

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Y LA CALIDAD DE ENERGIA

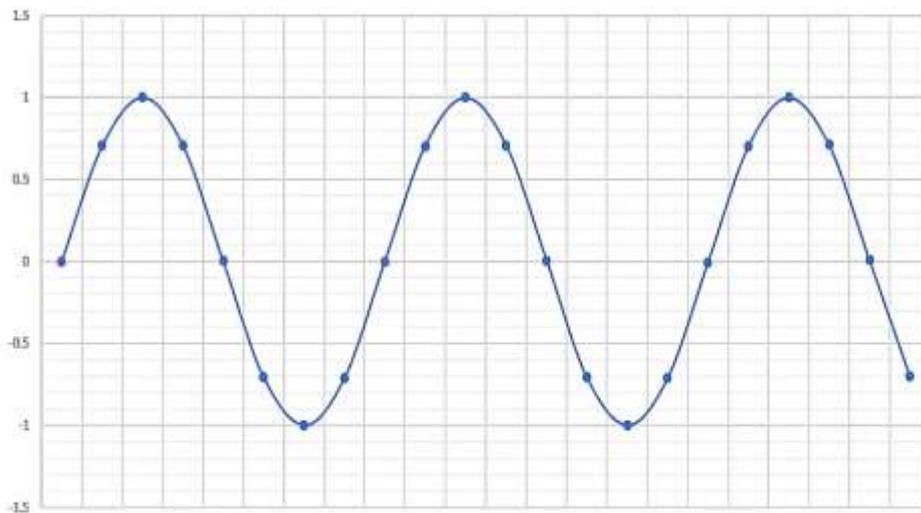
1- PARTE ANALISIS BASICO

2- PARTE EXPERIENCIA EN MEXICO

1- PARTE ANALISIS BASICO

QUÉ ES LA CALIDAD DE LA ENERGÍA

Podemos definir la calidad de la energía como el conjunto de características físicas de la señal de tensión y corriente en un determinado tiempo.



- La amplitud.
- La frecuencia.
- La forma de la señal.
- El balance de las fases.
- La continuidad.

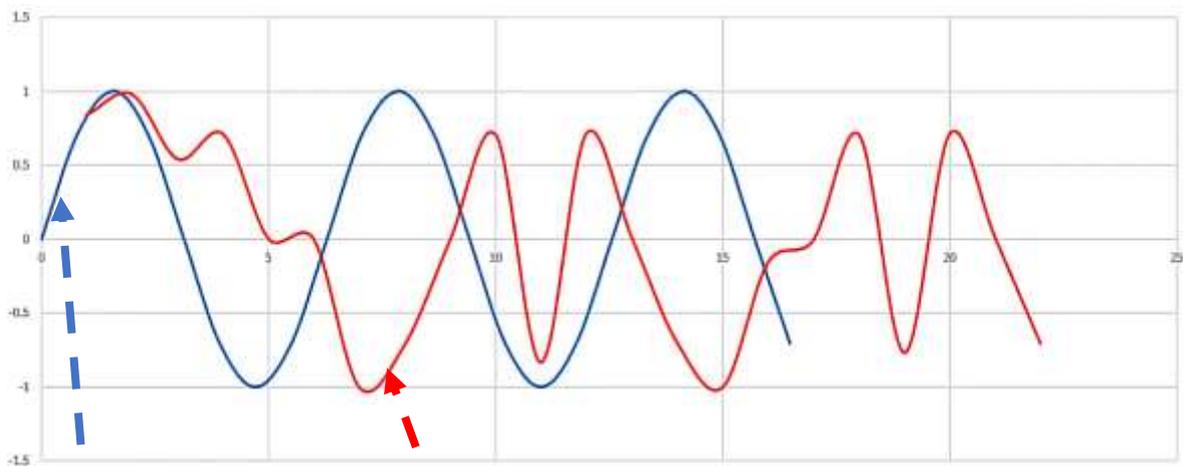
CALIDAD DE LA ENERGÍA

perturbación que ocurra en una instalación eléctrica.

Los analizadores de redes se utilizan para realizar este tipo de estudio, detectar los disturbios en la forma de onda, alteraciones en el voltaje y la corriente, etc.



CALIDAD DE LA ENERGÍA



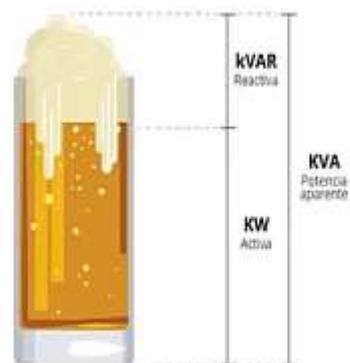
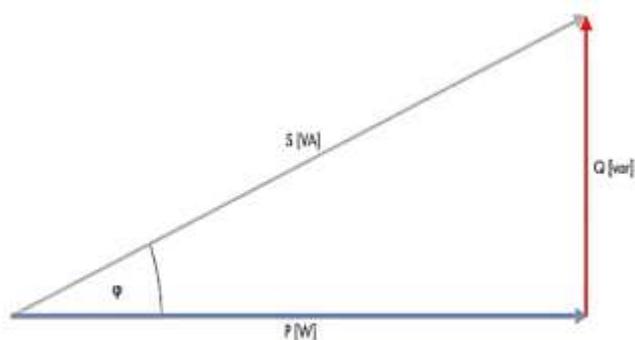
Cuando ocurren perturbaciones en la onda se pueden visualizar de esta manera, por ejemplo.

