

UNIVERSIDAD DON BOSCO



VICERRECTORÍA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DE UNA RED DE GENERACIÓN
DISTRIBUIDA CON FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE NO
CONVENCIONAL TIPO EÓLICO**

ASESOR

DR. ALIREZA BAKHSHAI

PRESENTADO POR

HÉCTOR OSVALDO ROMERO AMAYA

Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, Centroamérica.

Marzo de 2014



Universidad Don Bosco
Consagrar la vida a la verdad

“La Calidad de la Energía Eléctrica de una red de Generación Distribuida con fuentes de energía renovable no convencional tipo Eólico”

Ing. Héctor O. Romero Amaya
Maestría en Gestión de Energía Renovables
Centro de Estudios de Post Grados

***Resumen.** La Calidad de la energía eléctrica y la Generación Distribuida son dos temas muy particulares pero que tienen relación al momento de analizar y estudiar las repercusiones causadas por las perturbaciones eléctricas que tanto problemas se originan en los equipos de los consumidores que hoy en día exigen energía eléctrica de mayor calidad garantizando así una operatividad continua, segura y confiable de sus cargas conectadas para el desarrollo de sus procesos industriales, comerciales y residenciales. Este trabajo hace un razonamiento de ambos conceptos y presenta un caso real con problemas de calidad de energía en equipos conectados a una red de distribución eléctrica de generación eólica, se estudian los resultados de las mediciones realizadas para ser analizados a través de una herramienta de comparación y establecer si los resultados están adentro de lo permitido o no, esto se hace utilizando las curvas internacionales normadas como son la CBEMA y la ITIC que determinan un parámetro internacional que revela la susceptibilidad de los equipos sometidos a diferentes tipos de perturbaciones eléctricas. También se presentan las consideraciones del porque es importante la implementación de la Generación Distribuida con énfasis en la generación de carácter renovable no convencional. Esta Alternativa, está siendo considerada e implementada en muchos países con la intención de establecer opciones de mejoras en el suministro eléctrico en muchos sectores especialmente las de grandes consumos eléctricos.*

1. Introducción. En nuestros días existe una gran necesidad de tener energía eléctrica de excelente calidad y la gran mayoría de consumidores sobre todo los de carácter industrial y comercial son los más interesados ya que son ellos los que representan el porcentaje más alto de pagos de las facturas eléctricas por lo que esperan de las compañías eléctricas un servicio que llene las condiciones de continuidad, confiabilidad y sobre todo calidad, desgraciadamente existen todavía algunas complicaciones al respecto. Últimamente se puede encontrar muchas discusiones y foros que tratan de establecer resultados rentables a los problemas más recurrentes que perturban los sistemas eléctricos de potencia.

La estabilidad del voltaje y la frecuencia representan un requisito para muchas aplicaciones en la industria. Adicionalmente, las interrupciones prolongadas de energía ya no son la única preocupación que tienen los procesos industriales altamente automatizados, sino que también están requiriendo que no se presenten interrupciones momentáneas durante estos procesos. Con la complejidad de los procesos industriales, estos requisitos están cambiando continuamente y están volviéndose más rígidos.

Dado que muchas de las causas de las perturbaciones en el suministro de la energía están más allá del control de las compañías eléctricas a menudo éstas no pueden hacer mucho para protegerse contra ellas, por lo que no podemos esperar que proporcionen un suministro perfecto de energía.

Algunas de las causas de estas perturbaciones son los fenómenos naturales dentro de los que se incluyen los huracanes, grandes tormentas invernales y las descargas atmosféricas, accidentes de tráfico que involucran el derribamiento de postes, ramas de árboles que caen en líneas energizadas, contacto de aves y otros animales con los conductores, fallas provocadas por accidentes en seres humanos, etc.

Las compañías eléctricas se ven entonces obligadas a aceptar cierto grado de deterioro en la calidad del servicio que ofrecen, concentrándose principalmente en garantizar la continuidad del servicio. A menudo, las compañías distribuidoras de electricidad han reconocido sus limitaciones en la calidad de la energía suministrada y han ofrecido el uso de equipo auxiliar necesario, bajo acuerdos especiales con usuarios que utilizan electrónica sensible u otras cargas o procesos especiales, para satisfacer sus necesidades de suministro.

Las compañías eléctricas no son las únicas responsables de los problemas que se presentan en los sistemas de potencia. Muchos de los problemas de Calidad de la Energía están asociados con los procesos que se realizan dentro de las instalaciones de los usuarios. Por ejemplo, en los últimos años, los usuarios más industrializados están involucrando cada vez más el uso de dispositivos con electrónicas de potencia en sus líneas de fabricación para mejorar y aumentar la producción, sin tomar en cuenta los efectos que estas cargas pueden imponer en la calidad de la energía en la red de alimentación eléctrica.

La mayoría de las fluctuaciones de las condiciones normales se encuentran en el rango de transitorios. Estos a menudo contienen inicialmente un rápido incremento o decremento en la magnitud del voltaje (a veces oscilatorio) seguido por un cambio en la magnitud del voltaje de mayor duración. Así un transitorio puede contener los dos eventos: Impulsos rápidos y cambios más lentos en el voltaje.

Una de las alternativas para poder tratar sin evitar la alta incidencia de la mala calidad de energía es la implementación de la Generación Distribuida, para muchos países y ante el

alto crecimiento de la necesidad de demanda de potencia eléctrica y de nacimientos de consumidores y que día a día exigen a la par de la contratación de un servicio eléctrico una buena calidad de energía enfocada en la continuidad y confiabilidad, ven esta alternativa como muy viable si se consideran además de minimizar los aspectos de calidad los preocupantes aspectos por pérdidas técnicas por parques de cargas distantes.

La generación Distribuida se entiende como la instalación de centros de generación eléctrica incluyendo en estos las de energía renovables no convencionales las cuales son propiedad de una empresa o persona natural particular, esta busca desarrollar tres escenarios esenciales, primero el autoabastecerse, segundo comercializar el excedente de energía eléctrica con la compañía de distribución eléctrica que sirve el servicio en la zona y tercero dar cobertura de servicio eléctrico en lugares distantes en la cual la red de la compañía eléctrica no llega. Esto implica que se deben considerar tener sistemas completamente aislados y sistemas que estén conectados a la red pública.

En los últimos años se han dado pasos agigantados en la tecnología de generación con base renovable no convencional las cuales vienen a dar soluciones concretas a los aspectos de sostenibilidad y medioambientales, y es muy común la implementación de sistemas eólicos, de mini presas hidráulicas, Colectores solares, hornos de tratamiento de biomasa y paneles fotovoltaicos cuya utilización representa una opción muy confiable en la exigencia de servicios alternativos. Además de tener esta alternativa se cuenta también con fuentes de energía convencional como las máquinas de combustión interna, turbina a gas, turbina a vapor, microturbinas, etc.

2. Análisis de la situación actual. El incremento de la demanda energética, conllevan una serie de anomalías que afectan tanto a los generadores, distribuidores como a los usuarios de energía, estas anomalías son llamadas perturbaciones eléctricas, todas ellas hacen que la energía eléctrica no sea considerada de calidad, ocasionando descontento en los consumidores, debido a que se manifiestan en desperfectos de equipos eléctrico, pérdidas en las líneas de producción, aumento del costo del mantenimiento de la red eléctrica, reparaciones de los generadores, etc.

Los sistemas de distribución eléctrica y el equipo que alimentan están diseñados para operar dentro ciertas tolerancias a la amplitud y pureza del voltaje, corriente y frecuencia de la energía suministrada. La desviación fuera de estas tolerancias en cualquier parámetro, es suficiente para originar ineficacia y falla en los equipos, en su sentido más amplio, la calidad de la energía eléctrica define normas aceptables para la alimentación eléctrica de energía en una instalación en particular, de acuerdo a éstas características, pero muchas de las normas que son establecidas por las empresas eléctricas sobrepasan los rangos aceptables, dando como resultado quejas en desperfectos de equipos y aparatos eléctricos.

¿Por qué es necesaria la calidad de la energía?_ La calidad de la energía se ha convertido en una preocupación importante de abastecedores de la electricidad y de sus consumidores. Para los usuarios, el impacto económico de los disturbios de la energía puede extenderse de varios cientos dólares en la reparación o sustitución de equipos o aparatos electrodomésticos a millones de dólares en pérdidas de producción. Debido a esto, los generadores, transmisores y distribuidores del sistema pueden conducir al descontento del cliente y cargar con las pérdidas de la mala calidad de la energía en tal sentido para conservar la calidad de la energía los abastecedores deben de mantener los siguientes parámetros [1]:

- La calidad de la corriente y del voltaje proporcionado a los usuarios.
- Proveyendo de clientes formas de onda sinusoidales limpias en 60 hertzios sin interrupciones o sobrevoltajes.
- Proporcionando energía que permita al equipo electrónico sensible del cliente funcione confiablemente.
- Con la introducción de cargas para uso de equipo electrónico sensible, los usuarios han hecho mucho más inversiones para proteger de los trancientes y de otras anomalías de la energía a sus equipos.
- También la introducción de dispositivos no lineales que crea armónicos en el sistema de energía que puede afectar los equipos de un usuario que los genera y perjudicar en forma indirecta a otros usuarios conectados a la misma red.
- Los voltajes de los sistemas de tierra pueden interferir con equipos sensibles, por lo que se consideran un problema de calidad de la energía eléctrica. También son potencialmente peligrosas en el caso de un rompimiento en el circuito de tierra.

Consecuencias de una mala calidad de la energía eléctrica. Una mala calidad de la energía eléctrica puede ser responsable de cualquier falla, desde pequeñas interrupciones como luces que parpadean hasta problemas realmente mayores, como el paro total de una planta industrial o la pérdida de información en una instalación de tecnología informática.

Algunos equipos electrónicos modernos particularmente sensibles a una mala calidad de la energía eléctrica son computadoras, controladores programables e impulsores de velocidad variable. Equipos más resistentes como cables, paneles de distribución y motores pueden también fallar si los problemas de calidad de la energía eléctrica se vuelven intensos, por ejemplo, una sobrecarga debido a corrientes armónicas o que un motor se detenga debido a caídas de voltaje. En nuestra situación actual, los parámetros de la calidad de energía eléctrica solamente son corregidos cuando se hacen los reclamos por parte de los usuarios, siendo estos más evidentes en las zonas distantes o en zonas densamente pobladas, entonces las empresas eléctricas hacen esfuerzos por corregir los problemas.

