

Análisis del modelo de falla-reparación de SimSee

Este breve documento informal se divide en dos secciones:

1. Análisis del modelo de falla-reparación de SimSee
2. Modelado de la degradación de unidades de SG en SimSee

1. Análisis del modelo falla-reparación de SimSee

En los manuales de SimSee no se encontró información detallada del modelo de falla-reparación implementado, limitándose al siguiente extracto del Volumen 1:

3.3.d.iii Modelo de Falla - Reparación.

Internamente, SimSEE crea un modelo de Falla-Reparación para el

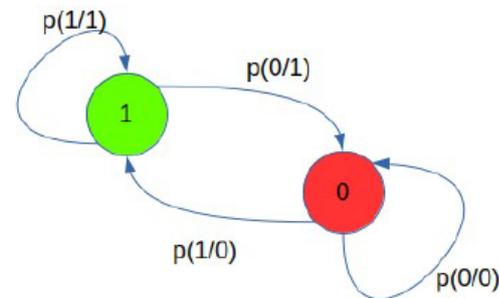


Fig. 38: Modelo de Falla-Reparación de las Unidades.

manejo de la disponibilidad de las unidades de cualquier entidad. Entre los parámetros de la entidad (generalmente entre los parámetros dinámicos) se pueden especificar los parámetros Factor de Disponibilidad (FD) y Tiempo Medio de Reparación (TMR).

El modelo implica el reconocimiento de dos estados posibles de las unidades: Disponible (1) e Indisponible (0) como se muestra en la Fig. 38 y la definición de probabilidades de transición entre dichos estados. El FD representa la probabilidad de que la unidad esté disponible si la observamos sin conocimiento de su estado anterior. Por ej. un $FD = 0.9$ indicará que si observamos la unidad, sin conocimiento del estado anterior, con un 90% de probabilidad estará en el estado Disponible y con un 10% de probabilidad en estado Indisponible. El Tiempo Medio de Reparación (en horas) representa el valor esperado del tiempo que una vez que la unidad ingresa en el estado Indisponible, permanece en ese estado. En base a los parámetros FD y TMR y a la duración del paso de tiempo de simulación, SimSEE calcula las probabilidades de transición entre los estados aplicables durante la simulación.

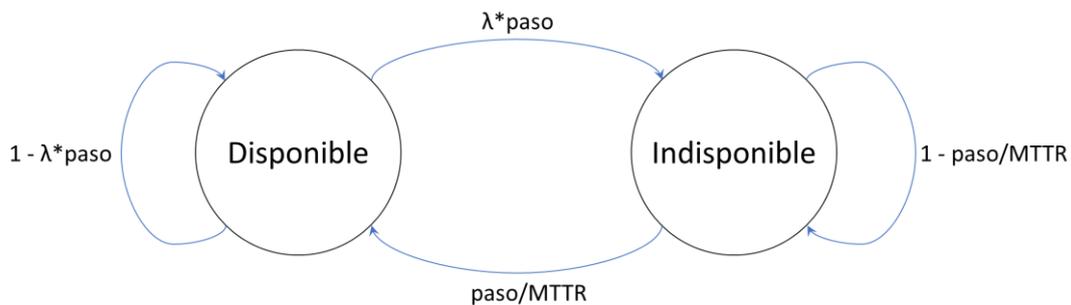
Dada la información faltante y basado en el estudio de bibliografía relacionada, se asumen las siguientes hipótesis:

- El modelo implementado en SimSee corresponde a un Proceso de Markov de dos estados Disponible e Indisponible, de tasa de falla constante (λ) y tasa de reparación

también constante (μ). En consecuencia, el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la tasa de reparación (μ) cumplen la siguiente relación:

- $MTTR = 1/\mu$
- La probabilidad de transición del estado Disponible al estado Indisponible está dada por:
 - $P(\text{Disponible a Indisponible}) = \lambda * \text{paso}$
Siendo "paso" la duración del Paso de tiempo de optimización/simulación de la sala SimSee.
- De igual modo, la probabilidad de transición del estado Indisponible al estado Disponible está dada por:
 - $P(\text{Indisponible a Disponible}) = \mu * \text{paso} = \text{paso}/MTTR$
Nuevamente, "paso" es la duración del Paso de Tiempo de la sala SimSee.