ONDA SINUSOIDAL NO DEFORMADA

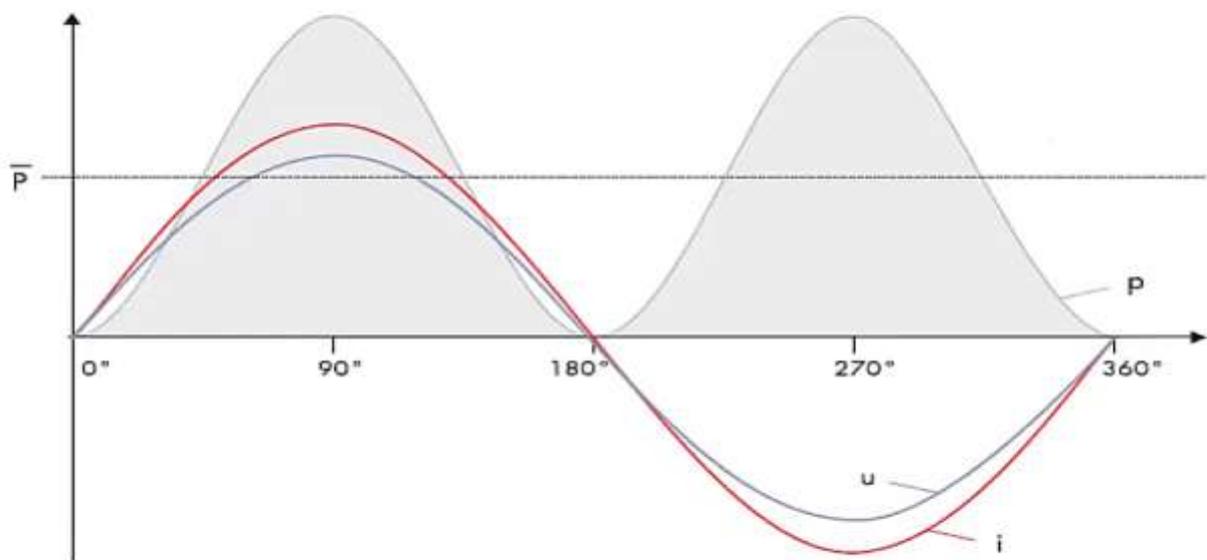
ONDA DEFORMADA COMPONENTES ARMONICAS

TIPOS DE POTENCIA

- **Potencia activa:** es la energía que es totalmente útil para transformarse en otro tipo de energía, como mecánica, lumínica, térmica, etc.
- **Potencia reactiva:** Es energía utilizada para generar el campo electromagnético que requieren para su funcionamiento dispositivos eléctricos como transformadores, motores, etc.
- **Potencia aparente:** Es la resultante de la suma vectorial de potencia activa y potencia reactiva.

