

Directrices y Criterios del Plan de Actualización Tecnológica de la C.H.I

Antonio Sertich Juan Romero Luis Crema Roberto de Lepeleire
Alfredo Fernandez Pedro Navarro Rui Jovita Silva Wilton R. Cordeiro

Itaipu Binacional

Paraguay

Itaipu Binacional

Brasil

RESUMEN

Las primeras unidades generadoras de la Central Itaipu fueron puestas en servicio en el año 1984, por lo tanto a más de 24 años. No obstante, la tecnología empleada en sus principales equipos electromecánicos es de la década del 70, una tecnología superada. Dichos factores asociados causan la obsolescencia y/o acercamiento al fin de vida útil de algunos sistemas y equipos de la central.

Por otro lado, la Itaipu Binacional se encuentra en una nueva etapa de su vida institucional y operacional, con objetivo claramente expreso en la misión de la entidad: “Generar energía eléctrica de calidad, con responsabilidad social y ambiental, impulsando el desarrollo económico, turístico y tecnológico, sustentable, en el Paraguay y el Brasil”. Dentro de este contexto, se vuelve necesario mantener o mejorar la provisión de energía y la disponibilidad de los equipos e instalaciones, además de minimizar los costos operacionales. Para el cumplimiento de ese objetivo, se inició el proceso de Actualización Tecnológica de las instalaciones de la Central de Itaipu, a ejemplo de lo que ya ha sido realizado por otras empresas del sector eléctrico nacional e internacional. Este artículo presenta los trabajos que están siendo desarrollados con vistas a la Modernización y/o Extensión de la vida útil de los equipos de la Central de Itaipu, y la planificación de los trabajos necesarios en los próximos años.

PALABRAS CLAVES

Actualización Tecnológica, modernización, extensión de vida útil, plan de actualización, disponibilidad operativa

1. INTRODUCCION

La Central Hidroeléctrica de ITAIPU (CHI), con 20 unidades generadoras y 14.000 MW de potencia instalada, suministra 19% de la energía consumida en Brasil y 91% da energía consumida en Paraguay. Las primeras unidades generadoras entraron en servicio en el año de 1984, pero con tecnología del final de la década de 70. Por un lado, algunos componentes de las unidades generadoras ya están alcanzando su fin de vida útil, conforme a conceptos internacionales, y por otro lado, algunos componentes ya no son encontrados en el mercado proveedor. De la misma forma otros equipos y sistemas pertenecientes a las subestaciones y servicios auxiliares también afrontan problemas similares, que caracterizan la obsolescencia y/o fin de vida útil, indicando la necesidad de un proceso de modernización o extensión de su vida útil. Estos hechos llevaron a la ITAIPU a la elaboración de un ambicioso Plan de Actualización Tecnológica (PAT), con el objetivo de mantener o mejorar el suministro de energía y la disponibilidad operativa de las unidades generadoras y demás instalaciones, además de minimizar los costos operacionales. Este trabajo presenta todas las actividades desarrolladas por la ITAIPU con vistas a su Actualización Tecnológica (AT), incluyendo las

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

29, 30 y 31 de Octubre de 2008

directrices y criterios adoptados para la elaboración del plan, la forma de identificación de los equipos y sistemas candidatos a la actualización, la descripción del método adoptado para la elaboración del plan y el plan de actualización tecnológica propiamente dicho.

Basado en la edad operativa de los equipos de Itaipu y en los estudios del EPRI relativos al envejecimiento típico de equipos y sistemas en centrales, la elaboración del plan de actualización tecnológica se ha concentrado en equipos y sistemas convencionales asociados a las funciones de control, comando, medición, protección y regulación, de tecnología predominantemente analógica.

