Clase Auxiliar de Confiabilidad

•Capacidad de operación "continua" de un sistema o sus elementos de acuerdo a su diseño (condición normal)

•Probabilidad de NO falla

Falla (tasa de) λ

•Intempestiva

•Curso forzoso

Tiempo de reparación (reposición) $Tr = 1/\mu$

Centrales

•Huiros

•Presión caldera

•Equipos de control

•Pérdida de presión en caño

Líneas de Tx

•Rayos

•Árboles

•Pájaros

•Sal de mar

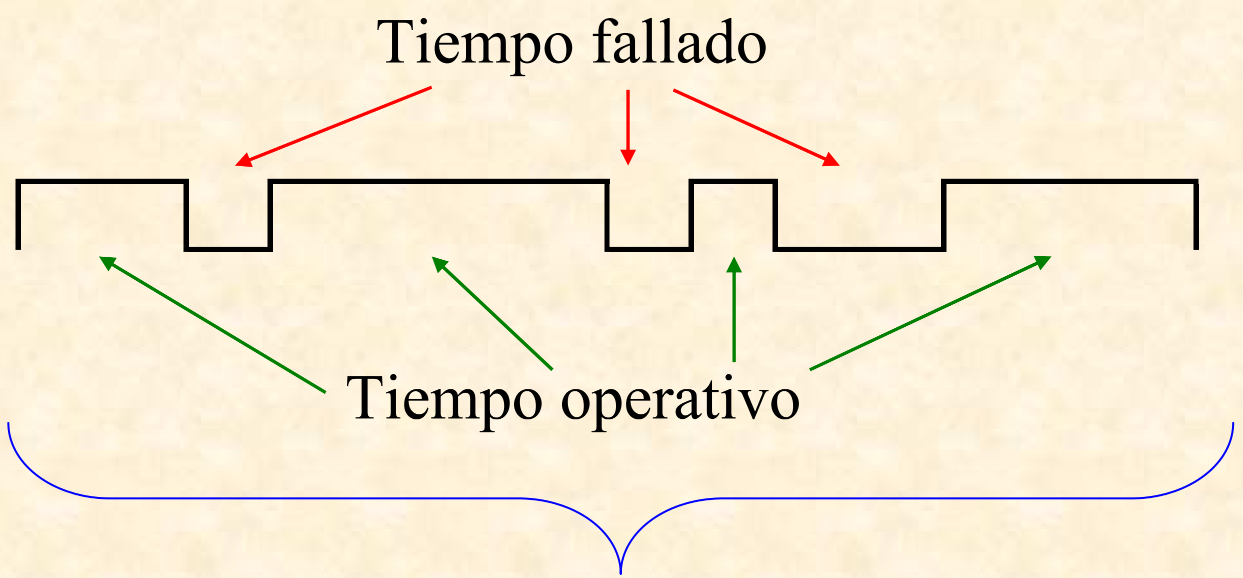
SS/EE

•Rayos

•Árboles

•Trabajos en S/E

Método frecuencia - duración



$m = MTTF = 1/\lambda$

$r = tr = MTTR = 1/\mu$

$T = MTBF = m + r = 1/f$

λ : tasa de falla de el componente

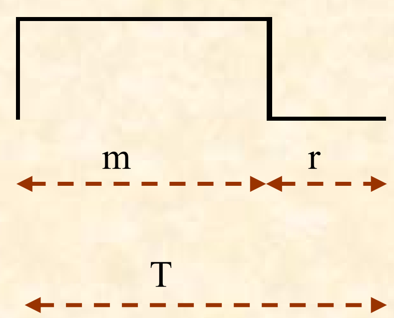
μ: tasa de reparación del componente

MTTF: Tiempo Medio de Falla

MTTR: Tiempo Medio de Reparación

MTBF: Tiempo Medio Entre Fallas

f: Frecuencia del ciclo de falla



•DISPONIBILIDAD : Probabilidad que el equipo está disponible.

$$A = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$$

•Disponibilidad por falla

•Disponibilidad por tiempo (Mantenimientos programados)

