



COMISIÓN DE INTEGRACIÓN
ENERGÉTICA REGIONAL



Guía para el uso de la Norma IEEE 1547

Coord. Internacional de Distribución: Ing. GABRIEL GAUDINO

Coord. Grupo de Trabajo: Ing. TOMAS DI LAVELLO

Integrantes Grupo de Trabajo:

Ing. HENRRY SALGADO VALENCUELA

Ing. OSWALDO BEJAR ALARGON

Ing. RICARDO VELÁSQUEZ

Eng. ANDRÉ LUIS ZENI

Sr. RICARDO GOULART DE CARVALHO BRITO

Sr. MARCIO ELI MOREIRA DE SOUZA

Ing. ENÉAS BITTENCOURT PINTO

Ing. MARTA ALVAREZ

Ing JEAN ALBINO

Ing CARLOS GARCIA MONTROYA

Ing YURI ALVARADO ROJAS

Ing JORGE BADILLA BARRIENTOS

Ing CARLOS F RODAS

Ing JORGE CORTEZ

Colaboración: Ay. Ing. Agustín Burgueño

Abril 2016



1. Contenido

1	Introducción	4
2	Resumen de IEEE 1547	5
3	Resumen de IEEE 1547.1	6
4	Resumen de IEEE 1547.2	7
5	Resumen de IEEE 1547.3	8
5.1	Información general de monitoreo, control e intercambio de información.	8
5.2	Caracterización de un sistema de MIC.....	8
5.2.1	Performance.....	8
5.3	Parámetros a monitorear	9
5.4	Esquema de intercambio de información	10
5.5	Protocolos	11
5.5.1	Criterios para selección de protocolos.....	11
6	Resumen de IEEE 1547.4.....	12
7	Resumen de IEEE 1547.5.....	13
8	Resumen de IEEE 1547.6.....	14
8.1	Recomendaciones referentes a las protecciones del transformador de distribución 14	
8.2	Estudios	15
8.3	Prácticas de trabajo.....	16
8.4	Soluciones para incorporación de GD a redes secundarias	16
8.4.1	Criterio de “minusus”	16
8.4.2	Limitación de la generación a partir de la potencia demanda.....	17
8.5	Resumen de IEEE 1547.7	17
8.6	Consideraciones generales para estudios de impacto de RD	17
8.7	Potenciales impactos de los RD.....	18
8.8	Estudios	18
8.9	Mitigación de impactos.....	19

1 Introducción

En el marco del Grupo de Trabajo de Generación Distribuida, se realizó el siguiente estudio que tiene como objetivo resumir los capítulos de la norma IEEE 1547, referente a la conexión de recursos distribuidos¹ (RD) en sistemas eléctricos de potencia (SEP).

La norma 1547 se divide en los siguientes capítulos:

- IEEE 1547 Provee criterios referentes a: operación, ensayos, seguridad y mantenimiento de la conexión.
- IEEE 1547.1 Especifica los ensayos tipo, de producción y de puesta en servicio que deben cumplir las interconexiones y equipos de (RD) para cumplir con el estándar 1547.
- IEEE 1547.2 Proporciona información técnica, por ejemplo de tecnologías de generación, para el entendimiento de las normas.
- IEEE 1547.3 Provee una guía para el monitoreo, intercambio de información y control de RD conectada a un SEP.
- IEEE 1547.4 Es una guía de diseño, operación e integración de RD para sistemas trabajando en isla intencional.
- IEEE 1547.5 Este capítulo provee requisitos para potencias de generación distribuida mayores a 10 MVA.
- IEEE 1547.6 Recomienda prácticas para la conexión de RD con redes secundarias.
- IEEE 1547.7 Proporciona una metodología de estudios de ingeniería para determinar el impacto de incorporar RD a los SEP.

¹ Recursos eléctricos que no se encuentran directamente conectados a sistemas de transmisión de energía eléctrica, incluye generación (GD) y almacenamiento de energía.

2 Resumen de IEEE 1547

El estándar 1547 provee especificaciones y requerimientos técnicos para la interconexión de los equipos de generación distribuida con los SEP.

El objetivo fundamental de esta norma es dotar de criterios referentes al desempeño, operación, ensayos, consideraciones de seguridad y mantenimiento de la interconexión.

Esta norma aplica en la mayoría de instalaciones para conectar RD a la red de distribución, con una capacidad agregada de menos de 10 MVA en el PCC (Puesto de Conexión Común).