A partir de la identificación de los equipos y sistemas que deberán ser sometidos a la actualización, fueron analizadas varias alternativas de planes con enfoque horizontal y vertical para la elección de la mejor solución. Además, fueron analizadas estrategias de ejecución de los trabajos con y sin remoción previa de los actuales paneles y cables de interconexión, como así también estrategias de trabajo que minimizaran el impacto ocasionado por la sustitución de equipos importantes, como la protección diferencial de las barras de las subestaciones aisladas a gas.

2. CONCEPTOS BASICOS ADOPTADOS

Teniendo en cuenta la heterogeneidad del equipo técnico involucrado, como condición previa al desarrollo de los trabajos, se hizo necesario acordar los conceptos a ser utilizados durante el desarrollo de los trabajos de actualización tecnológica de la Itaipu. Tomando como base las definiciones y conceptos del EPRI, en su publicación intitulada "Hydro Life Extension and Modernization Guide" [1], fueron adaptadas y/o complementadas por Itaipu las siguientes definiciones:

- *Modernización* - proceso por el cual se reemplazan equipos considerados obsoletos o en fin de vida útil, por equipos con tecnología más avanzada o al proceso por cual se incorporan nuevos sistemas con nuevas funcionalidades;
- *Extensión de vida útil* - proceso de sustitución de equipos por otro con tecnología similar;
- *Actualización tecnológica* - Proceso que abarca tanto la modernización como la extensión de vida útil de los sistemas/equipos;
- *Obsolescencia* - Incapacidad de un determinado equipo o sistema en satisfacer parcial o totalmente requerimientos funcionales importantes. La obsolescencia puede ser determinada por 3 causas principales: a) Disponibilidad de piezas de reposición, b) Incapacidad de desempeño de nuevas funcionalidades y c) Disponibilidad de asistencia técnica;
- *Fin de vida útil* - Estado de un equipo/sistema asociado al desgaste excesivo del mismo ("wear out"). El fin de vida útil puede ser identificado por una o más de las siguientes condiciones: a) costo excesivo de mantenimiento, b) baja disponibilidad operativa asociada y c) riesgo introducido a la vida humana, a las instalaciones físicas o al sistema eléctrico.

3. ETAPAS PREVISTAS Y METODOLOGIAS ADOPTADAS

Para la conducción de la Actualización Tecnológica de Itaipu, se adoptó la división del trabajo en las siguientes 5 (cinco) etapas, cada una de ellas con una metodología asociada. Las etapas previstas para la AT de Itaipu están presentadas en la figura 1 a continuación:

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

29, 30 y 31 de Octubre de 2008

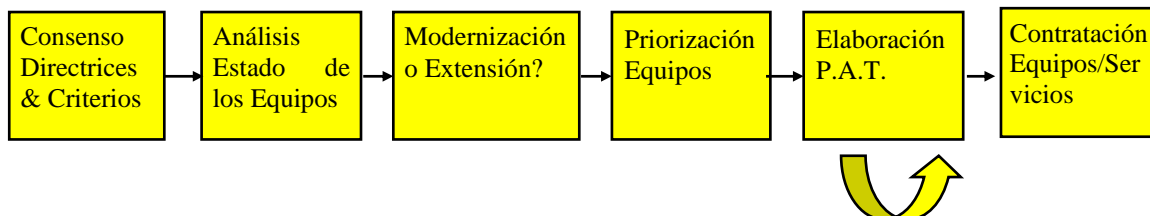


Figura 1: Etapas previstas para la A.T. de Itaipu

La tabla I a continuación muestra el objetivo, los productos específicos y la situación actual de ejecución de cada una de las etapas de actualización tecnológica de la Central Hidroeléctrica de Itaipu:

Tabla I: Productos y Situación de cada etapa

Etapas Previstas	Productos Específicos	Situación actual
Consenso Directrices & Criterios para la A.T.	Criterios p/ identificar equipos obsoletos o en fin de vida útil; Criterios para definir prioridades y tipo de AT aplicable;	Concluida en 2006
Análisis Estado de los Equipos	Conjunto de equipos/sistemas que deben sufrir actualización tecnológica;	Concluida en 2007
Elección del tipo de A.T. aplicable	Definición del tipo de actualización para cada equipo/ sistema: modernización o extensión de vida útil;	Concluida en 2007
Priorización de los Equipos	Asignación de las prioridades a las distintos áreas y unidades generadoras;	Concluida en 2007
Elaboración del Plan de Actual. Tecnológica(*)	Alternativas Planes de Actualización Tecnológica; Estimación de costos y análisis alternativas de proveedores	Concluida en 2008 (*)
Contratación de Equipos & Servicios	Especificaciones técnicas de los nuevos equipos; Central actualizada;	2009 a 2018

(*) La elaboración del PAT es recursiva. A cada 3 años el PAT debe ser revisado/complementado

4. DIRECTRICES Y CRITERIOS APLICABLES A LA A.T. DE ITAIPU

Directrices de Exclusión de Equipos

Teniendo en cuenta definiciones del EPRI al respecto del tiempo de vida útil y la propia experiencia de la Itaipu, de antemano fue excluida la posibilidad de realización en los siguientes equipos:

- Equipos de mecánica pesada de las unidades generadoras o no, tales como turbinas, cojinetes, ejes, compuertas, caja espiral, etc... Este tipo de sistemas/ equipos en centrales hidroeléctricas poseen un horizonte de vida útil típicamente superior a los 30 años;
- Sistemas/equipos con menos de 3 (tres) años de instalación o sistemas/equipos que ya atiendan a los requisitos de la norma IEC 61850;
- Devanados estático y rotórico de los generadores;

Directrices de Inclusión de Equipos

Considerando que varios de los sistemas de operación se encuentran comprometidos y son fuertemente basados en electrónica estática o hasta incluso en electrónica analógica, cuyo ciclo de vida está llegando al fin y cuya tecnología se encuentra obsoleta, se decidió establecer como foco principal la actualización tecnológica dichos sistemas. De antemano entonces quedaron previamente seleccionados los siguientes equipos/sistemas:

- Sistemas convencionales de supervisión, control y protección locales, considerados el foco principal de la actualización tecnológica;
- Regulación, medición y sensores primarios;

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

29, 30 y 31 de Octubre de 2008

- Estación de Tratamiento de Agua (ETA)

Criterios para identificar equipos/sistemas obsoletos o en fin de vida útil

Para el levantamiento de los sistemas/equipos que son pasibles de modernización o extensión de vida útil fue necesaria la realización del análisis de estado ("condition assessment") con el propósito de identificar en forma inequívoca las condiciones de cada equipo. En ese proceso fueron identificados como obsoletos por incapacidad funcional los equipos/sistemas que atendían a los siguientes criterios:

- el sistema/equipo no cumple todas las funcionalidades consideradas obligatorias, o por lo menos 50% de las funcionalidades altamente deseables para a operación de la central;
- el sistema/equipo, aun cuando sometido a pequeñas adaptaciones, no cumple todas las funcionalidades necesarias. La adaptación es considerada pequeña si su modificación no ocasiona reducción imprevista en la potencia disponible de Itaipu.

Fueron identificados como obsoletos por falta de piezas de reposición los equipos/sistemas que atendían a los siguientes criterios en forma simultánea:

- Las piezas de reposición necesarias ya no están disponibles en el mercado;
- El costo de suministro de un lote inmediato de piezas para garantizar como mínimo 15 años de operación no representa más que 50% del costo de una actualización tecnológica.

