

ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES DE THD DE INVERSOR SOLAR SUNNY BOY SB-1200 EN INYECCIÓN A LA RED CON BAJA IRRADIANCIA SOLAR

VITALIA SÁNCHEZ PELLEGRINI
e-mail: vitaliametal@hotmail.com

JUAN JOSÉ NEGRONI VERA
Doctor en Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Metropolitana,
Departamento de Electricidad
Av. José Pedro Alessandri 1242, Ed. Fac. de Ingeniería, Santiago, Chile
e-mail: juan.negroni@utem.cl

RESUMEN

Este documento contiene los resultados de la inyección a la red de un inversor comercial, bajo condiciones críticas de funcionamiento las medidas realizadas al inversor Sunny Boy SB-1200 corresponden al día 25 de junio del año 2010 desde las 12:20 a las 12:30 hrs. Bajo una irradiación de 268W/m². Las medidas corresponden a los parámetros de distorsión armónica total, distorsión armónica de Tensión, distorsión armónica de corriente y distorsión armónica individual y están referenciadas con la Norma Chilena y la Norma IEEE-519-1992, para ser analizados y comparados con dichas normas.

Palabras Clave: Armónicos, Distorsión, fotovoltaico, conexión a la red, Chilectra-Utem.

ABSTRACT

The document contains the results of the process of injecting energy to the grid with commercial elements, corresponding to CHILECTRA UTEM photovoltaic project. We analyze different measures for the Sunny Boy inverter SB-1200, measures correspond to the indices of THD (total harmonic distortion) of the various parameters performances compared with Chilean and international standards.

Keywords: ATotal Harmonics Distortion, photovoltaic, Grid connection, Chilectra-Utem.

1 INTRODUCCIÓN

Un sistema fotovoltaico conectado a la red consiste básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional. El concepto de inyección a red tiene un amplio margen de aplicaciones, desde pequeños sistemas de pocos kilowatt pico (KWp) de potencia instalada hasta centrales de varios Megawatt pico (MWp). En la figura n° 1 se muestra un diagrama de los componentes principales de un sistema de conexión a red [8].

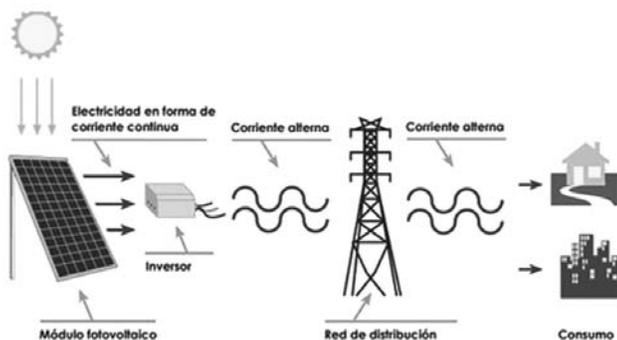


Figura n° 1. Componentes de un sistema de conexión

El generador fotovoltaico capta la radiación solar y la transforma en energía eléctrica, que en lugar de ser almacenada en baterías, como en los sistemas aislados e híbridos, se puede utilizar directamente en el consumo o entregarla a la red eléctrica de distribución. Estas dos funciones las realiza un inversor de corriente directa a corriente alterna especialmente diseñado para esta aplicación.

El generador fotovoltaico o paneles FV se puede integrar a techos de las viviendas y edificios, o en estructuras especiales, en este caso, se ha utilizado una instalación de 7 paneles de 195W, conectados en serie, e inyectando la energía directamente a red eléctrica domiciliaria por medio del inversor antes mencionado. Este último contiene un transformador para aislamiento, un interruptor automático de desconexión como dispositivo de un seccionador de carga, para cuando la tensión de la red está fuera de márgenes [7].

El carácter modular de la tecnología fotovoltaica permite, al contrario que en la mayoría de las fuentes

convencionales, un costo unitario y una eficiencia independiente del tamaño o la escala de la instalación; por ello los pequeños sistemas presentan un gran interés para la producción de energía descentralizada o independencia del usuario o consumidor.

