

METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DE POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO Y REFACCIONES.
EJEMPLO: SISTEMA DE BOMBEO DE CRUDO

1. Recolectar información básica, relativa a los equipos: Análisis de Criticidad, Reportes de Fallas, Contexto Operacional, ACR y Costos de Mantenimiento.
2. Analizar información recolectada.
3. Jerarquizar criticidad de los equipos correspondientes a los sistemas de mayor impacto operativo (para el ejemplo, se trata de las Turbo bombas para el servicio de bombeo de crudo). En este caso, la información tomada del Contexto Operacional indicó lo siguiente:

- Censo:
 - 2 Turbo bombas SOLAR de 7,500 HP cada una (#1y #6) (Subsistema A).
 - 8 Turbo bombas RUSTON de 5,400 HP cada una (#2,#3,#4,#5,#7,#8,#9 y #10)(Subsistema B).
- Filosofía operativa:
Operación continua y en paralelo de 1 SOLAR +2 RUSTON.
Se definen entonces las siguientes redundancias pasivas:
- 100% para el Subsistema SOLAR.
- 300% para el Subsistema RUSTON.

De los historiales de los equipos se obtuvo la información relativa a: Horas de Operación y Cantidad de Paros, indicada en la tabla siguiente:

TURBO BOMBA #	TOTAL DE HORAS DE OPERACIÓN	CANTIDAD DE PAROS ACUMULADOS
1	14,519	231
2	110,830	137
3	100,941	476
4	81,801	139
5	103,493	968
6	15,505	173
7	100,064	179
8	87,243	385
9	103,400	480
10	5,584	166

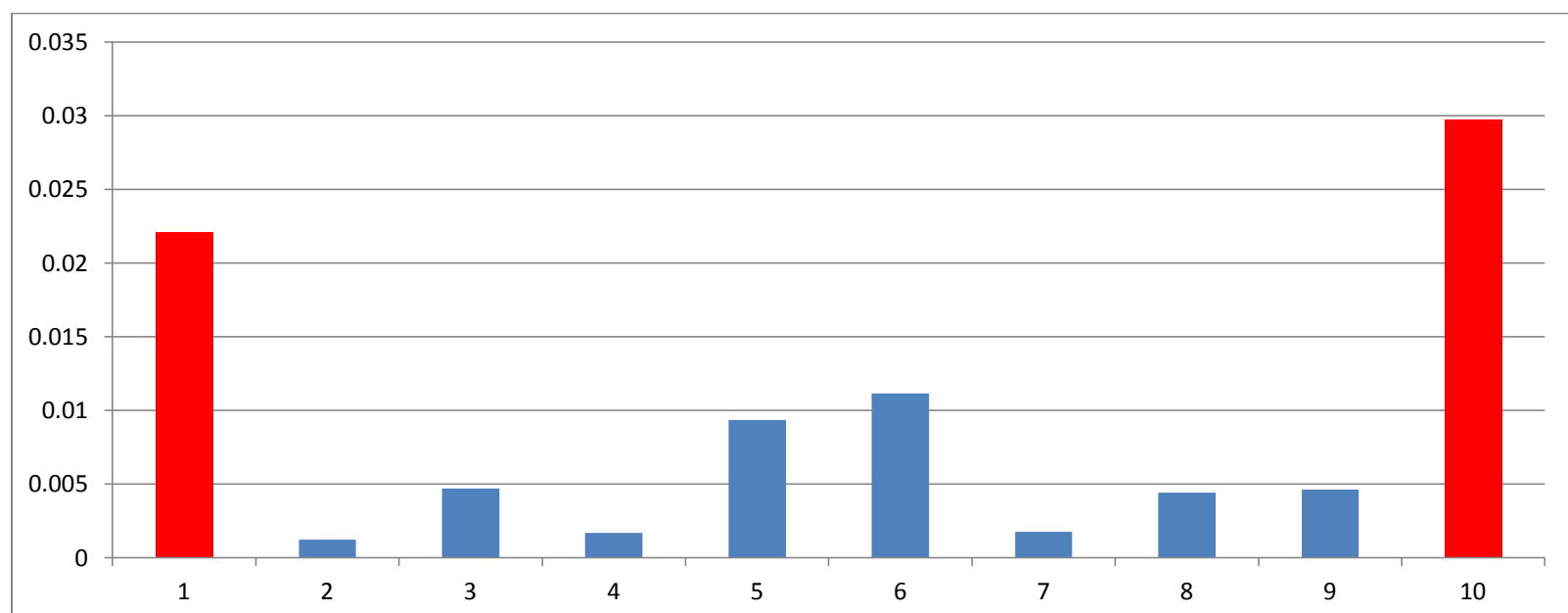
Dada la información indicada en la tabla se estima la criticidad (preliminar) de cada uno de los equipos, considerando:

Criticidad (CR)= Valor de Frecuencia de Fallas (vinculadas a paros)* Impacto

El impacto para ambos Subsistemas, se consideró con el valor mínimo = 1, por la alta redundancia.

Frecuencia de Fallas= Cantidad de Paros Acumulados/Total de Horas de Operación

Gráfico de Criticidad de las Turbo bombas



Las Turbo bombas con mayor criticidad son:

- Sub sistema A: TB # 1.
- Sub sistema B: TB # 10.