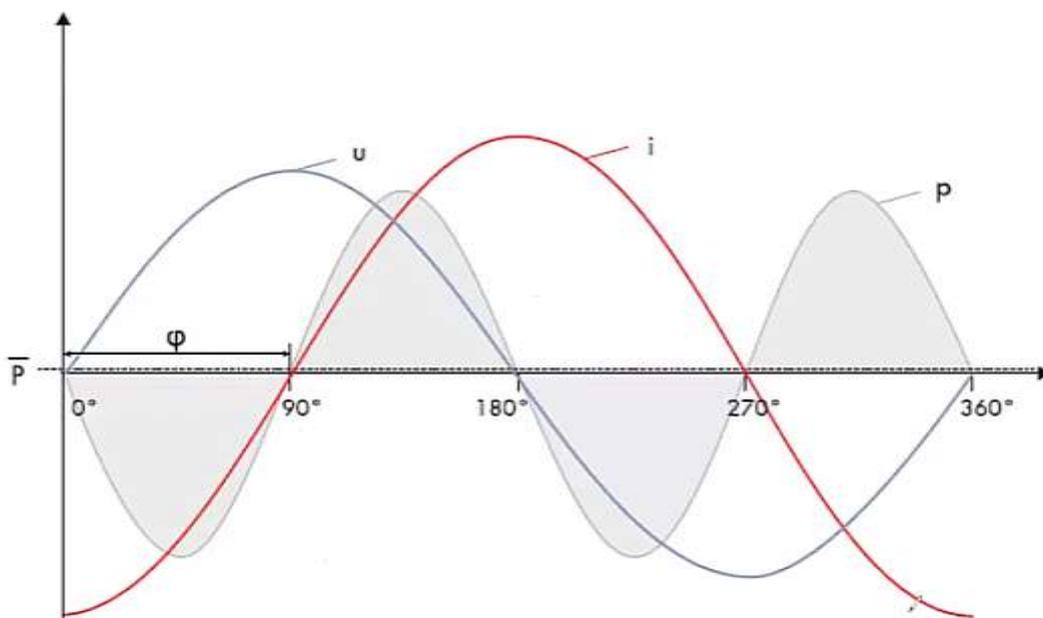


TIPOS DE POTENCIA



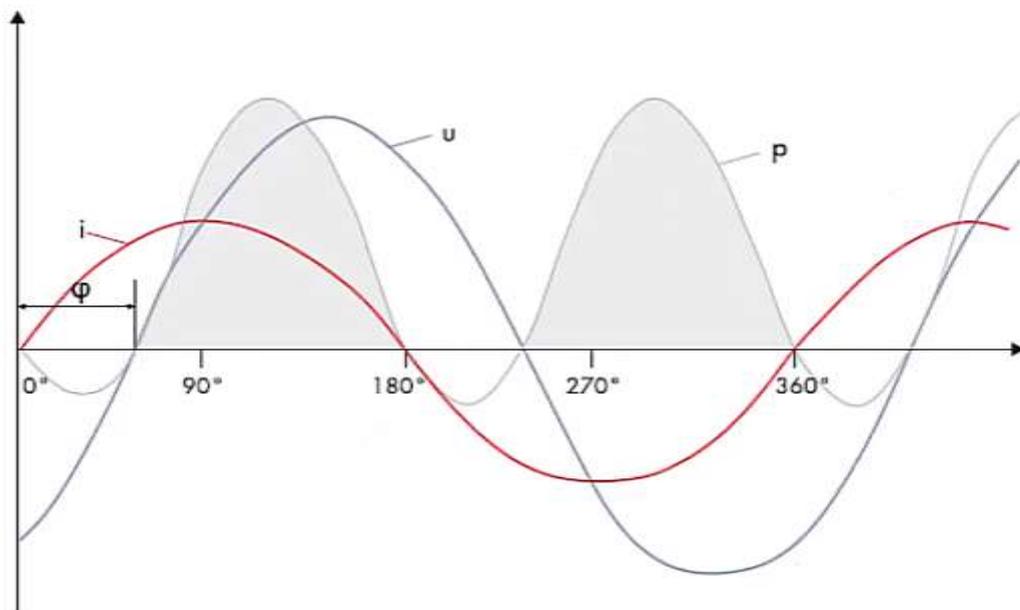
Potencia activa pura: La tensión y la corriente comparten fase.

TIPOS DE POTENCIA



Potencia reactiva pura: La tensión y la corriente están desfasadas entre si 90 grados.

TIPOS DE POTENCIA



Potencia aparente: La corriente y la tensión están desfasadas entre si y por tanto reducen la potencia activa.

TIPOS DE CARGAS

- **Resistiva:** pueden encontrarse en equipos tales como lámparas incandescentes, planchas y estufas eléctricas, en donde la energía que requieren para funcionar es transformada en energía lumínica o energía calorífica, en cuyo caso el factor de potencia toma el valor de 1.



TIPOS DE CARGAS

- **Inductiva:** Estas cargas se encuentran en cualquier máquina que esté constituida por bobinados, por ejemplo en los equipos del tipo electromecánico, tales como: motores, balastos, transformadores, entre otros; los cuales además de consumir potencia activa requieren de potencia reactiva para su propio funcionamiento, por lo cual trabajan a un factor de potencia menor a 1, y son precisamente las cargas inductivas las que dan origen a un bajo factor de potencia.



TIPOS DE CARGAS

- **Capacitiva:** Este tipo de carga se representa en los capacitores, en un circuito puramente capacitivo, no existe consumo de energía, aunque se encuentre corriente circulando. Las cargas capacitivas generan potencia reactiva.

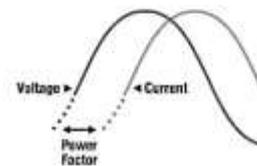


BAJO FACTOR DE POTENCIA

Cuando existe una cantidad apreciable de equipos, los requerimientos de potencia reactiva aumentan, esto se debe a la naturaleza de las cargas ya que existe un gran número de cargas que consumen potencia reactiva adicionalmente al consumo de potencia real, lo cual produce una disminución del factor de potencia y aumento de la corriente.

Los excesos de corriente pueden provocar daños en las instalaciones eléctricas por efecto de sobrecargas, lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los equipos. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse principalmente por:

- Cantidad elevada de motores
- Equipos de refrigeración y aire acondicionado
- Elevado número de equipos electromecánicos
- Transformadores



BAJO FACTOR DE POTENCIA

- Cuanto más bajo sea el factor de potencia, mayor potencia aparente se debe proporcionar a las cargas para entregar una misma potencia activa; esto tiene una serie de efectos negativos, tanto para el cliente, como para la empresa que suministra el servicio eléctrico:

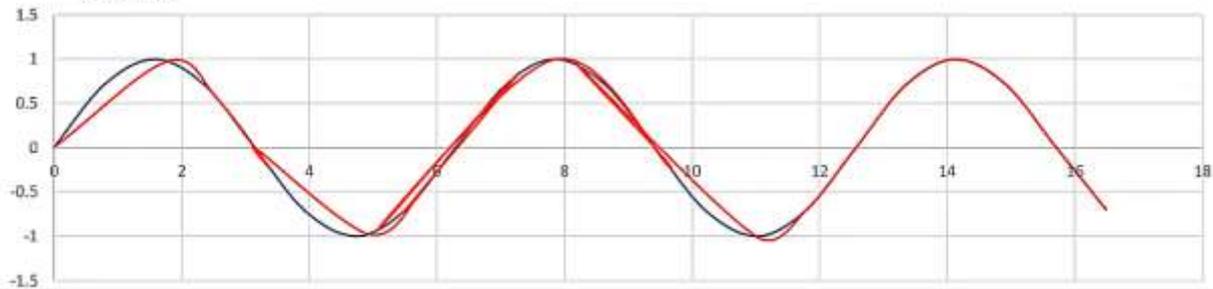
a) Efectos negativos para la empresa suministradora:

- Debe tener una mayor capacidad de generación de potencia aparente (kVA).
- Sobredimensionamiento de las líneas de distribución y los transformadores correspondientes.
- Con el aumento de la intensidad, aumentan las caídas de tensión y esto complica la regulación de la tensión, dando problemas de estabilidad en la red.
- Pérdidas de potencia, como consecuencia de una intensidad elevada
- Genera calentamiento excesivo en los conductores, con consecuencias negativas en la vida útil de los aislantes y los equipos en general.

