

XVII Congreso de **Confiabilidad**

25 y 26 de noviembre de 2015. Parque Científico
y Tecnológico de Bizkaia. Zamudio (Bizkaia)



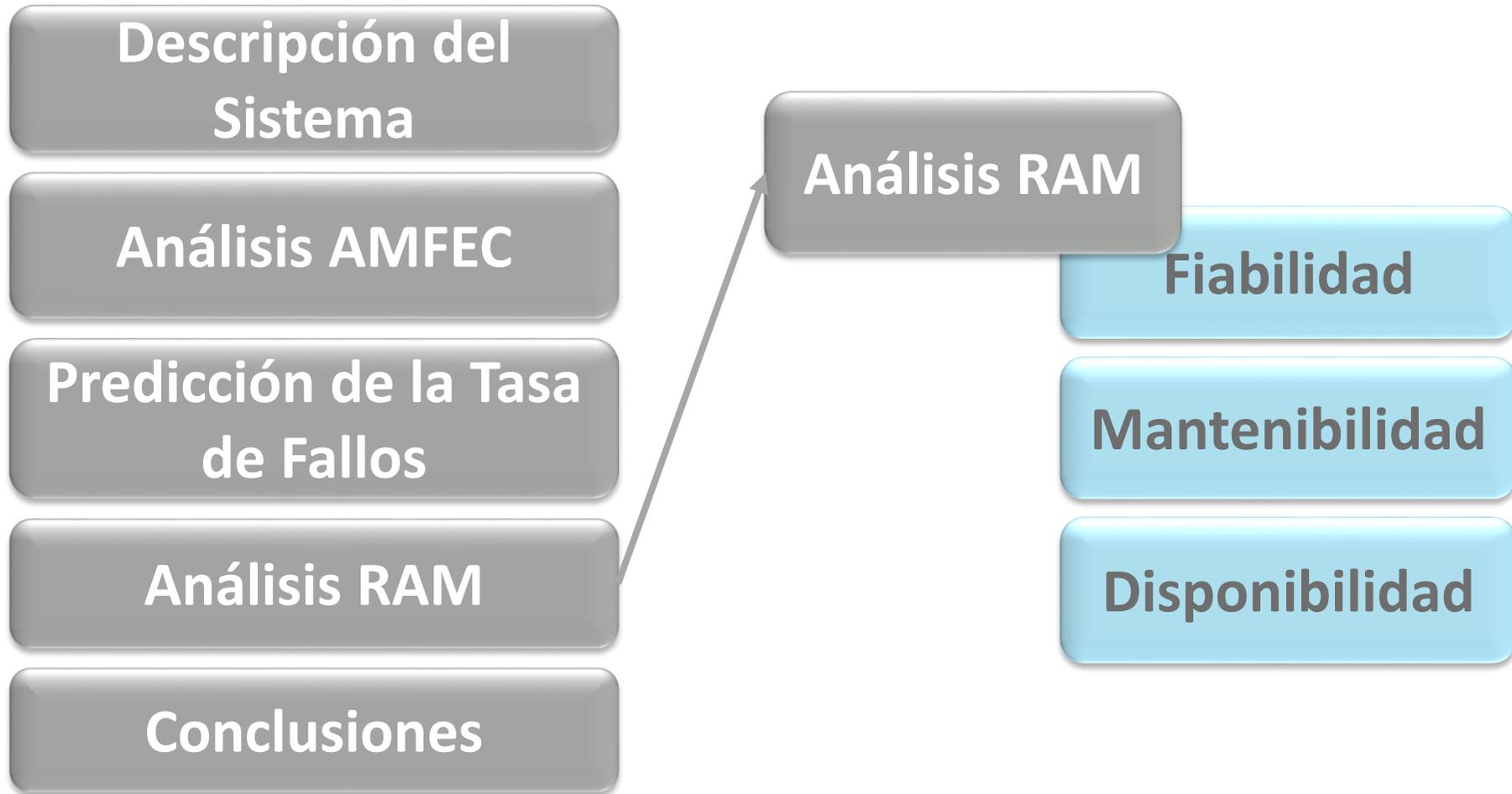


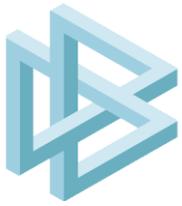
***ANÁLISIS AMFEC Y RAM DEL
SISTEMA DE BOMBEO DE LA
CENTRAL HIDROEÓLICA DE
EL HIERRO.***