Por otro lado, fueron clasificados como llegando al fin de su vida útil los equipos/sistemas cuya disponibilidad operativa estuviera baja, atendiendo a por lo menos uno de los siguientes criterios:

- Bajo MTBF con repetición de fallas
- Cuando un sub-componente estuviere limitando claramente el funcionamiento normal del equipo principal (componente limitante)
- Alto MTTR

Si el índice de disponibilidad del equipo en los últimos 3 años fuere inferior a 90% o inferior al promedio histórico en más que 8%, habrá que distinguirse dos situaciones:

- La baja disponibilidad en el período se debe a una falla grave ocurrida que haya causado un grave daño y que las acciones correctivas hayan tomado mucho tiempo debido a la extensión del daño. En este caso no queda caracterizada la necesidad de actualización tecnológica;
- La baja disponibilidad en el período se debe al aumento del tiempo requerido para mantenimiento preventivo y/o al aumento del número de acciones correctivas. En este caso, queda caracterizada la necesidad de actualización tecnológica por baja disponibilidad.

Criterios para definir la prioridad de actualización de las unidades generadoras

La experiencia demostró que debido a la interdependencia funcional entre los distintos equipos/sistemas en la casa de fuerza, la aplicación de diferentes prioridades en la planificación de la actualización de los equipos tiene un efecto muy limitado. No obstante, en lo que a unidades generadoras se refiere, se vuelve importante determinar las prioridades de modernización de las mismas. Más una vez la metodología se basó en los criterios empleados por el EPRI [1] que proponen la adopción de un índice de modernización de las máquinas, que define la prioridad de actualización de las mismas. Para eso, se consideraron 4 (cuatro) factores de influencia:

- tiempo en operación de la unidad generadora (Peso 1);
- condición de la unidad generadora (Peso 2);
- indisponibilidad forzada da unidad generadora en los últimos 4 años (Peso 1);
- indisponibilidad programada da unidad generadora en los últimos 4 años (Peso 1).

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Cada factor es evaluado según un índice normalizado de 0 a 10, siendo “0” un valor teórico que representa el caso más favorable (no habría necesidad de modernización de la unidad) y “10” el peor caso (máxima necesidad de modernización de la unidad). Luego el índice de modernización de las unidades es calculado conforme a la siguiente expresión:

$$I.M. = T. Oper x 1 + Cond. UG x 2 + Indisp. For.x 1 + Indisp. Prog x 1 [1]$$

Criterios para definir el tipo de actualización aplicable

Una vez determinado el diagnóstico de los equipos/sistemas, el flujograma mostrado en la Figura 2 fue empleado para determinar cuál el tipo de actualización tecnológica es aplicable a cada caso.

