



# Caso de Estudio: Metodología para determinar la frecuencia óptima de monitoreo de equipos eléctricos del sector hidrocarburos



**CONFIPETROL**

Judith Adela Canchila Rivera  
Yazmin Astrid Nieto Valbuena  
Oscar David Flórez Cediel

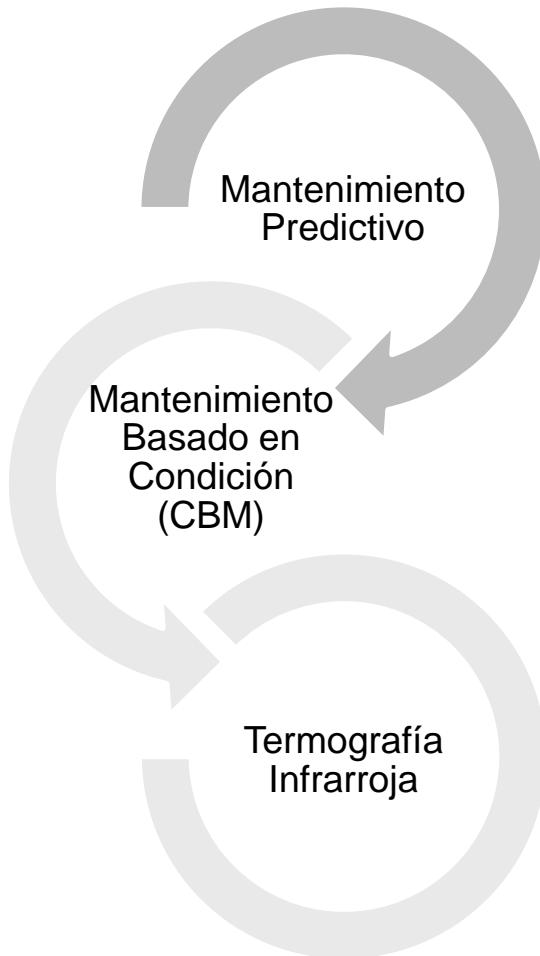


UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

# Contenido

- Introducción
- Curva P-F
- Diagrama de Pareto
- Factor de Costos, Fallas y Ajuste
- Caso de estudio
- Resultados
- Ventajas y Desventajas
- Conclusiones
- Referencias