Se aclara y se toma en cuenta una serie de aspectos y limitantes que no se contemplan y que son de vital importancia para efectos de diseño y cumplimiento de requerimientos, los cuales se detallan a continuación:

- El estándar no define la capacidad máxima de un RD que puede ser conectado en un PCC.
- El estándar no prescribe sobre los requerimientos de protección y operación de las unidades de generación.
- El documento no es explicativo en cuanto a aspectos de planificación, diseño, operación y mantenimiento de un SEP de distribución.

3 Resumen de IEEE 1547.1

Los equipos involucrados en la interconexión de RD a un SEP deben de cumplir con los requerimientos del estándar 1547, para ello el capítulo 1547.1 tiene como fin establecer y estandarizar los ensayos a realizar a los mismos.

Dichos ensayos deben ser independientes del lugar donde se realicen, repetibles y capaces de adaptarse a las distintas tecnologías disponibles para la implementación de RD en las redes.

Se aclara que en los ensayos que se establecen no se incluyen los referentes a seguridad.

A pesar de que el documento no establece un proceso de certificación de equipos, es aconsejable que los ensayos que se describen en este capítulo formen parte de dicho proceso.

Los ensayos que se establecen se diferencian en tres categorías:

1. Ensayos tipo o de diseño: son los ensayos realizados a una muestra representativa de la producción de determinado equipo para demostrar que cumple con algún requerimiento.
2. Ensayo de producción: son los ensayos que se le realizan a todos los equipos producidos, previos a ser entregados al cliente.
3. Ensayo de puesta en servicio. Luego de que el equipo está instalado en el sitio de operación, se realiza una batería de ensayos para verificar su correcto funcionamiento.

4 Resumen de IEEE 1547.2

Este capítulo provee un marco técnico acerca de los distintos tipos y tecnologías de RD para la comprensión del estándar 1547. Se presentan en este capítulo descripciones técnicas, esquemas de conexión y ejemplos de interconexión.

Está dirigido a ingenieros y técnicos familiarizados con los RD. Se asume que el lector posee conocimiento sobre las distintas tecnologías de generación distribuida y sistemas eléctricos de distribución.

En resumen se tratan los siguientes temas:

1. Sistemas de interconexión.
2. Recursos distribuidos (Fuentes de energía eléctrica y tecnologías de conversión de la misma).
3. Sistemas Eléctricos de Potencias (SEP)
4. Potenciales efectos sobre los SEP.
5. Guía de aplicación para el cumplimiento de las especificaciones y requerimientos técnicos del estándar 1547.
6. Guía de aplicación para el cumplimiento de las especificaciones y requerimientos de los ensayos de interconexión del estándar 1547.
7. Información de procesos de interconexión.

5 Resumen de IEEE 1547.3

Este capítulo describe funcionalidades, parámetros y metodologías para el MIC (monitoreo, intercambio de información y control) de los RD con el SEP. Las tecnologías incluidas son: células de combustible, fotovoltaica, turbinas eólicas, micro turbinas eólicas entre otras. Se incluyen también sistemas de almacenamiento de energía.

Según esta norma se debe monitorear los generadores de potencia mayor a 250 kVA.

A continuación se realiza un breve resumen de este capítulo.

5.1 Información general de monitoreo, control e intercambio de información.

Los sistemas de MIC de RD deben contar con interoperabilidad entre los dispositivos de RD y el SEP. Interoperabilidad es la capacidad de dos o más dispositivos de intercambiar información y trabajar juntos en un sistema. Esto se logra usando comandos y protocolos estándar.

Otra capacidad deseada es la “self-description” y configuración automática del sistema. Estas características reducen los costos debido a la eliminación de la traducción de datos, modificación de equipos y configuración manual. Además aumentan la confiabilidad debido a la eliminación de posibles errores de traducción.

Es deseable también que el sistema de MIC pueda ser modificado para intercambio de nuevos datos, nuevos protocolos, etc.

Se resumen a continuación las principales características de un sistema de MIC:

5.2 Caracterización de un sistema de MIC

5.2.1 Performance

Los sistemas de comunicación implementados para cumplir con los requisitos especificados en esta norma exhiben ciertas características de performance. Se hace un resumen de cómo se describe la performance de un sistema de comunicación.

