

**Ex - Comité de Estudio 35
Comunicaciones y Telecontrol de Sistemas de Potencia**

**COMUNICACIONES PARA LA FORMACIÓN DE ISLAS ELÉCTRICAS
DEL SISTEMA ARGENTINO DE INTERCONEXIÓN**

Pedro E. Issouribehere(*), Daniel A. Esteban
IITREE - Universidad Nacional de La Plata

José Rodríguez, Alfredo Gutiérrez
CAMMESA

RESUMEN

El Sistema de Comunicaciones descrito tiene por misión dar soporte al “Proyecto Islas Eléctricas del Sistema Argentino de Interconexión”. Etapa I.

Se presenta la definición de un Sistema de Referencia que permite caracterizar en forma general los requerimientos del Sistema de Telecomunicaciones y Teleprotección con el objetivo de estimar un costo mínimo justificable para la aplicación y un plazo acorde en su ejecución.

PALABRAS CLAVE

Telecomunicación - Teleprotección – Disponibilidad – Dependibilidad - Topología – Vínculos – Modelo - Sistema de Referencia.

1.0. INTRODUCCION.

El Proyecto de Islas tiene como función esencial proteger distintas áreas del país - en particular el Gran Buenos Aires, el Centro y el Litoral – de los efectos adversos de las contingencias extremas que ocurran en el resto del Sistema Argentino de Interconexión, las que según su localización y grado de severidad, podrían conducir al colapso parcial o total del sistema de producción y transporte de energía eléctrica. La estrategia de protección se basa en la formación automática de islas equilibradas.

Ante la detección de las condiciones eléctricas causales de un previsible colapso debe actuar un sistema de protecciones que desconecte al Area del resto del país y, para que la Isla subsista, debe actuar sobre cargas, generadores y reconfigurar las redes.

Las acciones sobre el Sistema Eléctrico se resuelven por lógicas situadas localmente con información de señales de estado y consenso remotas, en cada una de

las Subestaciones Eléctricas de Alta Tensión, es por ello que la aplicación debe ser coordinada en tiempo real entre varios puntos geográficamente dispersos, para lo cual se requiere el Subsistema de Comunicaciones.

La información a transmitir consiste en estados y comandos emitidos por las lógicas de las Subestaciones Eléctricas e implementadas con PLC. En la figura 1 se esquematizan los sistemas involucrados en dos Estaciones Transformadoras y su respectivo vínculo para la transferencia de información entre ellas.

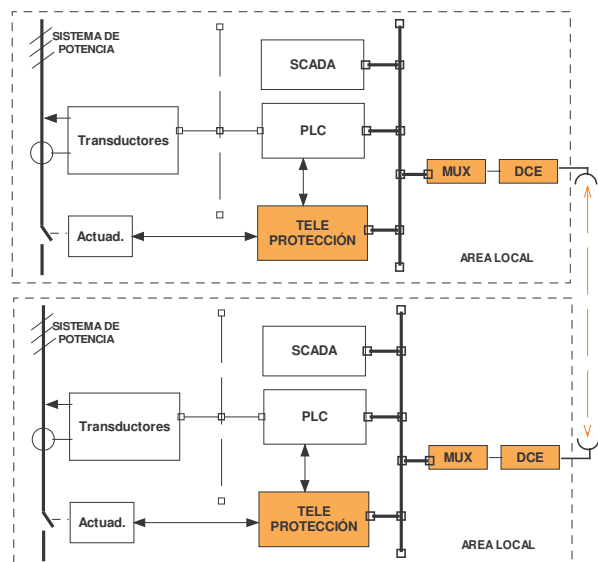


FIGURA1 – Esquema de la vinculación entre los sistemas de dos Estaciones transformadoras.

El estado normal del sistema es el de reposo, estados sin cambios y sin comandos a ejecutar. Cuando se

detecten en las Subestaciones Eléctricas las condiciones de protección se enviarán las señales descriptas. El proceso tiene un tiempo de ejecución total máximo del orden de 300 ms. De ese total, el proyectista del sistema eléctrico ha asignado 30 ms al Subsistema de Comunicaciones.