# Introducción



# Curva P-F

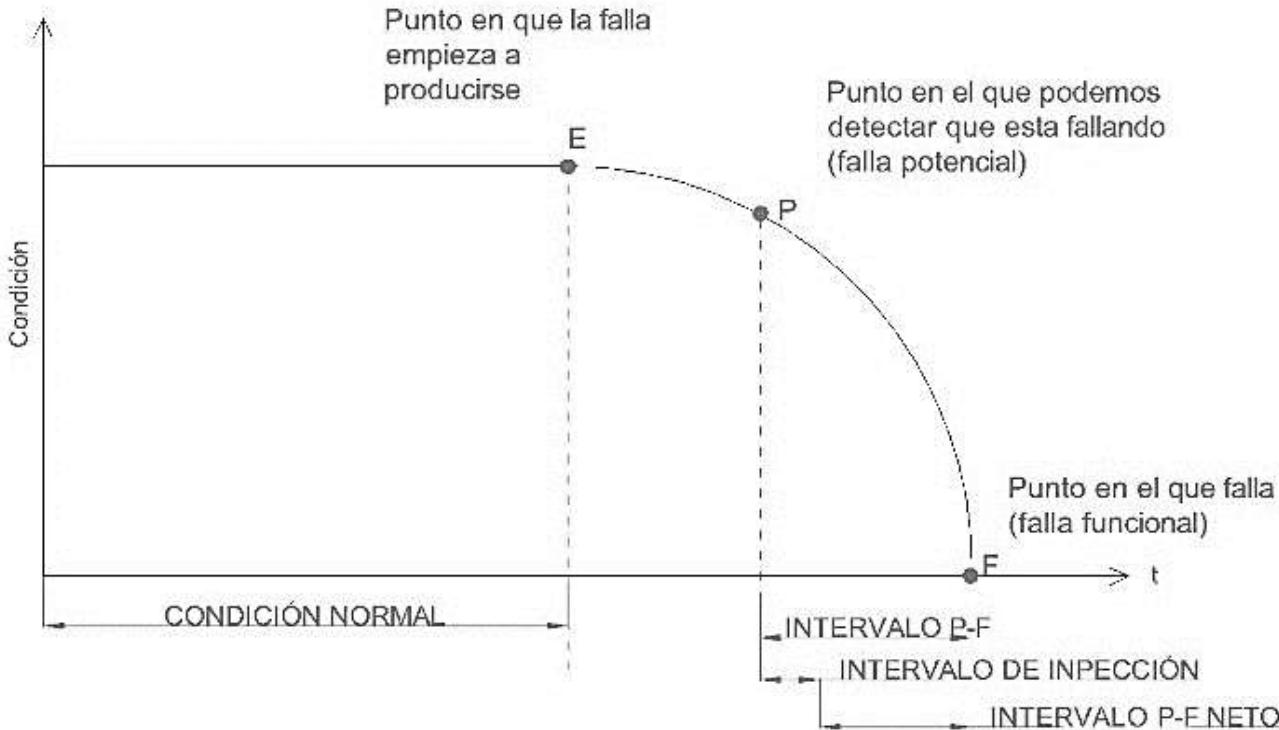


Figura 1. Curva P-F. Elaboración propia con [2],[3]

# Diagrama de Pareto

## Top 10 Modos de Falla

Tabla I Datos Ejemplo Pareto [4]

Modo de Falla	Eventos	Pareto
Lectura anormal de Instrumentos	1050	38%
Fuga externa de medio de proceso	650	59%
Rotura	320	70%
Obstrucción / restricción	300	80%
No funciona como debe	170	86%
Operación errónea	125	90%
Deficiencia estructural	100	93%
Problemas menores en servicio	50	95%
Vibración	25	96%
Daño Mecánico	3	96%
	2793	