Existen cuatro parámetros críticos de performance —throughput (rendimiento), latencia, confiabilidad, y seguridad— que pueden caracterizar la performance de un sistema de comunicación.

a) *Throughput (rendimiento)*

Se refiere a la cantidad de información que puede ser enviada a través de una red continuamente. Se expresa como (Kb/s).

b) *Latencia*

Es el tiempo entre que se da una orden y se hace efectiva la misma. Por ejemplo el tiempo entre que se da la orden de cerrar un interruptor y el momento en que efectivamente se cierra.

c) *Confiabilidad*

El tiempo medio entre fallas es un índice de la confiabilidad de la red de comunicación. Toma en cuenta fallas de software o hardware e indisponibilidad por mantenimiento. Es la probabilidad de que una orden dada en un momento arbitrario supere el tiempo de respuesta establecido debido a alguno de los problemas nombrados anteriormente.

d) *Seguridad*

Seguridad es la habilidad de denegar el acceso no autorizado mientras que se permite el acceso autorizado. Se puede medir como la probabilidad de que un ataque sea exitoso.

5.3 Parámetros a monitorear

Los parámetros a controlar de generadores de potencia superior a 250 kVA (establecido en 1547) son:

- Estado de la conexión
- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Voltaje

5.4 Esquema de intercambio de información

La norma presenta un esquema (ver figura 1) de intercambio de información, en el mismo se observan las partes involucradas y la interconexión entre ellas.

Figura 1

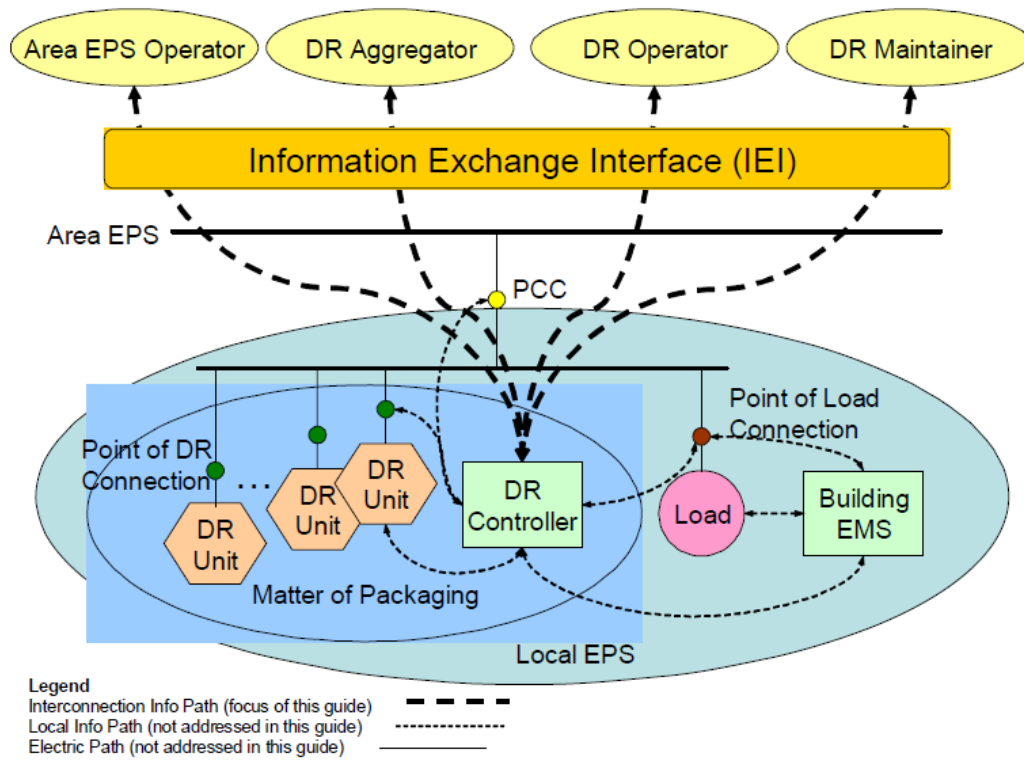


Diagrama de referencia para intercambio de información

5.5 Protocolos

Este capítulo trata el tema de los protocolos de comunicación y provee algunas recomendaciones acerca de estos. Se presenta a continuación un resumen del tema.

Un protocolo es una descripción formal de los formatos de los mensajes a transmitir y reglas a seguir para la comunicación entre dos o más dispositivos a través de una red.

Existe una gran variedad de protocolos desde los usados solamente por la compañía que los desarrolló hasta protocolos usados en muchas industrias.