La mayor parte de los paneles fotovoltaicos producidos ya hoy en día son conectados a la red, desde techos y fachadas solares con potencias de unos KWp hasta centrales eléctricas solares con decenas de MWp. Gracias a su flexibilidad, suponen un enorme potencial para la industria energética.

2 OBJETIVOS

Presentar un análisis de las componentes THD Total e Individual de Tensión y Corriente que presenta el Inversor SUNNY BOY en relación a la Norma IEEE-519-1992 y la Norma Chilena, de tal forma identificar los índices y las tolerancias permitidas por éstas.

3 ARMÓNICOS

Los armónicos son distorsiones de las ondas senoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas con impedancia no lineal, a materiales ferromagnéticos, y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal.

La aparición de corrientes y/o tensiones armónicas en el sistema eléctrico crea problemas tales como, el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otros.

PROBLEMAS PRODUCIDOS POR LOS ARMÓNICOS:

Las corrientes armónicas ocasionan problemas tanto en el sistema de suministro de energía como dentro de la instalación. Los efectos y las soluciones a estos problemas son muy distintos en cada caso y se deben abordar por separado, es posible que las medidas adecuadas

para controlar los efectos de los armónicos dentro de la instalación no reduzcan necesariamente la distorsión producida en el suministro.

PROBLEMAS CAUSADOS POR CORRIENTES ARMÓNICAS:

- ✓ Sobrecarga de los conductores neutros.
- ✓ Sobrecalentamiento de los transformadores.
- ✓ Disparos intempestivos de los interruptores automáticos.
- ✓ Sobrecarga de los condensadores de corrección del factor de potencia.

PROBLEMAS CAUSADOS POR TENSIONES ARMÓNICAS:

- ✓ Distorsión de la tensión.
- ✓ Motores de inducción (Aumento de las pérdidas por corrientes parásitas).
- ✓ Ruido de paso por cero.

3.1 NORMATIVA SOBRE ARMÓNICOS

Documento Proyecto de Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos, elaborado por la Comisión Nacional de Energía [5] y la Norma IEEE-519-1992 [4] establece:

3.1.1 NORMATIVA ARMÓNICAS DE VOLTAJE

El 95% de los valores estadísticos de los voltajes armónicos y de su índice de distorsión total, cumplen con lo indicado en la tabla n^o1 (Norma Chilena) y tabla n^o 2 (Norma IEEE-519). El valor estadístico de los voltajes armónicos y de su índice de distorsión es obtenido para cada intervalo de diez minutos, como resultado de evaluar estadísticamente un conjunto de mediciones efectuadas en dicho intervalo, de acuerdo a lo establecido en la norma correspondiente.

Armónica Impares no Múltiplo de 3			Armónica Impares Múltiplo de 3			Pares		
Orden	Armónica voltaje(%)		Orden	Voltaje(%)		Orden	Voltaje (%)	
				<=110 kV	>110 kV		<=110 kV	>110 kV
5	6	2	3	5	2	2	2	1.5
7	5	2	9	1.5	1	4	1	1
11	3.5	1.5	15	0.3	0.3	6	0.5	0.5
13	3	1.5	21	0.2	0.2	8	0.5	0.2
17	2	1	>21	0.2	0.2	10	0.5	0.2
19	1.5	1				12	0.2	0.2
23	1.5	0.7				>12	0.2	0.2
25	1.5	0.7						
>25	0.2+1.3*25/h		0.2+0.5*25/h					

Tabla n^o 1. Armónicas de voltaje, permitidas por la norma chilena.

Voltaje de Barra en el PCC	Distorsión de Voltaje Individual %	Distorsión de Voltaje Total THD %
69 KV y por debajo	3.0	5.0
69.001 V A 161 KV	1.5	2.5
161.001 V y por encima	1.0	1.5

Tabla n^o 2. Armónicas de voltaje, permitidas por la norma IEEE-519.

Al aplicar la estadística del 95% a los valores registrados del índice de distorsión total armónica, se debe cumplir, para un registro de mediciones de una semana cualquiera del año o de siete días consecutivos y para tensiones iguales o inferiores a 110 kV, que este índice deberá ser inferior a 8% (THDV < 8%) según la Norma Chilena.