4. Definir la ubicación de cada equipo en su ciclo de vida. Para ello se utiliza el Coeficiente de Variación(CV):

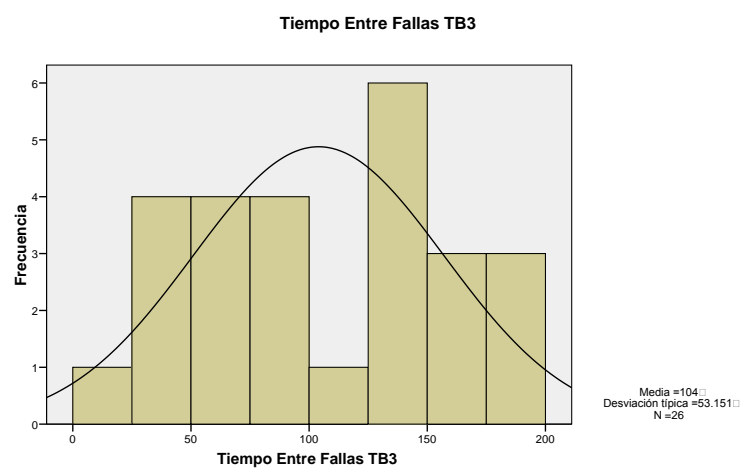
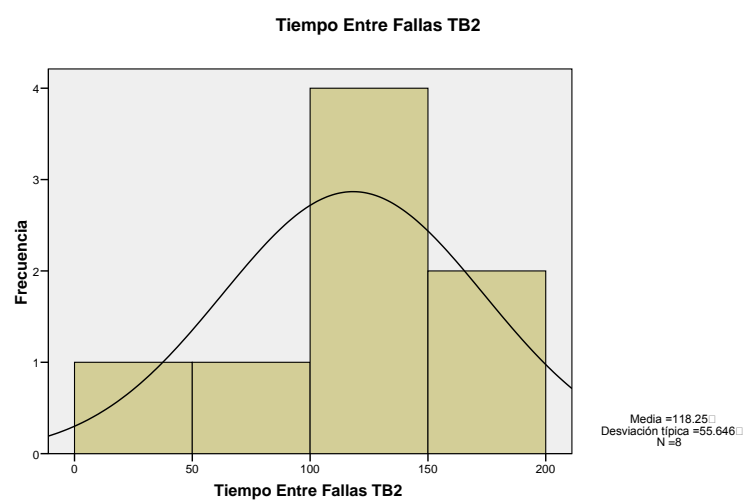
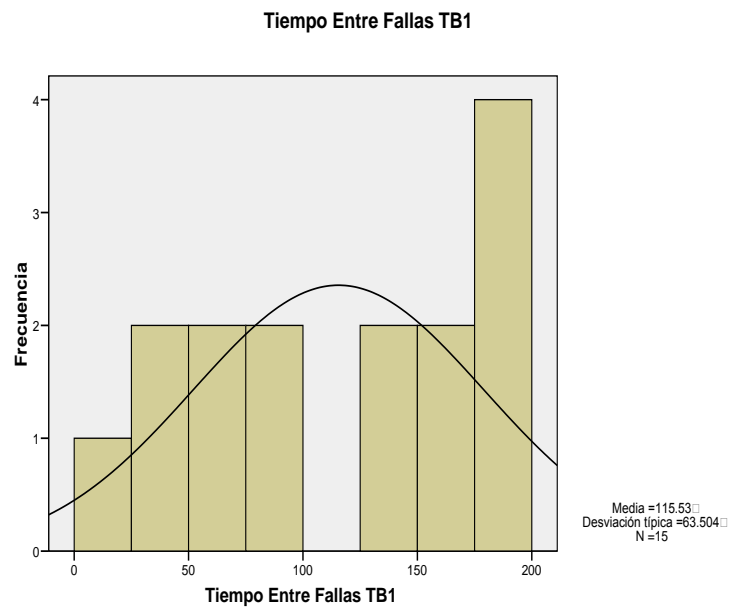
Coeficiente de Variación (CV)= Desviación de los Tiempos Entre Fallas (Dtfe)/Tiempo Promedio Entre Fallas (TPEF)

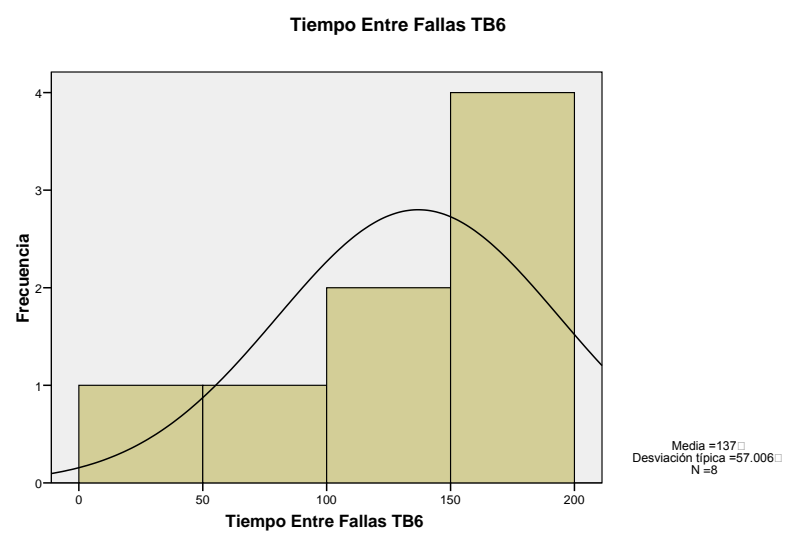
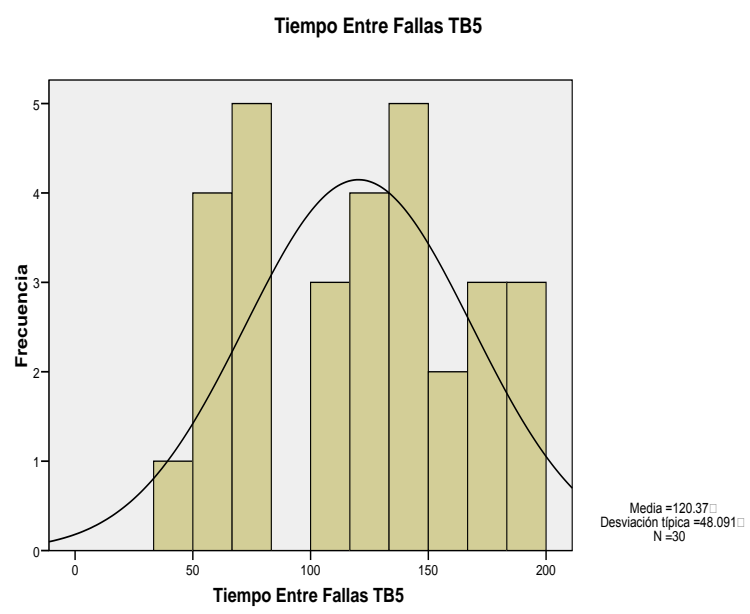
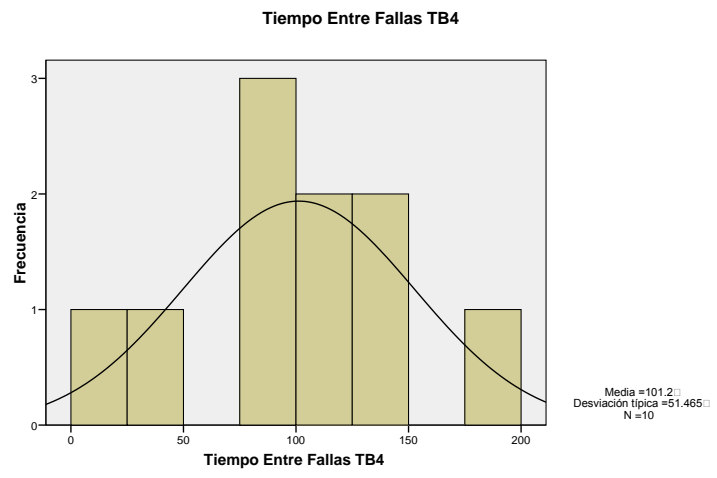
Se tomaron los TEF correspondientes al período de los 18 meses más recientes, por considerarlo un periodo más adecuado para estimar la condición operativa actual.