Previo a la selección de un protocolo se debe comprender la categorización de protocolos. Una forma común de dividir varios protocolos es la ISO OSI, es un modelo de referencia de siete capas, llamadas, “aplicación”, “presentación”, “sesión”, “transporte”, “red”, “enlace de datos” y “física”.

5.5.1 Criterios para selección de protocolos

Un criterio recomendado por la norma para la selección del perfil del protocolo es el siguiente:

Independencia de la plataforma: Habilidad para intercambiar información con variedad de plataformas, como por ejemplo: Microsoft Windows®, Linux®, UNIX® y varios sistemas operativos embebidos/tiempo real. Un ejemplo de un protocolo que realiza esta tarea con satisfacción es el TCP/IP. Las computadoras pueden usar TCP/IP sin importar con que sistema operativo cuentan.

Abierto: Que estén publicados los conceptos, reglas, e implementaciones sin uso restrictivo. En otras palabras los protocolos estandarizados son los que mejor cumplen con las necesidades de los RD. Un buen ejemplo es el conocido Hyper Text Transfer Protocol (HTTP). El mismo está construido sobre TCP/IP y sus reglas se encuentran publicadas.

Self-Describing: Ser capaz de entender el contenido de los mensajes del protocolo, los datos contenidos y la estructura de la transferencia de datos. Los protocolos basados en XML son un buen ejemplo de esto.

6 Resumen de IEEE 1547.4

Este capítulo cubre los temas referentes al funcionamiento intencional de RD en SEP. A los sistemas en isla con RD se los suele llamar microgrids.

Los sistemas en isla con RD tienen las siguientes características:

- Cuentan con RD y cargas.
- Tienen la capacidad de desconectarse y conectarse con un SEP que le provea energía.

Este documento provee prácticas de diseño, operación e integración de sistemas en isla con RD a los SEP. Esto incluye la conexión y desconexión de estos sistemas al SEP al cual están conectados mientras proveen energía a las cargas que conforman la isla.

Dentro de las limitaciones se aclara que:

- No se proveen procedimientos para el establecimiento de la isla.



7 Resumen de IEEE 1547.5

Este documento proporciona una guía sobre requisitos referente a aspectos técnicos incluyendo diseño, construcción, ensayos de puesta en servicio y mantenimiento/rendimiento, para la conexión de fuentes de energía eléctrica con una potencia mayor a 10 MVA a una red de transmisión.

8 Resumen de IEEE 1547.6

Este capítulo recomienda prácticas para la integración de RD a redes secundarias.

Se llama redes secundarias a la porción del sistema que está conectada a los secundarios de los transformadores (uno o más en paralelo) de distribución, desde el punto común donde están conectados los secundarios se entrega energía directamente a los clientes.

El documento proporciona recomendaciones en cuanto a performance, operación, consideraciones de seguridad, mantenimiento e interconexión. Estas recomendaciones se basan en la necesidad de que el sub sistema que cuenta con RD sea capaz de alimentar sus propias cargas así como también las del resto de la red secundaria.

Se destacan las siguientes limitaciones:

- Se asume que los RD se conectan aguas abajo de las protecciones.
- Las recomendaciones son aplicables para transformadores con conexión triángulo-estrella.
- Las recomendaciones son aplicables para tensiones fase-fase, fase-tierra menores a 1000V

Tradicionalmente las redes secundarias no estaban diseñadas para la incorporación de RD. El principal inconveniente es la eventual existencia de un flujo inverso de potencia (del cliente hacia la red) lo que puede ocasionar un flujo inverso en las protecciones.

Para mitigar los efectos negativos de la interconexión de RD a la red este documento realiza una serie de recomendaciones, las cuales se resumen a continuación.

8.1 Recomendaciones referentes a las protecciones del transformador de distribución

1. La incorporación de RD no debe aportar corrientes de falta por encima del poder de corte de las protecciones.
2. La integración de RD no debe provocar una apertura de las protecciones, ya que las mismas no están diseñadas para interrumpir el pasaje de corriente entre dos sistemas que cuentan con generación. A su vez tampoco se debe provocar que las protecciones

