

## Indicadores De Desempeño

### Introducción

El sistema de control y/o SCADA a suministrar deberá permitir calcular para las Unidades Generadoras y la Planta fotovoltaica en su conjunto, de manera automática las variables e indicadores definidos en esta sección y que se basan en el documento IEEE “Reliability Terminology and Formulae for Photovoltaic Power Systems”. Este documento extiende el estándar ANSI/IEEE 762 con definiciones de los términos confiabilidad, disponibilidad y productividad de Unidades Generadoras Fotovoltaica.

El oferente deberá incluir en su oferta todo suministro o trabajo necesario para la lectura y procesamiento de las diferentes magnitudes físicas y/o variables de estado a partir de las cuales puedan calcularse los indicadores definidos en esta sección. A modo de ejemplo y sin que esta lista sea taxativa, se considerará incluido en el suministro: transductores de señal, canalizaciones y cableados, borneras y conexiones, controladores lógicos programables, fuentes, gabinetes, computadoras, equipos de red, licencias de software, horas de montaje, horas de programación, horas de prueba, etc. Todo suministro o trabajo no mencionado específicamente en este pliego pero que sea necesario para un correcto funcionamiento de acuerdo a lo solicitado previamente, deberá ser suministrado por el adjudicatario sin que esto le genere derecho a compensación económica alguna.

El sistema ofertado integrará en una única solución el alcance y los requisitos de la presente sección junto a toda otra exigencia indicada en las demás secciones del pliego. No serán aceptables sistemas individuales que no se hallen integrados en un mismo sistema de control.

### Terminología, variables e indicadores

El documento IEEE “*Reliability Terminology and Formulae for Photovoltaic Power Systems*” extiende el estándar **ANSI/IEEE 762** con definiciones de los términos confiabilidad, disponibilidad y productividad de Unidades Generadoras Fotovoltaica y la Planta en su conjunto.

Para esto, define primeramente estados, tiempos y capacidades que se presentan a continuación.

La definición de Unidad Generadora y Planta Fotovoltaica son aquellas incluidas en el cuerpo del pliego.

### Definiciones de Estados:

Una Unidad Generadora puede encontrarse en cualquiera de los siguientes estados:

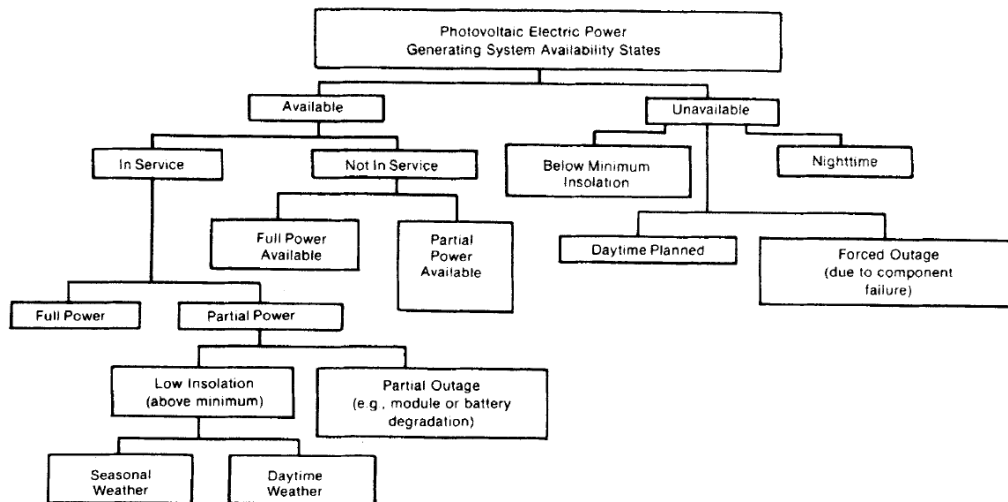


Figura 1 - Diagrama de estados para Unidades Generadoras Fotovoltaicas

- **Disponible (Available):** Es el estado en que una Unidad Generadora es capaz de proporcionar energía (total o parcial), sea que se encuentre en uso o no. Este estado se subdivide en las siguientes categorías:
  1. **En servicio (In Service):** Es el estado en que una Unidad Generadora está proporcionando salida de potencia a la carga designada.
    - **Máxima Potencia (Full Power):** Es el estado en que una Unidad Generadora está proporcionando la Potencia máxima<sup>A</sup> posible según la zona geográfica en la que se encuentra ubicado.
    - **Potencia parcial (Partial Power):** Es el estado en que una Unidad Generadora está disponible, pero está proporcionando salida de Potencia parcial<sup>B</sup> debido a un bajo nivel de irradiancia (pero por encima del mínimo nivel requerido para generar) o la degradación de la función de un componente (por ejemplo, falla de un módulo fotovoltaico).
  2. **En reserva (Not in Service):** Es el estado en que una Unidad Generadora es capaz de proporcionar potencia, pero no está conectada a la carga designada.
    - **Máxima potencia (Full Power):** Es el estado en que una Unidad Generadora es capaz de proporcionar la Potencia máxima según la zona geográfica en la que está ubicada, pero no está conectada a la carga designada.
    - **Potencia parcial (Partial Power):** Es el estado en que una Unidad Generadora es capaz de proporcionar salida de Potencia parcial debido a un bajo nivel de irradiancia (pero por encima del mínimo nivel requerido para generar) o la degradación de la función de

<sup>A</sup> Ver definición de Potencia máxima en Definiciones de Tiempo y Potencia.

<sup>B</sup> Ver definición de Potencia parcial en Definiciones de Tiempo y Potencia.

un componente (por ejemplo, falla de un módulo fotovoltaico), pero no está conectada a la carga designada.

- **No disponible (Unavailable):** Es el estado en que una Unidad Generadora no es capaz de proporcionar energía debido a una salida forzada, encontrarse en horas nocturnas, condiciones por debajo del mínimo nivel de irradiancia o mantenimiento planeado. Este estado se subdivide en las siguientes categorías:
  1. **Nivel de irradiancia inferior al mínimo requerido para generar [Below Minimum Insolation):** Es el estado en que una Unidad Generadora no proporciona salida de energía porque la irradiancia está por debajo del mínimo nivel requerido para activar el subsistema de acondicionamiento de energía.
  2. **Salida Forzada (Forced Outage):** Es el estado en que una Unidad Generadora no está disponible debido a una falla catastrófica en un componente resultando en pérdida o salida inadecuada de potencia.
  3. **Mantenimiento Diurno Planeado (Daytime Planned):** Es el estado en que una Unidad Generadora no está proporcionando salida de potencia debido a un mantenimiento planificado realizado en un subsistema o componente durante un periodo de tiempo en el que fue necesitado (en un periodo de tiempo en el que fue solicitada potencia de salida).
  4. **Horas nocturnas (Nighttime):** Es el estado en que una Unidad Generadora no está proporcionando salida de potencia debido a las condiciones de nocturnidad.

### Definiciones de Tiempo y Potencia:

La Figura 2 ilustra gráficamente la composición de tiempos asociados a los estados ya definidos y las potencias de salida posibles.