La cadencia de actuación estimada del Sistema de Islas es de una operación cada 3 a 6 años.

Dada la importancia de la aplicación se prevén muy especiales atributos de Dependibilidad y Seguridad. Esto requiere que el Subsistema de Comunicaciones posea una disponibilidad mayor que 99,996% del tiempo.

También se prevé la transferencia de datos de Telecontrol (SCADA) entre cada uno de los nodos y el Centro de Control del área.

Bajo las definiciones de la norma IEC 60834 (Teleprotection equipment of power systems- Performace and testing), se distingue entre el “Sistema de Telecomunicaciones” y el “Equipamiento de Teleprotección”.

En el presente artículo se presentan los requerimientos de un Sistema de Referencia que contempla ambas partes.

2.0. SISTEMA DE REFERENCIA PARA EL ÁREA GBA.

Consiste en un modelo que contiene todos los elementos de Comunicaciones y Teleprotecciones que

conformarían el Sistema Real. No incluye los demás elementos necesarios para implementar el Sistema de Defensa completo, tales como relés, PLC’s, etc.

Su creación supone los siguientes pasos:

- Se definen los sitios a vincular y la información a transmitir entre ellos.
- Se define una topología de vinculación entre los sitios.
- Se define un medio de transmisión, F.O. o Radio para cada enlace.
- Se definen los requerimientos funcionales y operacionales.

El propósito de este Sistema de Referencia es estimar un costo mínimo justificable para la aplicación y un plazo acorde en su ejecución.

Este Sistema de Referencia deberá ser la base de los documentos técnicos a elaborar para el llamado a la presentación de ofertas.

2.1. Topología.

Se adoptó una topología en anillo, que vincula todos los sitios mediante enlaces de radio a instalar y aprovecha tramos de cables de F.O. existentes.

Esta topología permite obtener redundancia en todos los nodos, con una cantidad de equipamiento mínima.