•INDISPONIBILIDAD

$$U = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} = 1 - A$$

Ej: Unidad con el siguiente historial de fallas:

Meses en servicio	Tiempos de reparación (h)
4	102
6	80
2	65
7	109
4	86

	E/S	F/S	E/S	F/S	E/S	F/S	E/S	F/S	E/S	F/S
	4	102	6	80	2	65	7	109	4	86
horas	2880	102	4320	80	1440	65	5040	109	2880	86

En verde los meses y en amarillo las horas

$$m = MTTF = Tiempomedio E/S = 3312[h]$$

$$r = MTTR = Tiempomedio F/S = 88.4[h]$$

$$T = MTBF = m + r = 3400.4$$

$$\lambda = {}^{1}\!/_{m} = 0.0003019$$

$$\mu = {}^{1}\!/_{r} = 0.0113122$$

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{m}{r + m} = 0.974003$$

•Elementos en serie

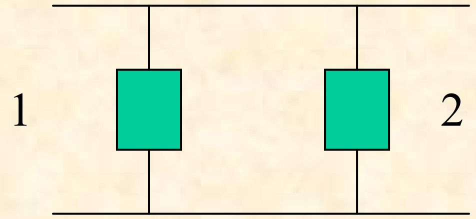
$$A_{sist} = \prod_i A_i \qquad\qquad U_{sist} = 1 - \prod_i A_i$$

•Elementos en paralelo

$$U_{sist} = \prod_i U_i \qquad\qquad A_{sist} = 1 - \prod_i U_i$$

Problema 1

Dos elementos en paralelo tienen tasas de falla λ_1 y λ_2 y tiempos de reposición $T_{r1}(\mu_1)$ y $T_{r2}\ (\mu_2)$. Estime la disponibilidad del conjunto estableciendo una fórmula compacta.



Sabemos que: $U = \dfrac{\lambda}{\mu + \lambda}$ (indisponibilidad)

Y los elementos están en paralelo

$$U = U_1 \cdot U_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mu_1} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2}$$

$$U = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 + \lambda_1 \cdot \mu_2 + \lambda_2 \cdot \mu_1 + \mu_1 \cdot \mu_2}$$

$$A = 1 - U = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 + \lambda_1 \cdot \mu_2 + \lambda_2 \cdot \mu_1 + \mu_1 \cdot \mu_2 - \lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 + \lambda_1 \cdot \mu_2 + \lambda_2 \cdot \mu_1 + \mu_1 \cdot \mu_2}$$

Si:

$$\mu' = \lambda_1 \cdot \mu_2 + \lambda_2 \cdot \mu_1 + \mu_1 \cdot \mu_2$$

y $$\lambda' = \lambda_1 \cdot \lambda_2$$

Se tiene: $$A_{sist} = \frac{\mu'}{\mu' + \lambda'}$$

Tablas de estado de disponibilidad de acuerdo al método de frecuencia - duración

La tabla se realiza en el nudo específico que se desea estudiar

Estados (potencia disponible)