Al aplicar la estadística del 95% a los valores registrados del índice de distorsión total armónica, se debe cumplir, para un registro de mediciones de una semana cualquiera del año o de siete días consecutivos y para tensiones superiores a 110 KV, que este índice deberá ser inferior a 3% (THDV < 3%).

3.1.2 NORMATIVA ARMÓNICA DE CORRIENTE

Máxima Distorsión de Armónica de Corriente Expresada como % de la Fundamental						
Orden de la armónica (armónicas impares)						
ISC/IL	<11	11<=H<17	17<=H<23	23<=H<35	35<H	Índice DI
<=20	4.0	2.0	1.5	1.5	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	2.5	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	4.0	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	5.0	1.0	15.0
>=100	15.0	7.0	6.0	6.0	1.4	20.0

Tabla n^o 3. Corrientes armónicas permitidas por la norma chilena y la Norma IEEE-519-1992.

Las armónicas pares están limitadas al 25% de los límites establecidos para las armónicas impares.

Todos los equipos de generación de potencia están limitados a los valores indicados de distorsión armónica de corriente, independiente de la razón ISC/IL.

Donde:

ISC = Máxima corriente de cortocircuito en el Punto Común de Conexión (PCC).

IL = Corriente nominal de carga (a frecuencia fundamental) en el PCC.

- Para el caso de Clientes en Puntos Comunes de Conexión comprendidos entre 69 kV y 154 kV, los límites son el 50% de los límites establecidos en la tabla n^o 3.

- Para el caso de Clientes en PCC superiores a 154 kV se aplicarán los límites de 110 kV en tanto el Ministerio a proposición de la Comisión no fije la norma respectiva.

Las armónicas pares están limitadas al 25% de los límites establecidos para las armónicas impares.

4 INVERSOR DE PUENTE COMPLETO Y TIPO DE MODULACIÓN

4.1 INVERSOR PUENTE COMPLETO

La estructura de un inversor de puente completo monofásico o más bien llamado como inversor de puente en H (ver figura n^o 2), está formado por dos medios puentes y será utilizado para rangos de potencias superiores. Su función es sintetizar una salida de tres niveles en forma de onda cuadrada.

El funcionamiento de este inversor es conmutar, siguiendo una secuencia determinada, los cuatro interruptores controlados TA+, TA-, TB+ y TB- .

Las posibles conmutaciones que se pueden establecer son las siguientes:

Si TA+ y TB- están en ON y TA- y TB+ están en OFF. Aplicando a la carga una tensión de valor $V_{AB} = +V_d$, durante un intervalo de tiempo igual a medio periodo.

Si TA+ y TB- están en OFF y TA- y TB+ están en ON. Aplicando a la carga una tensión de valor $V_{AB} = -V_d$, durante un intervalo de tiempo igual a medio periodo.

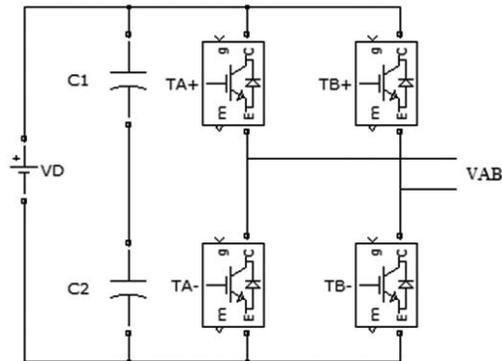


Figura n^o 2. Inversor monofásico Puente Completo

4.2 MODULACIÓN UNIPOLAR

Existen varios tipos de modulaciones, pero en este caso se verá solo la modulación Unipolar ya que el inversor Sunny Boy posee este tipo de modulación.

Mediante esta técnica se utilizan dos señales de referencia senoidal V_{sin_p} y V_{sin_n} , y una señal portadora triangular V_{tri} que fija la frecuencia de conmutación [3], de modo que:

Si $V_{sin_p} > V_{tri} \rightarrow V_A = +V_d$ (TA+ ON).

Si $V_{sin_p} < V_{tri} \rightarrow V_A = 0$ (TA- ON).

Si $V_{sin_n} < V_{tri} \rightarrow V_B = 0$ (TB- ON).