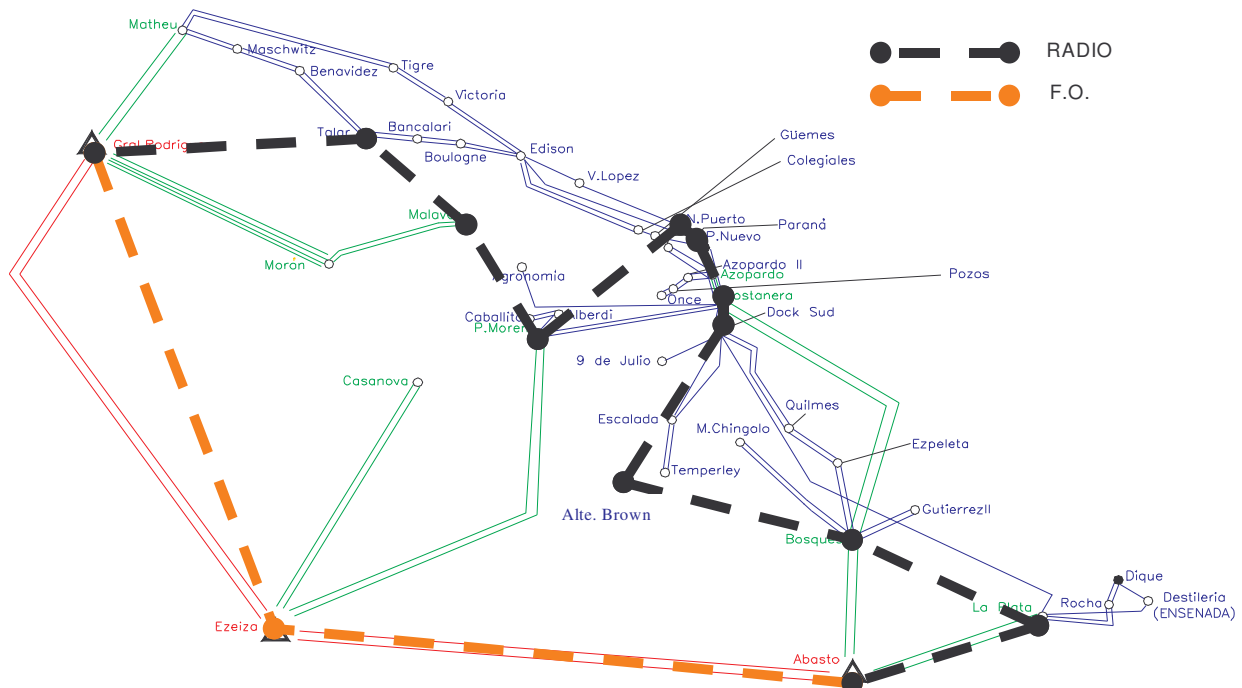


FIGURA 2 – Sitios a vincular, topología de la red de comunicaciones y tipos de vínculos.

2.2. Requerimientos generales.

Son aplicables a la totalidad del sistema o a partes de él, según corresponda.

- Disponibilidad de los vínculos.

La disponibilidad de los vínculos debe ser mayor que el 99,996% del tiempo para una tasa de error (BER) mejor a 10^{-3} considerando las peores condiciones climáticas.

El área de operación del sistema se caracteriza por una intensidad de lluvia de 120mm/h el 0,01% del tiempo y vientos de 130 km/h.

- Disponibilidad del sistema.

La disponibilidad global del sistema (comunicaciones y teleprotecciones) debe ser mejor que 99,992%.

- Tiempo de transferencia de la información de estados.

El máximo tiempo de transmisión de la información de estados y comandos requerido por la aplicación es de 40ms.

Este requerimiento debe interpretarse como el máximo tiempo de transmisión real resultante bajo las peores condiciones de la tasa de errores ($BER = 10^{-3}$).

Se define como Tac en la norma IEC 60834 e incluye los tiempos del transmisor y receptor de teleprotección. Descontando el tiempo requerido por las teleprotecciones digitales (10 ms máximo según IEC 60834) resulta para el circuito de telecomunicación un tiempo de propagación máximo de 30 ms.

Esto se deberá cumplir para el camino total entre aquellos sitios donde la información se transfiera mediante varios saltos.

- Dependibilidad y Seguridad.

Estas características son las requeridas para los equipos de Teleprotección que componen el sistema.

Es de aplicación la Norma IEC 60834 (Teleprotection equipment of power systems-Performace and testing). Para la aplicación se fijan los atributos de Dependibilidad (1-Pmc) y Seguridad (1-Puc).

Los valores máximos requeridos según IEC 60834 son:

$$Pmc = 10^{-4} \text{ y } Puc = 10^{-8}$$

- Compatibilidad electromagnética.

Dado el tipo especial de emplazamiento de los equipos, Subestaciones eléctricas de alta tensión, el ambiente se encuentra frecuentemente perturbado electromagnéticamente tanto en forma conducida como radiada.

Todo el equipamiento debe ser capaz de operar sin alteraciones en su funcionalidad en estas condiciones.

Se requiere que cumplan con las normas IEC 60870-2-1 o equivalentes.

- Supervisión del desempeño de los vínculos.

El sistema de comunicaciones debe poseer la capacidad de determinar y recolectar, como mínimo, los parámetros de los enlaces definidos por la ITU-T Recomendación G.826:

- Segundos con errores. (ES)
- Segundos con errores severos. (SES)
- Tasa de segundos con errores. (ESR)
- Tasa de segundos con errores severos. (SESR)

2.3. Componentes de la provisión.

Tiene aplicación en la etapa de presentación de ofertas.

- Sistema de Radio.

- Radioenlaces.
- Antenas.
- Mástiles.
- Multiplexores.

- Sistema de Fibra Optica.

- Fibra Optica.
- Multiplexores.

- Teleprotecciones.

- Sistema de configuración y gestión.

3.0. CALCULO DE LOS PARAMETROS FUNDAMENTALES DEL SISTEMA.

3.1. Teleprotecciones.

- Seguridad.

La probabilidad de ocurrencia de un comando no deseado se aproxima por la relación (según IEC60834 1):

$$Puc \approx Nuc / Nb$$

Donde:

Nuc = Número de comandos no deseados.