Bajo las hipótesis anteriores, se tiene que el modelo de falla-reparación de actores implementado en SimSee puede representarse mediante el Proceso de Markov descrito según la siguiente figura:



Resolviendo, se obtiene que el Factor de Disponibilidad (FD) definido como el porcentaje de tiempo (en pu) en el cual el actor se encuentra disponible se calcula como:

$$FD = \frac{1}{\lambda \cdot MTTR + 1} \quad [\text{ec.1}]$$

Donde se sobreentiende que λ y MTTR están expresados en mismas unidades de tiempo. Por ejemplo, λ en fallas/año y MTTR en años, o λ en fallas/h y MTTR en hs.

La ecuación ec.1 anterior resulta de relevancia para el modelado de las fallas de unidades de SG, dado que SimSee solicita como datos de entrada FD y MTTR.

2. Modelado de la degradación de unidades de SG en SimSee

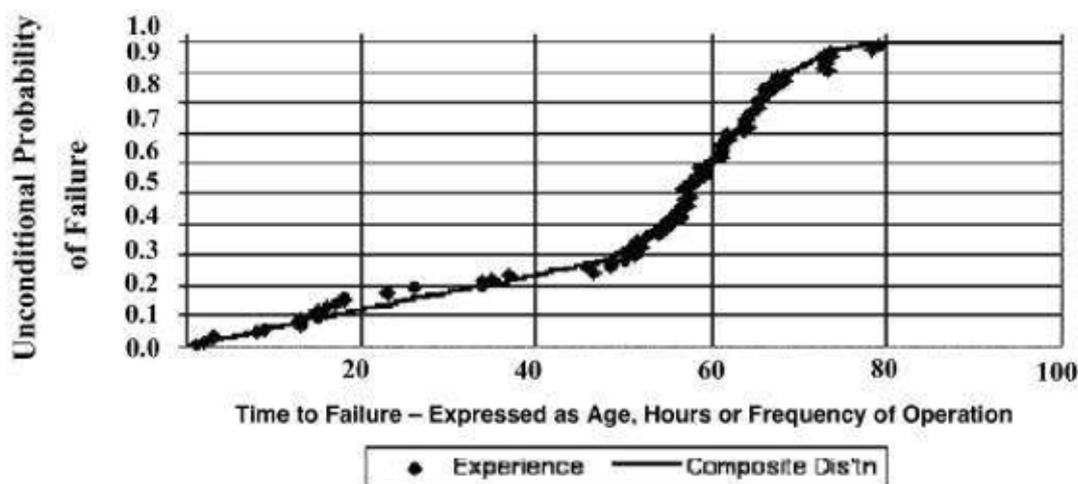
Como se vio en la sección anterior, se requiere el FD y el MTTR de las unidades de SG para el modelado de su degradación en SimSee. El proceso para la determinación de ambos parámetros se resume a continuación:

- Se toma como datos base del deterioro de las unidades de SG la curva detallada en la Figura 25 del informe BID: “Evaluación Económica y Financiera de la Modernización del Complejo Hidroeléctrico Salto Grande (ATN/OC-16557-RG)” de octubre de 2018. Dicha Figura detalla la Función de Distribución de probabilidad de falla catastrófica de las unidades de SG ($F(t)$).

Adicionalmente, se destaca que el mencionado informe también ofrece la probabilidad de falla catastrófica de los transformadores principales. Sin embargo, para el proyecto SimSee para el cual se realiza este análisis, se considera válido no considerar la falla catastrófica de estos transformadores por implicar un Tiempo Medio de Reparación mucho menor al correspondiente a la falla catastrófica de unidades hidrogeneradoras.

- A partir de la curva $F(t)$, se obtiene la tasa de falla $\lambda(t)$ de las unidades de SG, tal como se explicará a continuación.
- Se asume el MTTR. Dado que corresponde a fallas catastróficas se evalúan tres valores a comparar: 10, 20 y 40 años.
- En base a la ec1 de la sección anterior, la tasa de falla λ calculada a partir de $F(t)$ y el MTTR asumido (1, 2 o 3), se obtiene el FD de las unidades de SG a utilizar como dato de entrada en SimSee.