Justificación de un estudio de la calidad de la energía eléctrica. El problema de la Calidad del servicio de energía eléctrica debe ser investigado, estudiado y analizado tanto por los usuarios como por las compañías eléctricas, por las siguientes razones:

- En todos los niveles de voltaje y potencia, no importando cuan alto sean, los equipos dependen que el voltaje normal de operación se mantenga estable, debido a que solo tienen capacidad limitada de protección.
- En un mercado abierto y competitivo la calidad de servicio permite valorar y jerarquizar el servicio eléctrico.
- Es una responsabilidad compartida entre las empresas eléctricas y los usuarios
- Los costos en los que incurre la industria y el comercio de cuando tienen daños en sus equipos debido a fuertes variaciones en la red de suministro.
- Las pérdidas económicas en las empresas de energía eléctrica, cuando presentan demandas legales por una gran cantidad de usuarios afectados por daños a sus bienes de producción por la mala calidad de su servicio.
- Es importante señalar que todos los suministrantes de energía deben de cumplir con ciertos estándares de calidad normados para mantenerse dentro de un marco legal establecido.
- Una compañía eléctrica ya sea distribuidora o generadora de electricidad tendrá más oportunidades de competencia en el mercado eléctrico si garantiza una buena calidad de servicio.
- Los grandes usuarios podrían eliminar de sus partidas de inversión todos aquellos equipos que son comprados para garantizarse un servicio ininterrumpido y eficiente (reguladores, ups, inversores, etc.).
- Todos los usuarios tendrían parámetros para poder hacer las respectivas demandas legales si sus derechos son violentados por el suministrante.
- Bajo un esquema de libre mercado el suministrante tendría conocimiento de las medidas correctivas a implementar para garantizar la calidad del servicio que ofrece.

3. Modelo de Referencia.

Esta surge de la necesidad de comparar equipo sensible, que son las más susceptibles a las perturbaciones eléctricas como son los equipos informáticos los cuales se tomaron como base de análisis de los eventos registrados comparado contra un parámetro internacional que revela la susceptibilidad de los equipos sometidos a diferentes tipos de perturbaciones.

La descripción más sencilla de un evento (Sag o Swell) de tensión se puede representar como un punto sobre un gráfico que presenta la tensión del evento en función de la duración del evento. Con el mismo criterio de simplificación, la tensión característica de tolerancia de los equipos se puede representar en los mismos ejes. Este enfoque es un medio posible para comparar el rendimiento de los distintos equipos, a pesar de dejar de lado eventos como saltos de fase [2].

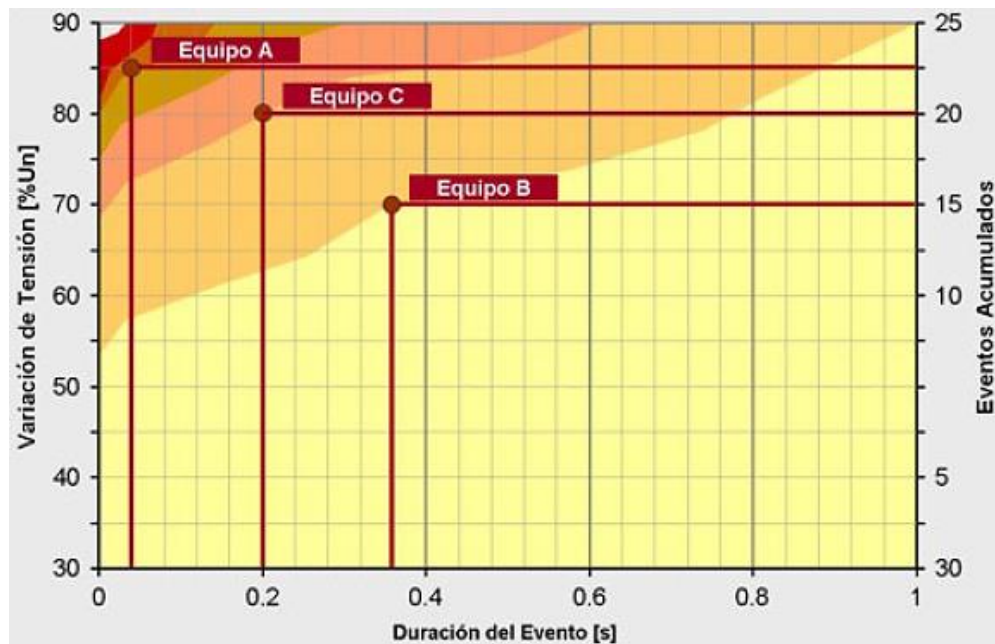


Figura 1. Tensión del evento vrs. Duración del evento

Los procedimientos detallados para probar los equipos informáticos frente a su inmunidad a las perturbaciones se presentan en diversas normas [3], como en la IEC 61000-4-11, IEEE 446-1995, IEEE 1100-1999, SEMI F47-0200, SEMI F42-0600 e ITIC (CBEMA).

La metodología más frecuentemente empleada en la representación de datos acerca de la calidad de servicio es la indicación de la duración y magnitud de los eventos sobre un plano XY, cuyo eje X corresponde a la duración y el eje Y a la amplitud del evento. Esta metodología define regiones del plano XY (duración-magnitud) que un equipo IT (Tecnología de Información) debe soportar y continuar con el correcto funcionamiento.

A continuación, se presenta la curva CBEMA (1977), junto con su actualización rebautizada curva ITIC (1996), y por último, la curva SEMI 47, que permite realizar un ensayo desde el enfoque de los semi-conductores.

Curva CBEMA

Hacia el año 1977, se instauró la llamada curva CBEMA, desarrollada originalmente por “Computer Business Equipment Manufacturers Association” (Asociación de Fabricantes de Equipos Informáticos y Empresariales) para describir la tolerancia de la computadora central a variaciones de tensión del sistema de alimentación. Mientras que muchos ordenadores modernos tienen una mayor tolerancia, la curva se ha convertido en un objetivo de diseño estándar para equipos sensibles que se aplicaría en el sistema de potencia y un formato común para presentar los datos de variación de calidad de energía [2].

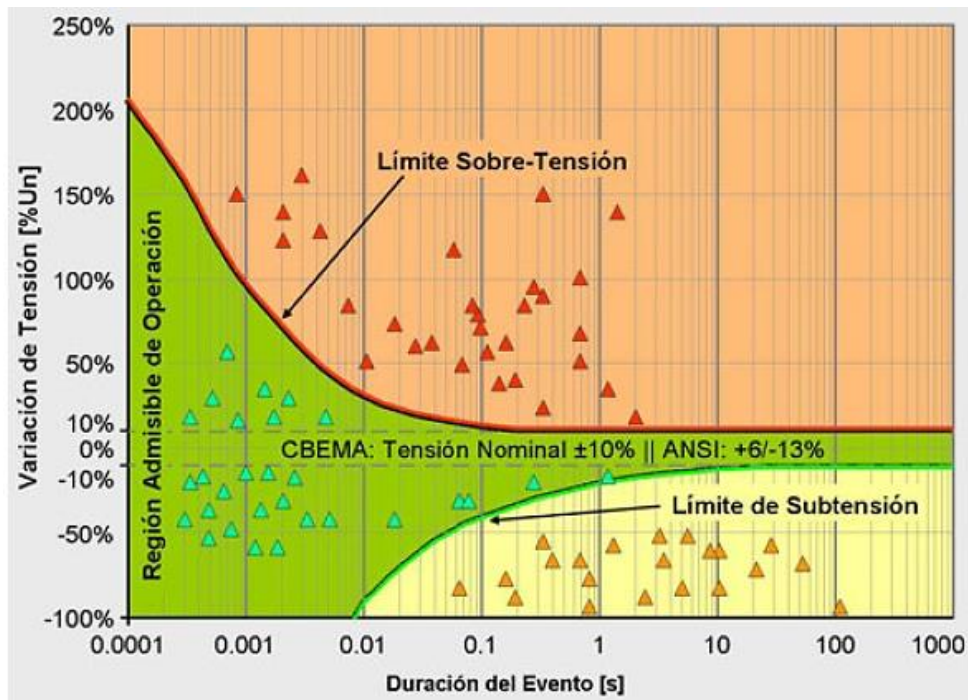


Figura 2. Curva CBEMA

Aquellos puntos por encima de la traza positiva suponen causas de mal funcionamiento, tales como fallas en el aislamiento, disparos por sobretensión, y sobreexcitación. Los puntos por debajo de la negativa implican causas de pérdida de carga debido a la falta de energía. El régimen de tensión de $\pm 10\%$ se encuentra definido como margen de estado estable de suministro. Cualquier variación de tensión dentro del $\pm 10\%$ no será evaluada como eventos ni perturbación.

La curva superior se encuentra definida por una duración mínima de 1 milésima de ciclo ($0.001 \cdot \text{Ciclo}$) y un desvío de tensión respecto de la tensión nominal de alrededor de 200%. Habitualmente se emplea la curva, a partir de la décima parte de un ciclo ($0.1 \cdot \text{Ciclo}$) debido a las limitaciones prácticas de los instrumentos de calidad de potencia y a las diferencias de criterios sobre la definición de magnitudes en el marco de tiempos subciclo.

Curva ITIC (CBEMA)

Hacia los años 1990, el análisis mediante la curva CBEMA se sustituyó por la curva ITIC desarrollada por “Information Technology Industry Council” (Consejo Tecnológico de Industrias Informáticas). Comparativamente contempla una aplicación con un espectro más amplio sobre el comportamiento de los equipos presentes en la industria actual.

El concepto en la industria de la curva CBEMA y las actuales fueron y han sido bases de diseño de nuevos dispositivos con mayores capacidades de compatibilizar con niveles superiores de variaciones de calidad de la energía. Por esta razón se han ampliado las tolerancias frente a eventos de tensión. Desarrollada con fines de aplicación para equipamientos de tensión nominal de 120V obtenidos de suministros 208Y/120V y 120/240V a 60Hz, la aplicación de los criterios de evaluación no son exclusivos, permitiendo ser implementadas bajo el criterio técnico en redes de 50Hz, para verificar la confiabilidad del suministro [2].

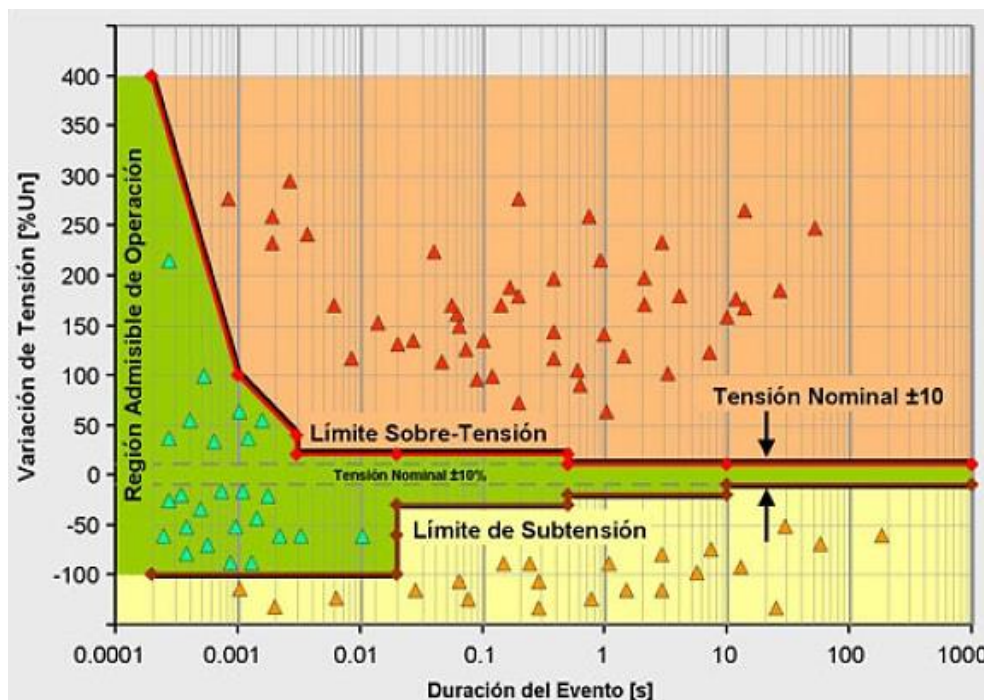


Figura 3. Curva ITIC

El plano Duración–magnitud de la curva CBEMA define además de las dos regiones, de operación y mal-funcionamiento, otras tres regionales de análisis estadístico. La zona de sobre tensiones (swell) comprendida entre el 10% y 20% con duraciones inferiores a 0.5s.