Nb = Número de ráfagas de errores con duración de 200 milisegundos.

Para una teleprotección digital destinada a un esquema de tipo permisivo el valor de la probabilidad de ocurrencia de un disparo no deseado, de acuerdo a la tabla de página 91 de la norma IEC60834-1, es:

$$Puc = 10^{-7}$$

Para el caso real donde la disponibilidad del canal con las características de calidad será con una disponibilidad del 99,996 % y considerando un intervalo de un año, resulta:

$$\begin{aligned} \text{Indisponibilidad} &= 4 \cdot 10^{-5} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = \\ &= 1262 \text{ Segundos} \end{aligned}$$

La cantidad de intervalos de 200 milisegundos contenidos en el intervalo de indisponibilidad es:

$$Nb = 1262 / 0,2 = 6310 \text{ Intervalos}$$

La cantidad de actuaciones indebidas con $Puc = 10^{-7}$ es:

$$Nuc = Puc \cdot Nb = 6310 \cdot 10^{-7} = 6,31 \cdot 10^{-4} \text{ actuaciones indebidas por año}$$

Esto es equivalente a:

$$1 / 6,31 \cdot 10^{-4} = 1584 \text{ años}$$

El tiempo medio esperable entre actuaciones indebidas sería de 1584 años.

- Dependibilidad.

Los errores en los bits producen perturbaciones en el sistema de teleprotección que se traducen en un retardo en la generación de un comando en el extremo receptor. Esto se produce porque los mensajes con errores son rechazados.

La Dependibilidad en función de la tasa de errores BER se mide comparando el número de comandos generados por el receptor, dentro de un tiempo transmisión aceptable, con el número de comandos enviados por el transmisor.

Los comandos se transmiten a través de un canal sujeto a una tasa predeterminada de errores en los bits de forma pulsante y aleatoria. La ráfaga de errores se inicia 10 milisegundos antes que el comando y se termina al mismo tiempo que el comando. Para cada tasa de errores se envía un número fijo de comandos y se mide el número de comandos recibidos dentro de un tiempo especificado.

La probabilidad de pérdida de un comando (P_{mc}) para un dado tiempo de transmisión se expresa como:

$$P_{mc} \approx (N_t - N_r) / N_t$$

Donde:

N_t = Número de comandos enviados

N_r = Número de comandos recibidos

Si una teleprotección digital posee un valor de la probabilidad de pérdida de un disparo de:

$$P_{mc} = 10^{-4}$$

Para: BER = 10^{-6} y Tac = 10 ms

Esto indica que se recibirán 9999 comandos, dentro del tiempo de transmisión de 10 milisegundos, por cada 10000 comandos transmitidos cuando el canal posea un BER = 10^{-6} .

Si se consideran válidos todos aquellos comandos que se reciban dentro de 20 milisegundos ($2 \times T_o$), la tasa de errores del canal podría reducirse a BER = 10^{-3} para la misma cantidad de comandos recibidos. (Gráfico de pag. 93 de IEC60834-1)

Por otra parte, si se mantiene la tasa de errores en BER = 10^{-6} y se consideran válidos todos los comandos que llegan dentro de 20 milisegundos, la probabilidad de pérdida de un comando se reduce a $P_{mc} = 10^{-11}$.

3.2. Comunicaciones.

- Cálculo de la disponibilidad por fallas en los equipos.

Con la información obtenida de las especificaciones de los fabricantes de equipos y de sus proveedores, considerando un MTTR de 24 horas, se obtienen los resultados indicados en la Tabla 1:

TABLA 1 - Disponibilidad para un Sistema.

EQUIPO	MTBF [horas]	MTTR [horas]	DISPONIBILIDAD
2 x Chasis Multiplexor	482600/2	24	0,9999005
2 x Convertidor DC/DC	302200/2	24	0,9998411
2 x Interfase E1	156800/2	24	0,9996938
Radio 7 GHz	96300	24	0,9997507
SISTEMA	---	---	0,9991863

Estando conformado el anillo por 11 enlaces de radio y 2 enlaces de FO, se considera que los enlaces de FO utilizan equipos con confiabilidades similares a los correspondientes enlaces de radio. Así resulta, como se muestra en la figura 3, que:

- Se requieren 13 SISTEMAS para formar el anillo.
- La condición más desfavorable, en cuanto a pérdida del enlace, es cuando se requieren 6 SISTEMAS para mantener la comunicación entre sitios dispuestos en extremos del anillo.