TB # 1	TB # 2	TB # 3	TB # 4	TB # 5	TB # 6	TB # 7	TB # 8	TB # 9	TB # 10
193	161	20	109	75	178	156	100	159	19
178	113	153	186	80	191	172	187	52	38
138	26	167	90	114	200	38	159	192	67
27	104	76	110	148	171	75	145	42	30
176	149	34	97	130	76	148	186	125	141
143	199	25	138	51	130	196	63	107	173
192	134	186	149	106	103	151	123	27	175
46	60	68	18	172	47	167	104	34	169
168		57	26	60		175	67	149	187
167		159	89	127		64	177	150	85
75		195		107			27	147	109
60		135		70			29	22	135
20		134		79			24	35	
92		89		159			41	45	
58		42		54			170	197	
		137		139			145	103	
		33		160			170	156	
		77		146			95	130	
		127		187				75	
		62		198				193	
		123		68					
		74		143					
		88		148					
		178		181					
		137		34					
		128		197					
				119					
				173					
				58					
				128					

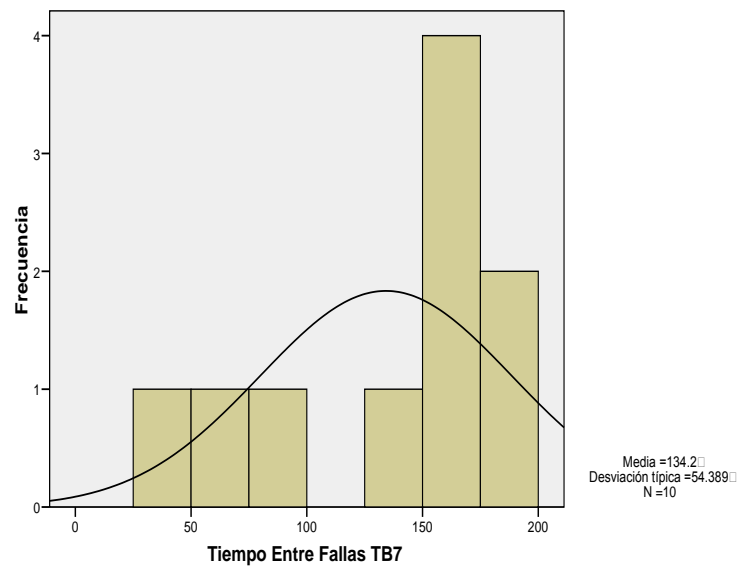
Para procesar estadísticamente los datos de TEF, se utilizó el programa **SPSS**, obteniéndose los resultados siguientes:

Los gráficos apoyarán posteriormente, la estimación de los intervalos P-F, como referencia para la frecuencia de los monitoreos predictivos.