Paulo Reyes Díaz



Índice





Descripción del Sistema

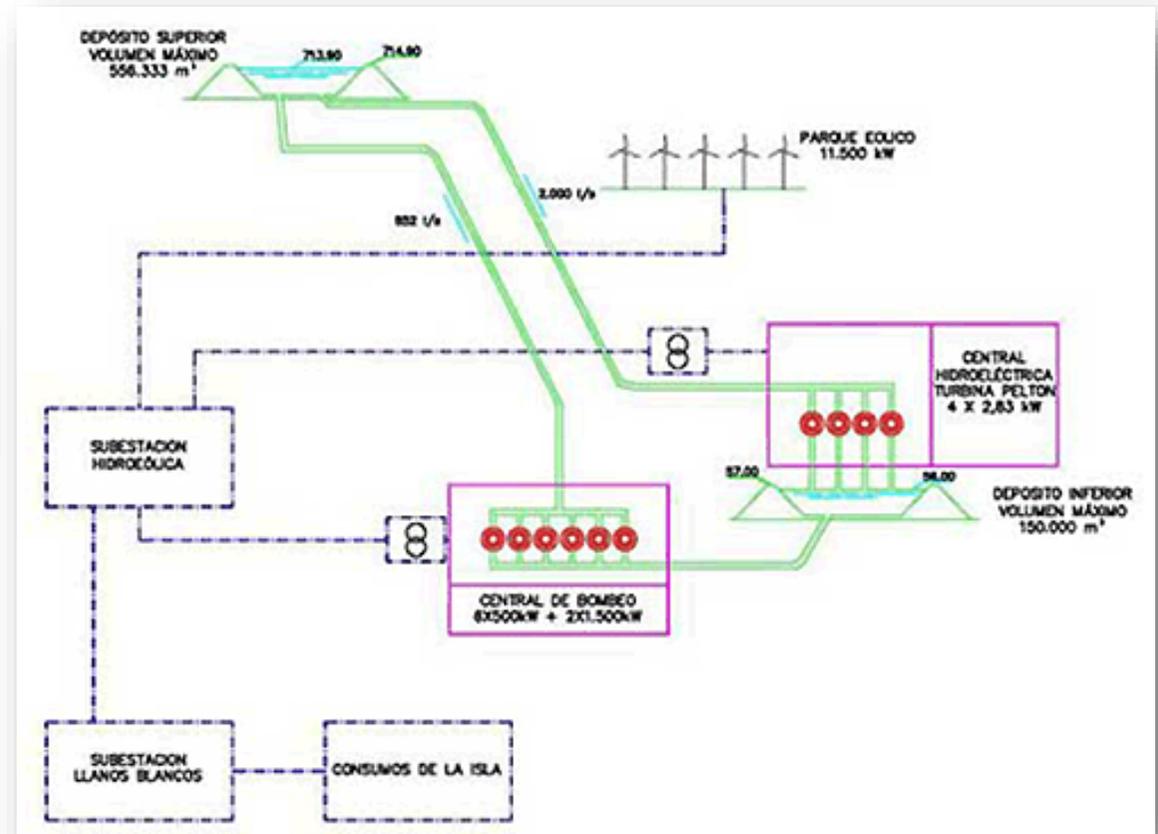
Sistema General de la Central

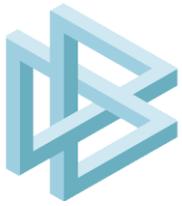
5 Aerogeneradores

11,5 MW

4 Turbinas

11,3 MW





Descripción del Sistema

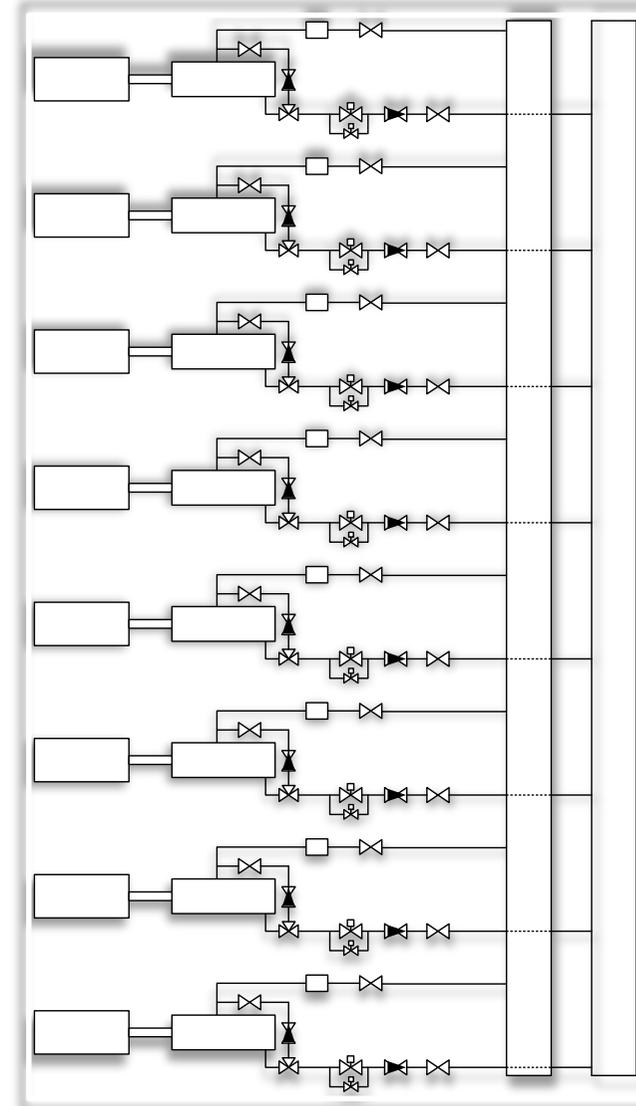
Central de Bombeo

Grupo de bombeo
de 1500 kW

2

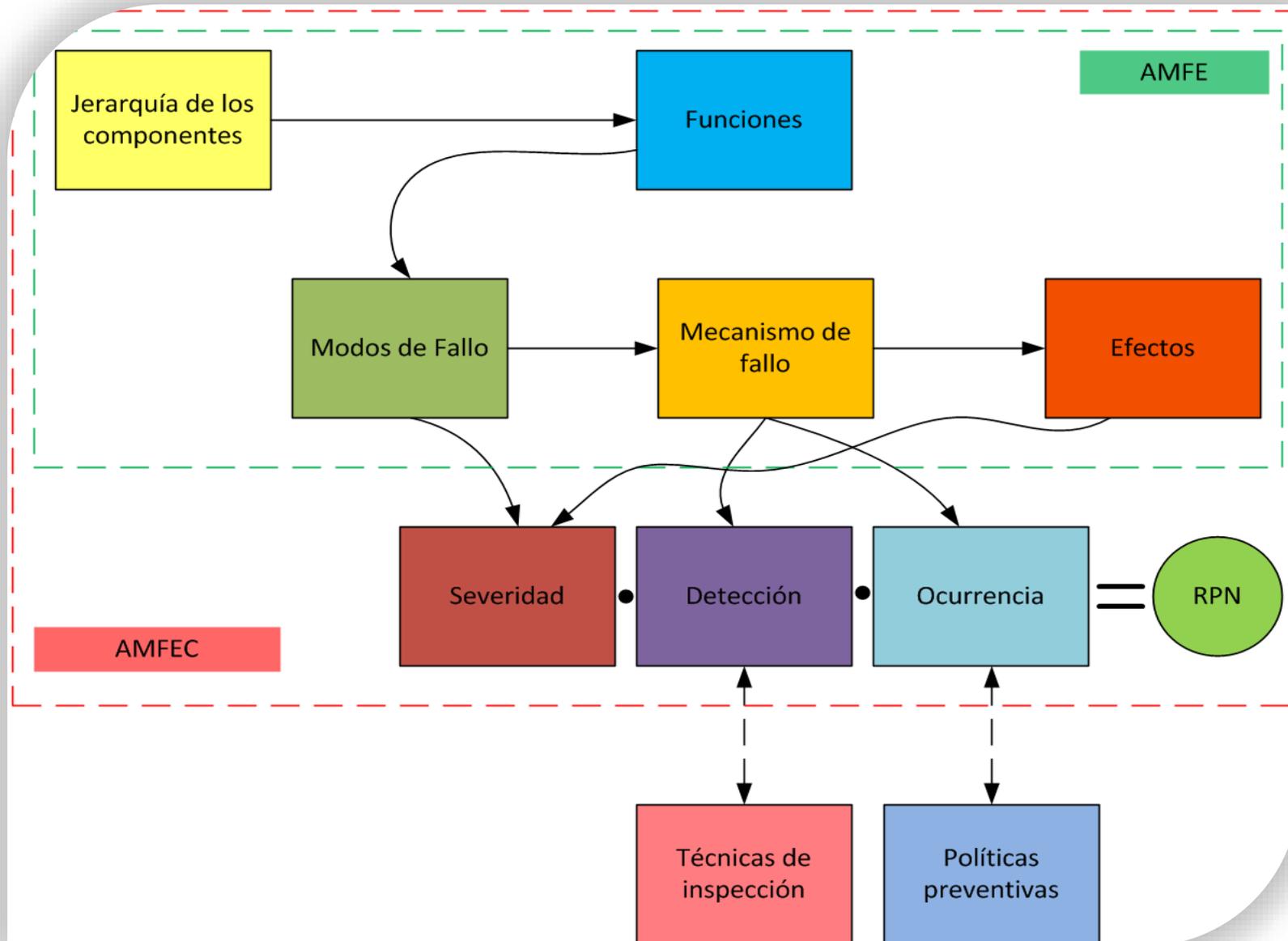
Grupo de bombeo
de 500 kW

6





Análisis AMFEC





Análisis AMFEC

Jerarquía del Sistema

Nivel 1

Sistema en su totalidad formado por el conjunto de subsistemas y componentes. Dentro de esta agrupación se encuentran las 8 ramas de bombeo, los 4 variadores de velocidad, el sistema de protección contra los golpes de ariete y el sistema de refrigeración de los motores eléctricos de 1500kW

Nivel 2

En este nivel se consideran por separado los grupos de bombeo, los variadores de velocidad, el sistema de protección contra golpes de ariete y el sistema de refrigeración

Nivel 3

En este nivel se consideran por separado los grupos de bombeo, los variadores de velocidad, el sistema de protección contra golpes de ariete y el sistema de refrigeración

Nivel 4

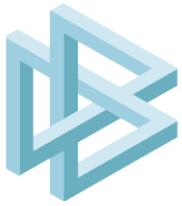
Profundiza en componentes principales y que, a su vez, están formados por un conjunto de componentes. Estos son las bombas con los cojinetes, el sello mecánico, el cuerpo principal (eje + rodetes) y la carcasa; el motor eléctrico con los devanados de las tres fases, los cojinetes y el eje; el aeroenfriador del sistema de refrigeración con los tres circuitos del equipo