Typical Failure-Probability Curve



Fuente: “REHABILITATION OF HYDROPOWER” An introduction to Economic and Technical issues, J. Goldberg, O.E. Lier. World Bank. ESMAP

Figura 25: $F(t)$ - Función de Distribución de probabilidad de fallas catastróficas de las unidades de SG.

Resta entonces determinar la tasa de falla λ a partir de $F(t)$. Solamente a efectos prácticos y sin ánimos de realizar un desarrollo formal, se brindan a continuación las definiciones y ecuaciones involucradas.

Definiciones:

- Función de Distribución de probabilidad, $F(t)$. Representa la probabilidad de que una unidad falle entre el año 0 y el año t .
- Función de Densidad de probabilidad, $f(t)$. Representa la probabilidad de que una unidad falle en el año t .
- Tasa de falla $\lambda(t)$. Representa la probabilidad (por unidad de tiempo), de que una unidad falle en el año t , en caso de no haber fallado anteriormente.

Ecuaciones:

- $F(t) = \int_0^t f(x)dx \Rightarrow f(t) = F'(t)$ [ec.2]
- $\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{F'(t)}{1-F(t)}$ [ec.3]

En resumen, a partir de $F(t)$ de la Figura 25 se obtiene $\lambda(t)$ mediante la ecuación ec.3, y luego se aplica la ecuación ec.1 para calcular FD asumiendo MTTR igual a 10, 20 y 40 años.

Finalmente, en la siguiente tabla se detallan los parámetros para el modelado en SimSee del deterioro de SG desde 2021 a 2079 realizado mediante el proceso descrito anteriormente y la siguiente consideración:

- Se ajustó $F(t)$ del informe BID utilizado como referencia mediante una distribución de Weibull (típica en análisis de confiabilidad) de parámetros $a = 60.2306$ y $b = 5.5353$.

$$F_{Weibull}(t) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$$

Año	FD (MTTR = 10 años)	FD (MTTR = 20 años)	FD (MTTR = 40 años)
2021	0.856	0.748	0.598
2022	0.842	0.727	0.572
2023	0.828	0.706	0.546
2024	0.813	0.685	0.521
2025	0.797	0.663	0.496
2026	0.781	0.641	0.471
2027	0.764	0.619	0.448
2028	0.747	0.596	0.425
2029	0.730	0.574	0.403
2030	0.712	0.553	0.382
2031	0.694	0.531	0.361
2032	0.675	0.510	0.342
2033	0.657	0.489	0.323
2034	0.638	0.468	0.306
2035	0.619	0.449	0.289
2036	0.601	0.429	0.273
2037	0.582	0.411	0.258
2038	0.564	0.393	0.244
2039	0.546	0.375	0.231
2040	0.528	0.358	0.218
2041	0.510	0.342	0.206
2042	0.493	0.327	0.195
2043	0.476	0.312	0.185
2044	0.459	0.298	0.175
2045	0.443	0.284	0.166
2046	0.427	0.272	0.157
2047	0.412	0.259	0.149
2048	0.397	0.248	0.141
2049	0.383	0.237	0.134
2050	0.369	0.226	0.127
2051	0.355	0.216	0.121
2052	0.343	0.207	0.115
2053	0.330	0.198	0.110
2054	0.318	0.189	0.105
2055	0.307	0.181	0.100
2056	0.296	0.174	0.095
2057	0.285	0.166	0.091
2058	0.275	0.160	0.087
2059	0.266	0.153	0.083
2060	0.256	0.147	0.079
2061	0.248	0.141	0.076
2062	0.239	0.136	0.073
2063	0.231	0.131	0.070
2064	0.224	0.126	0.067
2065	0.216	0.121	0.065
2066	0.209	0.117	0.062
2067	0.203	0.113	0.060
2068	0.196	0.109	0.058
2069	0.190	0.105	0.056
2070	0.185	0.102	0.054
2071	0.179	0.098	0.052
2072	0.174	0.095	0.050
2073	0.169	0.092	0.048
2074	0.165	0.090	0.047
2075	0.160	0.087	0.045
2076	0.156	0.085	0.044
2077	0.152	0.082	0.043
2078	0.148	0.080	0.042
2079	0.145	0.078	0.041

3. Anexo

Se adjunta planilla de cálculo utilizada y se muestran algunos gráficos del ajuste realizado.



Representación de fallas de actores en