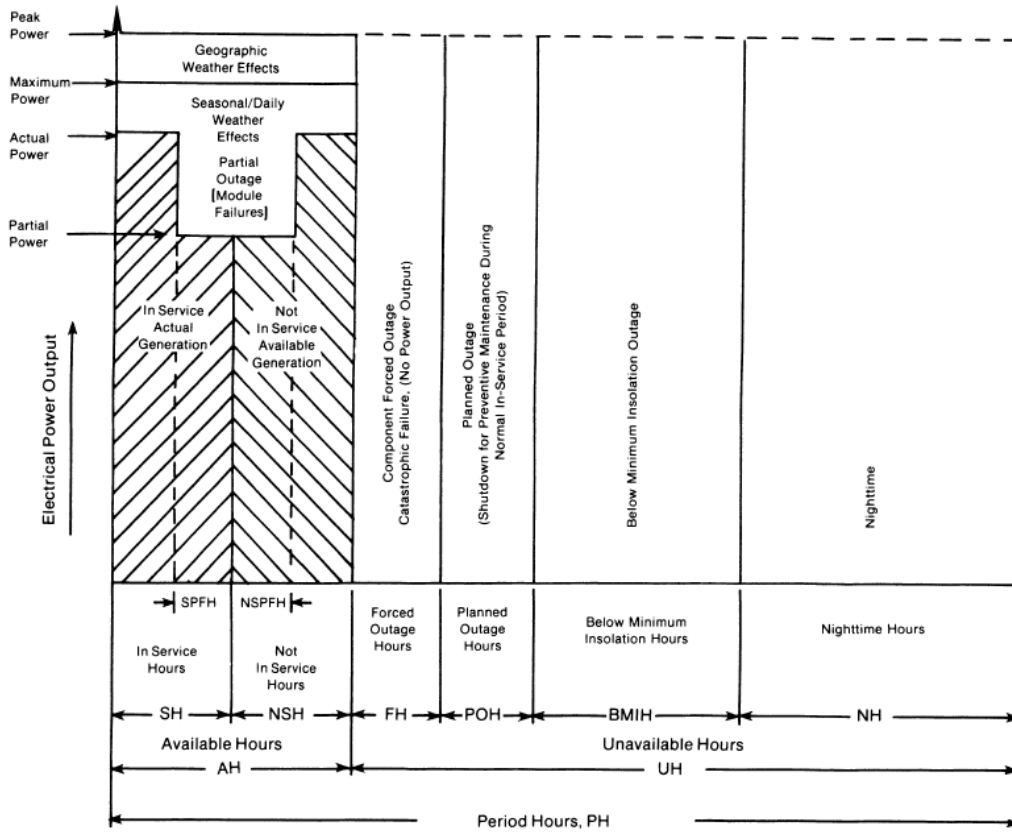


Figura 2 - Potencia de Salida/Relaciones de Tiempo

### Definiciones de Tiempo:

- **Horas del periodo (Period Hours - PH):** Horas reloj en el periodo bajo consideración, un año = 8736 horas.

$$PH = AH + UH$$

- **Horas disponibles (Available Hours - AH):** Tiempo en horas durante el cual una Unidad Generadora es capaz de proveer servicio.

$$AH = SH + NSH^c$$

- **Horas no disponibles (Unavailable Hours - UH):** Tiempo en horas durante el cual una Unidad Generadora no está proporcionando potencia debido a salidas forzadas, salidas planificadas, bajo nivel de irradiancia y condiciones de nocturnidad.

<sup>c</sup> Para los reportes e informes se utilizará Reserve Shutdown Hours (RSH) en lugar de Not in Service Hours (NSH), a efectos de emplear la terminología del estándar IEEE 762.

$$UH = FH^D + POH + BMIH + NH$$

- **Horas en servicio (*Service Hours* - SH):** Número total de horas en que una Unidad Generadora cumple con la demanda de carga.
  - **Horas en servicio con salida parcial (*In-Service Partial Outage Hours* - SPFH<sup>E</sup>):** Tiempo en horas durante el cual una Unidad Generadora está en servicio, pero proporciona Potencia parcial a la carga debido a una degradación por falla (por ejemplo: falla de un módulo).
- **Horas en reserva (*Not in Service Hours* - NSH<sup>F</sup>):** Número total de horas en que una Unidad Generadora no está en servicio, a pesar de que está disponible para el mismo.
  - **Horas en reserva con potencia parcial (*Not In Service Partial Outage Hours* - NSPFH<sup>G</sup>):** El tiempo en horas durante el cual la Unidad Generadora no está en servicio, pero disponible para proporcionar potencia parcial.
- **Horas de salida forzada (*Forced Hours* - FH<sup>H</sup>):** Tiempo en horas durante el cual una Unidad Generadora no está proporcionando salida de potencia debido a una falla.
- **Horas de salida planeada (*Planned Outage Hours* - POH):** Tiempo en horas durante el cual una Unidad Generadora no está proporcionando potencia debido a mantenimiento planificado realizado en un subsistema o componente cuando fue solicitada potencia de salida.
- **Horas por debajo de la mínima irradiancia (*Below Minimum Insolation Hours* - BMIH):** Tiempo en horas durante el cual una Unidad Generadora no está proporcionando salida de potencia debido a que el nivel de irradiancia es inferior al mínimo requerido para generar.
- **Horas nocturnas (*Nighttime Hours* - NH):** Tiempo en horas durante el cual la Unidad Generadora no está proporcionando salida de potencia debido a las condiciones de nocturnidad.