BAJO FACTOR DE POTENCIA

b) Efectos negativos para el cliente:

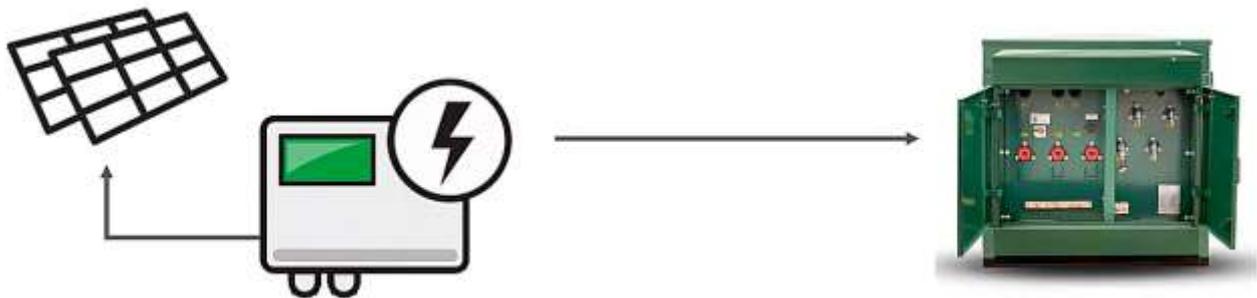
- Disminución de la vida útil de los aislantes y equipos
- Sufrirá caídas de tensión y pérdidas de potencia en los conductores, como consecuencia de la intensidad elevada.
- Aumento de la factura de electricidad, en función de la tarifa contratada, por consumo de energía reactiva.



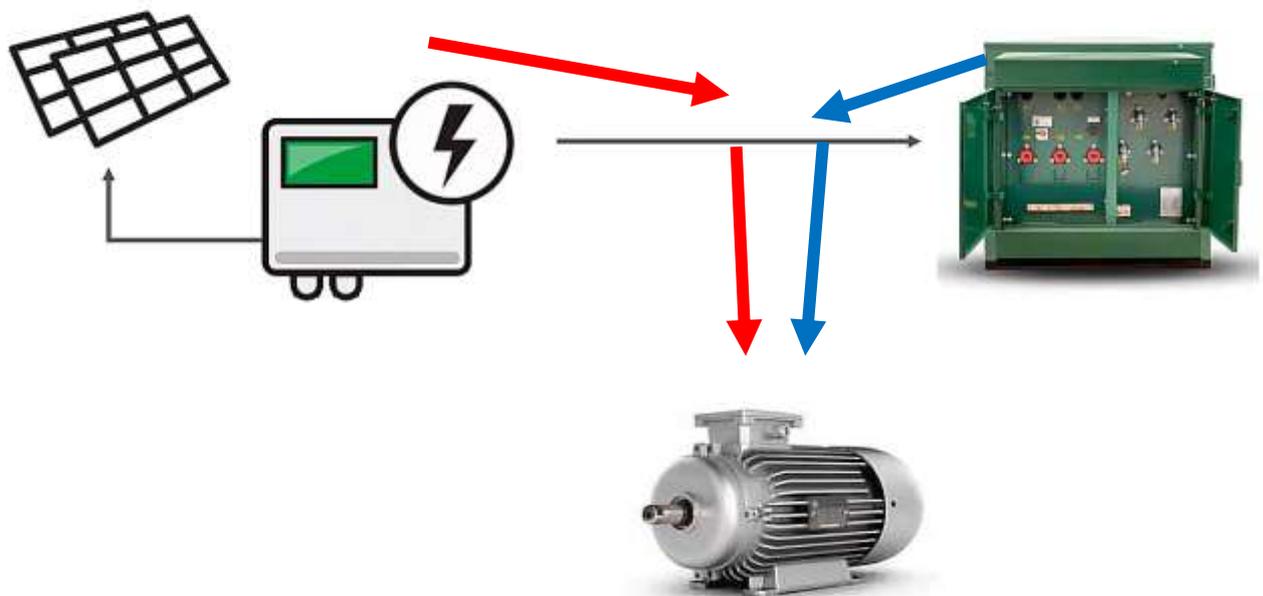
EL FACTOR DE POTENCIA EN UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Una instalación fotovoltaica proporciona generalmente potencia activa, por lo que es preciso tomar de la red la potencia reactiva necesaria que necesitan las cargas de la instalación eléctrica.

Cuando se incorpora una instalación fotovoltaica a un consumidor preexistente, si bien la potencia reactiva tomada de la red no varía, la potencia activa se ve reducida proporcionalmente respecto a la suministrada por el generador fotovoltaico.