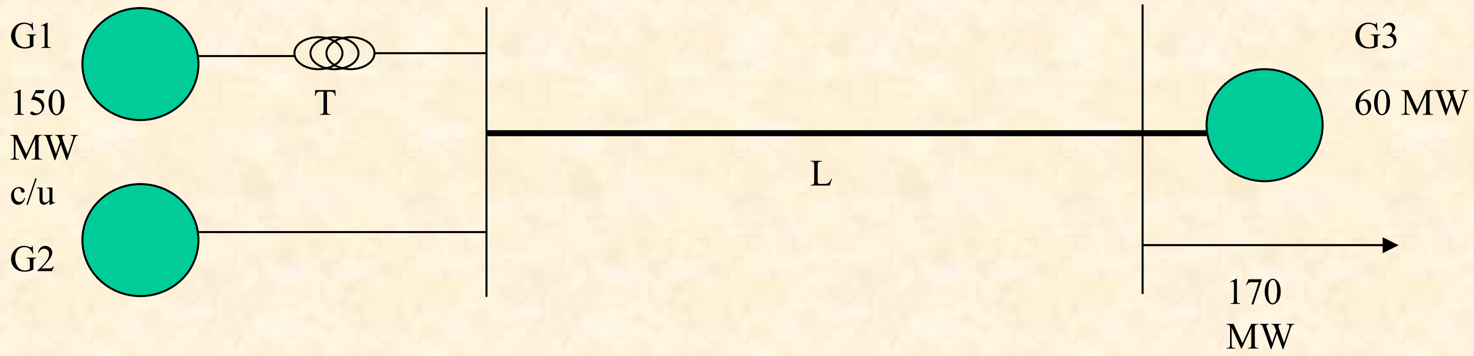
Disponibilidad de c/ estado

Estado de disponibilidad: conjunto de todos los estados que otorgan la misma potencia disponible en el nudo en análisis

LOLP: Pbb. (Pdisp < Dda en el nudo en estudio)

Problema 2

Sea el siguiente SEP



G1 y G2 son unidades con disponibilidades de 97% c/u; T tiene tasa de falla de 0.1 [veces/año] y tiempo de reposición de 240 [h]. G3 tiene disponibilidad de 95% y la línea L de 98% con capacidad de transmisión de 400 [MW].

Determine para cada estado de disponibilidad; la potencia disponible, la potencia no suministrada, la probabilidad acumulada, la probabilidad de excedencia y el nivel de riesgo para el sistema en la barra de carga.

R:

$p_1=0.97$ $p_2=0.97$ $p_3=0.95$ $p_L=0.98$

$\lambda=0.1$ [1/año] $t_r=240$ [h]$= 240/(24\bullet365)$ [años] $= 0.027397$ [años]

$\mu= 36.5$ [1/año] $\Rightarrow$ $p_T= 0.997$

Estados de disponibilidad de potencia

2 estados por elemento (E/S, F/S)

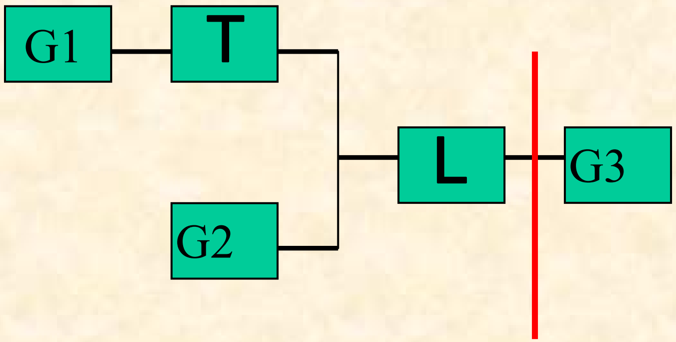
5 elementos

$\Rightarrow 2^5 = 32$ estados inicialmente factibles

•Hay 2 maquinas en paralelo iguales ⟶ 2 estados ⟶ 1 estado de disponibilidad

•Hay 1 trafo en serie con G1 ⟶ si T F/S ⟶ G1 F/S

•Hay 1 línea en serie con G1 y T ⟶ si L F/S ⟶ G1, G2, T F/S



Estados de disponibilidad de potencia

2 estados por elemento (E/S, F/S)