Si $V_{sin_n} > V_{tri} \rightarrow V_B = +V_d$ (TB+ ON).

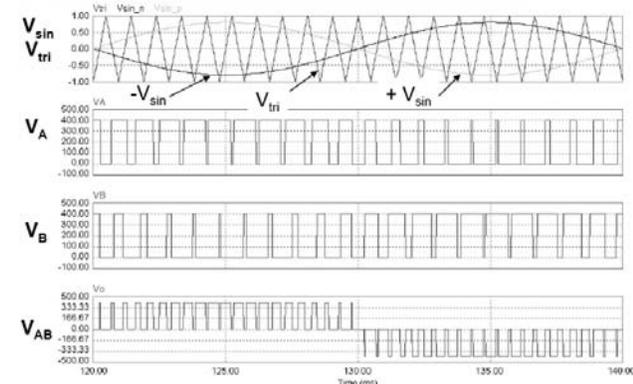


Figura n^o 3. Modulación Unipolar Inversor Puente H. [3]

5 DESCRIPCIÓN DEL INVERSOR

5.1 DATOS DE CONEXIÓN A LA RED DEL INVERSOR [7]

Fabricante		SMA Solar Technology AG
Modelo		SUNNY BOY SB-1200
Potencia nominal de salida	P _{CA nom}	1200W
Potencia máxima de salida	P _{CA max}	1200W
Corriente nominal de salida	I _{CA nom}	5,2A
Corriente máxima de salida	I _{CA max}	6,1A
Tensión nominal de funcionamiento	V _{CA nom}	230V
Rango de Tensión	V _{CA}	180V ... 260V
Frecuencia nominal de Trabajo	F _{CA nom}	50Hz / 60 Hz
Factor de potencia	cos Ø	1
Autocosumo Nocturno		0,1 W

Tabla n ° 4. Datos Inversor Sunny Boy SB-1200

5.2 COEFICIENTE DE RENDIMIENTO SUNNY BOY [7]

Rendimiento máximo	n max	92,1 %
Modelo Europeo	n euro	90,7 %

Tabla n ° 5. Coeficientes de Rendimiento

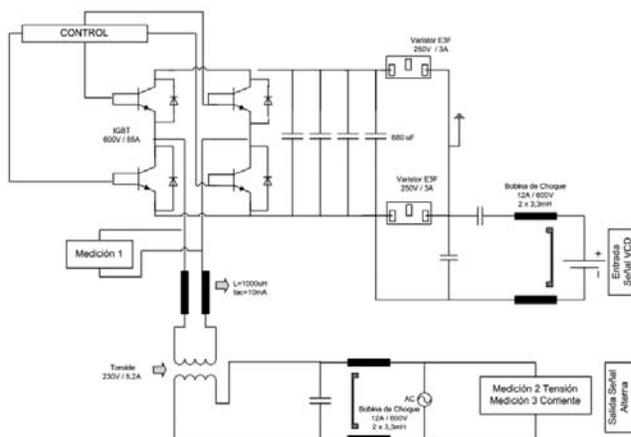


Figura n ° 4. Diagrama de Potencia del Inversor Fotovoltaico Sunny Boy SB-1200

6. FORMAS DE ONDA Y DISTORSIONES ARMÓNICAS DEL INVERSOR SUNNY BOY

- Medición 1. (Según figura n ° 4)
- Modulación

Modulación Medición 1	
F. Conmutación	16.13 KHz
t. Conmutación	61,99 µs
V max	168 V
V min	-168 V

Tabla n ° 6. Datos modulación en tiempo real

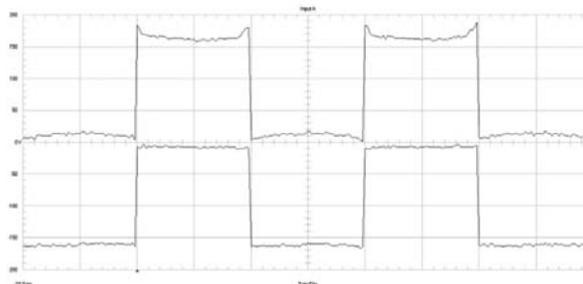


Figura n ° 5. Modulación Unipolar, señal en tiempo

• Medición 2. (Según figura n ° 3)

- Formas de Onda de Tensión de Salida

Las formas de onda de tensión medidas a la salida del inversor obtenido, con una potencia de irradiación de 268W/m².