La zona de sub-tensiones (Sag) entre el -10% al -20% con duraciones limitadas por la curva negativa y por último, la zona de eventos con decaimiento oscilatorio de baja frecuencia (Low frequency decaying ringwave).

Con igual criterio que la curva CBEMA, la región de tensión de +/-10% está definida como margen de estado estable de suministro, de modo que cualquier variación de tensión dentro del +/-10% no será evaluada como eventos ni perturbación.

Para la visualización de grandes cantidades de datos de control de calidad, con frecuencia se añade un tercer eje que represente el número de eventos dentro de cada rango predefinido por magnitud y duración. Si se limita a sólo a dos dimensiones se presentará una trama de puntos sobre el plano tiempo-duración.

Curva SEMI F47

Para mejorar la robustez y la capacidad de soportar huecos de tensión de los nuevos equipos, la Asociación Internacional de la Industria de Semiconductores (SEMI) ha desarrollado los documentos SEMI F42 y SEMI F47.

SEMI F42, “Test method for semiconductor processing equipment voltage Sag immunity” que establece la metodología para confirmar el cumplimiento del estándar SEMI F47.

SEMI F47, “Specification for semiconductor processing equipment voltage Sag immunity”, expresa los requerimientos de tolerancia de los equipos de producción de semiconductores a huecos de tensión (sags) de la red de alimentación.

Se establece, que estos equipos deben tolerar huecos: del 50% (tensión residual) con duraciones hasta 200mS, del 70% hasta 500mS y del 80% hasta 1000mS.

Los límites establecidos determinan la región de funcionamiento y establecen una zona inferior, como prohibida o de mal funcionamiento.

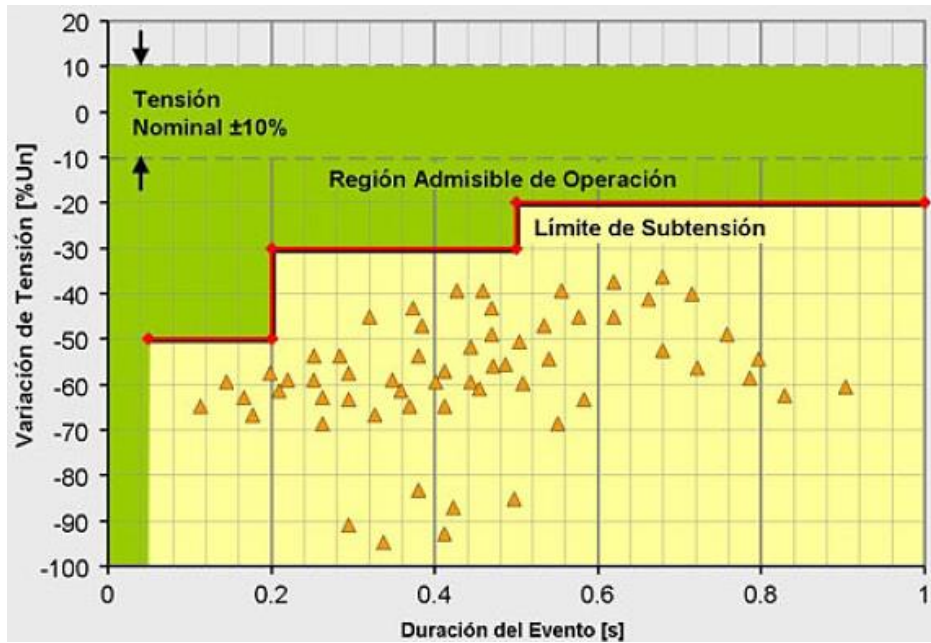


Figura 4. Límites subtensión del SEMI F47

Como es de esperar, los intervalos de tiempos fuera de lo especificado, deben ser contemplados. Para ello, SEMI F47 establece y recomienda umbrales adicionales, que no son requisitos de la norma. A partir de ello, se incluyen huecos del 0% residual hasta 1 ciclo, del 80% residual hasta 10s y huecos continuos del 90% residual. En la figura siguiente se observa recuadrado los límites normativos y por fuera de estos, el resto de los umbrales recomendados:

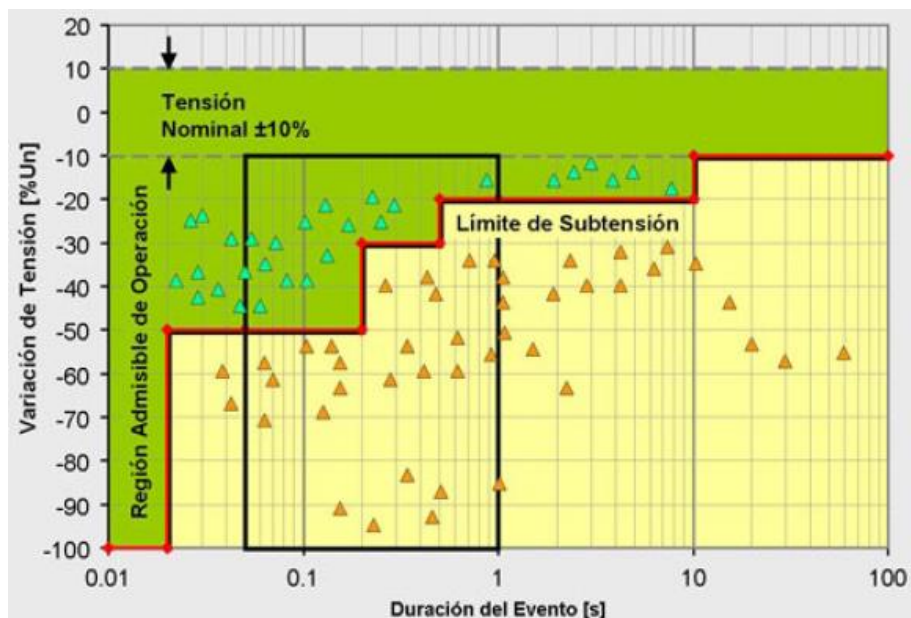


Figura 5. Límites normativos de SEMI F47

4. La Generación Distribuida (GD)

La Generación Distribuida, consiste en sistemas de generación interconectados a la Red de distribución eléctrica donde los usuarios abastecen sus necesidades de energía y el excedente es transmitido a la red eléctrica, la capacidad de generación tiene un límite máximo de 10MW, pero en algunos casos este límite se puede llegar de los 100 MW hasta los 200MW esto va a depender de las opciones de carga a suplir.

Con la implementación de GD se tiene una alternativa viable que modifica la concepción tradicional de un sistema eléctrico de potencia como se observa en la figura 6

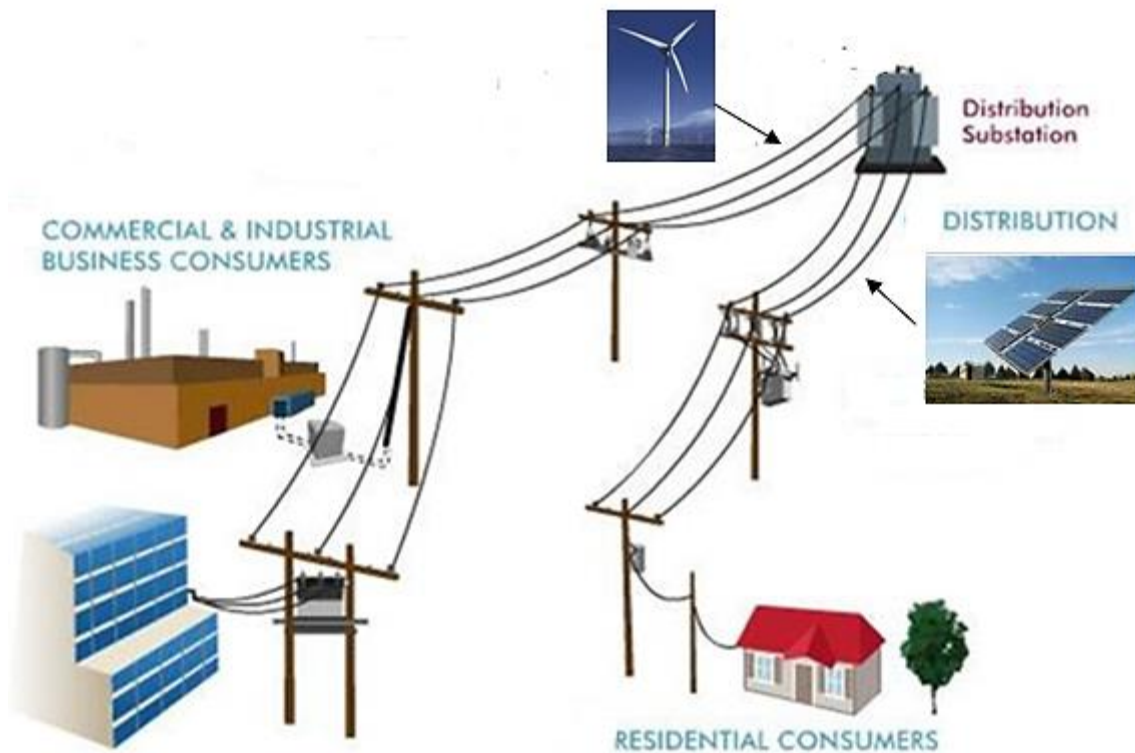


Figura 6. Alternativa de GD en un sistema eléctrico.

Con esta propuesta, una parte de la energía demandada es proporcionada por los generadores centrales convencionales, mientras que el resto de la demanda es producida mediante GD (Generación Distribuida) definida por alternativas de tecnología renovable no convencional como la Energía Eólica, solar, mareomotriz, Biomasa, pequeñas presas hidroeléctricas y las alternativas de generación tradicional a pequeña escala como son los motores de combustión interna, turbinas de gas, las microturbinas, la turbina de vapor, las celdas de combustible y otras [4].

Toda iniciativa para la implementación de una Generación Distribuida está basada en los siguientes aspectos [5]:

1. Aumento de la confiabilidad en el suministro de energía eléctrica, ya que se reducen los cortes por caídas de las líneas de transmisión, al disminuir su utilización.
2. Puede ayudar a satisfacer la demanda en horas pico.
3. Ayuda a bajar las pérdidas en redes de transmisión y distribución.
4. Aumentar la eficiencia aprovechando el calor en instalaciones de cogeneración o de ciclo combinado,
5. Aplicación de la Generación de energía limpia utilizando fuentes renovables (Generación Distribuida Renovable, GDR), ya que existe cada vez una mayor conciencia por el medio ambiente, lo que permite la conexión de tecnologías de energía renovable, directamente a la red de distribución.
6. Por lo general las reglamentaciones aceptan la GD cuando se trata de tecnología renovable. No obstante, cuando ello no fuera así, se considera que al bajar las pérdidas de las líneas, está colaborando a disminuir la emisión de CO₂ de todas maneras.
7. Disminuir el tiempo de implementación de los proyectos, dando soluciones de corto plazo y evitando grandes inversiones en infraestructura convencional.
8. Tomando en cuenta las condiciones geográficas, la GD ofrece soluciones a zonas remotas alejadas de la red eléctrica y a áreas urbanas donde la red está restringida.