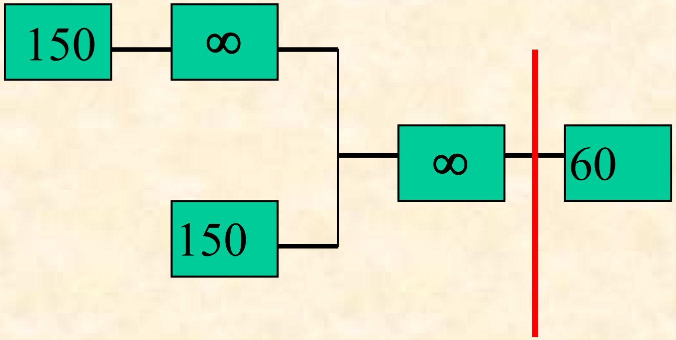
5 elementos

$\Rightarrow 2^5 = 32$ estados inicialmente factibles

•Hay 2 maquinas en paralelo iguales ⟶ 2 estados ⟶ 1 estado de disponibilidad

•Hay 1 trafo en serie con G1 ⟶ si T F/S ⟶ G1 F/S

•Hay 1 línea en serie con G1 y T ⟶ si L F/S ⟶ G1, G2, T F/S



Estado 1: 360

Estado 2. 300

Estado 3: 210

Estado 4: 150

Estado 5: 60

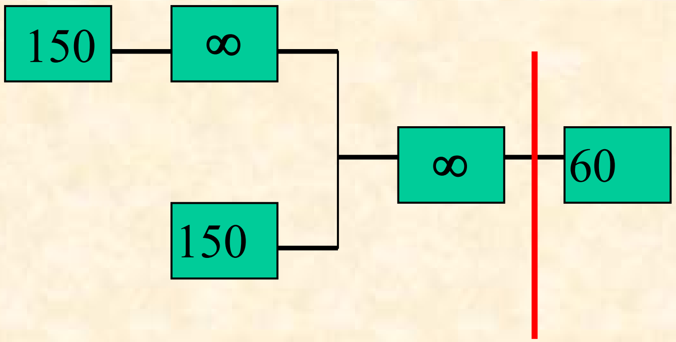
Estado 6: 0

Cálculos

- Pdisp: Potencia disponible para el estado en cuestión
- p: probabilidad del estado en cuestión
- Pac: Probabilidad ($P \leq Pdisp$)
- Pexc: Probabilidad ($P > Pdisp$)
- LOLP: Probabilidad ($Pdisp < Demanda$)

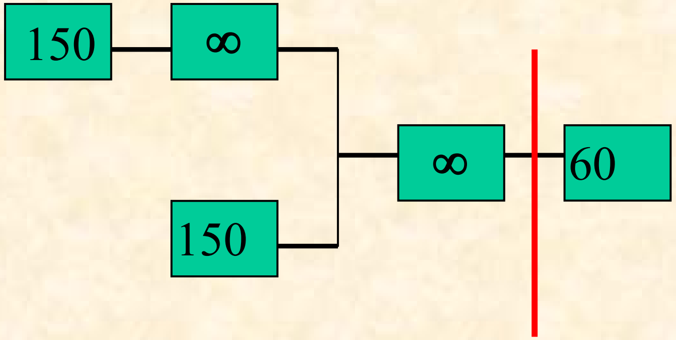
Tabla

k	Pdisp	p	p	Pac	Pexced	Pns
1	360					
2	300					
3	210					
4	150					
5	60					
6	0					



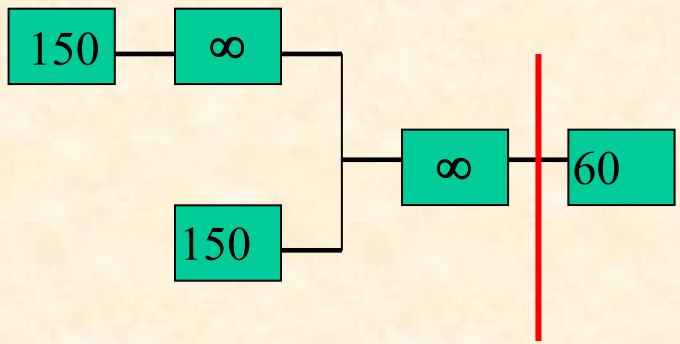
Tabla

k	Pdisp	p	p	Pac	Pexced	Pns
1	360	p1•p2•pT•pL•p3	0.8733	1.0000	0.0000	0
2	300					
3	210					
4	150					
5	60					
6	0					