La indisponibilidad resultante para la cadena de 6 SISTEMAS es:

$$\text{Indisponibilidad} = 6 * 8,136392 \cdot 10^{-4} = 4,88183 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Disponibilidad} = 1 - 4,88183 \cdot 10^{-3} = 0,9951181$$

Para un sitio dado la comunicación puede establecerse por medio de 6 enlaces en una dirección u otra según hacia que lado se interrumpe el anillo. La indisponibilidad resulta:

$$\text{Indisponibilidad} = 4,88183 \cdot 10^{-3} * 4,88183 \cdot 10^{-3} = 2,38323 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Disponibilidad} = 1 - 2,38323 \cdot 10^{-5} = 0,9999761$$

La Disponibilidad para cualquier sitio del anillo es mejor a: 99,99761 %

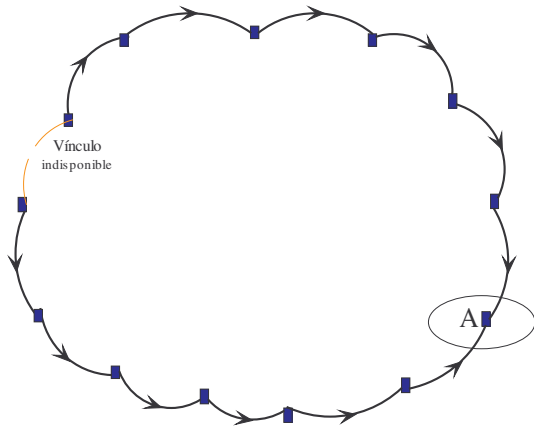


FIGURA 3 – Anillo con un vínculo indisponible.

- Cálculo de la disponibilidad conjunta por fallas en los equipos y pérdida de calidad de los enlaces.

Se considera que cada enlace individual cumple con el objetivo de poseer una disponibilidad definida por su calidad e impuesta por su diseño:

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidad} &= 0,99996 \\ \text{Indisponibilidad} &= 4 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

La falla del enlace podrá deberse a cualquiera de dos causas, pérdida de calidad del enlace o falla de equipos. Así resulta:

$$\text{Indisponibilidad conjunta} = \text{Indisponibilidad por fallas} + \text{Indisponibilidad por pérdida de calidad}$$

Con el valor de disponibilidad obtenido para cada Sistema, como se resume en la Tabla 1 se obtiene el valor de la indisponibilidad conjunta indicado en la Tabla 2.

TABLA 2 - Disponibilidad conjunta para el anillo.

CAUSA	INDISPONIBILIDAD
Falla Equipos	$8,136392 \cdot 10^{-4}$
Pérdida de calidad del enlace	$4 \cdot 10^{-5}$
Por ambas causas	$8,536390 \cdot 10^{-4}$

En el anillo compuesto por 11 enlaces de radio y 2 de FO, se considera que los dos enlaces de FO utilizan equipos con disponibilidades similares a los correspondientes enlaces de radio.

Así resulta que:

- Se requieren 13 SISTEMAS para formar el anillo.
- La condición más desfavorable ocurre cuando se requieren 6 SISTEMAS para mantener la comunicación entre sitios dispuestos en extremos del anillo si un enlace falla.