En cuanto al consumidor, puede satisfacer sus necesidades, si éstas están orientadas a alta confiabilidad o a bajo costo, con precios de electricidad competitivos respecto a la producción centralizada. Por otro lado, GD ofrece, a las empresas eléctricas, la ventaja del alivio de la red en horas punta. En general la GD, con su mayor dispersión, creará un sistema eléctrico menos vulnerable a desastres naturales o a desastres provocados [6].

La GD se torna una excelente fuente de ingresos para aquellas empresas, cuya generación de energía no solamente les permite autoabastecerse, sino que además tienen un excedente de energía que pueden comercializar. También un aspecto necesario es la interconexión con la red eléctrica, para poder cubrir cualquier eventualidad del sistema de compra o venta de energía eléctrica. Las reglas generales de interconexión son los requisitos que se deben cumplir para la interconexión al Sistema Eléctrico. En estas se especifica la información que se deberá proveer al operador del sistema para la operación, planificación, estadística, predicción de la demanda, mantenimiento, disponibilidad de la generación, etc. Entre estas reglas mencionamos:

- a) Regulación de la tensión. Se debe mantener una tensión constante a pesar de las variaciones debidas a los cambios en la carga y la posible variabilidad en la producción de generación.
- b) Integración con la puesta a tierra de la red de distribución. Las unidades de GD deben estar conectadas a tierra para evitar sobretensiones a lo largo de la línea.

- c) Desconexión del sistema ante interrupciones en la red eléctrica distribuida. El equipo de GD no debe suministrar corriente al sistema de distribución durante una falla.
- d) Sincronización del sistema de GD con la red de distribución. La salida de la unidad de generación debe tener la misma tensión, frecuencia y ángulo de fase que la red eléctrica a la que se requiere conectar.
- e) El equipo de GD no debe inyectar armónicos ni corriente continua por encima de los umbrales normados o regulados
- f) Por lo que respecta al factor de potencia, este aspecto debe ser lo más cercano a la unidad.

El Standard IEEE 1547 indica las especificaciones técnicas y los requerimientos para poder realizar la interconexión. En ella se detallan los límites permitidos de tensión y frecuencia, similarmente se especifican los límites de Calidad de Potencia, para perturbaciones tales como inyección de corriente continua, armónicas y flicker. También se detallan las tolerancias en frecuencia, tensión y fase para las operaciones de sincronización [7].

Las fuentes de GD deben operar de forma paralela a la red por lo que se deben modificar los esquemas de protección convencionales. La interconexión se establecerá en el punto de interconexión o punto de conexión común (PCC) entre la fuente de GD y la red de distribución. La interconexión de un GD con la red de potencia en forma directa, es desaconsejable y riesgosa, principalmente en caso de conectarse a líneas aéreas, ya que los generadores poseen nivel de aislamiento diferente con el correspondiente del sistema de potencia. Requiriendo de un transformador de interconexión, cuyas funciones son: adecuar los niveles de tensión, evitar la inyección de corriente continua al sistema, bloquear las armónicas triples, controlar las de corrientes de cortocircuito, facilitar la detección de sobrecorrientes desde el sistema y evitar las sobretensiones por resonancia.

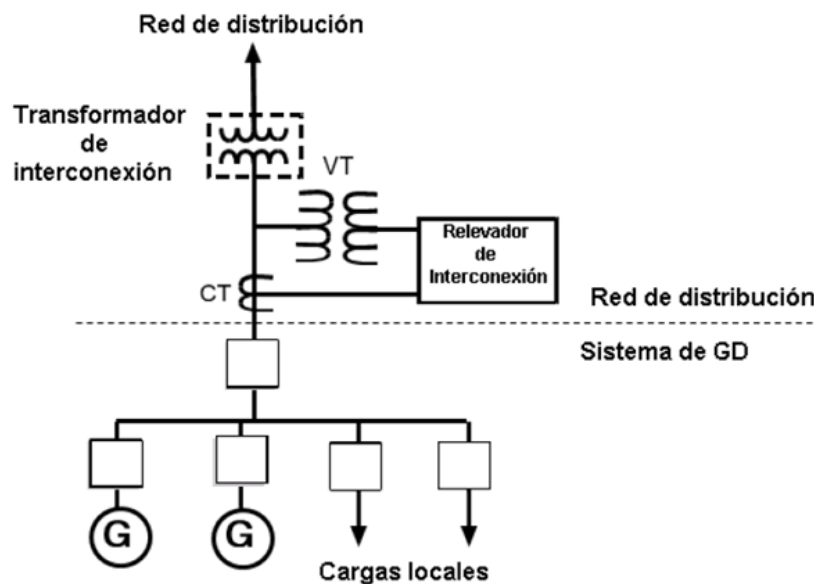


Figura 7. Protección típica de la interconexión GD con la Red

Es importante señalar que la mayor aplicación de fuentes de energía renovables para la interconexión de GD en la mayoría de países que lo han implementado está basado en sistemas de Generación Eólicas, en mayor porcentajes que otras fuentes de carácter renovable no convencionales, es por eso que enfocamos algunas ventajas y desventajas que pueden ser importantes en este tipo de implementación:

Ventajas

- Su impacto al medio ambiente es mínimo: no emite sustancias tóxicas o gases, por lo que no causa contaminación del aire, el agua y el suelo, y no contribuye al efecto invernadero y al calentamiento global.
- Es una energía limpia ya que no requiere una combustión que produzca dióxido de carbono (CO₂), y no produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes.
- La producción de energía por medios eólicos no presenta incidencia alguna sobre las características fisicoquímicas del suelo, ya que no se produce ninguna contaminación que incida sobre este medio.
- El viento es una fuente de energía inagotable, abundante y renovable, es decir, no se gasta o tarda poco tiempo en volver a regenerarse.
- La tecnología no usa combustibles y el viento es un recurso propio de la zona, por lo que es una de las fuentes más baratas.
- En comparación con otras tecnologías aplicadas para electrificación distante, la operación de un sistema eólico es muy barata y simple. El sistema no requiere mayor mantenimiento, aparte de una revisión periódica de las baterías, en caso de tenerlas, y una limpieza de las aspas en épocas secas.
- Proyectos de energía eólica se pueden construir en un plazo relativamente rápido.

Desventajas

- El aire al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y en consecuencia caras.
- Para proyectos aislados se requiere de un mecanismo de almacenamiento en batería de la energía generada, para poder disponer de energía cuando no haya suficiente viento.
- En comparación con fuentes térmicas de generación, un proyecto eólico tiene un alto costo inicial.
- Es una opción factible y rentable sólo en sitios con suficiente viento, lo cual significa que no se puede aplicar en cualquier lugar.
- Desde el punto de vista estético, produce un impacto visual inevitable, ya que, por sus características, precisa emplazamientos físicos que normalmente evidencian la presencia de las máquinas.
- Un impacto negativo es el ruido producido por el giro del rotor.
- Riesgo de mortandad al impactar las aves con las aspas.

Con respecto a la calidad de energía eléctrica proveniente de la GD, se establece que el suministro que reciben los usuarios se basa en la calidad de la onda de tensión. Por lo tanto dicha calidad depende del cuidado que se tenga sobre sus características de:

- Frecuencia.
- Amplitud.
- Forma de onda.
- Simetría del sistema trifásico.

El incremento en la penetración de la generación eólica ha tenido un impacto en la estabilidad y confiabilidad de los sistemas eléctricos de potencia. Con el fin de mantener la continuidad y seguridad del suministro de electricidad, varios países han aceptado un protocolo de control y regulación en sus fuentes de generación conocida como técnica de códigos de red específicos para la conexión de parques eólicos a la red eléctrica [8].

Los códigos de red son conjuntos de documentos en los que se encuentran redactadas las normas que regulan la conexión de una planta de generación de energía eléctrica, en estos documentos se detallan las condiciones técnicas y operativas que garanticen que se cumpla con los estándares de calidad.

Los Códigos de Red empezaron a aparecer abiertamente los primeros años de la década de los 90's alrededor del mundo, tras el surgimiento de problemas como los controles sobre las emisiones gases de efecto invernadero en las distintas plantas de generación con base en combustibles fósiles, así como el incremento y volatilidad del precio de los mismos, han forzado un acelerado desarrollo y uso de fuentes alternativas de energía.

Desde hace treinta años, aproximadamente, el índice de penetración de centrales de generación con fuentes renovables de energía ha tenido un notable incremento, principalmente en países de Europa y en Estados Unidos, a tal punto que se prevé que para el año 2030 más del 20% de la energía eléctrica generada a nivel mundial será debido a la explotación de los recursos eólicos.

Entre las exigencias técnicas encontradas en la mayoría de los códigos de red en lo concerniente a la conexión de generación eólica se incluyen la capacidad de funcionamiento ante la presencia de fallas, voltaje del sistema y rango operativo de frecuencia, regulación de voltaje y potencia reactiva, regulación de potencia activa y control de frecuencia así como las emisiones de flicker de voltaje y contenido de armónicos.

El gran incremento de la capacidad eólica instalada en los sistemas de transmisión, especialmente en la última década, requiere que la generación eólica permanezca en

operación en el caso de perturbaciones y fallas en el sistema de potencia. Por esta razón los códigos de red emitidos los últimos años invariablemente demandan que los generadores eólicos, especialmente los que se encuentran conectados a redes de alto voltaje, sean capaces de resistir caídas de voltaje hasta un determinado valor del voltaje nominal (0-15%) y por un tiempo especificado, dependiendo de las regulaciones de cada país. [8]

Estos requerimientos conocidos como Capacidad ante fallas (Fault Ride Through, FRT) o para el caso de protección de baja tensión (Low Voltage Ride through, LVRT) son descritas por características de voltaje vs. tiempo como se muestra en la figura 8, mostrando el mínimo nivel de inmunidad requerido en el generador eólico. Los requerimientos de FRT ante caídas de voltaje es uno de los enfoques más importantes de los códigos de red y además incluyen el restablecimiento rápido de potencia activa y reactiva a los valores en condiciones de pre-falla, una vez que el voltaje del sistema regresa a sus niveles normales de operación [8].