Análisis AMFEC

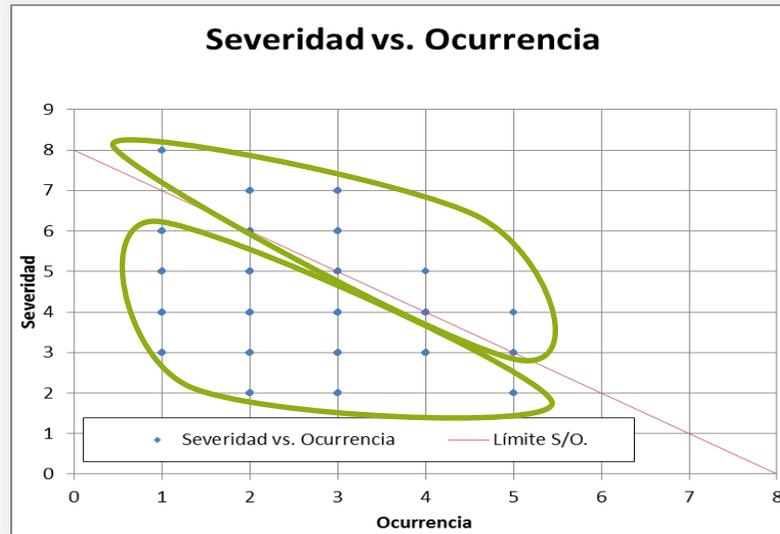
Jerarquía del Sistema

03GAF		Sistema de bombeo		Operar en demanda, bombeando agua del embalse inferior al superior siempre que exista un exceso de producción eléctrica o sea solicitado por REE. En condiciones normales tiene que poder absorber toda la energía eléctrica sobrante	
		75	Grupo de Bombeo V1 (1500 kW)	Conjunto que opera con variador de velocidad por lo que su función es operar en demanda de acuerdo a los valores de consigna dados, desde 0 hasta condiciones nominales. Su funcionamiento normal es alcanzar, gracias al variador, siempre las condiciones nominales.	
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	AA001	Válvula de aislamiento en la aspiración	Operada manualmente, permite aislar el grupo de bombeo V1 de la tubería de aspiración general. Normalmente abierta
			ZSH/ZSL01 0	Indicador de posición de la válvula de aislamiento de la aspiración	Transmite la posición de la válvula abierta o cerrada. Para ello tiene dos contactos, en el inicio y final de carrera
			KV001	Filtro en Y	Elemento situado para retener partículas en la aspiración y evitar su acceso a la bomba
			DPSH010	Manómetro diferencial en el filtro	Sensor que mide la presión a la entrada y salida del filtro para determinar si el mismo se encuentra colmatado o no
			PI015	Manómetro salida del filtro	Mide la presión existente a la salida del filtro. Esta señal no es transmitida, solo se muestra en planta
			AA101	Válvula de corte del bypass	Válvula de seguridad que cierra el sistema de bypass de la bomba. Normalmente abierta, operación manual
			ZSH/ZSL01 1	Indicador de posición de la válvula de corte de bypass	Transmite la posición de la válvula abierta o cerrada. Para ello tiene dos contactos, en el inicio y final de carrera
		AP001	Bomba	Proporciona al fluido del proceso las condiciones de caudal y presión necesarias para devolverlo al embalse superior	
		Nivel 4		Cojinete de empuje LOA	Último componente del equipo situado en el extremo del eje del lado opuesto al accionado. Lubricado con aceite
				Cojinete radial LOA	Elemento que permite el giro del eje dentro de la carcasa en el lado opuesto al accionado. Lubricado con aceite
				Sello mecánico	Situado alrededor del cuerpo principal, asegura la estanqueidad de la bomba. Refrigerado con el propio agua del proceso
				Carcasa	Envolvente del equipo que lo aísla del medio
				Eje + Rodete	Se encarga de transmitir el movimiento generado en el motor a los rodetes.
	Cojinete radial LA		Elemento que permite el giro del eje dentro de la carcasa en el lado accionado. Lubricado con aceite		



Análisis AMFEC

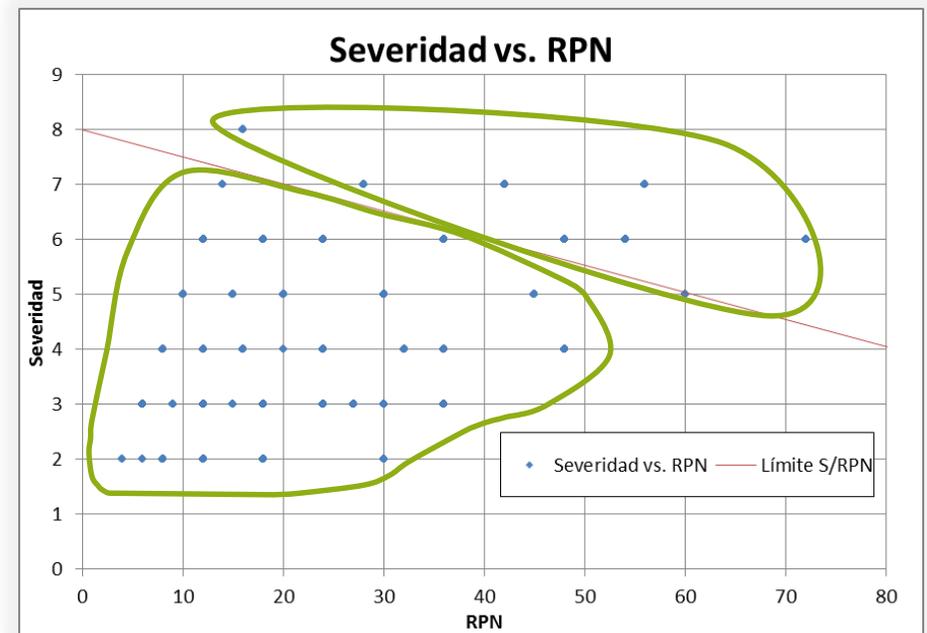
Umbrales de la métrica de riesgo



Severidad 8/10

Ocurrencia 8/10

RPN 162/1000





Análisis RAM

Predicción de la Tasa de Fallos

NSWC 2011

Tasa de fallos de una bomba

Tasas de fallos constantes al no ser elementos sensibles al fallo

$$\lambda_P = \lambda_{SE} + \lambda_{SH} + \lambda_{BE} + \lambda_{CA} + \lambda_{FD}$$