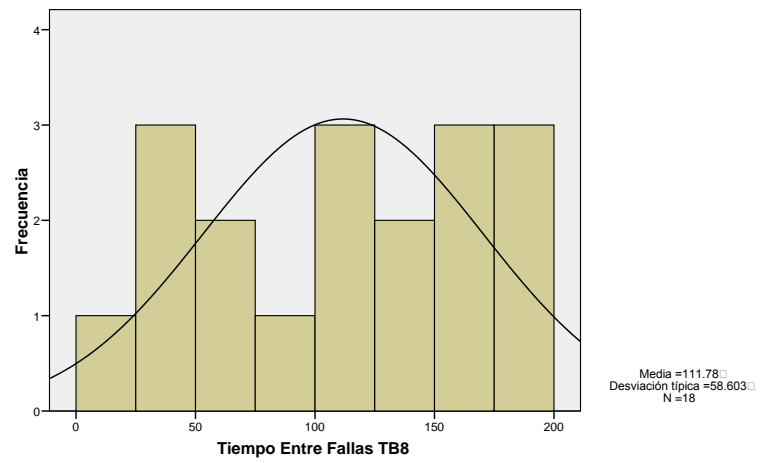




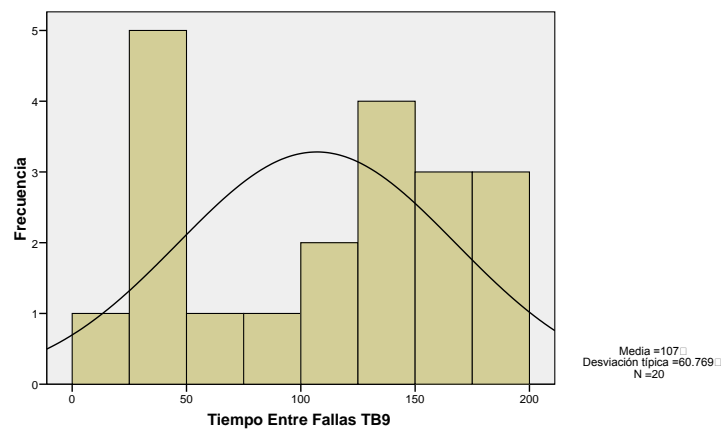
Tiempo Entre Fallas TB7

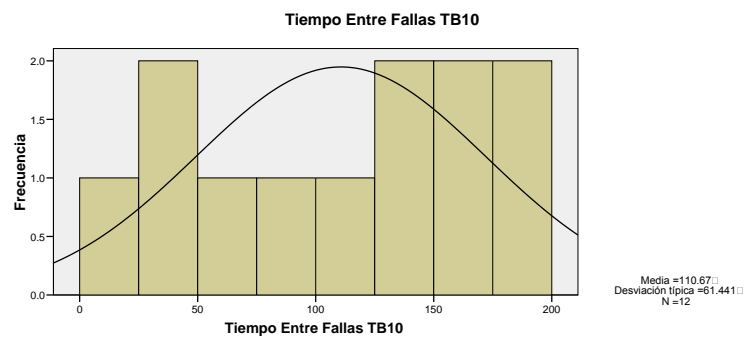


Tiempo Entre Fallas TB8



Tiempo Entre Fallas TB9





El **CV** permite medir el grado de dispersión asociado a los TEF de cada TB y compararlas. Por otra parte indica la posible ubicación del equipo en su ciclo de vida, bajo los criterios siguientes:

CV>1 Equipo en fase de arranque, CV= 1 Equipo en fase de operación normal y CV<1 Equipo en fase de desgaste(o condición de falla crónica).

Los resultados del CV fueron:

EQUIPO	CV
TB#1	0.03664166
TB#2	0.05877378
TB#3	0.01965607
TB#4	0.05088933
TB#5	0.01329272
TB#6	0.0520073
TB#7	0.04053651
TB#8	0.02912525
TB#9	0.02841121
TB#10	0.04623494

Al relacionar los CV de cada TB, con su correspondientes Horas de Operación Acumuladas, se puede inferir su condición operativa. Se indican los resultados en la tabla siguiente:

Sub sistema A

TB #	CV (*1/100)	HORAS DE OPERACIÓN	CONDICIÓN ESTIMADA
1	3.7	14,519	Falla crónica
6	5.2	15,505	Falla crónica

Sub sistema B

TB #	CV (*1/100)	HORAS DE OPERACIÓN	CONDICIÓN ESTIMADA
2	5.8	110,830	Desgaste-Inestable
3	1.97	100,941	Desgaste-Estable
4	5	81,801	Desgaste-Inestable
5	1.32	103,493	Desgaste-Estable
7	4	100,064	Desgaste-Inestable
8	2.91	87,243	Desgaste-Inestable
9	2.84	103,400	Desgaste-Estable
10	4.62	5,584	Falla Crónica

5. Definir Políticas de Mantenimiento adecuadas, de acuerdo a condición estimada:

Sub sistema A

TB #	CONDICIÓN ESTIMADA	POLÍTICA DE MANTENIMIENTO ADECUADA
1	Falla crónica	Analizar patrón de fallas crónicas y aplicar ACR a las de mayor impacto económico. Aplicar plan de mantenimiento correctivo en base a causas físicas.
6	Falla crónica	Analizar patrón de fallas crónicas y aplicar ACR a las de mayor impacto económico. Aplicar plan de mantenimiento correctivo en base a causas físicas.

Sub sistema B

TB #	CONDICIÓN ESTIMADA	POLÍTICA DE MANTENIMIENTO ADECUADA
2	Desgaste-Inestable	Aplicar en principio mantenimiento correctivo para corregir fallas crónicas y posteriormente mantenimiento predictivo (análisis de vibraciones, termografía a componentes mecánicos y eléctricos, monitoreo de amperaje y aislamiento de motores eléctricos y tribología).
3	Desgaste-Estable	Aplicar fundamentalmente mantenimiento basado en condición, ejecutando planes de mantenimiento orientados por ACR y FEMECA y monitoreos predictivos.
4	Desgaste-Inestable	Aplicar en principio mantenimiento correctivo para corregir fallas crónicas y posteriormente mantenimiento predictivo (análisis de vibraciones, termografía a componentes mecánicos y eléctricos, monitoreo de amperaje y aislamiento de motores eléctricos y tribología).
5	Desgaste-Estable	Aplicar fundamentalmente mantenimiento basado en condición, ejecutando planes de mantenimiento orientados por ACR y FEMECA y monitoreos predictivos.
7	Desgaste-Inestable	Aplicar en principio mantenimiento correctivo para corregir fallas crónicas y posteriormente mantenimiento predictivo (análisis de vibraciones, termografía a componentes mecánicos y eléctricos, monitoreo de amperaje y aislamiento de motores eléctricos y tribología).
8	Desgaste-Inestable	Aplicar en principio mantenimiento correctivo para corregir fallas crónicas y posteriormente mantenimiento predictivo (análisis de vibraciones, termografía a componentes mecánicos y eléctricos, monitoreo de amperaje y aislamiento de motores eléctricos y tribología).
9	Desgaste-Estable	Aplicar fundamentalmente mantenimiento basado en condición, ejecutando planes de mantenimiento orientados por ACR y FEMECA y monitoreos predictivos.
10	Falla Crónica	Analizar patrón de fallas crónicas y aplicar ACR a las de mayor impacto económico. Aplicar plan de mantenimiento correctivo en base a causas físicas.

6. Con la información generada, se deberá elaborar un plan de mantenimiento que incluya las tareas, requeridas específicamente por cada equipo. Para el ejemplo, se observa que las acciones prioritarias, serían los mantenimientos correctivos a ser realizados sobre las TB # 1, #6 y #10 respectivamente (secuencia de prioridades considerando su capacidad y CV en relación a Horas de Operación acumuladas). A continuación, lo adecuado es efectuarle mantenimiento correctivo a las TB # 4, #7 y # 8. En cuanto a la TB # 2, es conveniente planificar a mediano plazo, su repotenciación o sustitución, de acuerdo a los resultados del análisis técnico económico correspondiente.