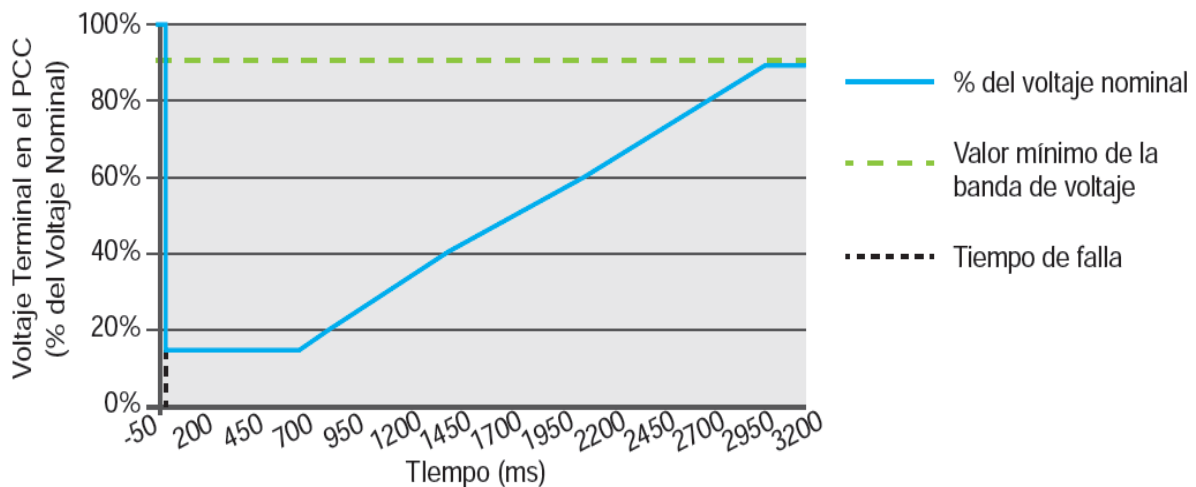


Figura 8. Curva Típica de Voltaje Terminal de un Parque Eólico en un PCC

Ante una falla se espera que estos dispositivos LVRT o FRT puedan actuar inyectando corriente reactiva a la red durante la perturbación eléctrica, este apoyo dinámico a la red permite que el inversor pueda inyectar potencia directamente tras la caída de tensión.



Figura 9. Contenedor de pruebas de funcionamiento de baja tensión LVRT

Las soluciones a través de los dispositivos LVRT están incluidas en el sistema de control del convertidor de un aerogenerador tomando en cuenta los siguientes requisitos del sistema:

- Contribución al cortocircuito durante la falla (Sistema de Protección).
- Inyección de Reactivos durante la falla. Estabilidad de la red (Tensión)
- Recuperación de la Potencia Activa después del despeje de la falla. Estabilidad de Red (Frecuencia)

Esto lo requieren los Códigos de Red especialmente en el Punto de Conexión Común (PCC), ya que las incidencias de Huecos de Tensión en este punto son monitoreados por el ente del regulador de la calidad de energía en cada país debido a los requisitos de seguridad y tiempos de respuesta requeridos [9].

Algunos códigos imponen un incremento en la generación de potencia reactiva por parte de las turbinas eólicas durante la perturbación, con el fin de proveer soporte de voltaje, un requerimiento que se asemeja al comportamiento de los generadores sincrónicos convencionales que se encuentran operando en condiciones de sobre-excitación. Los requerimientos dependen de las características específicas de cada sistema de potencia y de las protecciones empleadas y de las desviaciones significativas entre unas y otras.

Los parques eólicos deben estar en la capacidad de operar continuamente dentro de los límites de variación de voltaje y frecuencia que se pueden presentar durante la operación normal del sistema. Adicionalmente, deben mantenerse operando si se presenta el caso de

que una de estas variaciones salga de los límites de operación normal, por un tiempo limitado y en algunos casos reducir la capacidad de entrega de energía.

Los grandes parques eólicos modernos deben tener la capacidad de controlar tanto la potencia activa como la reactiva. En el caso de las turbinas de velocidad fija con generadores convencionales de inducción, la potencia reactiva puede ser controlada por bancos de capacitores encendidos por tiristores. Además, una unidad de control dinámico de potencia reactiva basada en convertidores de potencia puede ser instalada adicionalmente en el PCC a pesar de los elevados costos.

El llamado Flicker es otro problema de calidad en generación eólica de energía asociado con la red eléctrica. El flicker está definido como una medición de molestia o parpadeo de la luz de las bombillas, causada por fluctuaciones de potencia activa y reactiva como resultado de un cambio rápido en la velocidad del viento. Las fluctuaciones en el valor RMS del voltaje del sistema pueden causar un flicker de luz perceptible dependiendo de la magnitud y frecuencia de la fluctuación. Existen dos tipos de emisiones de flicker asociadas con las turbinas eólicas, durante la operación continua y la operación de conmutación (“switching”) debido a las conmutaciones del generador y el capacitor. Esta operación es la condición de apertura y cierre en la turbina eólica. El estándar IEC 61400-21 requiere que el flicker sea monitoreado en estos dos modos. Frecuentemente uno u otro es predominante [8].

Las perturbaciones armónicas son fenómenos asociados con la distorsión de la forma de la onda sinusoidal y se producen por la no linealidad del equipamiento eléctrico. La emisión de armónicos es otro asunto crucial para las turbinas eólicas conectadas a la red debido a que podrían resultar en distorsiones y pulsaciones de torque, las que consecuentemente causarían posibles sobrecalentamientos destructivos en los generadores y en otros equipos, además de otros problemas como incrementos en corrientes y pérdidas adicionales de potencia [8].

Por lo anterior podemos decir que la implementación de la Generación Distribuida es una gran opción para reducir el porcentaje de perturbaciones eléctricas al acortar las distancias de las redes de distribución y transmisión eléctrica hacia las cargas de los usuarios, aunque esto no descarta por completo que se presenten eventos fortuitos relacionadas con la calidad de energía, en la red el porcentaje de mejora en la confiabilidad y continuidad del suministro eléctrico se eleva, ya que se minimiza la sensibilidad a las fallas o perturbaciones eléctricas que se presentan lejanas a las zonas que sirven los centros de Generación Distribuida, esto hace que el riesgo de tener problemas en la red local sea de baja probabilidad.

5. Análisis de caso en Kingston Ontario, Canada.

Una compañía gestora de tarjetas de crédito y débito que maneja un volumen de registro de entrada de \$36,900,000 dólares por hora está teniendo dificultades en operaciones de financieras a través de transferencias en línea ya que se han detectado perturbaciones eléctricas que afectan la continuidad en el servicio al cliente originando pérdidas económicas para las entidades bancarias y una constante insatisfacción del usuario ya que un apagado y reinicio del centro de procesamiento tiene consecuencias extraordinarias.

Esta compañía financiera está ubicada en la ciudad de Kingston Ontario Canada, en donde se han presentado los problemas más serios en cuanto a calidad de energía eléctrica, la zona de ubicación es alimentada eléctricamente por Canadian Hydro Developers, Inc, la cual es una de varias compañías generadora establecidas en esta ciudad canadiense donde su base de comercialización esta determinada casi en un 80% de generación de tipo renovable de acuerdo a CANWEA (Canadian Wind Energy & Association) el resto está destinado a la generación por gas natural y de derivados del petróleo. También en periodos invernales de alta demanda por calefacción se hace uso de generación nuclear a través de la central nuclear Pickering de Toronto.

Se puede decir que a pesar que las redes de transmisión eléctrica fueron concebidas originalmente para una generación con alto porcentaje de base hidráulico en los últimos años ha predominado la generación distribuida con el objeto de acercar a los centros de cargas grandes una generación limpia de perturbaciones por las distancias en el corredor de transmisión, con esta filosofía de distribución eléctrica es que nace en esta ciudad, la implementación de generación distribuida con base en la generación del tipo renovable no convencional [10].

Generación Eólica en Kingston

Según un ranking que elabora cada trimestre la consultora Ernst & Young en Canada, Ontario es la provincia que lidera el crecimiento de las renovables en Canadá ya que se presenta como la provincia líder en los diferentes tipos de energías renovables. Esto se debe a los sucesivos programas de incentivos que se han implementado en esta región, pero especialmente al programa Ontario FIT (*Feed-in Tarifs*), aún en vigor pero en revisión, que supuso la fijación de tarifas especiales de introducción y que ha contribuido decididamente a la inversión en proyectos renovables en Canadá. El objetivo fundamental del Programa FIT, junto con la Ley de Economía Verde o Energía Verde de 2009 (Ontario) y el Plan de la Energía a Largo Plazo de Ontario de 2010, es facilitar el aumento en el desarrollo de instalaciones de generación renovable de diferentes tamaños, tecnologías y configuraciones a través de un proceso estandarizado, abierto y justo [9].

El Programa FIT está abierto a proyectos con una capacidad de generación de electricidad nominal superior a 10 kilovatios (kW) y en general de hasta 500 kW.

En cuanto al resto de provincias, Quebec ocupa el segundo lugar en importancia para el sub sector eólico, y Alberta el segundo lugar en el caso de la bioenergía.

La ciudad de Kingston en Ontario ocupa una alimentación eléctrica de generación distribuida a base de generación eólica cuyo proyecto está implementado en Wolfe Island, esta es una isla en la desembocadura del río San Lorenzo en el lago Ontario a 6.8 kilómetros de la ciudad de Kingston aproximadamente.

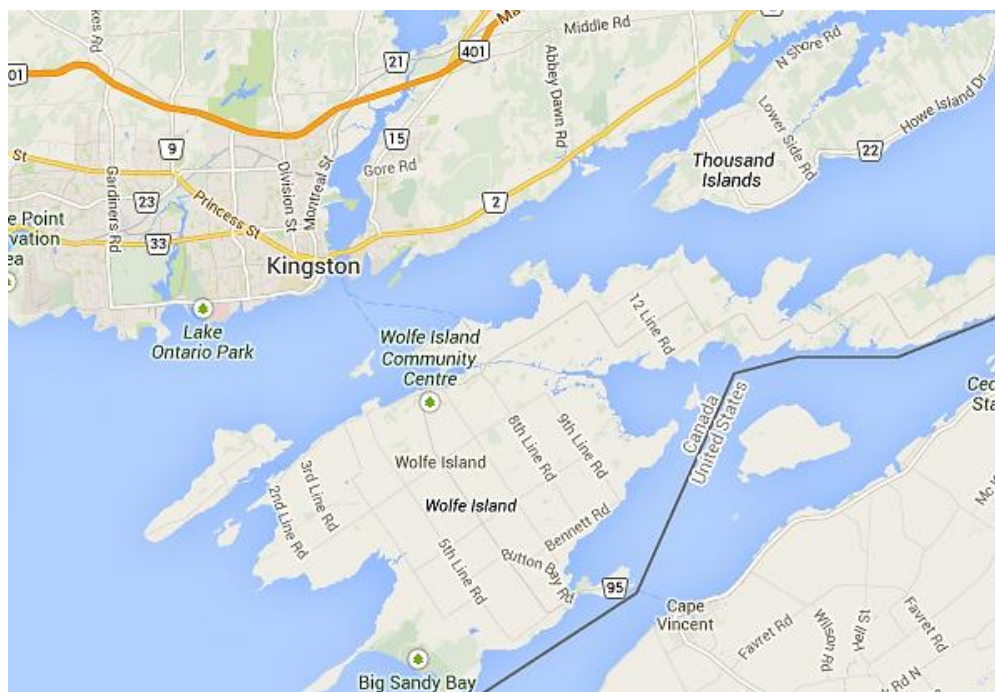


Figura 10. Mapa de ubicación de Kingston y Wolfe Island, Ontario Canada

El parque eólico desarrollado por el canadiense Hydro Developers, Inc. inicialmente nació como una alternativa de energía limpia de poca capacidad instalada, para apoyar las altas demandas de potencia eléctrica invernales de la ciudad de Kingston, debido al éxito comercializador de la generación demandada el parque eólico fue ampliado y fue hasta el año 2009 que se consolidó con una potencia instalada de 197.8 MW formado por 86 aerogeneradores y cada turbina tiene una capacidad nominal de 2.3 kilovatios. Este es actualmente el segundo proyecto de turbina más grande de Canadá (la primera fue la EcoPower Centre Melancton, ubicado en Shelburne, Ontario).