La indisponibilidad resultante para la cadena de 6 SISTEMAS es:

$$\begin{aligned} \text{Indisponibilidad} &= 6 \cdot 8,536390 \cdot 10^{-4} = 5,12183 \cdot 10^{-3} \\ \text{Disponibilidad} &= 1 - 5,12183 \cdot 10^{-3} = 0,9948781 \end{aligned}$$

Para un sitio dado la comunicación puede establecerse por medio de 6 enlaces en una dirección u otra según hacia que lado se interrumpe el anillo. La indisponibilidad resulta:

$$\begin{aligned} \text{Indisponibilidad} &= 5,12183 \cdot 10^{-3} \cdot 5,12183 \cdot 10^{-3} = \\ &= 2,62331 \cdot 10^{-5} \\ \text{Disponibilidad} &= 1 - 2,62331 \cdot 10^{-5} = 0,9999737 \end{aligned}$$

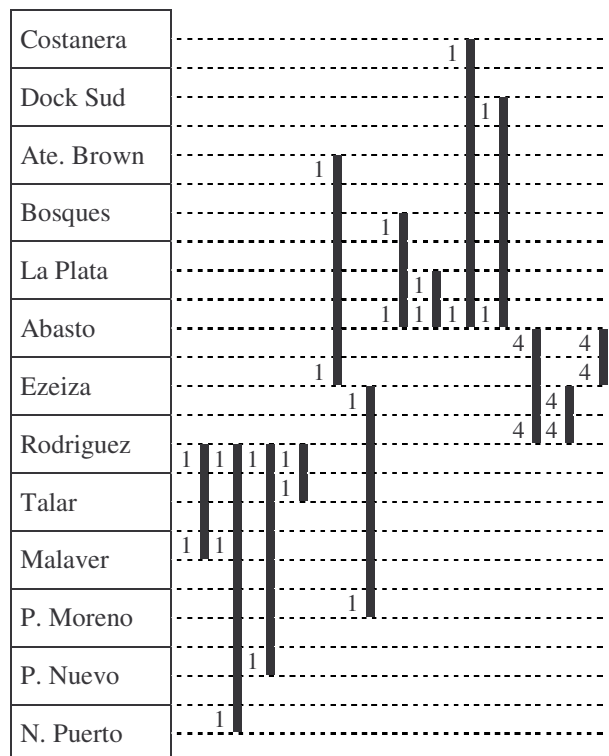
La Disponibilidad conjunta para cualquier sitio del anillo es:

$$99,99737 \%$$

4.0. ESTIMACION DE LA CAPACIDAD DE LOS ENLACES.

De acuerdo a los requerimientos impuestos por el proyectista del sistema eléctrico se ha elaborado el Gráfico donde se indica la cantidad de canales de 64kbits/s necesarios entre cada una de las Estaciones Transformadoras.

GRAFICO – Requerimiento de canales de 64 kbits/s.



Del gráfico surge que para mantener la comunicación en ambos sentidos (sistema en anillo) se requiere en el peor de los casos de 22 canales de 64 kbits/s.

Esto representa una capacidad para cada enlace, en cualquier punto del anillo de 1,4 Mbits/s.

Esta es la capacidad mínima de cualquier vínculo, radioeléctrico o de FO, ofrecida comercialmente en la actualidad.

5.0. CONCLUSIONES

En sistemas eléctricos como el de Interconexión en AT de Argentina en el cual las obras se financian con la contribución de todos los Agentes del Mercado resulta de especial preocupación que los Proyectos de factibilidad reflejen explícitamente su condición de mínimo empeño.

Este trabajo sobre el sistema de comunicaciones para la formación de Islas ante eventos que llevarían al colapso al SADI demuestra que la obtención de la versión que mejor se adapte al Proyecto puede ser suficiente y sencillamente definida como para justificar, luego, sus costos.

Dado que el sistema de Comunicaciones es soporte de una función de Teleprotección que, como tal, tiene los parámetros operacionales del mas alto nivel entre aquellas aplicaciones que requieren este servicio, es que debe ponerse énfasis especial en la calidad, tanto en el diseño y especificación como en la prueba y recepción de las obras.

6.0. REFERENCIAS.

- Norma IEC 60834-1. Teleprotection equipment of power systems – Performance and testing.
- Norma IEC 60870-2-1. Operating conditions. Enviromental conditions and power supplies.
- Recomendación UIT-T G.821. Characteristics of performance monitoring statistics.
- Recomendación UIT-T G.826. Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate digital paths at or abobe the primary rate.