---

<sup>D</sup> Para los reportes e informes se utilizará Forced Outage Hours (FOH) en lugar de Forced Hours (FH), a efectos de emplear la terminología del estándar IEEE 762.

<sup>E</sup> Para los reportes e informes se utilizará In-Service Unit Derated Hours (IUNDH) = In-Service Planned Derated Hours (IPDH) + In-Service Unplanned Derated Hours (IUDH) en lugar de In-Service Partial Outage Hours (SPFH), a efectos de emplear la terminología del estándar IEEE 762.

<sup>F</sup> Ver nota 3.

<sup>G</sup> Para los reportes e informes se utilizará Reserve Shutdown Unit Derated Hours (RSUNDH) = Reserve Shutdown Planned Derated Hours (RSPDH) + Reserve Shutdown Unplanned Derated Hours (RSUDH) en lugar de Not In Service Partial Outage Hours (NSPFH), a efectos de emplear la terminología del estándar IEEE 762.

<sup>H</sup> Ver nota 4.

### **Definiciones de Potencia:**

- **Potencia pico ( $P_p$ ):** Potencia de salida de una Unidad Generadora bajo estándares de referencia de irradiancia, temperatura y condiciones de viento.
- **Potencia máxima ( $P_m$ ):** Potencia de salida nominal de una Unidad Generadora en el entorno del mediodía solar.
- **Potencia actual ( $P_a$ ):** Potencia de salida de una Unidad Generadora que es medida en un punto dado en el tiempo cuando el sistema está totalmente disponible. Esta potencia es afectada por la temporada, el día y la hora de irradiación y las condiciones del clima.
- **Potencia parcial ( $P_f$ ):** Potencia de salida de una Unidad Generadora que está disponible, pero actuando en una condición degradada debido a una falla parcial.

### Definiciones de Indicadores:

- **Disponibilidad actual (Availability, Actual -  $A_a$ ):** La probabilidad que una Unidad Generadora esté en condiciones de operación en un momento dado y, por lo tanto, proporciona o es capaz de proporcionar potencia (máxima o parcial) a una carga designada bajo un entorno de aplicación establecido.

$$A_a = \frac{AH}{PH}$$

La disponibilidad de la Planta Fotovoltaica viene dada por:

$$A_{iP} = \frac{\sum AH_i}{\sum PH_i}$$

$AH_i$  = Horas disponible de la Unidad Generadora  $i$ .

$PH_i$  = Horas del periodo de la Unidad Generadora  $i$ .

- **Disponibilidad de diseño (Availability, Design -  $A_d$ ):** La disponibilidad de diseño de una Unidad Generadora dada para condiciones de soporte ideales (por ejemplo, sin tiempo logístico de espera). **MTBF<sub>d</sub>** y **MTTR<sub>d</sub>** consideran los atributos de diseño del sistema (suministrado por el fabricante), utilizando estimaciones de **MTBF** (Tiempo medio entre fallas) y **MTTR** (Duración media para reparar), respectivamente.

$$A_d = \frac{MTBF}{MTBF_d + MTTR_d}$$

- **Disponibilidad equivalente (Availability, Equivalent -  $A_e$ ):** La fracción equivalente de tiempo en que una Unidad Generadora pudo producir máxima potencia.