EL FACTOR DE POTENCIA EN UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA



ENERGIA ACTIVA KW **ENERGIA REACTIVA KVAR**

CASO DEL INVERSOR $\cos\phi=1$

CÓMO CORREGIR LA MALA CALIDAD DE ENERGÍA

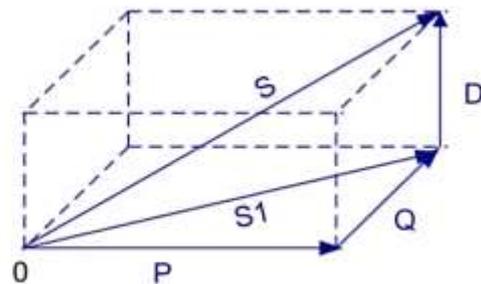
Optimización de las cargas del sitio.

Comprobación del cableado.

Instalación de banco de capacitores para aumentar el factor de potencia.

Filtros de armónicos.

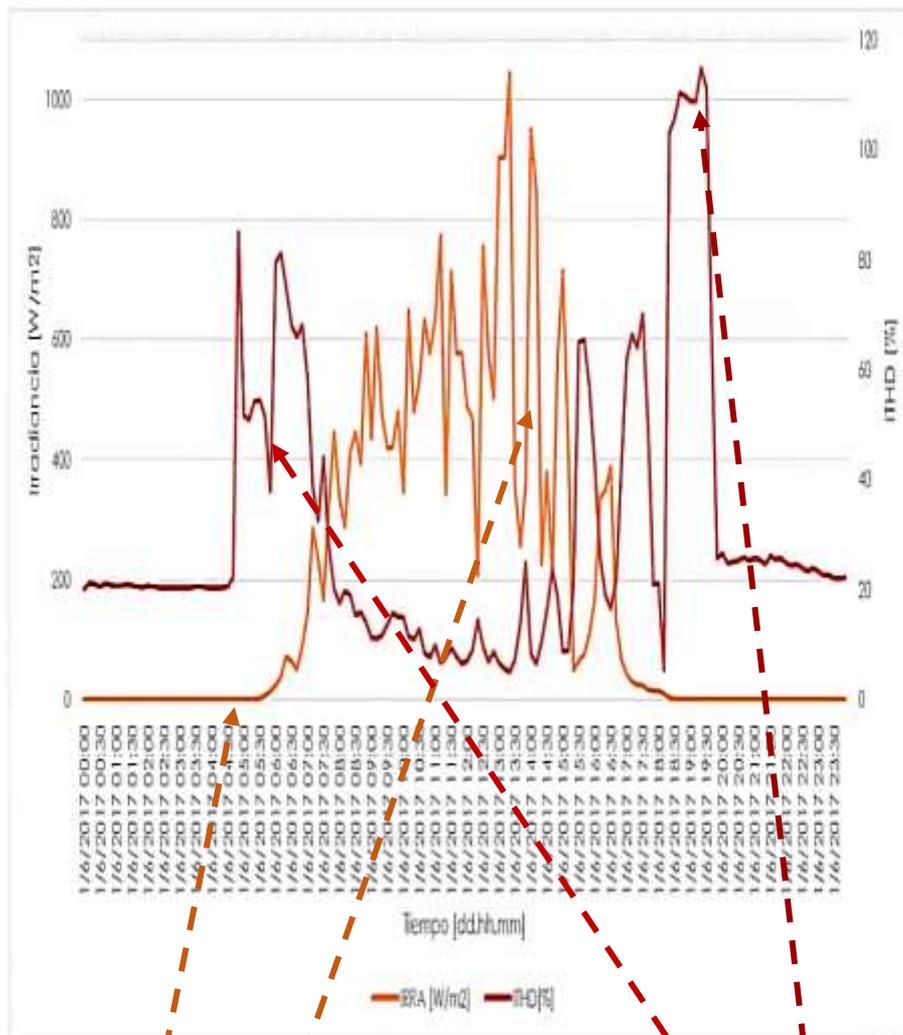
Capacidad de producir kVAR del inversor.



S POTENCIA DEFORMADA POR ARMONICAS > **S1** POTENCIA APARENTE SIN COMPONENTES ARMONICOS

DISTORSIÓN ARMÓNICA EN UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Se puede observar el comportamiento de la irradiancia a lo largo del día y el impacto que esta trae para la distorsión armónica total de corriente, a bajas irradiancias la THDI aumenta.



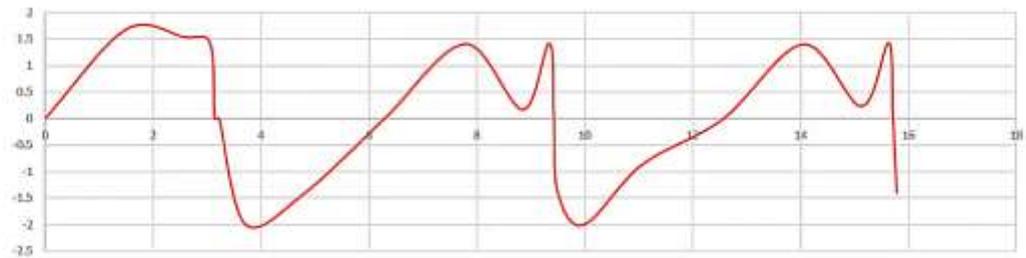
IRRADIANCIA W/m²

THD %

DISTORSIÓN ARMÓNICA EN UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

La mayoría de las perturbaciones presentes en los sistemas fotovoltaicos son causadas por la conmutación de los inversores (circuitos de potencia que conectan la señal proveniente de los paneles solares con la red eléctrica).