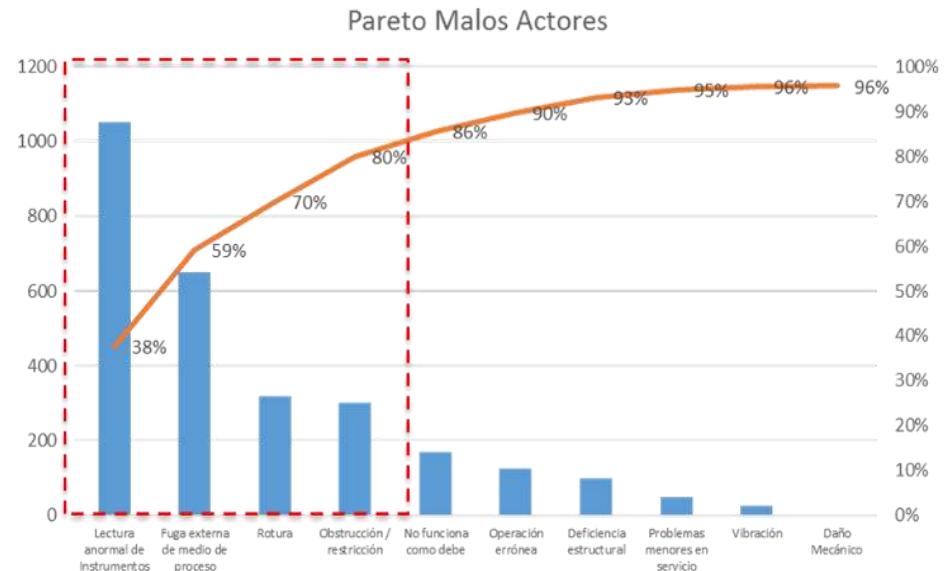


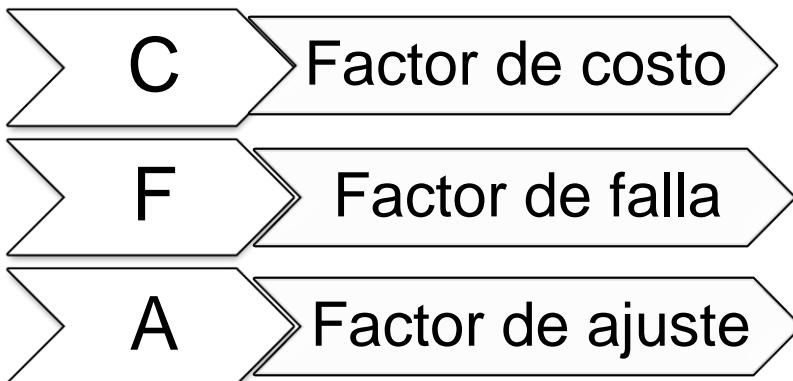
Figura 2. Ejemplo diagrama de Pareto [4]

# Factor de Costos, Falla y Ajuste

El valor del intervalo entre inspecciones predictivas es directamente proporcional a tres factores: factor de costo, factor de falla y factor de ajuste.

$$I = C \times F \times A$$

*Ecuación 1 Intervalo entre inspecciones [8]*



# Factor de Costo (C)

La relación del factor de costo está dada por:

$$C = \frac{Ci}{Cf}$$

*Ecuación 2 Factor de Costo [8]*

Donde:

- Ci es el costo de una inspección predictiva (en unidades monetarias).
- Cf es el costo en que se incurre por no detectar la falla (en unidades monetarias).

*El factor de costo es adimensional.*

# Factor de Falla (F)

La relación del factor de falla está dada por:

$$F = \frac{F_i}{\lambda}$$

*Ecuación 3 Factor de Falla [8]*

Donde:

- $F_i$  es la cantidad de modos de falla que pueden ser detectados utilizando la tecnología predictiva.
- $\lambda$  es la tasa de fallas presentada por el equipo, y que además, podrían ser detectadas por la tecnología predictiva a ser aplicada.

# Factor de Ajuste (A)

La probabilidad de ocurrencia de más de cero fallas se expresa como:

$$1 - P(0, \lambda) = 1 - e^{-\lambda}$$

*Ecuación 4 Función de distribución acumulativa de Poisson [8]*

Donde  $P(0, \lambda)$  es la función de distribución acumulativa de Poisson para un valor de ocurrencia 0 y media  $\lambda$ .

Así, el factor de ajuste será igual a:

$$A = -\ln(1 - e^{-\lambda})$$

*Ecuación 5 Factor de ajuste [8]*

*El factor de ajuste es adicional.*

# Frecuencia de Inspección

El intervalo de inspecciones predictivas se define como:

$$I = -\frac{Ci \times Fi}{Cf \times \lambda} \times \ln(1 - e^{-\lambda})$$

*Ecuación 6 Intervalo de inspecciones [8]*

La frecuencia de inspección corresponde al inverso de I, expresada en inspecciones por año.