$$A_e = \frac{AH}{PH} - \frac{1}{PH} \left[ \frac{AH(P_m - P_a) + (SPFH + NSPFH)(P_a - P_f)}{P_m} \right]$$

- **Disponibilidad inherente (Availability, Inherent -  $A_i$ ):** La fracción de tiempo en un periodo en que se puede producir potencia máxima o parcial, excluyendo la noche y las horas con irradiancia por debajo del nivel mínimo.

$$A_i = \frac{AH}{PH - (NH + BMIH)}$$

La disponibilidad inherente de la Planta Fotovoltaica viene dada por:

$$A_{iP} = \frac{\sum AH_i}{\sum PH_i - \sum NH_i - \sum BMIH_i}$$

$AH_i$  = Horas disponible de la Unidad Generadora  $i$ .

$PH_i$  = Horas del periodo de la Unidad Generadora  $i$ .

$NH_i$  = Horas nocturnas de la Unidad Generadora  $i$ .

$BMIH_i$  = Horas BMIH de la Unidad Generadora  $i$ .

- **Índice de salidas forzadas (Forced Outage Index - FOI):** La relación entre las “Horas de salida forzada” y las “Horas disponibles más horas de salida forzada”.

$$FOI = \frac{FH}{AH + FH}$$

El índice de salidas forzadas de la Planta Fotovoltaica viene dado por:

$$FOI_P = \frac{\sum FH_i}{\sum AH_i + \sum FH_i}$$

$FH_i$  = Horas de salida forzada de la Unidad Generadora  $i$ .

$AH_i$  = Horas disponible de la Unidad Generadora  $i$ .

- **Factor de servicio (Service Factor - SF):** La relación entre las “horas que una Unidad Generadora proporciona potencia” y el “total de horas del periodo”.

$$SF = \frac{SH}{PH}$$

El factor de servicio de la Planta Fotovoltaica viene dado por:

$$SF_P = \frac{\sum SH_i}{\sum PH_i}$$

$SH_i$  = Horas de servicio de la Unidad Generadora  $i$ .

$PH_i$  = Horas del periodo de la Unidad Generadora  $i$ .



- **Factor de utilización del sistema (System Utilization - U):** La relación entre las “horas que la Unidad Generadora está proporcionando potencia” y el “total de horas disponibles”.

$$U = \frac{SH}{AH}$$

El factor de utilización de la Planta fotovoltaica viene dado por:

$$U_P = \frac{\sum SH_i}{\sum AH_i}$$

$SH_i$  = Horas de servicio de la Unidad Generadora  $i$ .

$AH_i$  = Horas disponible de la Unidad Generadora  $i$ .

Continuando con los indicadores IEEE 762:

- **Factor de salida Planificada (Planned Outage Factor - POF):** La relación de “horas que la Unidad Generadora está en el estado salida planificada” y el “total de horas del periodo”.

$$POF = \frac{POH}{PH}$$

El factor de salida planificada para la Planta fotovoltaica viene dado por:

$$POF_P = \frac{\sum POH_i}{\sum PH_i}$$

$POH_i$  = Horas de Salida Planeada de la Unidad Generadora  $i$ .

$PH_i$  = Horas del periodo de la Unidad Generadora  $i$ .

- **Factor de salida forzada (Forced Outage Factor - FOF):** La relación de “horas que la Unidad Generadora está en el estado salida forzada” y el “total de horas del periodo”.

$$FOF = \frac{FH}{PH}$$

El factor de salida forzada para la Planta fotovoltaica viene dado por:

$$FOF_P = \frac{\sum FH_i}{\sum PH_i}$$

$FH_i = FOH_i =$  Horas de Salida Forzada de la Unidad Generadora  $i$ .

$PH_i =$  Horas del periodo de la Unidad Generadora  $i$ .