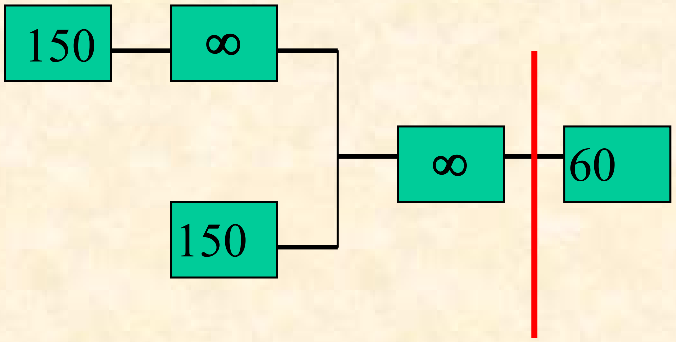
Tabla

k	Pdisp	p	p	Pac	Pexced	Pns
1	360	p1•p2•pT•pL•p3	0.8733	1.0000	0.0000	0
2	300	p1•p2•pT•pL•(1-p3)	0.0460	0.1266	0.8734	0
3	210					
4	150					
5	60					
6	0					



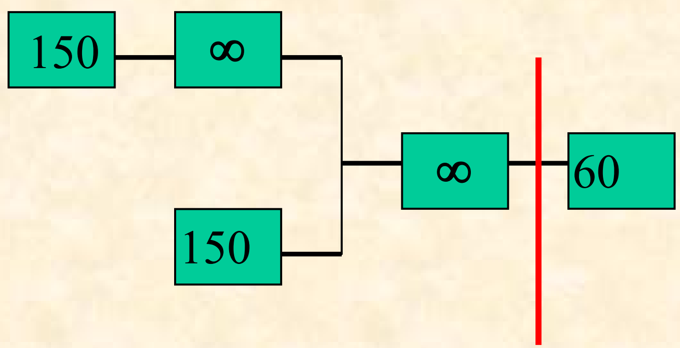
Tabla

k	Pdisp	p	p	Pac	Pexced	Pns
1	360	p1•p2•pT•pL•p3	0.8733	1.0000	0.0000	0
2	300	p1•p2•pT•pL•(1-p3)	0.0460	0.1266	0.8734	0
3	210	p3•pL•[p1•pT•(1-p2)+p2•((1-p1)•pT+p1•(1-pT)+(1-p1)•(1-pT))]	0.0567	0.0807	0.9194	0
4	150					
5	60					
6	0					



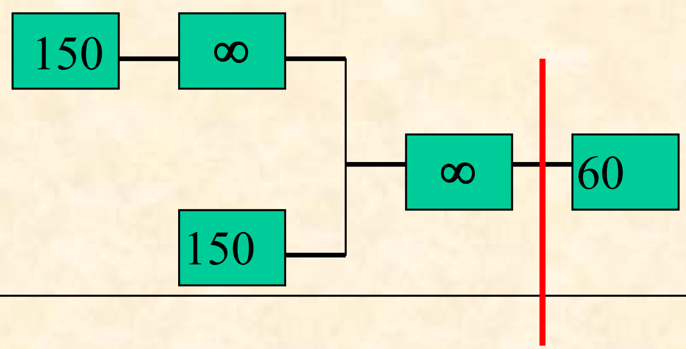
Tabla

k	Pdisp	p	p	Pac	Pexced	Pns
1	360	p1•p2•pT•pL•p3	0.8733	1.0000	0.0000	0
2	300	p1•p2•pT•pL•(1-p3)	0.0460	0.1266	0.8734	0
3	210	p3•pL•[p1•pT•(1-p2)+p2•((1-p1)•pT+p1•(1-pT)+(1-p1)•(1-pT))]	0.0567	0.0807	0.9194	0
4	150	(1-p3)•pL•[p1•pT•(1-p2)+p2•(p1•(1-pT)+(1-p1)•pT+(1-p1)•(1-pT))]	0.0030	0.0239	0.9761	20
5	60					
6	0					