Medición 2	
V max	328 V
V min	-336 V

Tabla n ° 7. Datos Onda de Tensión

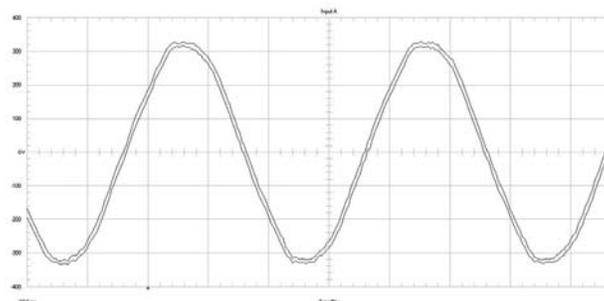


Figura n ° 7. Forma de Onda de Tensión a la Salida del Inversor en tiempo real

• **Espectros**

Las mediciones de los Armónicos de tensión y los cálculos de las distorsiones armónicas totales y de la distribución en el espectro de frecuencia (hasta el 50 armónico) se presenta en las siguientes gráficas.

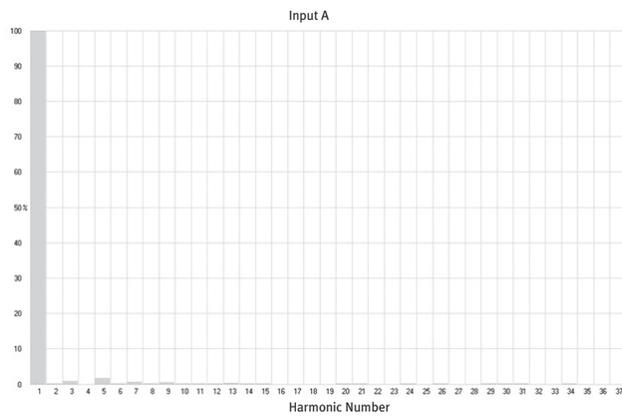


Figura nº 8. Espectro Armónico con un THDv de 1.92%

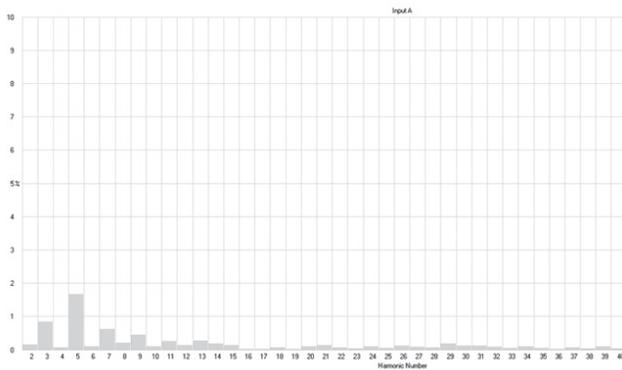


Figura nº 9. Espectro Armónico sin el armónico fundamental con un THD total de 1.92%

• **Comparación del THD con la Norma IEEE-519 y la Norma Chilena**

Armónicos de Tensión en Porcentaje % de la Fundamental

07/25/10	H3	H5	H7	H9	H11	H13	H15	H17	H19	H21	H23	H25
12:27:16	0,85	1,67	0,62	0,44	0,26	0,27	0,13	0,02	0,01	0,14	0,04	0,05
Limite en % IEEE	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Limite Norma Chilena %	5,00	6,00	5,00	1,50	3,50	3,00	0,30	2,00	1,50	0,20	1,50	1,50
H27	H29	H31	H33	H35	H37	H39	H41	H43	H45	H47	H49	TDHv %
0,08	0,19	0,13	0,05	0,05	0,07	0,09	0,07	0,07	0,10	0,03	0,06	2,09
3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	5,00
0,20	1,32	1,25	0,20	1,13	1,08	0,20	0,99	0,96	0,20	0,89	0,86	8,00

Tabla nº 8. Armónicos Impares de Tensión con un THDv de 2.09 % medidos con el Scope Meter 123 correspondientes a la salida del Inversor Sunny Boy.