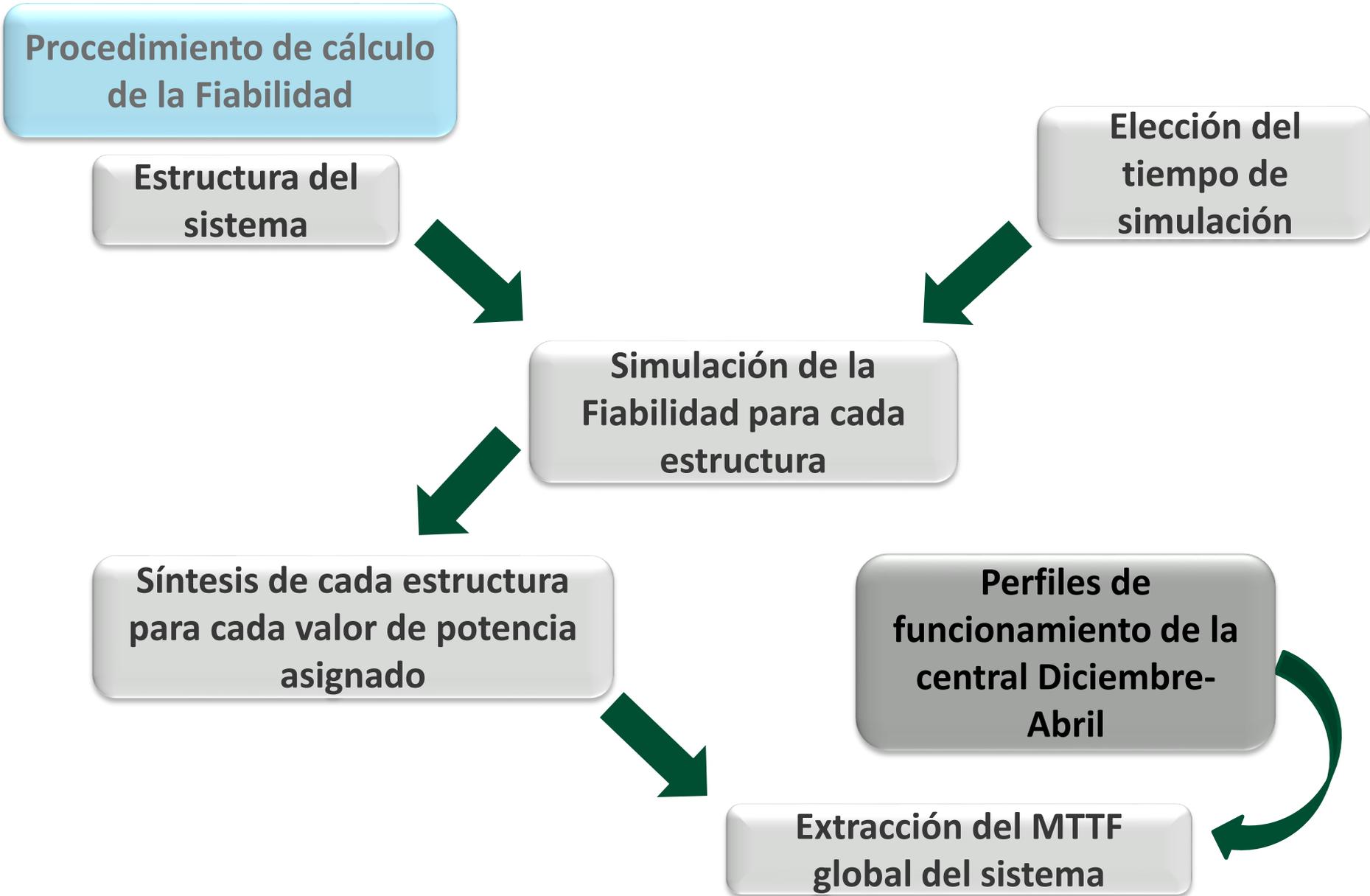
$$\lambda_{SE} = \lambda_{SE,B} \left(\frac{Q_a}{Q_f} \right)$$

$$\lambda_{BE} = \frac{1}{\frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{L_S}{L_A} \right)^y} \cdot C_V \cdot C_C \cdot C_{CW} \cdot C_t \cdot C_{SF} \cdot C_R$$