$$F = \frac{1}{I}$$

*Ecuación 7 Frecuencia de inspección*

# CASO DE ESTUDIO

# Alcance

Objeto de estudio

- Seccionadores
- Reconnectadores

Área

- Campo de producción – Sector hidrocarburos

Período

- 2015-2018



# Aplicación de las Metodologías

Curva P-F

Diagrama de  
Pareto

Factor de  
Costos, Falla y  
Ajuste

# Datos Equipos

*Tabla II. Datos Reconectadores campo petrolero en estudio.*

Eventos	Equipo	Periodo	Estado	Tipo Falla
1	RC- (Reconectador)	Año2015Sem21	Alarma	Por determinar
1	RC- (Reconectador)	Año2015Sem23	Alarma	Por determinar
1	RC- (Reconectador)	Año2015Sem32	Estudio	Por determinar
1	RC- (Reconectador)	Año2016Sem02	Seguimiento	Corrosión/Suciedad
1	RC- (Reconectador)	Año2016Sem04	Estudio	Ninguna
1	RC- (Reconectador)	Año2016Sem09	Ok	conexión floja
1	RC- (Reconectador)	Año2016Sem25	Alarma	Corrosión/Suciedad
1	RC- (Reconectador)	Año2016Sem29	Estudio	Ninguna
1	RC- (Reconectador)	Año2017Sem37	Severo	Conexión Floja
1	RC- (Reconectador)	Año2017Sem51	Ok	Ninguna
1	RC- (Reconectador)	Año2017Sem51	Ok	Ninguna
1	RC- (Reconectador)	Año2017Sem51	Ok	Ninguna

# Curva P-F

## Modo de Falla



Figura 3. Curva P-F Equipo 1 para conexión floja detectada con termografía.

Inspecciones x año = 40 semanas/ 52sem =1,31 ≈ 1

# Diagrama de Pareto

## MTBF Equipos

*Tabla III. MTBF equipos campo petrolero en estudio.*

Equipo	Cantidad Inspecciones	Delta Días	Cantidad Hallazgos	MTBF (meses)
1	14	994	4	7
2	4	749	2	8
3	5	798	2	9
4	2	378	0	13
5	3	378	0	13
6	3	378	0	13
7	6	798	1	13
8	4	798	1	13
9	4	812	1	14
10	8	994	1	17

# Diagrama de Pareto

*Tabla IV. Pareto equipos campo petrolero en estudio.*

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad Inspecciones anuales</b>	<b>Cantidad Hallazgos anuales</b>	<b>Pareto</b>
<b>1</b>	5,14084507	1,4688129	29%
<b>2</b>	1,949265688	0,9746328	48%
<b>3</b>	2,286967419	0,914787	66%
<b>4</b>	2,744360902	0,4573935	75%
<b>5</b>	1,829573935	0,4573935	84%
<b>6</b>	1,798029557	0,4495074	93%
<b>7</b>	2,937625755	0,3672032	100%
<b>8</b>	1,931216931	0	100%
<b>9</b>	2,896825397	0	100%
<b>10</b>	2,896825397	0	100%
		5,0897303	