- restablezcan la corriente ya que no tienen la capacidad de sincronizar los sistemas de generación. Los RD si se operan automáticamente deben contar con un sistema de sincronismo y cierre.
3. La integración de RD no debe causar un aumento en la frecuencia de apertura/cierre de las protecciones. Por ejemplo ante flujo inverso de potencia las protecciones pueden abrir, se deben evitar este tipo de efectos. Un aumento de la operación de las protecciones conduce a una reducción de su vida útil.
 4. La instalación de RD no debe requerir (a menos que lo crea necesario el operador del SEP) cambios en la configuración (tiempo de disparo) de las protecciones, especialmente en redes con gran cantidad de protecciones. La variedad de configuraciones en una misma red puede conducir a errores sobre todo en condiciones de contingencia, provocado una pérdida de la calidad de servicio.
 5. Se debe evitar el funcionamiento en isla.
En caso de que todas las protecciones actúen los RD conectados a la red secundaria operarán en isla alimentando todas las cargas, en esta condición los valores de frecuencia y tensión que recibirán las cargas estarán lejos de los valores nominales causando eventualmente daños a dichas cargas.
Además dado que las protecciones no tienen capacidad de sincronismo pero si de recierre, si se está en condición de isla en el momento de recierre muy probablemente las tensiones de la red y la GD no estén en fase. Esto provoca una nueva apertura de las protecciones, pudiendo resultar dañados los equipos de GD y las protecciones.
 6. Si el 50% de las protecciones están abiertas se deben desconectar los RD.

8.2 Estudios

Este capítulo recomienda algunos estudios de interconexión, se presentan los mismos a continuación.

- Determinación de la contribución de corriente de falta de la GD para fallas en cualquier punto de la red secundaria.
- Comparación de la potencia entregada por la GD y la potencia consumida por las cargas donde se instala la GD.
- Determinación del tipo de generador (inversor, generador síncrono o de inducción) y las precauciones a tomar según el caso.
- Medios para impedir la inyección de potencia activa y reactiva desde los RD a la red.(no funcionamiento en isla)
- Medios para mantener al menos la mínima cantidad de protecciones en servicio necesarias para la operación.
- Respuesta de los RD frente a valores anormales de frecuencia y tensión.

Se recomiendan también estudios referentes a las cargas y su demanda.

8.3 Prácticas de trabajo

La inclusión generación en la red secundaria introduce cambios en las corrientes de falta, tiempos de despeje, etc., estos cambios pueden requerir equipos de protección para el personal de mayor nivel respecto al que se usaría si no existiese la GD. Antes de cualquier trabajo en la red secundaria es necesario asilar la GD. En resumen la incorporación de GD en redes secundarias cambia las prácticas de trabajo.

8.4 Soluciones para incorporación de GD a redes secundarias

8.4.1 Criterio de “*minus*”

Este capítulo introduce el criterio de “*minus*”, a continuación se hace un resumen del mismo.

El término de *minus* proviene del ámbito legal.

Este criterio se aplica para determinar la potencia máxima de GD en redes secundarias sin la necesidad de estudios previos o instalación de protecciones adicionales.

Para la utilización del método se debe contar con los siguientes valores:

- C_{dr} , este término refiere a la capacidad (potencia) de generación instalada por el cliente (residencia, industria, etc.).
- L_{min} , valor estimado o medido de la mínima potencia demandada (previa a la incorporación de la GD) por el cliente.

La medida de éste último valor es recomendable que sea hecha durante al menos un año, sin embargo no siempre es posible realizarla, por lo que en ciertos casos se debe estimar.

Para tecnologías de generación en que se inyecta potencia durante un cierto período del día, como por ejemplo en instalaciones PV sin almacenamiento de energía, se debe utilizar dicho valor medido o estimado para ese periodo de tiempo.

Si se realiza una estimación se debe tener en cuenta que conlleva asociada una cierta incertidumbre.

En función del cociente $\frac{C_{dr}}{L_{min}}$ y de la incertidumbre de cada valor se puede instalar la GD sin estudios previos o necesidad de realizar cambios en la red, estos criterios los establece el operador del SEP.

Actualmente según se menciona en el documento solo se ha aplicado este criterio a generación basada en inversores. Esto se debe a que la corriente de falla que aporta esta tecnología este comúnmente limitada al 125% de la corriente nominal.

8.4.2 Limitación de la generación a partir de la potencia demanda

Otro criterio utilizado es el de monitorear la potencia demanda por el cliente desde la red y en función de este valor actuar sobre el generador (GD) con la consigna de generar lo máximo posible sin invertir el flujo de potencia, es decir no inyectar potencia desde el GD a la red secundaria.

8.5 Resumen de IEEE 1547.7

El capítulo 7 abarca los temas referentes a estudios para la determinación de impactos causados por los RD a los SEP.