$$\lambda_{FD} = \lambda_{FD,B} \cdot C_{TLF} \cdot C_{PS} \cdot C_C$$



Análisis RAM





Análisis RAM

Estructura del sistema

Pot solicitada	Combinación 1	Combinación 2	Combinación 3	Combinación 4	Combinación 5	Combinación 6	Combinación 7	Combinación 8
500	1F							
600								
700								
800								
900								
1000	1V(vv1 1000)	2F						
1100	1V(vv1 1100)							
1200	1V(vv1 1200)							
1300	1V(vv1 1300)							
1400	1V(vv1 1400)							
1500	1V(vv1 1000)-1F	3F	1V					
1600	1V(vv1 1100)-1F							
1700	1V(vv1 1200)-1F							
1800	1V(vv1 1300)-1F							
1900	1V(vv1 1400)-1F							
2000	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1000)	1V(vv1 1000)-2F	4F					
2100	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1100)	1V(vv1 1100)-2F						
2200	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1200)	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1100)	1V(vv1 1200)-2F					
2300	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1300)	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1200)	1V(vv1 1300)-2F					
2400	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1400)	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1300)	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1200)					
2500	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1400)	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1300)	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1000)					
2600	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1400)	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1300)	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1100)					
2700	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1400)	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1200)-1F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1100)					
2800	1V(vv1 1400)-1V(vv2 1400)	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1300)-1F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1100)					
2900	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1400)-1F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1300)-1F	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1200)					
3000	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1400)-1F	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1300)-1F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1000)					
3100	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1400)-1F	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1300)-1F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1100)					
3200	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1400)-1F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1200)-2F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1100)					
3300	1V(vv1 1400)-1V(vv2 1400)-1F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1300)-2F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1200)					
3400	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1400)-2F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1300)-2F	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1200)					
3500	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1400)-2F	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1300)-2F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1000)					
3600	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1400)-2F	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1300)-2F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1100)					
3700	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1400)-2F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1200)-3F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1100)					
3800	1V(vv1 1400)-1V(vv2 1400)-2F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1300)-3F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1200)					
3900	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1400)-3F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1300)-3F	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1200)					
4000	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1400)-3F	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1300)-3F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1000)					
4100	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1400)-3F	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1300)-3F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1100)					
4200	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1400)-3F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1200)-4F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1100)					
4300	1V(vv1 1400)-1V(vv2 1400)-3F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1300)-4F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1200)					
4400	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1400)-4F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1300)-4F	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1200)					
4500	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1400)-4F	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1300)-4F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1000)-5F	2V-3F	1V-1V(vv1 1000)-4F	1V-6F		
4600	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1400)-4F	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1300)-4F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1100)-5F	1V-1V(vv1 1100)-4F				
4700	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1400)-4F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1200)-5F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1100)-5F	1V-1V(vv1 1200)-4F				
4800	1V(vv1 1400)-1V(vv2 1400)-4F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1300)-5F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1200)-5F	1V-1V(vv1 1300)-4F				
4900	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1400)-5F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1300)-5F	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1200)-5F	1V-1V(vv1 1400)-4F				
5000	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1400)-5F	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1300)-5F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1000)-6F	2V-4F	1V-1V(vv1 1000)-5F			
5100	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1400)-5F	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1300)-5F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1100)-6F	1V-1V(vv1 1100)-5F				
5200	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1400)-5F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1200)-6F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1100)-6F	1V-1V(vv1 1200)-5F				
5300	1V(vv1 1400)-1V(vv2 1400)-5F	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1300)-6F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1200)-6F	1V-1V(vv1 1300)-5F				
5400	1V(vv1 1000)-1V(vv2 1400)-6F	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1300)-6F	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1200)-6F	1V-1V(vv1 1400)-5F				
5500	1V(vv1 1100)-1V(vv2 1400)-6F	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1300)-6F	2V-5F	1V-1V(vv1 1000)-6F				
5600	1V(vv1 1200)-1V(vv2 1400)-6F	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1300)-6F	1V-1V(vv1 1100)-6F					
5700	1V(vv1 1300)-1V(vv2 1400)-6F	1V-1V(vv1 1200)-6F						
5800	1V(vv1 1400)-1V(vv2 1400)-6F	1V-1V(vv1 1300)-6F						
5900	1V-1V(vv1 1400)-6F							
6000	2V-6F							

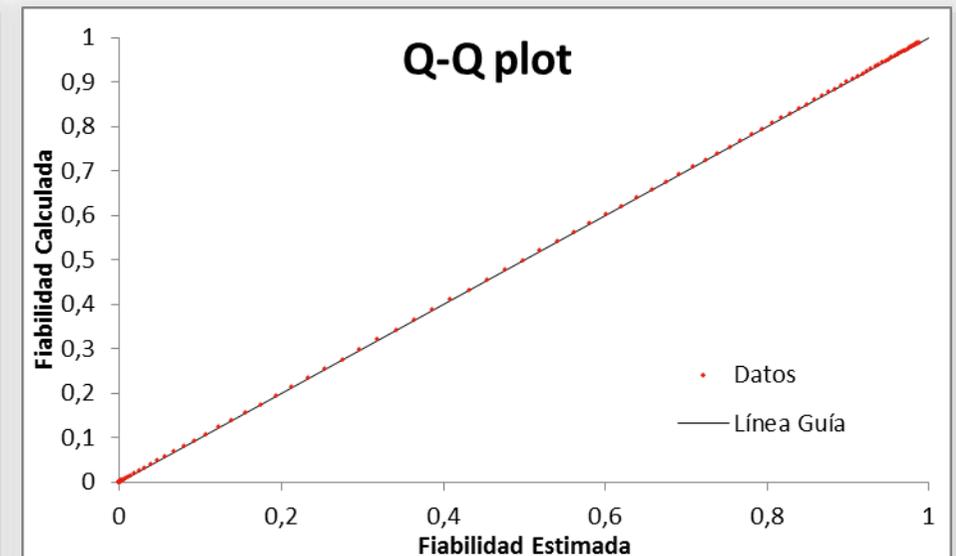
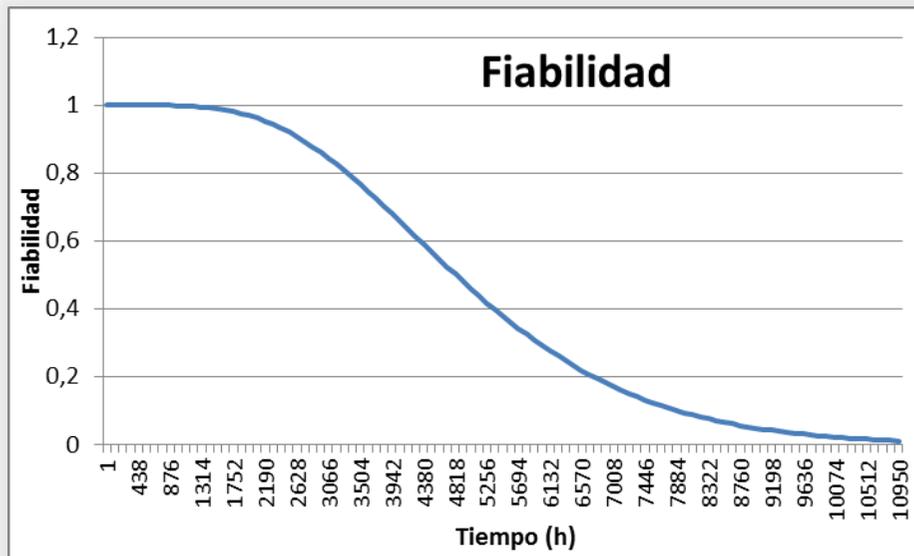