Reducir el contenido armónico del puerto alterno de tensión o corriente es una de las tareas más complejas en el diseño de los inversores. Los armónicos no sólo reducen el factor de potencia del lado de alterna, sino también aumentan las interferencias con el propio inversor, o con equipos situados en el entorno.



<https://youtu.be/LDjEWJlxWw>

2- PARTE EXPERIENCIA EN MEXICO

Calidad de energía en sistemas de generación renovable



Con la creciente expansión de las fuentes renovables de generación, la calidad de la energía suministrada a los distintos usuarios se convierte en una preocupación para las empresas suministradoras y para el administrador de la red, toda vez que este tipo de fuentes suelen ser intermitentes y emplea electrónica de potencia, factores que modifican el comportamiento de la carga y originan distorsiones de distintos tipos que afectan el desempeño de la red. El concepto de compatibilidad entre la fuente y la carga no es nuevo. Desde el inicio, las compañías suministradoras tienen la obligación de entregar el voltaje y la frecuencia de alimentación con un rango de variación mínimo, por ejemplo, Comisión Federal de Electricidad (CFE): Voltaje $V_n \pm 10 \%$; Frecuencia 60 Hz, $\pm 1 \%$. (MEXICO).

Visto de esta manera, el concepto de calidad de energía se entiende como aquel suministro de energía eléctrica de alta calidad, cuyas características de voltaje, frecuencia, ruido, distorsión y conexión a tierra están dentro de los rangos aceptables de CFE, los generadores o la compañía suministradora. Asimismo, se considera como la ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas y variaciones de voltaje RMS en la red.

Existen dos maneras para identificar dónde comienzan los problemas de la calidad de la energía. Primero, por la ubicación de la fuente, la cual puede ser interna debido al usuario, a la generación o a un sistema de autoabastecimiento; externa, proveniente de la compañía suministradora o la CFE; en tal caso, el objetivo será definir responsabilidades y obligaciones.

TABLA 1. ORIGEN DE LAS PERTURBACIONES

<p>Sobretensiones atmosféricas por sistemas de pararrayos deficientes</p>	<p>Causan sobrevoltajes cerca del punto de impacto y pérdida de voltaje a una distancia considerable</p>
<p>Conexión o desconexión de carga</p>	<p>Puede causar cambios de voltaje de larga duración inmediatamente después de la respuesta transitoria del circuito</p>
<p>Interrupciones</p>	<p>Estos disturbios pueden ir desde la reducción momentánea de voltaje, hasta la pérdida total de la energía por unos cuantos minutos, horas o días</p>
<p>Sistemas de tierra deficientes</p>	<p>Un sistema eficiente de tierra proporciona un medio seguro para drenar las corrientes a tierra y una referencia de fase a neutro y tierra adecuada. La falta de un sistema a tierra origina sobrevoltajes o bajos voltajes y retornos de corrientes a las cargas</p>
<p>Cargas no lineales</p>	<p>Producen caídas de voltaje no senoidales a través de las impedancias del sistema y generación de corrientes armónicas. También se crea un problema de ampacidad insuficiente del conductor de neutro en un sistema trifásico</p>
<p>Bajo factor de potencia</p>	<p>Produce caídas de voltaje que culminan en una mala regulación en los buses del sistema; crea la necesidad en el suministrador de compensar reactivos con una severa penalización</p>
<p>Otros disturbios</p>	<p>Las descargas electrostáticas del cuerpo humano y otros objetos pueden inyectar también voltajes o corrientes indeseables en el circuito</p>

En segundo lugar, es posible identificar el problema de la calidad de la energía por la naturaleza de las perturbaciones. Entre éstas pueden encontrarse las sobretensiones, conexión o desconexión de carga, falla del sistema o carga no lineal (ver Tabla 1). El objetivo en este caso específico, es entender el problema de ofrecer la solución técnica adecuada. En la práctica, las instalaciones eléctricas pueden presentar una serie de disturbios o perturbaciones que alteran la calidad de la tensión (energía):

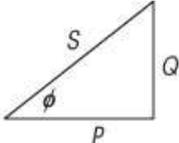
1. Variaciones de frecuencia
2. Variaciones de la amplitud de la tensión
3. Sobretensiones
4. Desbalance entre las fases
5. Deformaciones en tensión y corriente (armónicas)

Conceptos básicos

El factor de potencia se define como la relación de la potencia activa P con la potencia aparente

$$f_p = \frac{P}{S}$$

Este concepto se refiere a la proporción de potencia que se transforma en trabajo útil (P) de la potencia total (S) requerida por la carga. Bajo condiciones de voltajes y corrientes senoidales el factor de potencia es:

$$f_p = \cos(\phi)$$


Por otro lado, la corriente no lineal consumida por las cargas electrónicas es realmente una componente fundamental (60 Hertz), más muchos otros componentes que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental:



Estos múltiplos enteros de la fundamental son corrientes de alta frecuencia que se conocen como distorsiones armónicas y que causan los problemas. De manera reducida, algunos de los efectos negativos más significativos de las armónicas son los siguientes:

Térmicos

- Pérdidas adicionales en conductores (efecto Joule)
- Pérdidas adicionales en núcleos (máquinas y transformadores)