- **Factor de indisponibilidad (Unavailable Factor - UF):** La relación de “horas que la Unidad Generadora está en el estado no disponible” y el “total de horas del periodo”.

$$UF = \frac{UH}{PH}$$

$$UF = \frac{FH + POH + BMIH + NH}{PH}$$

El factor de indisponibilidad para la Planta Fotovoltaica viene dado por:

$$UF_P = \frac{\sum UH_i}{\sum PH_i}$$

$$UF_P = \frac{\sum FH_i + \sum POH_i + \sum BMIH_i + \sum NH_i}{\sum PH_i}$$

$FOH_i =$  Horas de Salida Forzada de la Unidad Generadora  $i$ .

$POH_i =$  Horas de Salida Planeada de la Unidad Generadora  $i$ .

$BMIH_i =$  Horas BMIH de la Unidad Generadora  $i$ .

$NH_i =$  Horas nocturnas de la Unidad Generadora  $i$ .

$PH_i =$  Horas del periodo de la Unidad Generadora  $i$ .

- **Promedio de carga:**

$$ME = \frac{MWh \text{ generados bruto}}{SH}$$

Los MWh generados bruto corresponde a la energía generada por la Unidad Generadora previo a transformaciones y pérdidas.

El promedio de carga de la Planta Fotovoltaica viene dado por:

$$ME = \frac{\sum MWh \text{ generados bruto}_i}{\sum SH_i}$$

- **Duración media de salida planeada (Mean planned outage duration - MPOD):**

$$MPOD = \left( \frac{POH^*}{\text{Número de salidas planeadas desde el estado en servicio}} \right)$$

Luego se realiza el promedio de la Planta Fotovoltaica como:

$$MPOD_{central} = \frac{\sum_1^n (MPOD_i * P_i)}{P_{tot}}$$

$POH^* = POH$  que provienen del estado "en servicio".

$n =$  cantidad de Unidades Generadoras de la central.

$MPOD_i =$  MPOD de la Unidad Generadora  $i$ .

$P_i =$  Potencia máxima de la Unidad Generadora  $i$ .

$P_{tot} =$  Potencia máxima de la central (Planta Fotovoltaica).

- **Duración media de salida forzada (Mean forced outage duration - MFOD):**

$$MFOD = \left( \frac{FOH^*}{\text{Número de salidas forzadas desde el estado en servicio}} \right)$$

Luego se realiza el promedio de la Planta Fotovoltaica como:

$$MFOD_{central} = \frac{\sum_1^n (MFOD_i * P_i)}{P_{tot}}$$

$FOH^* = FOH$  que provienen del estado "en servicio".

$n =$  cantidad de Unidades Generadoras de la central.

$MFOD_i =$  MFOD de la Unidad Generadora  $i$ .

$P_i =$  Potencia máxima de la Unidad Generadora  $i$ .

$P_{tot} =$  Potencia máxima de la central (Planta Fotovoltaica).

- **Tiempo medio de servicio hasta una salida planeada (Mean Service time to planned outage - MSTPO):**

$$MSTPO = \left( \frac{SH}{\text{Número de salidas planeadas desde el estado en servicio}} \right)$$

Luego se realiza el promedio de la Planta Fotovoltaica como:

$$MSTPO_{central} = \frac{\sum_1^n (MSTPO_i * P_i)}{P_{tot}}$$

$n$  = cantidad de Unidades Generadoras de la central.

$P_i$  = Potencia máxima de la Unidad Generadora  $i$ .

$P_{tot}$  = Potencia máxima de la central (Planta Fotovoltaica).

- **Tiempo medio de servicio hasta una salida forzada (Mean Service time to forced outage - MSTFO):**

$$MSTFO = \left( \frac{SH}{\text{Número de salidas forzadas desde el estado en servicio}} \right)$$

Luego se realiza el promedio de la Planta Fotovoltaica como:

$$MSTFO_{central} = \frac{\sum_1^n (MSTFO_i * P_i)}{P_{tot}}$$

$n$  = cantidad de Unidades Generadoras de la central.