Tabla

k	Pdisp	p	p	Pac	Pexced	Pns
1	360	p1•p2•pT•pL•p3	0.8733	1.0000	0.0000	0
2	300	p1•p2•pT•pL•(1-p3)	0.0460	0.1266	0.8734	0
3	210	p3•pL•[p1•pT•(1-p2)+p2•((1-p1)•pT+p1•(1-pT)+(1-p1)•(1-pT))]	0.0567	0.0807	0.9194	0
4	150	(1-p3)•pL•[p1•pT•(1-p2)+p2•(p1•(1-pT)+(1-p1)•pT+(1-p1)•(1-pT))]	0.0030	0.0239	0.9761	20
5	60	p3•{pL•(1-p2)•[p1•(1-pT)+pT•(1-p1)+(1-pT)•(1-p1)]+ +(1-pL)•[p1•p2•pT+(1-p1)•p2•pT+ +p1(1-p2)•pT+(1-pT)•p1•p2+(1-p2)•p1•(1-pT)+(1-p2)•(1-p1)•pT+ +(1-p1)•(1-pT)•p2+(1-p1)•(1-p2)•(1-pT)]}	0.0199	0.0209	0.9791	110
6	0					



Tabla

k	Pdisp	p	p	Pac	Pexced	Pns
1	360	p1•p2•pT•pL•p3	0.8733	1.0000	0.0000	0
2	300	p1•p2•pT•pL•(1-p3)	0.0460	0.1266	0.8734	0
3	210	p3•pL•[p1•pT•(1-p2)+p2•((1-p1)•pT+p1•(1-pT)+(1-p1)•(1-pT))]	0.0567	0.0807	0.9194	0
4	150	(1-p3)•pL•[p1•pT•(1-p2)+p2•(p1•(1-pT)+(1-p1)•pT+(1-p1)•(1-pT))]	0.0030	0.0239	0.9761	20
5	60	p3•{pL•(1-p2)•[p1•(1-pT)+pT•(1-p1)+(1-pT)•(1-p1)]+ +(1-pL)•[p1•p2•pT+(1-p1)•p2•pT+ +p1(1-p2)•pT+(1-pT)•p1•p2+(1-p2)•p1•(1-pT)+(1-p2)•(1-p1)•pT+ +(1-p1)•(1-pT)•p2+(1-p1)•(1-p2)•(1-pT)]}	0.0199	0.0209	0.9791	110
6	0	(1-p3)•{pL•(1-p2)•[p1•(1-pT)+pT•(1-p1)+(1-pT)•(1-p1)]+ +(1-pL)•[p1•p2•pT+(1-p1)•p2•pT+ +p1(1-p2)•pT+(1-pT)•p1•p2+(1-p2)•p1•(1-pT)+(1-p2)•(1-p1)•pT+ +(1-p1)•(1-pT)•p2+(1-p1)•(1-p2)•(1-pT)]}	0.0010	0.0010	0.9990	170