Análisis RAM

Resultados Fiabilidad

Simulación de la
Fiabilidad para cada
estructura

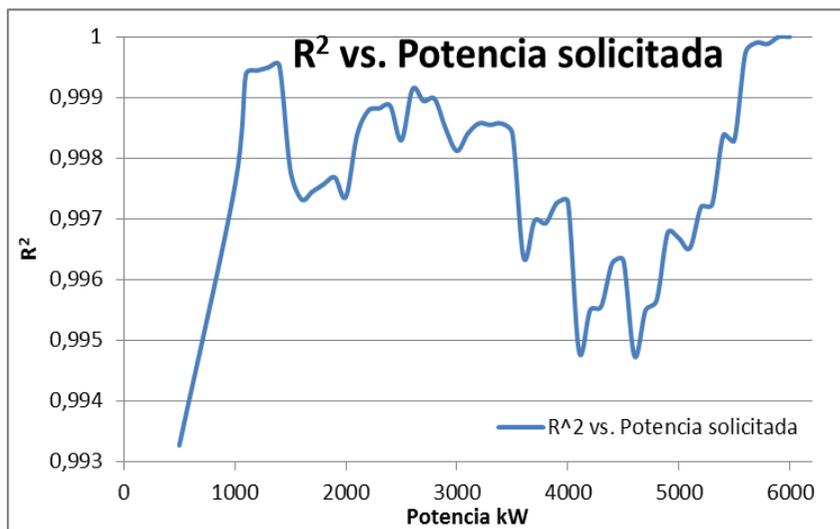
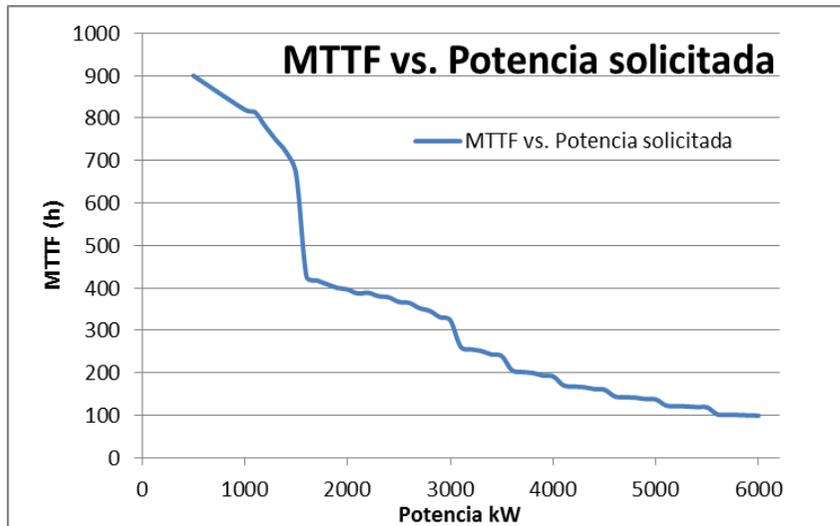
Configuración:	1F		
Nº de GB V			
Nº de GB F	1		
	Activos	Espera	
GBV			
GBF	1	5	
vv1	valor de vv1 %de reducción de la tasa de fallos de la bomba V1		
vv2	valor de vv2 %de reducción de la tasa de fallos de la bomba V2		
tf F	0,00117434		
tf V1			
tf V2			
F. forma	5,99998578	MTTF	5109,24457
F. escala	851,54278		
Err CM2	1,9346E-07		