Para TB # 3, 5 y 9, se estima que es adecuada una política básica de mantenimiento basado en condición. Ello implica las siguientes decisiones:

• ¿Qué monitoreos aplicar?




Para este caso, se pudo constatar que la organización responsable del mantenimiento, cuenta con los equipos que se indican:

- Medidor de vibraciones y de temperatura por contacto (SKF).
- Medidor de temperatura mediante rayo laser.
- Cámara termográfica.

Los equipos citados, son adecuados para monitorear la condición de las TB.

• ¿Con qué frecuencia?

Para estimar la frecuencia adecuada, se efectúa un pronóstico a corto plazo, basado en el análisis de la distribución de los TEF, considerando como premisa, que al adoptarse una aproximación a la distribución normal (curva de Gauss), se cumplen las condiciones siguientes:

- $TPEF - S < TEF < TPEF + S$  Con 68,3 % probabilidad
- $TPEF - 2 S < TEF < TPEF + 2 S$  Con 95,4 % probabilidad
- $TPEF - 3 S < TEF < TPEF + 3 S$  Con 99,7 % probabilidad

Los resultados fueron:

- **TB # 3**

Dados:

TPEF: 104 horas

S: 53,1 horas

Analizando además la distribución de frecuencias de TEF, se consideró 130 horas de funcionamiento, como período adecuado entre monitoreos predictivos.

- **TB # 5**

- Datos:

- TPEF: 120,37 horas

- S: 48 horas

- Analizando además la distribución de frecuencias de TEF, se consideró 145 horas de funcionamiento, como período adecuado entre monitoreos predictivos.

- **TB # 9**

- Datos:

- TPEF: 107 horas

- S: 61 horas

- Analizando además la distribución de frecuencias de TEF, se consideró 50 horas de funcionamiento, como período adecuado entre monitoreos predictivos.

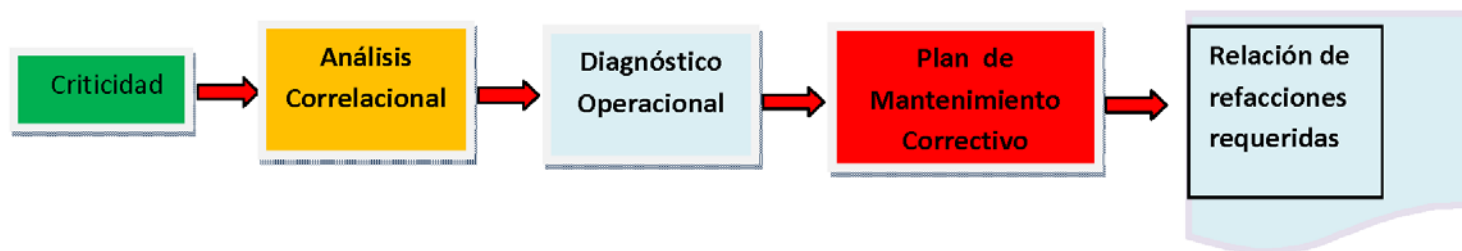
7. El Plan de Mantenimiento sustentará a su vez el Plan Logístico para contar oportunamente con las refacciones y materiales consumibles.
8. Para el Plan Logístico, se deberá definir en primer lugar ¿Qué comprar? , para el mantenimiento correctivo de las TB # 1, #6 y #10 con mayor prioridad y para las TB # 4, #7 y #8, con menor prioridad. Para estimar ¿Qué comprar?, es pertinente realizar un Análisis ABC, considerando el VAU y posteriormente elaborar una Matriz de Criticidad.
9. El Plan de Mantenimiento, debería definir claramente y en forma integral (aplicando taxonomía de sobre funcional), las acciones de mantenimiento a ser ejecutadas, de acuerdo a la criticidad de los equipos. En el ejemplo, es adecuado aplicar :

Equipos	Acción	Plazo ejecución
T B # 1	Mantenimiento correctivo.	Corto
T B # 6	Mantenimiento correctivo.	Corto
T B # 10	Mantenimiento correctivo.	Corto
T B # 4	Mantenimiento correctivo.	Mediano
T B # 7	Mantenimiento correctivo.	Mediano
T B # 8	Mantenimiento correctivo.	Mediano
T B # 3	Mantenimiento predictivo	Corto
T B # 5	Mantenimiento predictivo	Corto
T B # 9	Mantenimiento predictivo	Corto
T B # 2	Mantenimiento mayor o sustitución	Mediano

En relación a las TB # 1, 6 y 10, las decisiones relativas a la logística implican:

- ¿Qué comprar?
- ¿Cuánto comprar?

Su definición se basará en el plan de mantenimiento correctivo. Una metodología adecuada es la siguiente:



Ejemplo de refacciones requeridas para Turbo Bombas:

- Parte hidráulica:

CHUMACERA TIPO MANGA N/P: 39, REFACCIONAMIENTO PARA BOMBA CENTRIFUGA, HORIZONTAL, MARCA UNITED, MODELO: 6X11 WMNSDM.	4	PZA	\$ 46,830.00	\$ 187,320.00
TERMOSWITCH-TERMOSTAT (PARA LAS CHUMACERAS DE LAS BOMBAS DE CRUDO), MARCA FENWAL N/P 17002-0 INCORPORATED (ASHLAND, MASS)RANGO DE 10 A 120 Vac Y DE 5 A 240 Vac DE 5 A 240 Vac DE CONTACTO ABIERTO EN TEMPERATURA ASCENDENTE RANGO DE TEMPERATURA -100°F A 400°F 9149 NUMERO DE CATALOGO 18000-0 DEL ESTILO No.4 (CON TUERCA EXAGONAL Y ACOPLAMIENTO EN LA CABEZA)	12	PZA	\$ 1,695.00	\$ 20,346.00
TERMOSWITCH-TERMOSTAT (PARA LAS CARCAZAS DE LAS BOMBAS, DE CRUDO) MARCA FENWAL N/P 18000-51 INCORPORATED (ASHLAND, MASS)RANGO DE 10 A 120 Vac Y DE 5 A 240 Vac DE 5 A 240 Vac DE CONTACTO ABIERTO EN TEMPERATURA ASCENDENTE RANGO DE TEMPERATURA -100°F A 600°F 9150 NUMERO DE CATALOGO 17002-0 DEL ESTILO No.1 (DE CARTUCHO)	12	PZA	\$ 3,400.00	\$ 40,800.00
CUBIERTA CAJA BALERO, NP 35A	4	PZA	\$ 8,662.00	\$ 34,648.00
TUERCA BALERO NP.- 32A	4	PZA	\$ 225.00	\$ 900.00
CHUMACERA AXIAL, NP 37	4	PZA	\$ 53,890.00	\$ 215,560.00
CHUMACERA TIPO MANGA, NP 39A	4	PZA	\$ 515,130.00	\$ 2,060,520.00
ANILLO SOPORTE LUBRICADOR, NP 40 A	4	PZA	\$ 4,840.00	\$ 19,360.00
DEFLECTOR, NP 3541A	4	PZA	\$ 6,510.00	\$ 26,040.00
ANILLO DE LUBRICACION, NP 42	4	PZA	\$ 36,025.00	\$ 144,100.00
ANILLO DE LUBRICACION, NP 42A	4	PZA	\$ 3,275.00	\$ 13,100.00
ANILLO SOPORTE CHUMACERA, NP 44	4	PZA	\$ 4,610.00	\$ 18,440.00
SEGURO BALERO LW10, NP 101A	4	PZA	\$ 84.00	\$ 336.00
CAJA CHUMACERA RADIAL, NP 36	4	PZA	\$ 552,365.00	\$ 2,209,460.00
CHUMACERA TIPO MANGA, NP 39	4	PZA	\$ 46,830.00	\$ 187,320.00
DEFLECTOR, NP 41	8	PZA	\$ 6,510.00	\$ 52,080.00
ANILLO DE LUBRICACION, NP 42	8	PZA	\$ 3,275.00	\$ 26,200.00
SUBTOTAL				\$ 6,368,906.69

- Parte mecánica (TAG):

REFACCIONAMIENTO PARA LA REHABILITACION GRAL. DE UNA TURBINA DE POTENCIA MCA SOLAR MODELO SATURNO N/S 4313-95P.				
ENSAMBLE DEL ROTOR L/H, N/P E196592-202-1	1	PZA	\$ 230,920.25	\$ 230,920.25
PARTES COMUNES N/P E8009967R93	1	PZA	\$ 149,656.21	\$ 149,656.21
SOPORTE DE COJINETES Y SELLOS N/P E904574C4-1	1	PZA	\$ 98,263.99	\$ 98,263.99
LAINA N/P 26536-2	1	PZA	\$ 4,260.52	\$ 4,260.52
TUERCA SEGURO N/P 903317C1	2	PZA	\$ 599.94	\$ 1,199.88
TORNILLO N/P 851048150	2	PZA	\$ 298.98	\$ 597.96
CUBIERTA N/P 870202397	1	PZA	\$ 433.07	\$ 433.07
TAPON N/P 952791C1	2	PZA	\$ 190.74	\$ 381.48
TAPA DELANTERA N/P 955380C1	1	PZA	\$ 232.65	\$ 232.65
EMPAQUE N/P 172422-1	1	PZA	\$ 202.95	\$ 202.95
TAPON MULTIPLE N/P 915316C1	1	PZA	\$ 116.16	\$ 116.16
SUBTOTAL				\$ 486,265.12
REFACCIONAMIENTO PARA LA REHABILITACION GRAL. DE UN GENERADOR DE GASES MCA. SOLAR MODELO SATURNO N/S 02283S71.				
ENSAMBLE DEL ENCENDEDOR DE LA TURBINA, NP 171908-104	1	PZA	\$ 37,703.82	\$ 37,703.82
ENGRANE PARA MOTOBOMBA REFACC.P/TURBINA, NP 905214C1	1	PZA	\$ 7,422.91	\$ 7,422.91
TUERCA ESPECIAL P/TURBOCOMPRESOR, NP 903317C1	4	PZA	\$ 611.82	\$ 2,447.28
SELLO ESTATICO DE INYECTOR, NP 300573-1	12	PZA	\$ 166.65	\$ 1,999.80
CONECTOR P/DREN AC CONJ.GENERADOR GASES, NP 26321-1	1	PZA	\$ 1,516.35	\$ 1,516.35
TORNILLO, NP 970255C1	1	PZA	\$ 1,005.84	\$ 1,005.84
TORNILLO DE 5/16 PULG.REFACC.P/TURBINA, NP 969308C1	3	PZA	\$ 161.04	\$ 483.12
TUERCA DE SEGURO REFACC.P/TURBINA, NP 906737C1	1	PZA	\$ 371.91	\$ 371.91
ARANDELA,N P 623083R1	1	PZA	\$ 99.00	\$ 99.00
JUEGO KIT DE INSTALACION, NP 8009970R91	2	PZA	\$ 3,011.36	\$ 6,022.72
INYECTOR DE GAS, NP171959-200	2	PZA	\$ 12,396.89	\$ 24,793.78
TORNILLO, NP 851048160	2	PZA	\$ 576.18	\$ 1,152.36
TORNILLO,NP22728R1	1	PZA	\$ 213.40	\$ 213.40
EMPAQUE METALICO,N0P 903326C1	1	PZA	\$ 204.16	\$ 204.16
ANILLO O CARCAZA ADMISION, NP 918017C1	1	PZA	\$ 125.73	\$ 125.73
ANILLO O, NP 903233C1	1	PZA	\$ 107.25	\$ 107.25
ARANDELA DE SEGURO 1/4, NP 25458R1	1	PZA	\$ 68.75	\$ 68.75
JUNTA T5, NP 136845-1	1	PZA	\$ 53.46	\$ 53.46
TUERCA SEGURO, NP 903317C1	6	PZA	\$ 611.82	\$ 3,670.92
SELLO ESTATICO DE INYECTOR, NP 300573-1	12	PZA	\$ 166.65	\$ 1,999.80
TORNILLO, NP851048-160	2	PZA	\$ 576.18	\$ 1,152.36
TORNILLO PARA TURBINA, NPAN107407	1	PZA	\$ 1,138.50	\$ 1,138.50
TUERCA PARA TORNILLO, NP 915910C1	2	PZA	\$ 524.04	\$ 1,048.08
TORNILLO .3125", NP970255C1	1	PZA	\$ 1,005.84	\$ 1,005.84
TORNILLO N/P 970256C1	3	PZA	\$ 179.41	\$ 538.23

Para actualizar los precios de la refacciones, es conveniente aplicar $F = P * (F/P, i, n) = P * (1 + i)^n$

I=Inflación promedio por período (anual)

Para el ejemplo, se considera I=6 %.