$$LOLP = probb(Pdisp < 170) = 0.0239$$

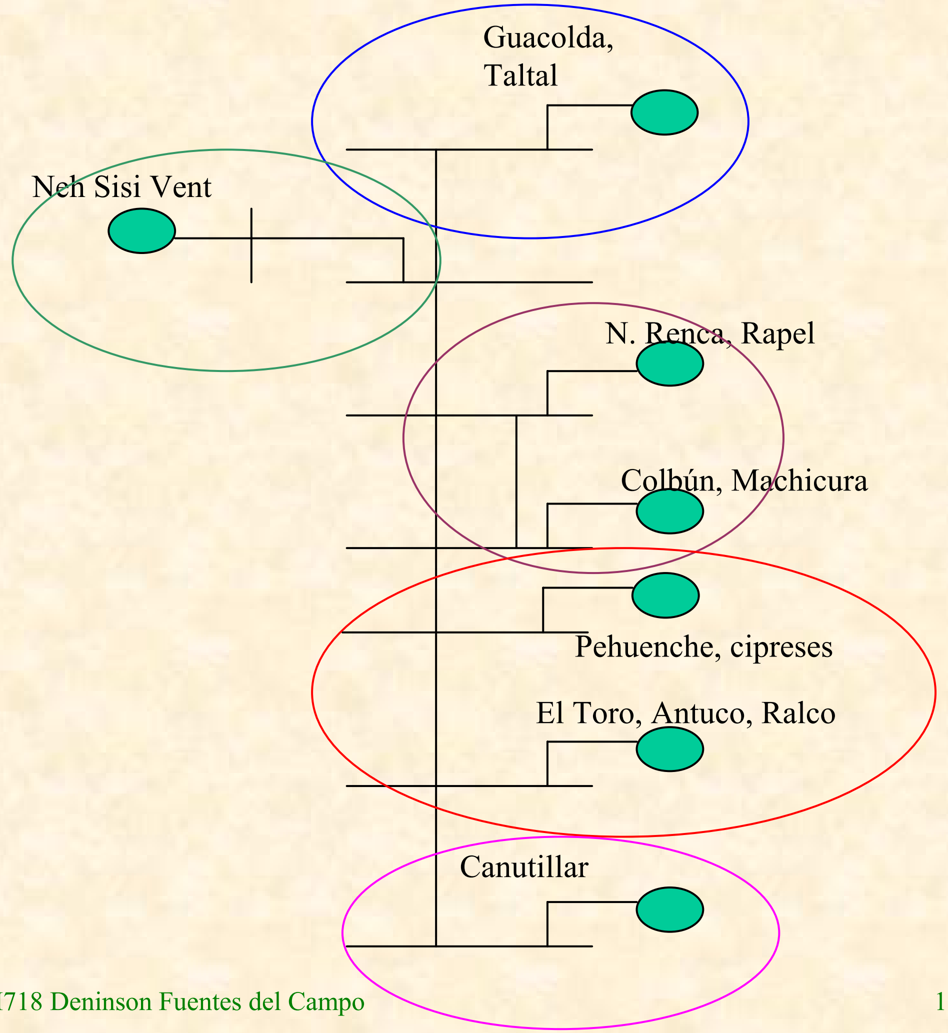
- **Método de probabilidad condicional (Bayes)**

•Área en un SEP : Es un conjunto coherente de elementos eléctricos.

•Coherencia => cercanía eléctrica

•Área en isla: Área que por diversas razones (p.ej. Contingencias) se separan del resto del sistema

SIC



Bayes: Teorema para un conjunto de áreas con capacidad de interconexión.

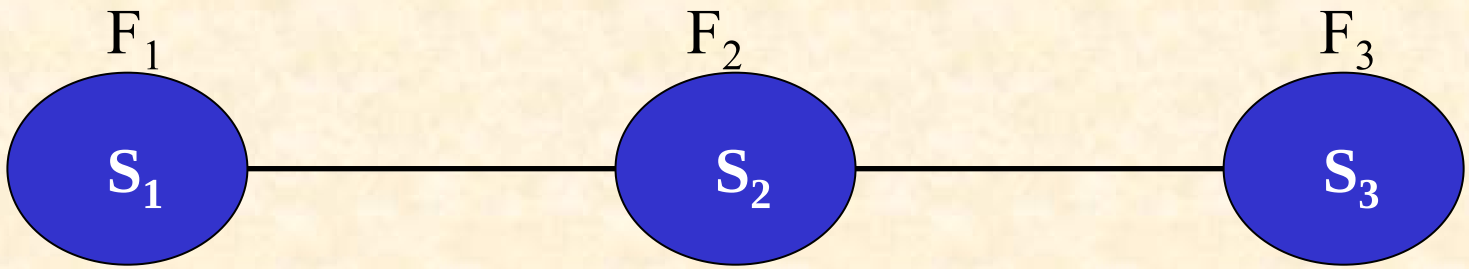
i:escenario

$$P_{falla \quad sistema} = \sum_{i=1}^{n} \left\{ p\left(falla / T_i \right) \cdot p\left(T_i \right) \right\}$$

Problema 3:

Tres subsistemas tienen disponibilidades individuales de F_1, F_2 y F_3 respectivamente. Las líneas que los unen tienen tasa de falla λ_{12} y λ_{23} y los tiempos medios de reposición de ambas son t.