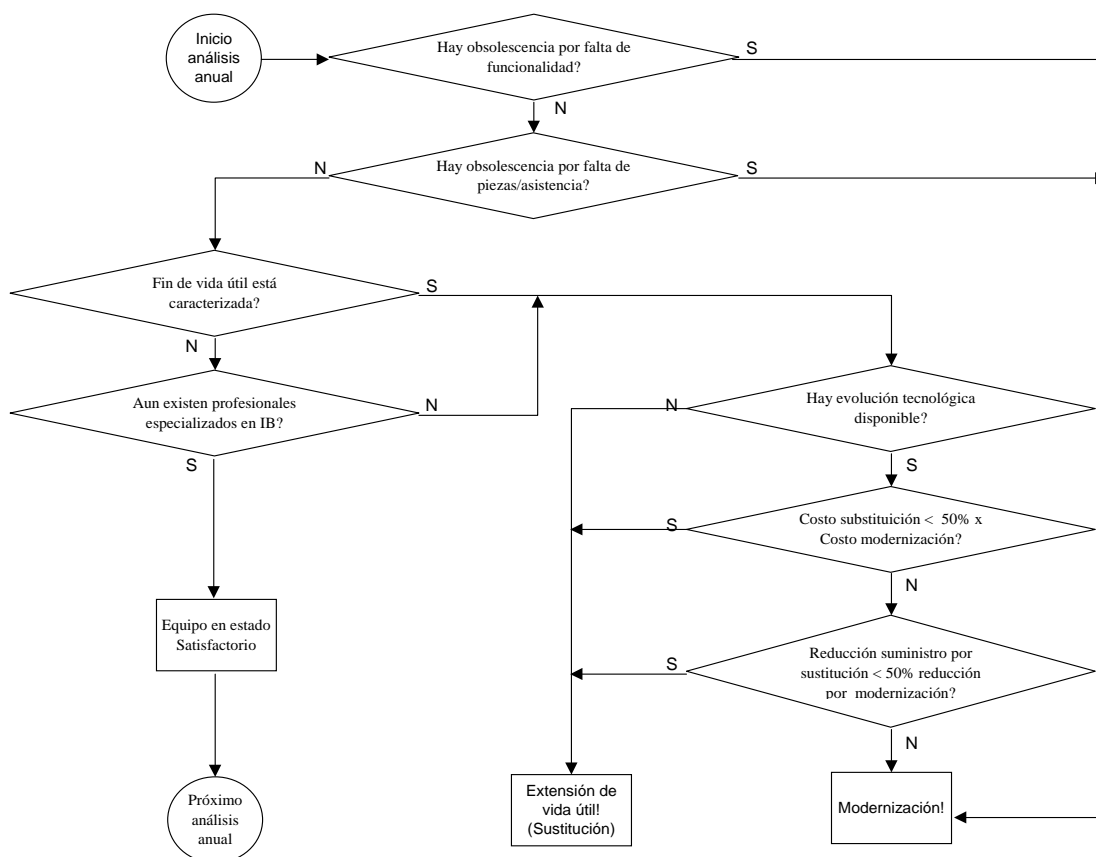


Figura 2: Flujograma que define tipo de Actualización Tecnológica

5. EVALUACION DEL ESTADO DE LOS EQUIPOS/SISTEMAS DE LA CENTRAL

Fueron evaluados el estado de 2.398 equipos/sistemas. Cabe resaltar que, de acuerdo a las directrices de inclusión de equipos/sistemas en la Actualización Tecnológica, el foco principal de la misma estaría sobre las funciones de Supervisión, Comando/Control, Medición, Protección y Regulación, donde la tecnología actual emplea la electrónica digital. De los 2.398 equipos/sistemas analizados la mayoría corresponde a los equipos de esta naturaleza. Fueron constatados los siguientes hechos:

- Existen 1.465 equipos/sistemas que deberán sufrir actualización tecnológica, siendo que 1.314 por obsolescencia, 51 por final de vida útil y 100 por ambas razones;

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

29, 30 y 31 de Octubre de 2008

- Del total de equipos/sistemas analizados, 774 se encontraron en estado satisfactorio;
- Del total de equipos clasificados como obsoletos, 1003 son de naturaleza electrónica, 120 de naturaleza eléctrica y 291 son del tipo mecánico;
- Del total de equipos clasificados como acercándose al final de su vida útil, 104 son de naturaleza electrónica y 47 son del tipo mecánicos.

Cuanto a la distribución de las causas de la obsolescencia, las mismas están indicadas en la tabla II:

Tabla II – Distribución de las causas de la obsolescencia

Causas	Descripción del tipo	Cantidad Afectada
Exclusivas o Únicas	Falta de piezas de reposición	477
	Falta de asistencia técnica	125
	Incapacidad funcional	542
Múltiples	Incapacidad funcional y falta pieza reposición	77
	Falta pieza reposición y falta asistencia técnica	148
	Incapacidad funcional y falta asistencia técnica	25
	Por las 3 causas anteriores	20

6. ELABORACION DEL PAT

Análisis de las alternativas con enfoque vertical versus horizontal

La tabla a continuación presenta un sumario de las ventajas y desventajas de la actualización tecnológica con enfoque vertical versus horizontal:

Tabla III: Cuadro comparativo de los enfoques vertical y horizontal

Aspecto	Enfoque de implantación de la A.T.	
	Vertical	Horizontal
Costo de suministro de la A.T.	Equivalentes	Equivalentes
Integración de sistemas y necesidad de etapas intermedias	Ventaja	Desventaja
Disponibilidad operativa de las UGs	Ventaja	Desventaja
Facilidad de mantenimiento	Desventaja	Ventaja
Confiabilidad	Ventaja	Desventaja
Reaprovechamiento de piezas	Ventaja	Desventaja

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Dados todos los aspectos analizados, de una forma general, la alternativa de actualización tecnológica de las unidades generadoras en forma vertical (unidad por unidad, una de cada vez), es superior a la alternativa horizontal. (un sub-sistema de unidad de cada vez hasta cubrir todas las unidades). Dicha superioridad queda aun más evidente, cuando se compara el tiempo total requerido para la actualización tecnológica en el aspecto más importante, que es la disponibilidad operativa de las unidades, conforme mostrado en la figura 4:

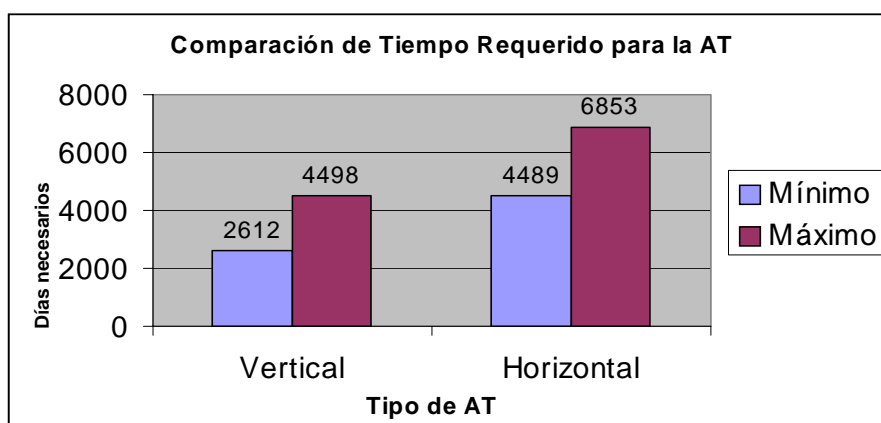


Figura 4: Comparación de tiempos requeridos para actualizar las unidades

Criterios para elaboración del PAT

Para la elaboración de los Planes de Actualización Tecnológica, se adoptaron algunos criterios que guardan estricta relación con la interdependencia funcional entre los equipos, cantidad de unidades que son indisponibilizadas, secuencia de actualización tecnológica de las mismas y de las demás áreas de la CHI. A continuación se presentan los criterios que son comunes a ambas alternativas:

- Indisponibilización de sola una unidad generadora de cada vez;
- Fueron elaborados 2 (dos) conjuntos de Planes de Actualización Tecnológica, siendo uno del tipo Vertical y otro del tipo Horizontal;
- Para cada conjunto (vertical y horizontal) fueron elaboradas 2 (dos) simulaciones de plan, siendo una con tiempos de trabajo no optimizados y otra con tiempos de trabajo optimizados;
- Para el tiempo de trabajo no optimizado, también denominado como de tiempo máximo, se consideró la hipótesis de la remoción previa parcial de los cables que no serán reutilizados, mayor reaprovechamiento de piezas viejas y la remoción previa total de los paneles viejos antes del montaje del nuevo y desconexión de la UG;
- Para el tiempo de trabajo optimizado, se consideraron tiempos de trabajo menores para los paneles considerados críticos, donde se asumió la simple desconexión de los cables viejos, menor reaprovechamiento de piezas viejas y pre-montaje de algunos paneles nuevos sin desconexión previa de la UG;

Areas independientes identificadas

Al analizar las ventajas y desventajas de correr licitaciones diferentes para las distintas áreas de la Central, se encuentran un número mayor de ventajas si se realiza dicho proceso en forma independiente para cada área. Dentro de ese contexto, se han identificado 4 (cuatro) áreas de la CHI cuyos proyectos de actualización tecnológica podrán ser licitados y gerenciados separadamente:

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ

29, 30 y 31 de Octubre de 2008

- Servicios Auxiliares de la Casa de Fuerza y Presa Principal
- Unidades Generadoras / Subestación GIS y Control centralizado
- Subestación Margen Derecha (SEMD)
- Vertedero

Plan simplificado de Actualización Tecnológica de la Itaipu

En la figura 5 se presenta una versión simplificada de un Plan de Actualización Tecnológica de la Central de Itaipu, alternativa vertical con tiempos de trabajo optimizados. Se puede observar, que :

- El tiempo promedio necesario para actualizar una unidad generadora es de 128 días calendario o aproximadamente 90 días hábiles;
- El tiempo total requerido para actualización de todas las unidades es de 2662 días con previsión de conclusión para el año 2018.

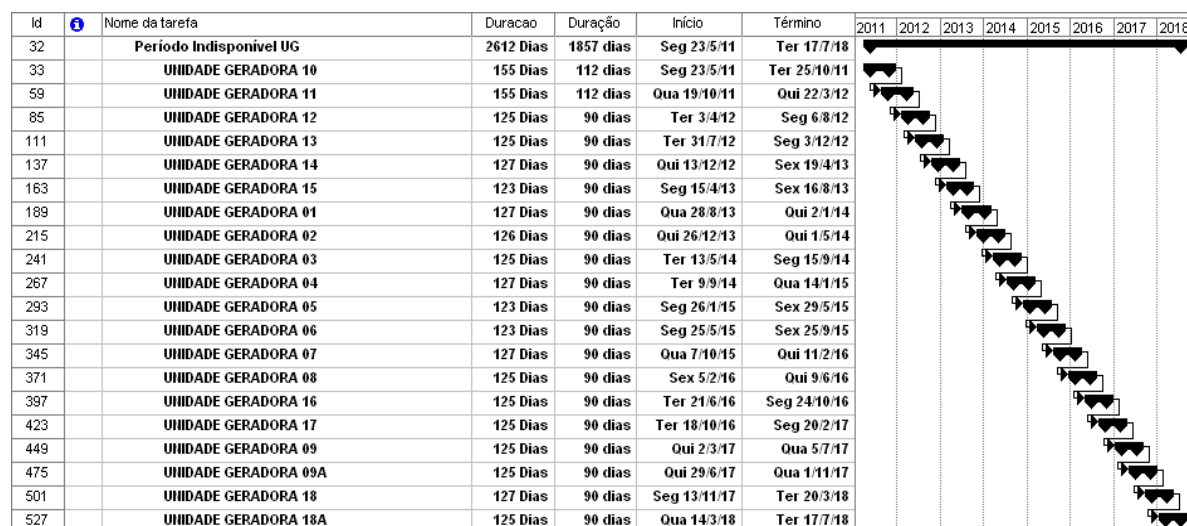


Figura 5: PAT simplificado de las unidades generadoras

7. CONSIDERACIONES FINALES

El tiempo estimado para la ejecución del PAT de Itaipu, es de aproximadamente 09 años, incluyendo la SEMD, Vertedero, Servicios Auxiliares y Presa Principal, cuya actualización será realizada en juntamente con la actualización de las Unidades Generadoras, subestación aislada a gas y el control centralizado. Este tiempo representa el mejor caso de ejecución de los servicios agregado de un pequeño margen de seguridad. En el periodo previsto de 2011 al 2018, caso el plan sea aprobado, Itaipu operaría con una unidad generadora a menos.

BIBLIOGRAFIA

[1] Electrical Power Research Institute: “Hydro Life Extension Modernization Guide – Volume 1: Overall Process”. EPRI Licensed Material, Palo Alto – CA, 1999, TR-112350-V1.