537	0	46410	24
		36838	24
CPF			
85811	0	37254	24
55340	17	30632	24
44388	14	15129	0
12181	0	2382	11
79008	0	7514	0
9143	18	7149	24
8360	0	801	0
26131	0	3022	0
		6439	0
37783	0	5865	0
106	0	18371	0
18347	0	10899	3
4123	0	10688	0
2882	0	736	0
26346	10	725	4
17500	14		
24062	24	LIMON-10	
37665	0		
13971	0	PACAY	
28713	0		0
			0
			0
			PACAY NORTE
			59393
			18265
			39176
CPF - SHIRA			
5083	0	62413	0
13845	0	27377	24
18347	24	39598	24
22515	0	42271	0
46521	24		
15527	0		
3	0		
			PACA SUR
			41499
			35222
			34694
			61121
			23724
4078	0	14086	0
11457	0	3822	24
30319	24	4064	0
23251	24		
8859	0	34684	0
6686	24	33520	0
		52801	24
		21509	0
		54987	24
ITAYA A			
29564	24	PALMERAS NORTE	
23328	24	22144	0
51884	0	62708	24
15295	0	21460	0
17938	0	34397	24
12339	24		
			11712
			30334
UNIDAD LACT - (SRF)			
			57355
			57378
31340	0	57264	21
16259	24	16261	18
38878	24	16259	12
		364	1
		364	1
JIVINO A			
		74636	0
58795	0	13993	0
29498	0	137	0
23768	0	139	0
SANTA ELENA			
			4221
			5135
			34847
			0
JIVINO B			
13452	24	YAMANUNCA	
10563	5	50401	25
17099	24	49082	24
46376	17		
13910	24		
32731	0		
34714	0	EQUIPOS TRASLADADOS AL CPF	
		MG531-4	72077
		MG-W18	31815
		MGW-03	53171
		MG2940	14687
		MP-2103G	13845
			62133
JIVINO C			
19764	0		
9272	1	EQUIPOS TRASLADADOS	
		MG-W12	45666
JIVINO E			
		MG-W-04	43080
		MG - W - 06	45862
		MG-W16	12321
JIVINO F			
40013	0	MG - W - 05	40296
		MG401-5	34684
56329	0	MG - 103 - C	74620
		MG-W18	31815
		MG-W07	39800
		MG601-1	34009

Fuente: Reporte de horómetros de diarios de planta. Petroamazonas EP.