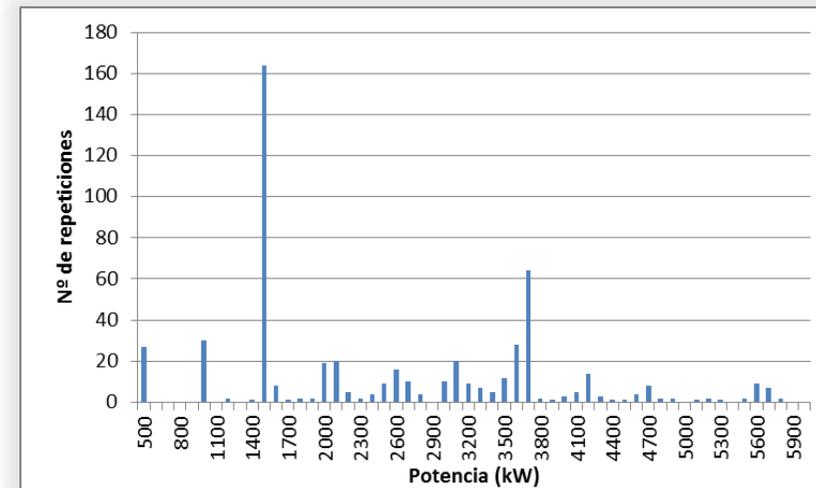


Análisis RAM

Resultados Fiabilidad



Perfiles de funcionamiento de la central Diciembre-Abril



MTTF = 1856,805 h



Análisis RAM

Procedimiento de cálculo
de la Mantenibilidad

Reparación de larga
duración

Duración Larga	Duración Corta	MTTR Final (h)	Tr (reparación/h)
0%	100%	16	0,0625
10%	90%	22,4	0,04464286
15%	85%	25,6	0,0390625
20%	80%	28,8	0,03472222
25%	75%	32	0,03125
30%	70%	35,2	0,02840909
35%	65%	38,4	0,02604167
40%	60%	41,6	0,02403846
45%	55%	44,8	0,02232143
50%	50%	48	0,02083333

Reparación
de larga
duración

Aquí se encuentran disponibles en la lista por lo que se asigna un tiempo de reparación de dos días



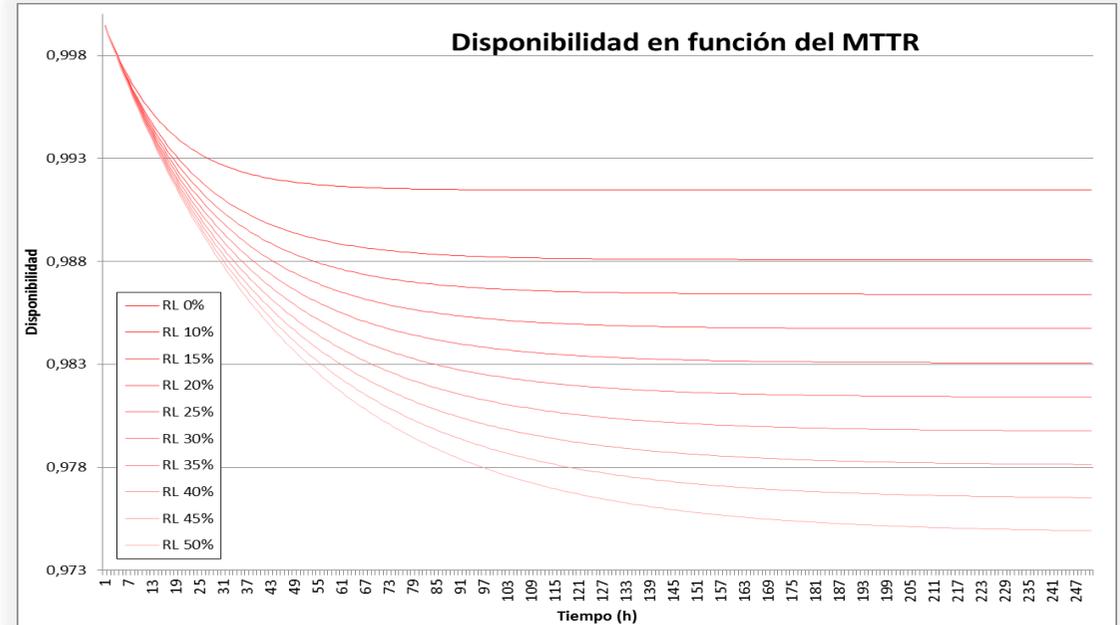
Análisis RAM

Procedimiento de cálculo de Disponibilidad

Modelo Exponencial

$$A(t) = 1 - \bar{A}(t) = 1 - \frac{\lambda}{\lambda + \nu} \left(1 - e^{-(\lambda + \nu) \cdot t} \right)$$

$$A_{lim} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$



Duración Larga	Duración Corta	MTTR Final (h)	MTTF (h)	D. Límite
0%	100%	16	1856,80454	0,99145666
10%	90%	22,4	1856,80454	0,98808006
15%	85%	25,6	1856,80454	0,98640037
20%	80%	28,8	1856,80454	0,98472638
25%	75%	32	1856,80454	0,98305807
30%	70%	35,2	1856,80454	0,98139539
35%	65%	38,4	1856,80454	0,97973833
40%	60%	41,6	1856,80454	0,97808686
45%	55%	44,8	1856,80454	0,97644095
50%	50%	48	1856,80454	0,97480056



Conclusiones

Conclusiones

AMFEC

- Identificación de los modos y mecanismos de fallo críticos para el sistema
- Recomendación de la técnicas predictivas en algunos modos de fallos para anticipar la ocurrencia de estos
- Es una hoja de ruta para futuros planes de abastecimientos

Análisis RAM

- Se han obtenido los tres indicadores de rendimiento clásicos que permiten tener una idea del desempeño que llevará este tipo de explotación
- Primer modelado de las curvas de funcionamiento de los sistemas de bombeo