Degradación del aislamiento

- Cables
- Capacitores

Operaciones anormales y fallas de equipos

- Torques pulsantes en máquinas rotatorias
- Falsas operaciones en protecciones
- Señales de referencia falsas
- Interferencia en comunicaciones
- Errores de medición
- Interferencia electromagnética en equipos de control
- Corrientes importantes en neutros

LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

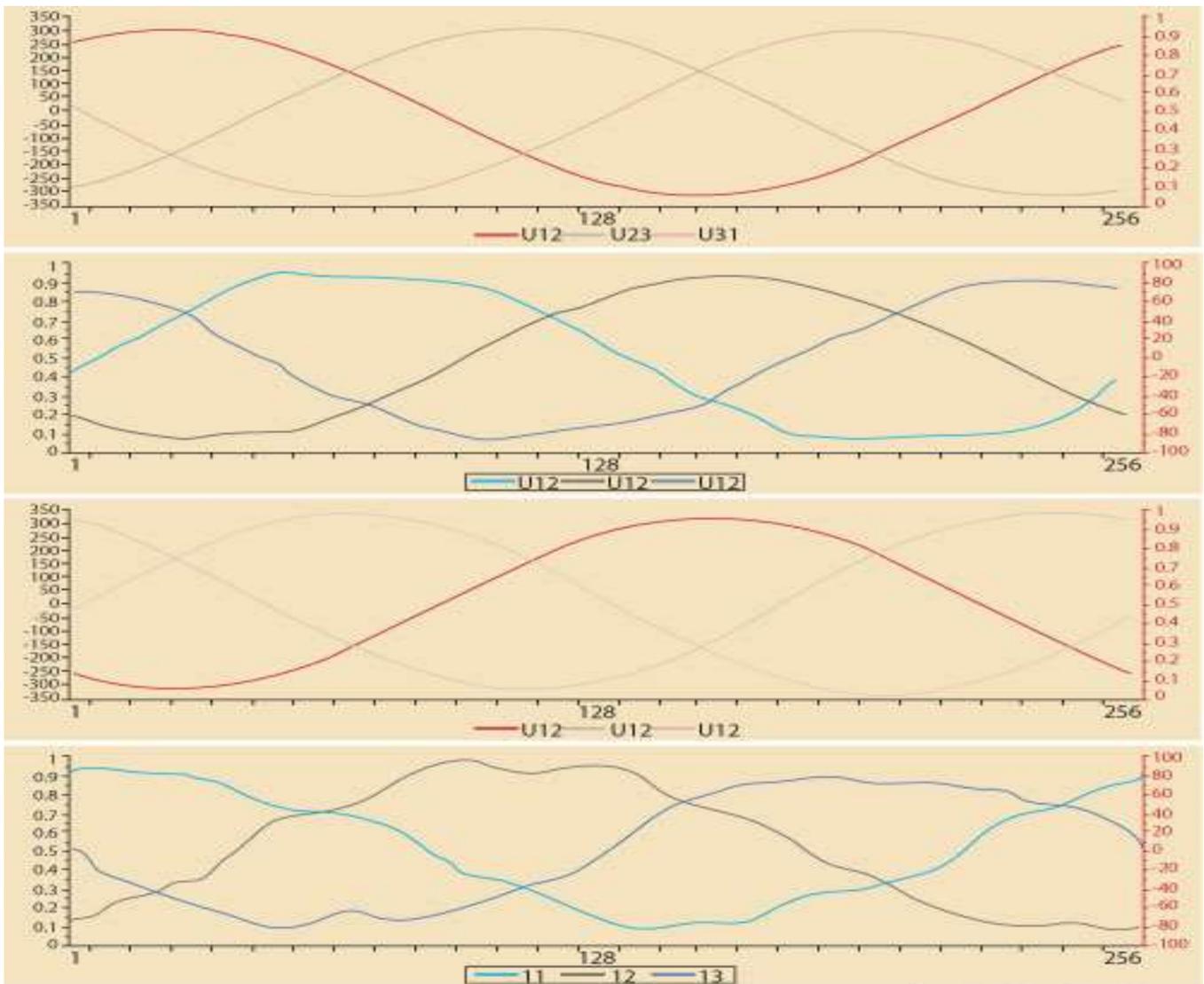
La Coalición Americana de Distribución de Energía (DPCA, por sus siglas en inglés) define a la generación distribuida como cualquier tecnología de generación a pequeña escala que proporciona electricidad en puntos más cercanos al consumidor que la generación centralizada y que se puede conectar directamente al consumidor o a la red de transporte o distribución. La Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés) considera como generación distribuida únicamente a la que se conecta a la red de distribución en baja tensión y la asocia con tecnologías como generadores, mini y microturbinas, celdas de combustible y energía solar fotovoltaica.

ENERGÍA FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED

El acondicionamiento de la potencia eléctrica generada por el arreglo fotovoltaico (corriente directa) – indispensable para la conexión de éste a la red eléctrica convencional– se realiza mediante un inversor (corriente directa / corriente alterna), que convierte la corriente directa producida por el generador fotovoltaico a corriente alterna, en fase y a la frecuencia de la red para una conexión segura y confiable del sistema a ésta. La eficiencia de los inversores es generalmente mayor a 90 % cuando éstos operan arriba del 10 % de su potencia nominal. En cuanto a los aspectos de seguridad y calidad de la energía producida, las compañías suministradoras del servicio eléctrico requieren de los fabricantes y usuarios de estos equipos el cumplimiento de normas y disposiciones aplicables, que garanticen que la instalación y operación del inversor y del sistema fotovoltaico en su conjunto sean seguras y no afecten adversamente la calidad de la energía.

ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA. CASO MUESTRA

El analizador de calidad de potencia fue conectado en los secundarios de los transformadores de medida de corrientes (300 A / 60 A) y tensiones (22 kV / 110 V) de la línea en subestación y, de igual manera, después del interruptor general de la planta fotovoltaica para realizar las medidas del punto de conexión común (PCC). Para las medidas en subestación y PCC, el equipo registró datos con un intervalo de muestreo máximo de 10 milisegundos para valores eficaces, promediando, posteriormente, los datos por minuto durante 24 horas.



Análisis de calidad de energía en planta fotovoltaica mediante analizador de calidad de potencia

CALIDAD DE ENERGÍA EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La energía solar es una fuente discontinua. La demanda existente y la producción de energía no coinciden completamente con la disponibilidad de radiación solar. Esto supone que la energía producida o capturada a la radiación solar, o bien, se consume en el momento de su producción, o bien habrá de contar con un sistema de almacenamiento que posibilite hacer uso de la energía cuando sea necesaria. La calidad de la energía eléctrica depende principalmente de las características de la fuente y de la carga. La contaminación armónica está directamente relacionada con la calidad de la energía eléctrica. En el caso de cargas no lineales, la THD se elevaba de manera excesiva con las cargas no lineales. La mayoría de las perturbaciones presentes en los sistemas fotovoltaicos son causadas por la conmutación de los inversores (circuitos de potencia que conectan la señal proveniente de los paneles solares con la red eléctrica), según indican las estadísticas recolectadas por las distribuidoras estadounidenses que estudian estos temas. Entre las perturbaciones provenientes de los sistemas fotovoltaicos (puntualmente de sus inversores) podemos encontrar:

- Armónicos
- Impulsos de alta frecuencia
- Huecos de tensión, sobretensiones e interrupciones

- Variaciones de frecuencia

FACTOR DE POTENCIA DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Las fluctuaciones de irradiación solar tienen un efecto significativo en el factor de potencia en la barra de conexión entre la red eléctrica y el sistema fotovoltaico. Además, sin un control de factor de potencia adecuado, es probable que la calidad de la energía fotovoltaica no se ajuste a las normas de generación de energía eléctrica, lo que podría dificultar su adopción. En los sistemas aislados, la red está generada por los inversores, por lo que, en el caso de tener cargas inductivas, ésta debe tener la capacidad de entregar potencia reactiva al sistema, en tanto no se coloquen equipos de mejora del factor de potencia (bancos de condensadores). Cuando se esté diseñando el sistema de potencia para alimentar la minired eléctrica, es de suma importancia conocer el factor de potencia de la red de distribución, con objeto de calcular la potencia aparente de los inversores, medida en kVA. Lo anterior se debe a que, a medida que un inversor va trabajando con cosenos de ϕ inferiores a 1, su rendimiento decrece considerablemente. Paralelamente a la disminución del factor de potencia, también se incrementa la distorsión armónica total, lo que empeora la calidad de la onda senoidal generada. Como muestra, la figura siguiente representa las formas de onda de la tensión y la intensidad para un factor de potencia de 0.55 y una potencia de 50 por ciento (600 W) del inversor anterior.

IMPORTANCIA DE CORRECCIÓN DE FP (FACTOR DE POTENCIA)

De lo expuesto hasta ahora se concluye que, si bien ciertos inversores fotovoltaicos son capaces de generar potencia reactiva, no es conveniente que el factor de potencia en el que trabaje baje de 0.9, no sólo por la reducción de la eficiencia, sino porque también se acorta la vida útil de la electrónica de potencia, sobre todo si el equipo está trabajando prácticamente la mayor parte de su funcionamiento por debajo de este umbral. En caso de que sea necesario alimentar una red con factores de potencia inferiores al mencionado, se deberán evaluar posibles soluciones a través del cálculo de un banco de condensadores.

Por Sebastián Martínez Balderas, Ingeniero mecánico electricista, con maestría en Energías Renovables. Es director General de Capacitores y Electrosistemas Industriales, S.A. de C.V. (Capelins Group). Se desempeña como vicepresidente de Calidad en el XIII Consejo Directivo de la Asociación de Constructores de Obra Eléctrica de Occidente (ACOEEO); asimismo, forma parte de la Comisión de Eficiencia Energética, Energía Renovable y Cambio Climático del XXII Consejo Directivo del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas de Jalisco. Además, es miembro del Consejo Directivo de la ACOMEE 2015-2017.

POR ESO ES FUNDAMENTAL EL SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES ELECTRICAS, TENSION, INTENSIDAD DE CORRIENTE, POTENCIAS Y ENERGIAS ACTIVAS, REACTIVAS Y APARENTES. FACTOR DE POTENCIA, OSCILOGRAMAS ETC, Y ES POR ELLO QUE SOLO CON REDES INTELIGENTES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION ES ESTO FACTIBLE.

INGENIERO EDUARDO SORACCO MATRICULA PROFESIONAL 2330

CONSEJO PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MISIONES