# Diagrama de Pareto

## Hallazgos Anuales

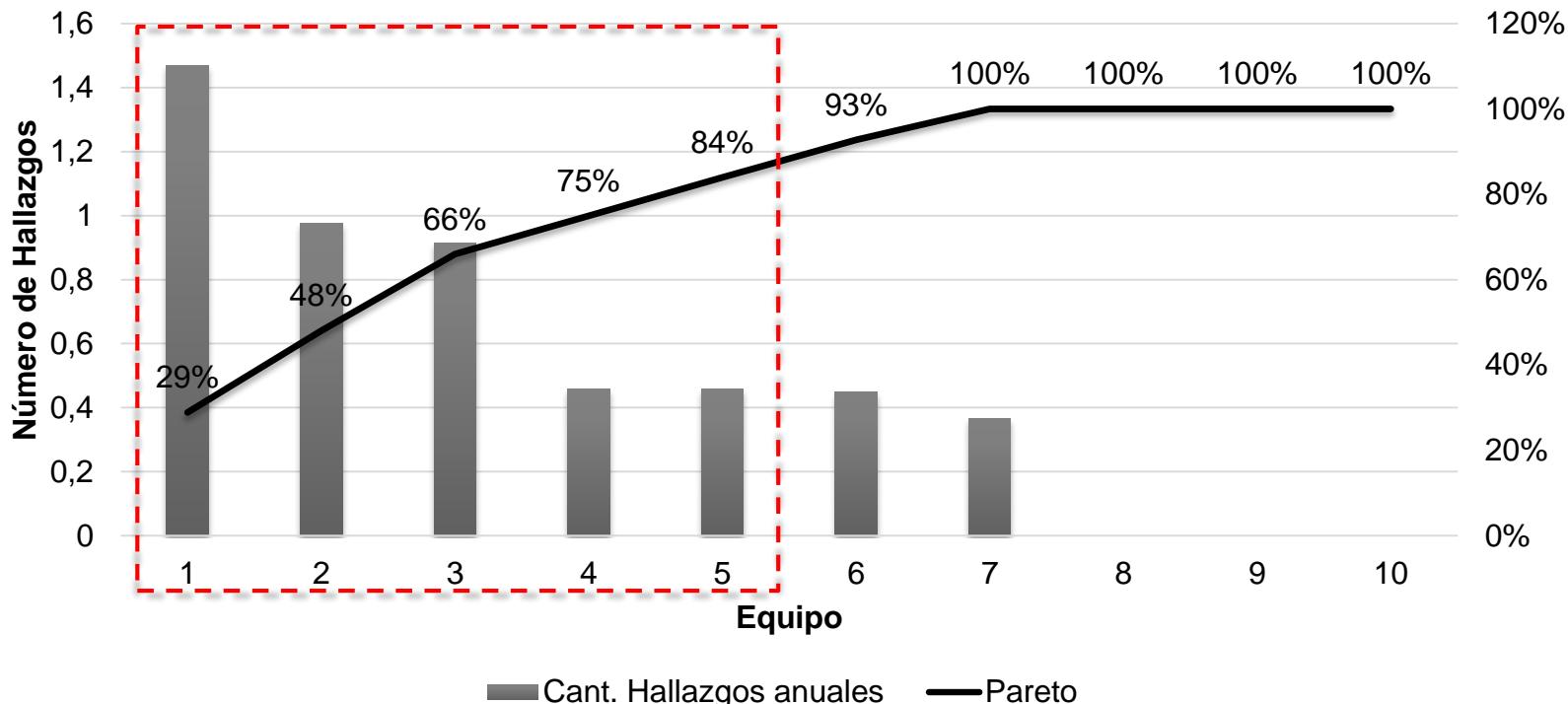


Figura 4. Pareto Equipos

Inspecciones por año = 3

# Factor de Costos, Fallas y Ajuste

## Balance del Recurso

*Tabla V. Balance del Recurso*

RECURSO	TERMOGRAFIA	
	Monitoreo	Análisis
HH	1,5	1
Costo	\$83.000	\$53.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$124.500</b>	<b>\$53.000</b>

# Factor de Costos

## Costo de inspección predictiva

$$Ci = \text{Costo Monitoreo} + \text{Costo Análisis}$$

Ecuación 7 Costo de una inspección predictiva.

$$Ci = 177.500$$

## Costo de no detectar una falla

$$Cf \approx 300 \text{ bbl}$$

## Factor de Costos

$$C = \frac{Ci}{Cf} = 0,00411$$

# Factor de Falla

**Modos de falla**

$$MF = 5$$

**Tasa de Falla**

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Reconectadores

*Ecuación 8 Tasa de Falla*

Seccionadores

$$\lambda_{RC} = \frac{1}{15} = 0,068$$

$$\lambda_{MC} = \frac{1}{11} = 0,091$$

**Factor de Falla**

$$F_{RC} = \frac{Fi}{\lambda}$$

Reconectadores

Seccionadores

$$F_{RC} = \frac{5}{0,068} = 73,79$$

$$F_{SM} = \frac{5}{0,091} = 55$$

# Factor de Ajuste

Reconectadores

$$A_{RC} = -\ln(1 - e^{-\lambda_{RC}}) = -\ln(1 - e^{-0,068}) = 2,72$$

Seccionadores

$$A_{SM} = -\ln(1 - e^{-\lambda_{SM}}) = -\ln(1 - e^{-0,091}) = 2,44$$

# Inspecciones Equipos

Reconectadores

$$I_{RC} = C \times F_{RC} \times A_{RC} = 0,826$$

Seccionadores

$$I_{SM} = C \times F_{SM} \times A_{SM} = 0,55$$

## Frecuencia de inspección

Reconectadores

$$f_{RC} = \frac{1}{I_{RC}} = 1,21$$

**Frecuencia: 297 días**

Seccionadores

$$f_{SM} = \frac{1}{I_{SM}} = 1,81$$

**Frecuencia: 198 días**

# Resultados

*Tabla VI. Frecuencia de inspección por equipos y metodología aplicada*

Metodología	Frecuencia óptima (Anual)	
	Reconectadores	Seccionadores
Curva P-F	1	1
Diagrama de Pareto	3	3
Factor de Costos, Falla y Ajuste	1,21	1,81