Con el aumento de la incorporación de RD a las redes de distribución es necesario conocer los efectos que esto causa y buscar las formas de mitigarlos.

Este documento es una guía para llevar a cabo los estudios de ingeniería acerca del potencial impacto de la interconexión de RD a un SEP de distribución.

Esta guía permite a las partes involucradas (dueños de los RD, operadores del SEP, entes reguladores, etc.) saber cuándo son necesarios estos estudios, qué datos se requieren, cómo se hacen y cómo evaluar los resultados.

8.6 Consideraciones generales para estudios de impacto de RD

Un estudio de impacto identifica los problemas potenciales y permite al operador del SEP determinar las modificaciones necesarias a realizar en la porción del sistema afectada.

Los impactos causados por la interconexión de RD en un lugar en particular dependen de las características del RD, de la forma de conexión, del punto de conexión y de las características del SEP en ese lugar. Cuanto mayor sea la capacidad de generación mayores serán los efectos causados a la red.

Los impactos se producen en todos los SEP, aunque la incorporación de RD a una red "débil" (final de una línea larga, circuitos radiales) hará más evidentes los mismos que si se conectan a una red "fuerte" (con muchas interconexiones y grandes potencia de generación) .

8.7 Potenciales impactos de los RD

Se nombran a continuación los impactos que la norma menciona:

- Isla no intencional
- Sobre carga de los equipos del SEP afectado
- Cambios en diseño de protecciones, coordinaciones y cambios en corrientes de falta
- Modificación de la tensión en el PCC
- Calidad de energía

8.8 Estudios

La norma establece dos categorías de estudios:

1. Estudios convencionales de distribución
2. Estudios de impactos especiales.

Estos estudios son necesarios cuando se entiende que la instalación de un determinado RD puede provocar impactos apreciables al SEP.

A continuación se hace un breve resumen de la primera categoría. Dentro de la misma hay tres grandes categorías:

- a) Estudios de estado estacionario
- b) Sistemas de protección
- c) Característica operacionales –carga, disminución de la carga, etc.

a) Estudios de estado estacionario

El estudio estacionario de un sistema se hace con la simulación de un flujo de carga.

Generalmente las herramientas utilizadas para la realización de dicha simulación no soportan la existencia de múltiples fuentes (GD), por lo tanto no son apropiadas para estudios de este tipo. Para la realización de estudios de RD es necesario que el software pueda simular el flujo de cargas con una gran cantidad de fuentes.

Este tipo de estudios requiere de un modelo completo y actualizado del SEP, este modelo debe contemplar la carga esperada para los momentos en que la GD está activa.

La norma recomienda algunas funciones de software de simulación que podrían ser útiles para estos estudios, tales como modelos de transformadores de distribución, modelos de RD, etc.

Los problemas que pueden ser detectados son:

- Elevación excesiva de la tensión
- Fluctuaciones de tensión
- Operación inadecuada de equipos
- Lectura inadecuada del estado del sistema (no todos los equipos sean capaces de medir en forma bidireccional por lo tanto al existir flujo de potencia en ambos sentidos puede que se registren el valores netos, entendiéndose que el flujo que entrega el SEP a las cargas es menor que el real)
- Sobrecarga de quipos
- Operación desbalanceada

b) Sistemas de protección

El propósito de estos estudios es asegurar la integridad del sistema eléctrico y que se mantenga la efectividad de los dispositivos de protección a pesar de la incorporación de RD. Para cumplir con esto se recomiendan los siguientes estudios:

1. Análisis de cortocircuitos
2. Coordinación de protecciones
3. Coordinaciones para el restablecimiento del servicio luego despejadas las faltas
4. Aterramientos del SEP afectado
5. Sincronismo
6. Isla no intencional
7. Arco eléctrico (Arc Flash)

c) Característica operacionales

Grandes variaciones de carga pueden afectar al sistema, por ejemplo en SEP donde se cuenta con gran penetración de energía solar y eólica es necesario determinar los impactos que provocan las variaciones de generación.

8.9 Mitigación de impactos

Este capítulo incluye soluciones a una variedad de problemas que puedan ser identificados con los estudios recomendados.



COMISIÓN DE INTEGRACIÓN
ENERGÉTICA REGIONAL



secier@cier.org.uy
Blvr. Gral. Artigas 1040
CP: 11300 - Montevideo, Uruguay
Tel.: (+598) 2709 0611*
Fax: (+598) 2708 3193
www.cier.org.uy