En la Tabla de Interés Compuesto correspondiente a i=6%, se obtienen los valores de los factores requeridos:

i=6 %	
Pago Único	
n	F/P
1	1.06
2	1.12
3	1.19
4	1.26
5	1.34
6	1.42
7	1.5
8	1.59
9	1.69
10	1.79

En relación a las TB # 4, 7, 8, 3, 5 y 9, se deberá definir para el próximo período anual:

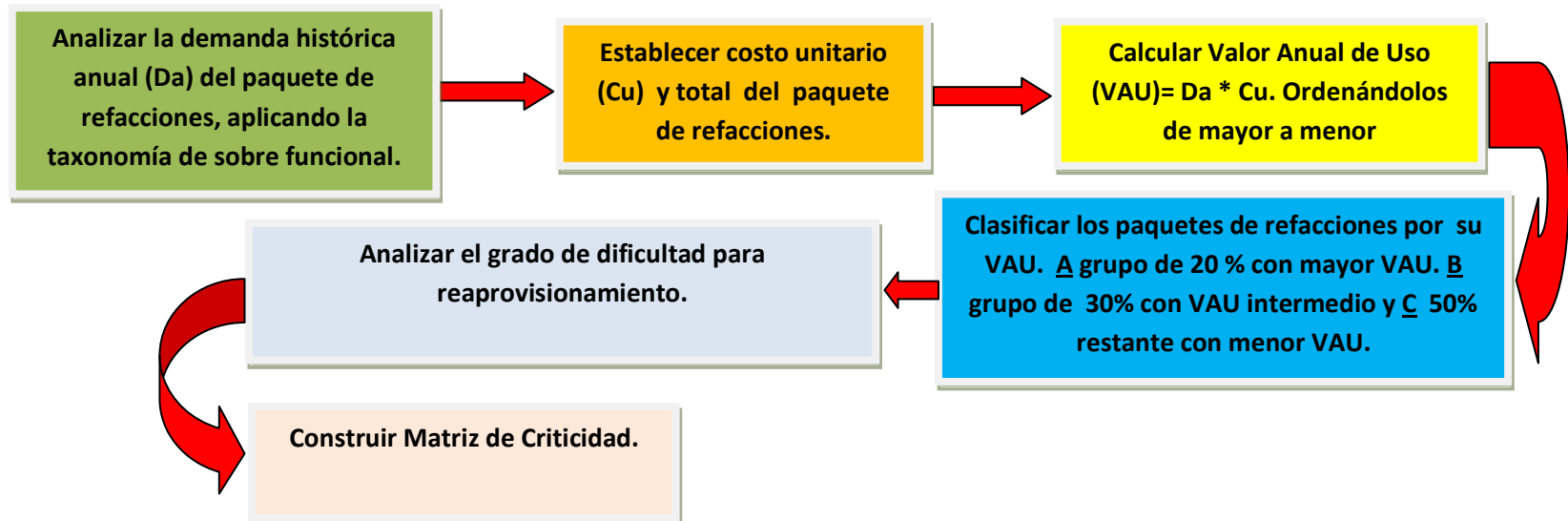
- ¿Qué comprar?
- ¿Cuánto comprar?
- ¿Cuándo comprar?

Estas decisiones deberán considerar:

- Requerimientos a mediano plazo, para efectuar los mantenimientos correctivos planificados en ese plazo.
- Refacciones que deberían estar disponibles en almacén (en base a Matriz de Criticidad).

En este último aspecto, una metodología adecuada es:

- **¿Qué comprar?:**



- **¿Cuánto comprar? y ¿Cuándo comprar?**

Dado que demanda y tiempo de reaprovisionamiento son aleatorios en alto grado, es conveniente aplicar en forma combinada, los métodos que se indican:

- **Punto de Reorden.**

El punto de reorden (PR), es conveniente vincularlo al inventario promedio (IP), el cual considera la disponibilidad de refacciones, al efectuar el pedido.

$$IP = (\text{Cantidad Económica de Pedido (CEP)} / 2) + Z * \text{Desviación (DS)}$$

- **Revisión periódica.**

Estimación de ¿Qué, cuánto y cuándo comprar?, para el caso del sistema de bombeo:

- Elaboración de Matriz de Criticidad (¿Qué comprar?):

DATOS DE HISTÓRICOS DE DEMANDA DE REFACCIONES								
Datos históricos correspondientes al período anual inmediatamente anterior								
SECCIÓN	Nº	DESCRIPCIÓN	NP	UNIDAD DESPACHO	CANTIDAD DEMANDADA	PRECIO UNITARIO (\$ MN)	VAU (\$ MN)	% VAU
BOMBA	1	Chumacera tipo manga	39	Pieza	2	50,000	100000	4.02738623
	2	Termoswhitch chumacera		Pieza	2	2,000	4000	0.16109545
	3	Termoswhitch carcaza		Pieza	1	4,000	4000	0.16109545
	4	Chumacera axial		Pieza	3	60,000	180000	7.24929521
	5	Chumacera tipo manga	39A	Pieza	2	600,000	1200000	48.3286347
	6	Deflector		Pieza	2	7,000	14000	0.56383407
	7	Tornillería		Juego	2	50,000	100000	4.02738623
	8	Empacaduras		Juego	1	200,000	200000	8.05477245
								72.5734998
G.G	9	Ensamble encendedor		Juego	2	50,000	100000	4.02738623
	10	Inyector		Juego	1	15,000	15000	0.60410793
	11	Sello estático inyector		Juego	1	3,000	3000	0.12082159
	12	Filtro de sistema de alimentación de gas		Pieza	5	10,000	50000	2.01369311
	13	Filtro de sistema de lubricación		Pieza	4	12,000	48000	1.93314539
	14	Tornillería		Juego	1	5,000	5000	0.20136931
								8.90052356
TP	15	Ensamble rotor		Juego	1	300,000	300000	12.0821587
	16	Empacaduras		Juego	2	80,000	160000	6.44381796
								18.5259766
						TOTAL	2483000	100