# Ventajas y Desventajas

## Curva P-F

- ✓ Aplicando el método de la curva P-F se obtiene de forma sencilla la frecuencia de inspección.
- ✗ Se puede escoger del intervalo P-F un tiempo demasiado pequeño que incurra en muchas inspecciones y por tanto se aumenten los costos innecesariamente.

# Ventajas y Desventajas

## Diagrama de Pareto

- ✓ Se tiene una frecuencia de inspección con base en los datos cuantitativos de los reportes de las actividades de inspecciones históricas de los equipos.
- ✗ Se debe tener calidad de la información de las inspecciones realizadas y los hallazgos en estas, de lo contrario afecta la calidad del resultado del cálculo.
- ✗ La cantidad de inspecciones reportadas para un equipo pueden ser el resultado de un seguimiento a equipos defectuosos y no una actividad de monitoreo predictivo lo que tendrá influencia en el resultado.

# Ventajas y Desventajas

## Factor de Costos, Falla y Ajuste

- ✓ Se puede calcular de manera cuantitativa la frecuencia óptima de inspección cuando se tiene buena data de los equipos objeto de estudio.
- ✓ Permite calcular la frecuencia de inspección de manera más precisa.
- ✓ Se tienen en cuenta los costos asociados al proceso.
- ✗ Requiere de información más detallada e histórica que permitan aplicar el modelamiento matemático.

# Conclusiones

- De manera empírica se puede determinar la frecuencia de inspección de los equipos, a través de la curva P-F con base en la experticia del personal CBM, por lo cual está sujeto a un mayor porcentaje de error y depende de la habilidad del personal para anticiparse a la falla.

# Conclusiones

- El diagrama de Pareto permite obtener la frecuencia de inspección de los activos de una manera más conservadora, sin embargo, puede no resultar el método más óptimo dado que no representa la relación beneficio costo más efectiva.

# Conclusiones

- El diagrama de Pareto permite obtener la frecuencia de inspección de los activos de una manera más conservadora, sin embargo, puede no resultar el método más óptimo dado que no representa la relación beneficio costo más efectiva.

# Conclusiones

- El método de factor de costos, falla y ajuste permite determinar la frecuencia óptima de inspección de manera más completa, puesto que se tiene en cuenta la relación beneficio costo de los activos, manteniendo la confiabilidad de los equipos con base en su criticidad y requerimientos del cliente.

# Referencias

- [1] R. Pérez, D. Pérez, and S. Fernández, “Evaluación por riesgo del peso de las fallas en transformadores de potencia.”
- [2] S. Morales, “Generación y desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo en base a criticidad, según criterios de estadísticas de falla en empresa química CLARIANT.”
- [3] C. A. Guzman Carrasquel, “Plan de análisis de modos / efectos de falla y plan de mantenimiento para una máquina industrial lavadora de prendas,” 2013.
- [4] C. Trujillo, “Capacitación Ingeniería de confiabilidad y gestión de información ‘RIM.’” Confipetrol, Bogotá, 2017.

## Referencias

- [5] J. Páramo, “Cálculo De Frecuencia De Muestreo En Análisis De Aceites Y Otras Tecnologías Predictivas,” *Techgnosis Int.*
- [6] J. Moubray, “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad ‘RCM II,’” *Aladon LLC*, p. 433, 2004.
- [7] ISO 14224, “Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment,” *Iso*, vol. 2016, p. 982, 2016.
- [8] Raphael Suarez, “Cálculo de la frecuencia de inspección de mantenimiento predictivo”. Caracas, Venezuela. 2007



**CONFIPETROL**



**UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

**GRACIAS**