TransAlta Energy Corp. adquirió Canadian Hydro Developers, Inc., el 5 de octubre de 2009. Un componente importante que realmente distingue a Wolfe Island, aparte de otras instalaciones eólicas en América del Norte es el cable submarino utilizado para transmitir energía desde la isla con el continente. Esto es de 7,8 km de largo y se encuentra en el lecho del lago Ontario, en la Brecha Inferior entre la isla y la ciudad de Kingston. Tiene un diámetro de aproximadamente 235 mm y pesa aproximadamente 736.000 kg. La armadura se compone de hebras de acero que forman la vaina protectora, envuelto en una cubierta a prueba de agua y en algunos puntos alcanza una profundidad de 30 metros. Se mantiene en su lugar únicamente por su propio peso. Este cable de 7.8 kilómetros de largo es el primer cable submarino XLPE de 3 núcleos del mundo para lograr una tensión nominal de 245 kV.

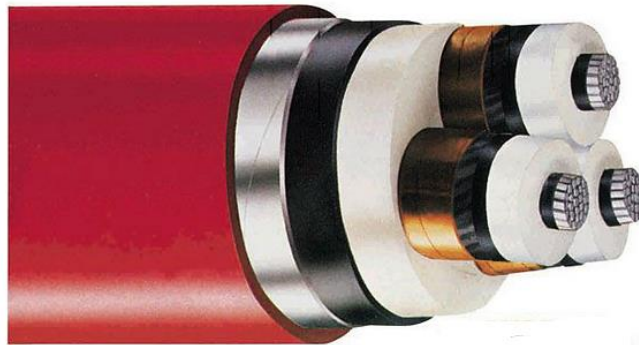


Figura 11. Cable Submarino de potencia XLPE de tres núcleos

El cable submarino se instaló para interconectar la central eólica para el vigente Hydro One 230 kV Estación Transformadora Gardiner, que se alimenta de la energía renovable en el mercado eléctrico Ontario administrado por el Independiente Operador del Sistema Eléctrico. La planta genera alrededor de 593,500 megavatios/hora por año de energía renovable [10].

Mediciones realizadas

Debido a las constantes perturbaciones reportadas por el consumidor afectado, se procedió a realizar mediciones para identificar la causa de estas perturbaciones y buscar una solución inmediata. Las mediciones eléctricas fueron llevadas a cabo por una compañía particular contratada exclusivamente para esta actividad. Estas se realizaron en dos puntos estratégicos, la primera en la alimentación eléctrica de baja tensión de la carga conectada que está siendo afectada y la segunda en las líneas primarias de la red de distribución eléctrica que suplente a este consumidor y al resto de cargas del área urbana en gran parte del centro de la ciudad de Kingston. También se seleccionaron dos periodos de medición diferentes cada uno de 24 horas como tiempo máximo considerando que cualquier día de operación en la empresa afectada se establece como representativo, sin tomar en cuenta los días sábado y domingo ya que esos días no hay actividad laboral. Los resultados fueron analizados y comparados con las curvas CBEMA e ITIC, llegando a concluir lo siguiente:

Curva CBEMA

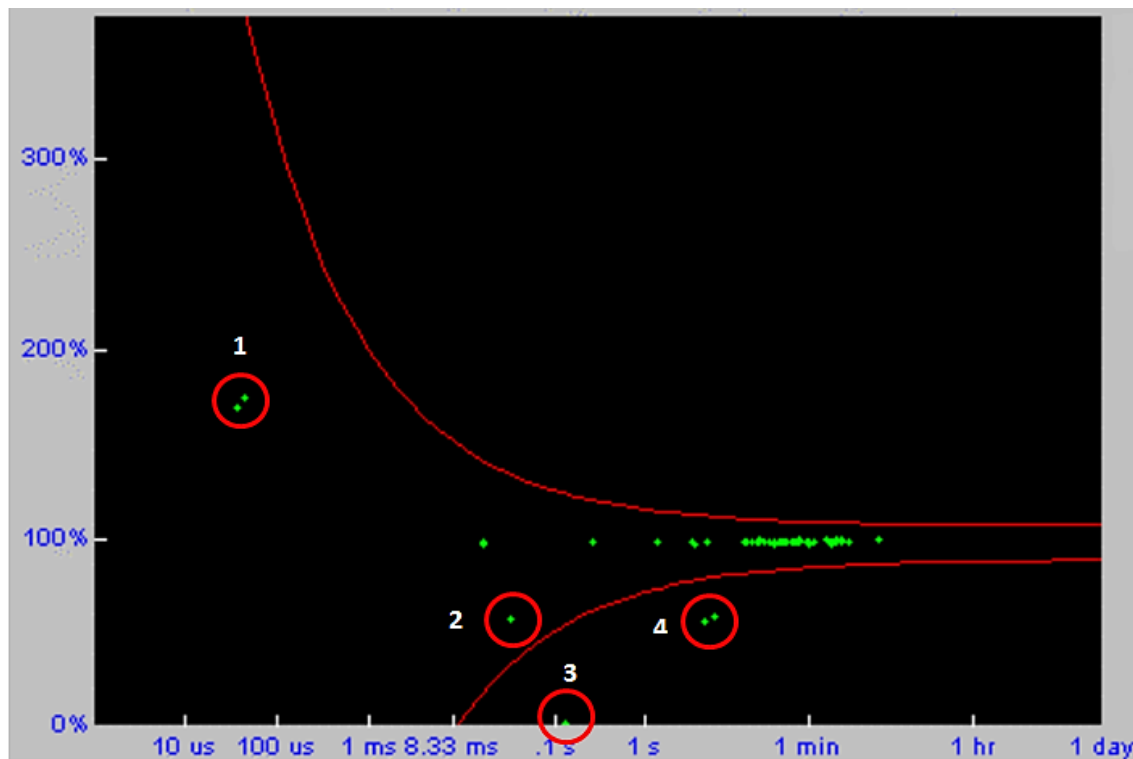


Figura 12. Medición realizada en Instalaciones del Usuario.

Se detectaron 77 eventos de los cuales se tienen 4 eventos significativos, identificando dos eventos en la zona de baja tensión de la curva originados en la fuente de alimentación, el resto se ubica dentro de la franja de aceptación sin presentar dificultades en el funcionamiento de las cargas conectadas:

- 1) Estos dos eventos son considerados como transitorios impulsivos se presentan con un tiempo de 50 a 60 microsegundos aproximadamente y a pesar que su registro en el valor porcentual es alto (aproximadamente del 175%) con respecto al valor de la tensión nominal de 120 voltios, por el tiempo de duración no son sensibles para afectar la operatividad de las cargas conectadas.
- 2) Este evento considerado un transitorio impulsivo con una duración aproximada de 75 milisegundos con una variación porcentual registrada de -30% del voltaje nominal de 120 voltios, por el tiempo de duración no es sensible para afectar la operatividad de las cargas conectadas.
- 3) Este evento se identifica como un transitorio impulsivo, su duración es de 120 milisegundos aproximadamente y se ubica cercano al cero porcentual del valor nominal de la tensión monitoreada (120 Voltios), lo cual determina una muy baja probabilidad de accionamiento de los sistemas de protección para reiniciar el arranque de los equipos conectados ya que este evento será insensible para su funcionamiento.

- 4) Se presentan dos eventos identificados como Sag de corta duración de aproximadamente 25 y 30 segundos con una variación registro de -30% del voltaje nominal de 120 voltios (alrededor de los 80 voltios), lo cual determina una operación de OFF/ON del equipo conectado ya que este se procederá a protegerse a la presencia de la perturbación generada en la fuente de alimentación.

Curva ITIC

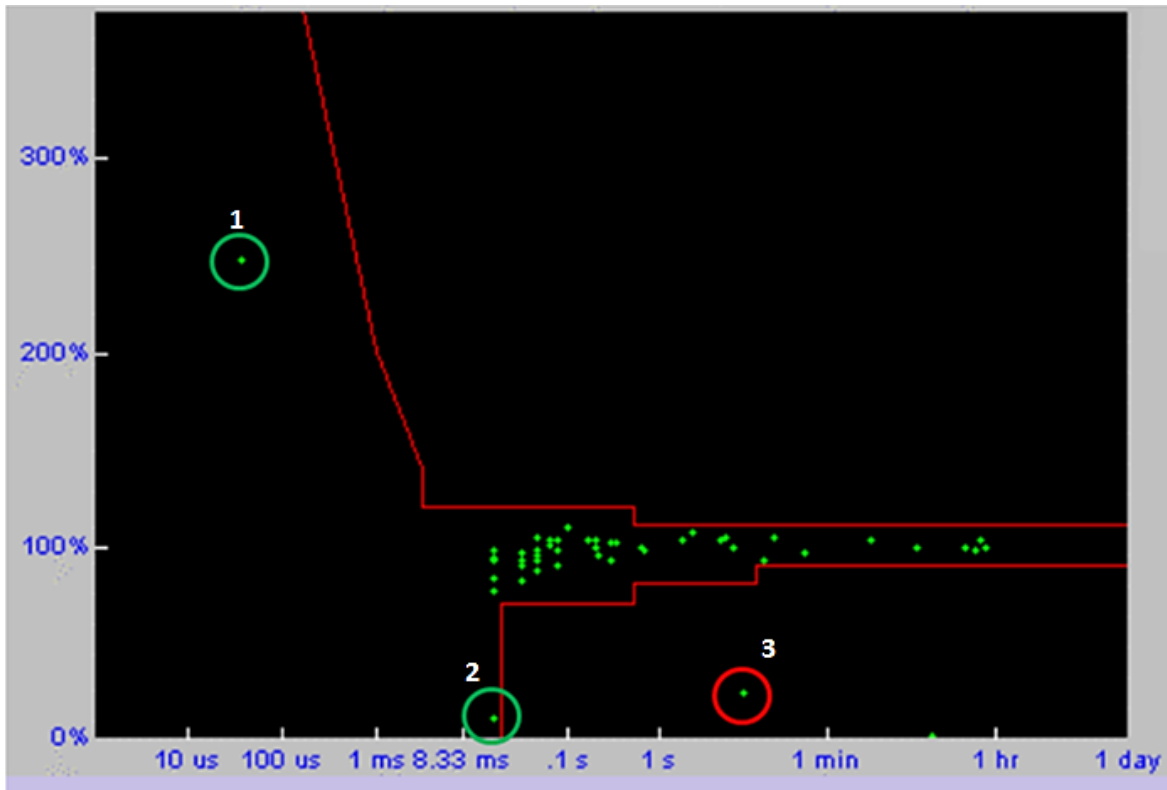


Figura 13. Medición realizada en Red de distribución primaria.