ANÁLISIS Y JERARQUIZACIÓN VAU			
DESCRIPCIÓN	SECCIÓN	NP	% VAU
Chumacera tipo manga	BB	39A	48.3286347
Ensamble rotor	TP		12.0821587
Empacaduras	BB		8.05477245
Chumacera axial	BB		7.24929521
Empacaduras	TP		6.44381796
Chumacera tipo manga	BB	39	4.02738623
Tornillería	BB		4.02738623
Ensamble encendedor	GG		4.02738623
Filtro de sistema de alimentación de gas	GG		2.01369311
Filtro de sistema de lubricación	GG		1.93314539
Inyector	GG		0.60410793
Deflector	BB		0.56383407
Tornillería	BB		0.20136931
Termoswhitch chumacera	BB		0.16109545
Termoswhitch carcaza	BB		0.16109545
Sello estático inyector	GG		0.12082159

GRUPO A >% VAU		GRUPO B % VAU INTERMEDIO		GRUPO C <% VAU
48.32		7.25		2.01
12.08		6.44		1.93
8.055		4.03		0.6
68.455		4.03		0.56
		4.03		0.2
		25.78		0.16
				0.16
				0.12
				5.74

ANÁLISIS ECONÓMICO(VAU)		ANÁLISIS TÉCNICO		
DESCRIPCIÓN	CLASIF	IMPOT TÉCNICA	GRADO DE DIFIC PARA SUMINISTRO	PERÍODO SUMINISTRO
Chumacera tipo manga	I	1	Bajo	Entre 1 y 2 meses
Ensamble rotor		1	Alto	6meses
Empacaduras		1	Medio	2meses
Chumacera axial	II	1	Medio	2meses
Empacaduras		1	Medio	2meses
Chumacera tipo manga		1	Medio	2meses
Tornillería		3	Bajo	2meses
Ensamble encendedor		1	Medio	2meses
Filtro de sistema de alimentación de gas	III	1	Bajo	1mes
Filtro de sistema de lubricación		1	Bajo	1mes
Inyector		1	Bajo	1mes
Deflector		2	Bajo	2meses
Tornillería		3	Bajo	1mes
Termoswhitch chumacera		3	Medio	2meses
Termoswhitch carcaza		3	Medio	2meses
Sello estático inyector		2	Bajo	1mes

MATRIZ DE CRITICIDAD

IMPORTANCIA ECONÓMICA (VAU)	IMPORTANCIA TÉCNICA		
	1	2	3
I (20%) Mayor	I1	I2	I3
II (30%) Intermedio	II1	II2	II3
III (50%) Menor	III1	III2	III3



Deben estar disponibles en almacén. Responde a: **¿Qué comprar?**

Garantizar disponibilidad a requerimiento, mediante convenios con Proveedores.

Tramitar cuando se requieran. Si el análisis técnico evidenció alto grado de dificultad para adquisición, evaluar sustitución por componentes equivalentes y más comerciales.

- A continuación se define la Cantidad Económica de Pedido (CEP), para cada una de las refacciones **I1, II1, III1 y I2**

$$CEP = (2 * \text{Demanda en período } t * \text{Costo de la orden} / \text{Costo por manejo de inventario en el período } t) ^{0.5}$$

$$\text{Costo por manejo de inventario para el período de 1 año} = (\text{entre } 0.2 \text{ y } 0.3) * \text{Precio unitario del item}$$

Ejemplo: Chumacera axial

Datos:

Demanda en el período anual pasado= 3

Costo de colocación de la Orden: 15,000.00 \$ Mex

Precio unitario: 60,000.00 \$ Mex → Costo por manejo de inventario= 0.3 * 60,000.00 =18,000.00 \$ Mex

Resultado:

$$\text{CEP} = (2 \times 3 \times 15,000 / 18,000)^{0.5} = \text{aproximado a } 2$$

Finalmente se estima el Punto de Reorden (PR), equivalente al Inventario Promedio (IP):

$$\text{IP} = (\text{Cantidad Económica de Pedido (CEP)} / 2) + Z * \text{Desviación (DS)}$$

Z se corresponde con el valor obtenido de las tablas de la Curva Normal Estándar, para el Factor de Servicio (%) asignado

$$\text{DS} = (\text{Tiempo Total de Reaprovisionamiento} * \text{Error Estándar de Pronóstico en la Demanda}^2 + \text{Pronóstico de Demanda mensual}^2 * \text{Desviación Estándar en el Tiempo de Entrega})^{0.5}$$

Datos:

$$\text{CEP} = 2$$

$$\text{FS: } 95\% \rightarrow Z = 1,65$$

Tiempo máximo para reaprovisionamiento, según lo acordado con el proveedor = 2 meses (esta premisa permite que la Desviación Estándar en el tiempo de entrega se haga = 0)

Para estimar el Error Estándar de Pronóstico en la Demanda (ES), se analizó la demanda de la refacción indicada en los últimos 6 años:

AÑO	DEMANDA
1	5
2	2
3	3
4	2
5	1
6	3

Aplicando programa **Excel** se obtuvo ES = 1.28

Resultado:

$$\text{DS} = ((2/12) * 1,28^2)^{0.5} = 0.53$$

$$\text{IP} = (2/2) + 1.65 * 0.53 = \text{aprox } 2$$

De no tener la disponibilidad de los datos o si el Factor de Servicio, es relativamente bajo (por ejemplo considerando que existe una alta redundancia, asumir FS = 0.7), se podría aplicar una variante del Método Delphi (opinión) para estimar IP y CEP.

CONCLUSIÓN: lo adecuado es colocar una orden por 2 Chumaceras Axiales, cuando se alcance la disponibilidad de 2 en el almacén.