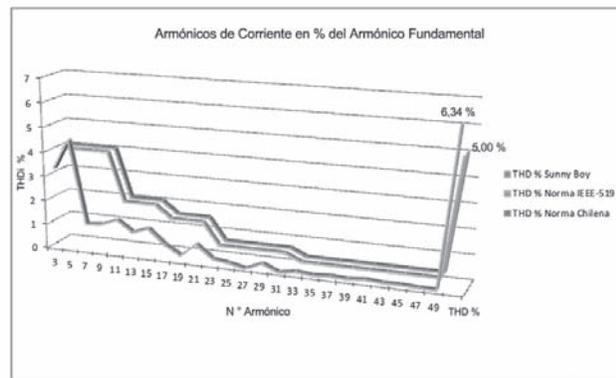


Figura nº 10. Armónicos de Tensión comparadas con las Normas IEE-519 y Norma Chilena

- **Medición 3. (Según figura n ° 4)**
- Formas de Onda de Corriente de Salida

Las formas de onda de la corriente medidas a la salida del inversor obtenido con una potencia de irradiación de 268W/m2.

Medición 3	
I max	1.90 I rms
I min	-1.96 I rms

Tabla n ° 10. Datos Onda de Corriente

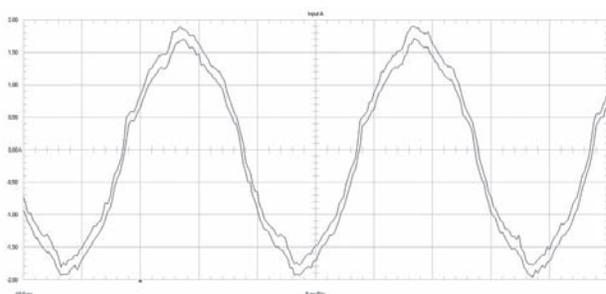


Figura n ° 12. Espectro Armónico de Corriente Medidos con el Scope Meter 123.

• Espectros

Las mediciones de los Armónicos de corriente y los cálculos de las distorsiones armónicas totales y de la distribución en el espectro de frecuencia (hasta el 50 armónico) se presentan en las siguientes gráficas.

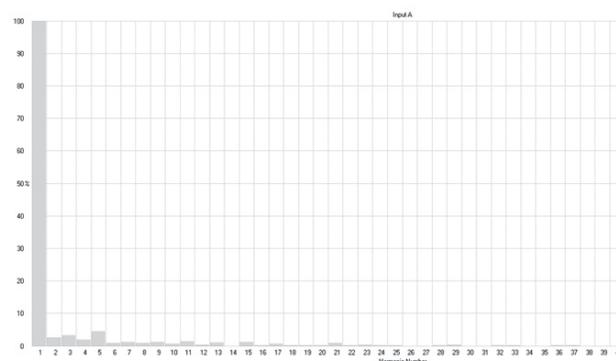


Figura n ° 12. Espectro Armónico de Corriente Medidos con el Scope Meter 123.

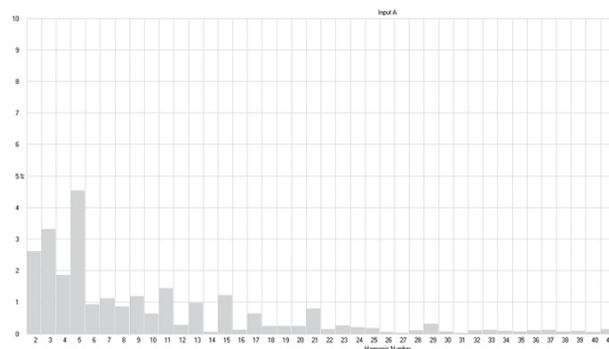


Figura n ° 13. Espectro Armónico sin el armónico fundamental de corriente.