Determine la probabilidad de que falle el sistema completo interconectado. Se sabe que con S_3 aislado la probabilidad de abastecimiento del subsistema 1-2 es de F_{12} y con S_1 aislado ese valor es F_{23}.

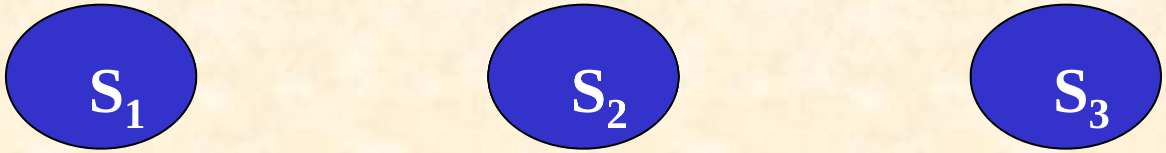


Resp.: disponibilidad de líneas:

$$A_{12} = \frac{\frac{1}{t}}{\lambda_{12} + \frac{1}{t}} \qquad A_{23} = \frac{\frac{1}{t}}{\lambda_{23} + \frac{1}{t}}$$

Se tienen 4 escenarios

Escenario 1: Los 3 subsistemas aislados



$$T_{e1} = \overline{T_{12}} \cdot \overline{T_{23}} \qquad p\left(f / \overline{T_{12}}\,\overline{T_{23}}\right) = 1 - F_1 \cdot F_2 \cdot F_3$$

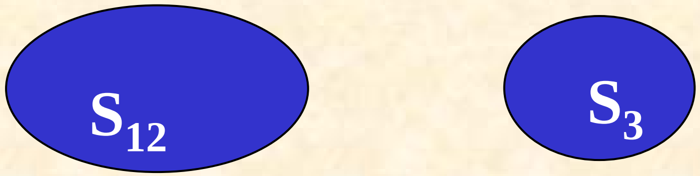
$$p\left(\overline{T_{12}}\,\overline{T_{23}}\right) = \left(1 - A_{12}\right) \cdot \left(1 - A_{23}\right)$$

Escenario 2: S_1 aislado

$$T_{e2} = \overline{T_{12}} \cdot T_{23} \qquad p\left(f / \overline{T_{12}}T_{23}\right) = 1 - F_{23} \cdot F_1$$

$$p\left(\overline{T_{12}}T_{23}\right) = \left(1 - A_{12}\right) \cdot A_{23}$$

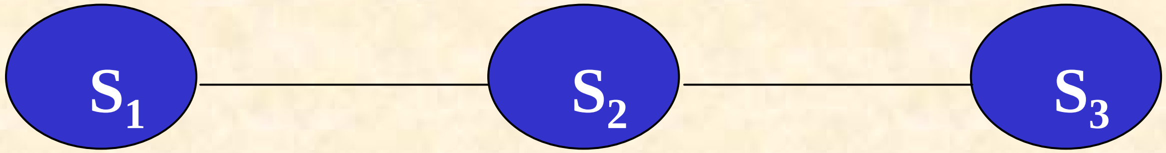
Escenario 3: S_3 aislado



$$T_{e3} = T_{12} \cdot \overline{T_{23}} \qquad p\left(f / T_{12}\overline{T_{23}}\right) = 1 - F_{12} \cdot F_3$$

$$p\left(T_{12}\overline{T_{23}}\right) = A_{12} \cdot \left(1 - A_{23}\right)$$

Escenario 4: 3 subsistemas interconectados



$$p\left(f / T_{12}T_{23}\right) = 1 - F_{123} \approx 0$$

$$\therefore$$

$$p\left(fallasistema\right) = \left(1 - F_1 \cdot F_2 \cdot F_3\right) \cdot \left(1 - A_{12}\right) \cdot \left(1 - A_{23}\right) +$$
$$\left(1 - F_{23} \cdot F_1\right) \cdot \left(1 - A_{12}\right) \cdot A_{23} + \left(1 - F_{12} \cdot F_3\right) \cdot A_{12} \cdot \left(1 - A_{23}\right)$$