Se detectaron 48 eventos de los cuales se tienen 3 eventos significativos, el resto se ubica dentro de la franja de aceptación sin presentar dificultades en el funcionamiento de las cargas conectadas, dos se localizaron adentro de la curva y un solo evento fuera de ella identificándolo como Sag de corta duración el cual se originó en la fuente de alimentación:

- 1) Este evento considerado como un transitorio impulsivo se presenta con un tiempo de 40 microsegundos aproximadamente y a pesar que su registro en el valor porcentual fue alto (aproximadamente un 250%) con respecto al valor de la tensión nominal de 120 voltios, no es sensible para afectar la operatividad de las cargas conectadas.

- 2) Este evento es una variación de corta duración identificándola como un Sag instantáneo, se presenta con un tiempo de un ciclo de duración (aproximadamente 8.33 milisegundos) y se ubica cercano al cero porcentual del valor nominal de la tensión monitoreada (120Voltios), lo cual determina una nula sensibilidad que pueda afectar el funcionamiento de las cargas conectadas.
- 3) Este evento es una variación de corta duración y se identifica como un Sag temporal originada en la fuente de alimentación con una duración de 40 segundos aproximadamente y una variación porcentual registrado de -20% del voltaje nominal de 120 voltios (alrededor de los 24 voltios), lo cual determina una operación de OFF del equipo conectado ya que este se procederá a protegerse a la presencia de la perturbación, necesitando reiniciar los sistemas de encendido y arranque ya sean manuales o automáticos.

6. Análisis de los resultados

Transitorios. Todos los transitorios impulsivos registrados se ubican adentro de la zona de no daño de las curvas CBEMA y en la ITIC, estos tienen duración de tiempos relativamente pequeños los cuales no presentan ningún inconveniente a los equipos conectados a pesar que en algunos casos el porcentaje del nivel de voltaje alcanzado es bastante alto con respecto al valor del voltaje nominal de los equipos.

También es de mencionar que en las mediciones realizadas se registraron niveles de contaminación armónica de voltaje y de corriente considerados no perjudiciales para las cargas conectadas.

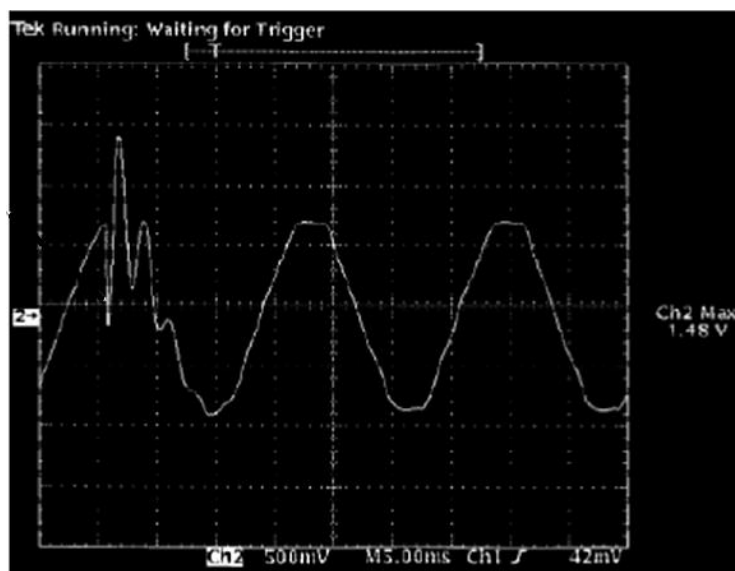


Figura 14. Transitorio impulsivo registrado en mediciones

Sag de Corta Duración. Por otro lado, los eventos que se encuentran fuera del área de no daño de las curvas obedecen a perturbaciones ubicadas en la zona de baja tensión y se identifican como Sag de tensión o “huecos de tensión”, su manifestación es una reducción del voltaje eficaz (RMS) de alimentación de un sistema eléctrico durante un breve periodo de tiempo. Una caída de voltaje supone que a la carga no le llegará la energía necesaria para su funcionamiento, lo que puede acarrear graves consecuencias a la carga.

En la práctica, la mayoría de los Sag (huecos de tensión) se producen por incrementos de corriente. Las causas más típicas de los huecos y cortes breves son las fallas en las redes de Transmisión y Distribución o en las instalaciones de los usuarios que en muchas ocasiones, tienen su origen en descargas atmosféricas y cortocircuitos. La existencia de estas fallas y por consiguiente la operatividad de los sistemas de protección con automatismos de reposición que reducen la duración de las interrupciones del suministro de energía eléctrica, dan lugar a la aparición de huecos de tensión y cortes breves [11].

Es importante recalcar que la disminución de voltaje se debe a que la corriente se eleva como respuesta a que las redes de distribución no presentan ausencia de impedancia, aunque estos incrementos de corriente no son tan elevados como para originar variaciones significantes de tensión con respecto a su valor nominal. No obstante, si se presentaran elevadas corrientes o cuando las redes eléctricas tengan impedancias relativamente altas el voltaje puede presentar caídas sumamente importantes [12].

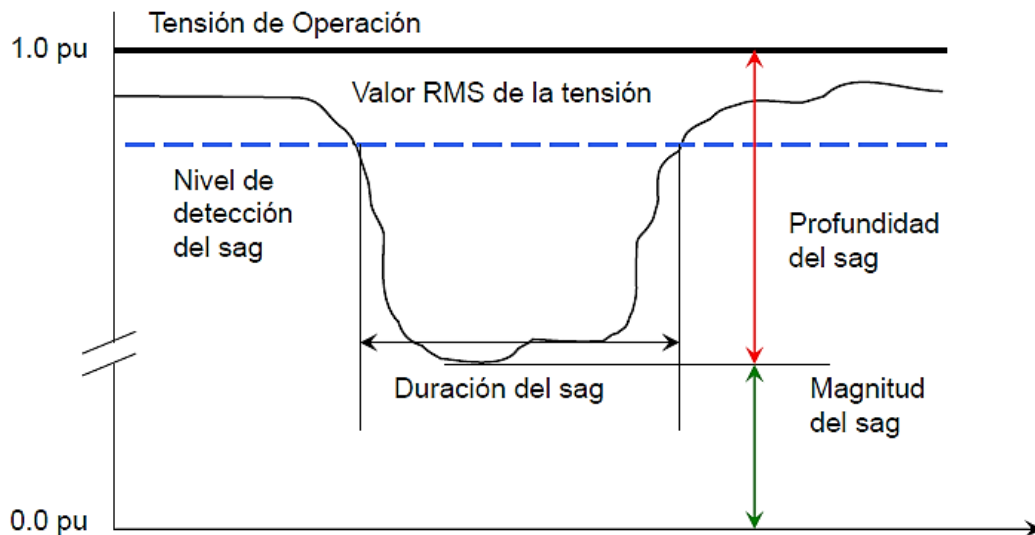


Figura 15. Caracterización de los SAG.

La siguiente tabla simplifica la descripción de esta perturbación:

Descripción	Caídas de tensión súbitas del valor de la tensión RMS por debajo del 90% de la tensión declarada.
Duración	Desde medio ciclo a los 60 segundos
Causas	Arranque de motores. Fallas y cortocircuitos. interruptores averiados, otras
Efectos	Paradas de procesos. Salida de operación de controladores de motores. calentamiento de los motores de inducción Salida de operación de dispositivos electrónicos Cuando se alcanzan valores menores al 70%, sistemas de transferencia pueden opera.

Tabla 1. Sag de tensión

En general, puede decirse que el voltaje en la en la fase en que se presenta una falla cae a cero voltios. El voltaje en la subestación y en las otras redes de alimentación en paralelo cercano al área de la línea fallada, depende de la distancia entre la falla y la subestación (de las impedancias presentes a lo largo de toda la red de alimentación). Los valores del voltaje servido a los consumidores de la energía eléctrica están relacionadas con la cantidad de equipos sensibles que éstos posean, y dependerán, a su vez, de los transformadores presentes entre el sistema donde se manifiesta la falla y las instalaciones de los usuarios [13].

La aparición de Sag e interrupciones breves no puede preverse debido al carácter aleatorio de las fallas que originan dichas perturbaciones. Las empresas de transmisión y distribución eléctrica no pueden eliminar los Sag originados en sus redes, pero sí reducir su número, profundidad y duración mediante el continuo mantenimiento de las redes, el empleo de tecnologías más inmunes a las descargas atmosféricas, el aumento de la potencia de cortocircuito y la mayor rapidez de los elementos de protección contra fallas. Todo ello en un equilibrio de costos y sobre todo de continuidad que, en muchos casos, se ve perjudicado con estas medidas. En cualquier caso, no es posible su eliminación total, ni tampoco reducirlos a partir de un cierto límite [13].

Tanto las compañías de distribución eléctrica, como los consumidores finales y los fabricantes de los equipos, pueden tomar diversas medidas para disminuir el número y la severidad de los Sag y reducir asimismo la sensibilidad de las máquinas frente a dichas perturbaciones.

La figura 16 ilustra diversas soluciones alternativas a los Sag y sus costos relativos. Como indica este gráfico, resulta menos caro abordar el problema cuanto más cerca nos encontremos de la carga [14]. Las soluciones en los niveles más altos de potencia disponible son, por lo general, más costosas.

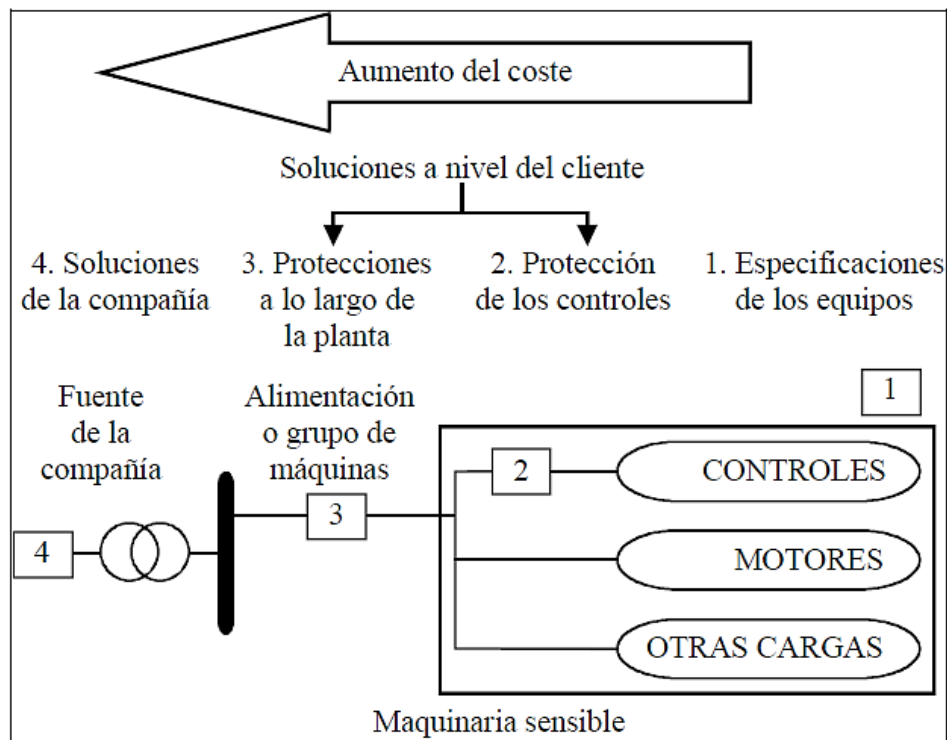


Figura 16. El Sag y los costos relativos.