- Comparación del THD con la Norma IEEE-519 y la Norma Chilena

Armónico de Corriente en Porcentaje % de la Fundamental

07/25/10	H3	H5	H7	H9	H11	H13	H15	H17	H19	H21	H23	H25
12:27:16	3,33	4,54	1,12	1,18	1,44	0,98	1,22	0,64	0,25	0,78	0,26	0,16
Limite en % IEEE	4,00	4,00	4,0	4,00	2,00	2,00	2,00	1,50	1,50	1,50	0,60	0,60
Limite Norma Chilena %	4,00	4,00	4,00	4,00	2,00	2,00	2,00	1,50	1,50	1,50	0,60	0,60
H27	H29	H31	H33	H35	H37	H39	H41	H43	H45	H47	H49	TDHi %
0,02	0,30	0,02	0,13	0,07	0,11	0,08	0,14	0,09	0,09	0,06	0,05	6,34
0,60	0,60	0,60	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	5,00
0,60	0,60	0,60	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	5,00

Tabla n ° 11. THDi vs Normas de los Armónicos de corriente Impares para el Inversor Sunny Boy SB-1200

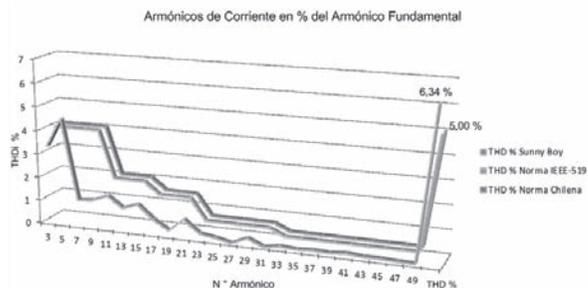


Figura n ° 14. Armónicos de Corrientes comparadas con las Normas IEE-519 y Norma Chilena

7 CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de las mediciones, éstas representan una alternativa u opción que nos permite dar una solución, es decir, identificar las distorsiones armónicas que afectan a la calidad de una onda sinusoidal.

La norma IEEE-519-1992 establece que los límites de distorsión armónica están referenciados por la carga de los usuarios, es decir, mediante la relación de corto circuito y el nivel de tensión que se encuentra conectado [4]. Por lo tanto, si nos apoyamos con las normas y realizamos un análisis con respecto a las mediciones tomadas al inversor el día 26 de junio, se logró identificar claramente en los parámetros en que se encuentra éste con la carga, es decir, los armónicos de tensión se encuentran en un límite permisible con respecto a la norma Chilena y a la Norma IEEE-519-1992, por lo tanto están cumpliendo las normas requeridas, según tabla n^o 8. Pero si nos referimos a la corriente de salida que presenta el inversor, se puede verificar y por lo tanto confirmar que el THDi % individual identificó que el quinto armónico está sobre la norma en un 0,54 %, además, para la Distorsión Armónica Total THD % se encuentra en un 1,34 % sobre el límite que indican dichas normas, según tabla n^o 11, por lo tanto las cargas, en este caso los usuarios, están produciendo distorsiones armónicas en la red, pero como ciertas cargas predominan más que otras, determinar una responsabilidad de la distorsión resultaría complicado. Aunque la siguiente etapa de este trabajo implica analizar si las distorsiones en corriente pueden ser producidas por la referencia del control del sistema, es decir al tomar una señal de referencia en función de la tensión podría estar replicando algunos armónicos indeseados.

8 REFERENCIAS

1. Chapman David, Guía de calidad de la Energía Eléctrica, marzo 2001.
2. Jacques Schonek, Cuaderno Técnico n^o 202, Las peculiaridades del 3er Armónico.
3. Estrella Álvaro Daniel, Tesis: Diseño de un Inversor Monofásico Autónomo de Baja Frecuencia Ajustable mediante Bus DC.
4. Norma IEEE-519-1992. Recomendaciones prácticas y requerimientos de la IEEE para el control de armónicos en sistemas eléctricos de Potencia.
5. Comisión Nacional de Energía, Documento Proyecto de Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos.
6. Inversor FV, SUNNY BOY SB-1200. Instrucciones de uso. SB-SMC-BES092840, versión 4.0.
7. Inversor FV, SUNNY BOY SB-1200. Instrucciones de Instalación. SB11-12-17-ies094131, versión 3.1.
8. Cabrera Martínez, Ihosvany. Los sistemas fotovoltaicos conectados a red. www.cubasolar.cu