$P_i$  = Potencia máxima de la Unidad Generadora  $i$ .

$P_{tot}$  = Potencia máxima de la central (Planta Fotovoltaica).

Indicadores solicitados no incluidos en el estándar IEEE 762 ni en el documento IEEE “Reliability Terminology and Formulae for Photovoltaic Power Systems”:

- **Factor de salida planificada en condiciones de irradiancia superior al mínimo requerido (POF<sub>s</sub>):** La relación de “horas que la Unidad Generadora está en el estado salida planificada en condiciones de irradiancia superior al mínimo requerido” con el “total de horas del periodo en condiciones de irradiancia superior al mínimo requerido”.

$$POF_s = \frac{POH}{PH_s}$$

$$PH_s = PH - NH - BMIH = SH + NSH + FH + POH$$

Para la Planta Fotovoltaica:

$$POF_{SP} = \frac{\sum POH_i}{\sum PH_{Si}}$$

$POH_i$  = POH de la Unidad Generadora  $i$ .

$PH_{Si}$  =  $PH_s$  de la Unidad Generadora  $i$ .

- **Factor de salida forzada en condiciones de irradiancia superior al mínimo requerido (FOF<sub>s</sub>):** La relación de “horas que la Unidad Generadora está en el estado salida forzada en condiciones de irradiancia superior al mínimo requerido” con el “total de horas del periodo en condiciones de irradiancia superior al mínimo requerido”.

$$FOF_s = \frac{FH}{PH_s}$$

$$PH_s = PH - NH - BMIH = SH + NSH + FH + POH$$

Para la Planta Fotovoltaica:

$$FOF_{SP} = \frac{\sum FH_i}{\sum PH_{Si}}$$

$FH_i = FH$  de la Unidad Generadora  $i$ .

$PH_{Si} = PH_s$  de la Unidad Generadora  $i$ .

- **Ratio de salidas forzadas (Forced Outage Rate - FOR):**

$$FOR = \frac{FH}{FH + SH}$$

- **Ratio de salidas forzadas demandadas (Demand Forced Outage Rate - FORd):**

$$FORd = \frac{FHd}{FHd + SH}$$

$FH_d = FH$  que efectivamente fueron demandadas.

- **Factor de Confiabilidad (Reliability Factor - RF):**

$$RF = 1 - FORd$$

- **Factor de Confiabilidad Estricta (RFd):**

$$RFd = 1 - \frac{FHd + EFDHd}{SH + FHd}$$

EFDHd representa el número de horas a potencia máxima que la unidad no generó por encontrarse en el estado en servicio parcial por baja insolación o por falla.

$$EFDHd = \frac{SH(P_m - P_a) + \sum_{i=1}^n SPFH_i * (P_{a_i} - P_{f_i})}{P_m}$$

$SPFH_i =$  Tiempo  $SPFH$  que la Unidad Generadora se encuentra en falla  $i$ .

$P_{a_i} =$  Potencia actual durante la falla  $i$ , suponiendo que no existiese falla.

$P_{f_i} =$  Potencia parcial durante la falla  $i$ .

$i =$  Cada intervalo o episodio de falla.

Para cada intervalo de parcialidad por falla deberá registrarse el tiempo en dicho intervalo y la potencia  $P_{fi}$ .

- **Factor de Capacidad (Capacity Factor - CF):**

$$CF = \frac{MWh \text{ generados}}{PH * P_m}$$

Los MWh generados corresponde a la energía generada por la la Unidad Generadora que es efectivamente aprovechada/vendida.

Para la Planta Fotovoltaica:

$$CF_P = \frac{\sum MWh \text{ generados}_i}{PH_P * P_{m_P}}$$

$MWh \text{ generados}_i$  = MWh generados por la la Unidad Generadora  $i$ .

$PH_P$  = Horas del periodo de la Planta Fotovoltaica.

$P_{m_P}$  = Potencia máxima de la Planta Fotovoltaica.