De acuerdo al Programa de Investigación y Análisis de Señales eléctricas realizado por un grupo consultor en Colombia en el 2011 [12], se determinó que las causas de estas perturbaciones se originan tanto en la carga del usuario como en las redes de distribución eléctrica, como se demuestran en las siguientes tablas:

Sag generados por las cargas de los usuarios.

Duración	<0.1s	0.1s<t<0.5s	0.5s<t<1s	1s<t<3s	3s<t<20s	20s<t<60s	>60s
Profundidad							
10%...<15%	Variación de carga		Arranque de motor				
15%...<30%							Falla
30%...<60%							
60%...100%							
100%							

Tabla 2.

Es de hacer notar que los datos reflejados en la tabla 2, son fuertemente dependientes de la naturaleza de las instalaciones eléctricas de usuarios con cargas altamente disruptivas como son los hornos de arco, motores de alta potencia, etc.

Entre los principales métodos de mitigación para las cargas conectadas frente a la incidencia constante de Sag y cortes breves, podrían citarse los siguientes [13] [15] [16] [17] [18]:

- Transformadores de varias tomas.
- Reguladores de reactancia saturable.
- “Variacs” motorizados.
- Reguladores por control de fase.
- Reguladores electrónicos de tensión.
- Reguladores estáticos de tensión (SVR).
- Acondicionadores de conmutación suave en línea.
- Transformadores ferroresonantes (CVT).
- Sintetizadores magnéticos.
- Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI) y baterías de almacenamiento.
- Volantes de inercia (grupos motor-generator).
- Almacenamiento de energía mediante superconductores magnéticos (SMES).
- Almacenamiento de energía mediante condensadores: supercondensadores.
- Almacenamiento de energía mediante aire comprimido.
- Restauradores dinámicos de tensión (DVR).
- Correctores dinámicos de huecos (DySC)

Para nuestro caso particular la simple implementación de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI) y baterías de almacenamiento evitaría la presencia de Sag de corta duración, mejorando así el desarrollo de actividades financieras realizadas sin dificultad.

Sag generados en el Sistema de Distribución eléctrica

Duración Profundidad	<0.1s	0.1s<t<0.5s	0.5s<t<1s	1s<t<3s	3s<t<20s	20s<t<60s	>60s
10%...<15%	Elementos de protección instantánea		Falla lejana o arranque de carga lejana				Caída de tensión
15%...<30%			Protecciones lentas				
30%...<60%							
60%...100%							
100%			Recierres			Interrupción	

Tabla 3

Los datos de la tabla 3 son Sag de equipos conectados de fase a neutro. No obstante, si estos estuvieran conectados de fase a fase el Sag detectado fuera menor al 60% de acuerdo a los estudios estadísticos realizados [12].

Más del 80% de estos Sag se dan en las infraestructuras aéreas y son de carácter temporal originadas cuando operan los sistemas de protección en las redes de distribución, especialmente los Recloser los cuales están bastante cercanos a las cargas por eso la susceptibilidad de estas maniobras en los centros de cargas de los consumidores repercute más en los equipos sensibles. Por lo general estos accionamientos en los Recloser se dan en forma automática y tienen que ver en con la duración de la perturbación que se presente.

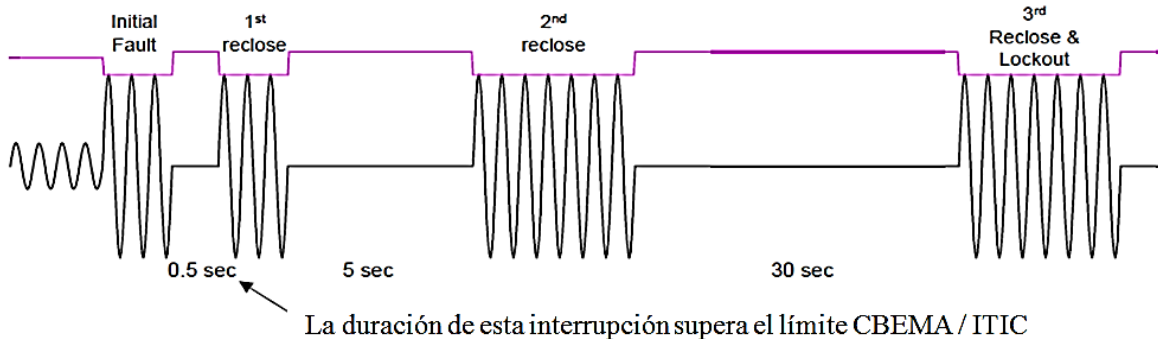


Figura 17. Operación de un Recloser ante una perturbación eléctrica

Es importante mencionar que de acuerdo a estudios realizados por EPRI / EEI (Electric Power Research Institute/ Edison Electric Institute) determinan que del 85% al 95% de problemas de confiabilidad se deben a problemas en el sistema de distribución, encausado a diferentes orígenes como son redes de distribución entregando a centros de cargas situados a grandes distancias, esto implica una alta sensibilidad de los circuitos alimentados de redes radiales y anillares, en la que se encuentran muchos equipos de protección como los Recloser, interruptores y otros, los cuales están monitoreando al mismo tiempo extensas áreas servidas ante cualquier falla que se origine, de esa forma la probabilidad de que se presenten perturbaciones eléctricas es bastante alta.

Entre las acciones que puede llevar a cabo la compañía de distribución eléctrica que actúa como empresa suministradora, con el fin de hacer frente a los Sag de tensión y cortes breves, podrían enumerarse las siguientes [19]:

- Reducir el número de Sag, actuando sobre las instalaciones en las zonas con alto índice de fallas y comprobando que los sistemas de protección funcionen correctamente.
- Reducir la duración de los Sag verificando que los tiempos de eliminación de las fallas son normales.
- Seccionar el sistema, separando en lo posible el punto de conexión de común (PCC), de las zonas que están muy expuestas a fallas.
- Elevar la potencia de cortocircuito de la zona (Sc_c). Con ello se consigue disminuir el área de influencia de las fallas, reduciendo así el número y profundidad de los Sag.
- Tomar las medidas necesarias para evitar eventuales fallas en las redes aunque esto traiga elevadas inversiones económicas a la larga son compensadas, entre estas están el mantenimiento continuo de las redes eléctricas, la poda y brecha de árboles, mejora en las puestas a tierra en los postes, instalación de protección anti fauna, revisión y sustitución de pararrayos, entre otros.

7. Conclusiones

- Se determina que la mayoría de perturbaciones registradas en sistema de Generación distribuida con base Eólica son los Sag de tensión de corta duración y armónicos en valores de contaminación no dañina.
- Que una forma de minimizar los problemas de calidad de energía eléctrica es la implementación de la Generación Distribuida tomando en consideración que esta alternativa no eliminan en un 100% las perturbaciones eléctricas.
- Que gran parte de las causas de mala calidad de energía eléctricas se originan en el lado del consumidor por operar con cargas de tecnología no lineal.
- Resulta sumamente ventajoso económicamente hablando tratar los problemas de calidad de energía lo más cercano posible a las cargas del consumidor.
- Se establece que la mejor solución para tratar los problemas de Sag de tensión de corta duración dependerán en gran medida de las características de carga del consumidor y de la red de distribución eléctrica a la que estén conectadas.
- Todos los eventos registrados en las mediciones realizadas localizadas fuera de las curvas CBEMA y la ITIC son clasificados como Sag de corta duración los cuales originaran activación de los sistemas de protección de las cargas en operación si se cuentan con ellos, de lo contrario se ponen en riesgo de daño.
- La mayoría de los eventos registrados en las mediciones realizadas se hallan incluidos en un rango de profundidad y de duración aceptable sin opción de daño al equipo en operación.

- De acuerdo al análisis de los resultados de las mediciones realizadas se concluye que la implementación de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) y baterías de almacenamiento evitaría la presencia de Sag de corta duración y por ende los cortes de fluido eléctrico que tantos problemas causan en el desarrollo de las actividades de la compañía financiera afectada.

Agradecimientos

Agradecer la ayuda recibida de EPOWER del departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación de la Facultad de Ingeniería y Ciencias aplicadas de la Universidad de Queen's de Kingston Ontario, Canada y en una forma muy especial al Dr. Tim Bryant profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica y Biomédica de la Universidad de Queen's por su ánimo y su apoyo incondicional desde el primer día que llegue a Canada.

Referencias.

- [1] Ramírez Castaño. S, Cano Plata. E. “Calidad del servicio de energía eléctrica”, <http://www.docentes.unal.edu.co/eacanopl/docs>
- [2] ECAMEC Tecnologia, 2010. “Análisis de eventos de Tensión Curvas ITIC, CBEMA y SEMI F47” ecamec@ecamec.com.ar
- [3] IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality (IEEE Std. 1159-1995). Institute of Electrical and Electronics Engineers. ISBN 1- 55937-549-3. Estados Unidos, 1995.
- [4] Treballe D. 2006. “La generación distribuida en España”, <http://www.iit.upcomillas.es/docs/TM-06-004.pdf>
- [5] Diolettas S. 2001 “Las ventajas de la generación eléctrica distribuida”. <http://www.aepro.com/congresos/2001>
- [6] Huacuz Villamar. J. “Generación Eléctrica Distribuida con energías renovables”, <http://www.iie.org.mx/reno99/tenden.pdf>
- [7] Universidad Nacional autónoma de México. “Generación Distribuida”. <http://www.ptolomeo.unam./bitstream/pdf>
- [8] OLADE, 2013. “Estabilidad de los Sistemas Eléctricos de Potencia con Generación renovable”. <http://www.olade.org>
- [9] Asociación mexicana de energía eólica. “Huecos de Tensión”. <http://www.amdee.org.mx>
- [10] Cristina Dordas. 2012. “The market for renewable energy in Canada”. <http://es.scribd.com/doc/94990203/Mercados-de-energia-electrica-canada>
- [11] Pacific Gas and Electric Company. 2000. “Short duration voltage sags can cause disruptions”. PG&E.
- [12] Andrés Pavas. CIDET y CODENSA, 2011. “Calidad del suministro de la energía eléctrica”, <http://www.codensa.com.co/>
- [13] Manuel Pérez Donsión. 2011. “Métodos de Corrección de Huecos de Tensión y Cortes Breves”. donsion@uvigo.es
- [14] Roger C. Dugan. 1996 “Electrical Power Systems Quality”. Editorial McGraw–Hill.
- [15] M. F. McGranaghan. 1993. “Voltage sags in industrial systems”. IEEE.
- [16] Eduardo Alegría. 1998 “Power conditioning using the STS and SVR. PG&E Energy Services”,
- [17] California Distributed Energy Resource Guide, 2002. Energy storage and UPS systems,
- [18] P. Dähler. 2000. “Requirements and solutions for DVR a case study”. ABB Industrie AG
- [19] UNESA. 1996. “Calidad de onda”. Comité de distribución-Comisión técnica