

IMPLEMENTACIÓN DE UNA PRUEBA PARA  
OBSERVAR EL COMPORTAMIENTO DE  
EQUIPOS ELECTRÓNICOS FRENTE A LOS  
PARÁMETROS DE CALIDAD DE ENERGÍA:  
SAGS E INTERRUPCIONES

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

OSCAR JULIÁN RAVELO CHAPARRO  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ALTA TENSIÓN  
Universidad del valle



**IMPLEMENTACIÓN DE UNA PRUEBA PARA OBSERVAR EL  
COMPORTAMIENTO DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS FRENTE A LOS  
PARÁMETROS DE CALIDAD DE ENERGÍA: SAGS E INTERRUPCIONES**

**OSCAR JULIÁN RAVELO CHAPARRO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE PREGRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA  
SANTIAGO DE CALI  
2015**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA PRUEBA PARA OBSERVAR EL  
COMPORTAMIENTO DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS FRENTE A LOS  
PARÁMETROS DE CALIDAD DE ENERGÍA: SAGS E INTERRUPCIONES**

**OSCAR JULIÁN RAVELO CHAPARRO**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista**

**DIRECTOR:  
FERLEY CASTRO ARANDA M.Sc. Ph.D.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE PREGRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA  
SANTIAGO DE CALI  
2015**

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de grado en primer lugar a mis padres por incentivar el deseo en iniciar una carrera profesional, el apoyo en la decisión de estudiar Ingeniería Eléctrica, el acompañamiento durante el desarrollo de mis estudios y la ejecución de este trabajo. Siempre estaré agradecido por todo lo que hacen por mí.

En segundo lugar pero no menos importante al pibe Gustavo González por sus innumerables enseñanzas, interminables historias, los momentos compartidos y el giro que dio a mi vida.

## **Agradecimientos**

Agradezco al ingeniero Ferley Castro Aranda por su acompañamiento durante la ejecución y culminación del proyecto.

A mis padres John Faustino Ravelo Rodríguez y Clara Elcy Chaparro Sáchica por su incesante apoyo y a mi hermano Sergio Alberto Ravelo Chaparro por ambientar las largas horas de estudio.

Al ingeniero Héctor Javier Góngora Moreno por su disposición a solucionar las diferentes situaciones presentadas.

A la ingeniera Diana Marcela Bolaños Bolaños por su colaboración, insistencia y constancia en la culminación del trabajo lo más pronto y de la mejor forma posible.

A Estefanía Lozano Jiménez por su desinteresada y amable colaboración en la finalización del documento.

A Sebastián, Gaby, Rubén, Diana, Daniel, Gina, Yeiner, Andrea y Kevin, mis amigos, por solventar todas mis inseguridades, ayudarme en todos los inconvenientes y por todos los momentos compartidos durante muchos años.

# CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>3</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	3
1.2 COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA .....	3
1.3 CALIDAD DE LA ENERGÍA.....	5
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>15</b>
2.1 INTRODUCCIÓN .....	15
2.2 NORMATIVA GENERAL EXISTENTE .....	15
2.3 TÉCNICAS DE ENSAYO Y MEDICIÓN – ENSAYOS DE INMUNIDAD A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN, INTERRUPCIONES CORTAS Y VARIACIONES DE TENSIÓN .....	16
2.3.1 NIVELES DE TENSIÓN PARA ENSAYOS CON HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES CORTAS 17	17
2.3.2 NIVELES DE TENSIÓN PARA ENSAYOS CON VARIACIONES DE TENSIÓN (OPCIONAL).....	20
2.3.3 INSTRUMENTACIÓN DEL ENSAYO.....	21
2.3.4 MONTAJE Y PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO .....	23
2.3.5 EVALUACIÓN Y REPORTE DEL ENSAYO.....	25
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>27</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	27
3.2 GENERALIDADES DEL EQUIPO BEST EMC.....	27
3.3 ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO DE CALIDAD DE ENERGÍA.....	33
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>38</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	38

<b>4.2 REQUERIMIENTOS ADICIONALES PARA REALIZAR LOS ENSAYOS DE INMUNIDAD A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES BAJO LA NORMA IEC 61000-4-11 DE 2004.....</b>	<b>38</b>
<b>4.3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR ENSAYOS DE INMUNIDAD A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES BAJO LA NORMA IEC 61000-4-11 DE 2004 .....</b>	<b>41</b>
<b>4.4 REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE INMUNIDAD A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES BAJO LA NORMA IEC 61000-4-11 DE 2004 A UN COMPUTADOR PORTATIL .....</b>	<b>46</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>57</b>
<b>INSTRUCTIVO PARA EL MANEJO DEL EQUIPO BEST EMC – FUNCIÓN PQT .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO II .....</b>	<b>64</b>
<b>PROCEDIMIENTO PARA ENSAYOS DE INMUNIDAD A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO III .....</b>	<b>67</b>
<b>CURVAS GENÉRICAS PARA LA SELECCIÓN DE UN CRITERIO DE CONFORMIDAD DE ENSAYOS DE INMUNIDAD FRENTE A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES .....</b>	<b>68</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1. Clasificación de los principales fenómenos causantes de disturbios electromagnéticos.....</b>	<b>5</b>
<b>Tabla 2. Resumen de las causas y efectos de los principales fenómenos de calidad de energía.....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 3. Niveles de tensión y duración para ensayos de hundimientos de tensión.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 4. Niveles de tensión y duración para ensayos de interrupciones de tensión. ....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 5. Duraciones y niveles de tensión para ensayos de variaciones de tensión. ....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 6. Especificaciones del generador.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 7. Comparación entre los requerimientos de la norma IEC 61000-4-11 de 2004 y las funciones del equipo BEST EMC.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 8. Niveles de tensión y duración para ensayos de hundimientos de tensión.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 9. Niveles de tensión y duración para ensayos de interrupciones de tensión. ....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 10. Datos generales del ensayo .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 11. Tensión nominal de alimentación y clase asignada del equipo bajo ensayo .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 12. Selección del criterio de desempeño y resultados de los ensayos de inmunidad frente a hundimientos de tensión e interrupciones cortas.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 13. Condiciones ambientales durante el ensayo .....</b>	<b>51</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Límites de emisión / inmunidad y nivel de compatibilidad para un único emisor y receptor susceptible. ....	4
Figura 2. Desbalance de tensión. ....	6
Figura 3. Distorsión de la frecuencia fundamental debida al tercer armónico. ....	7
Figura 4. Forma de onda de un transitorio debido a la conexión de capacitores.....	8
Figura 5. Ilustración de un hundimiento de tensión ( $\Delta U_1$ ) y una interrupción ( $\Delta U_2$ ).....	9
Figura 6. Ejemplo de un hundimiento de tensión del 50 % de la tensión nominal y durante 300 ms. ....	10
Figura 7. Variaciones del valor eficaz de la forma de onda de un sistema de potencia. ....	11
Figura 8. Parpadeo.....	12
Figura 9. Hundimiento de tensión al 40 % de la tensión nominal.....	19
Figura 10. Interrupción de corta duración.....	19
Figura 11. Hundimiento de tensión del 70 % de la tensión nominal durante 25 ciclos. ....	19
Figura 12. Variación de tensión.....	21
Figura 13. Vista frontal del equipo BEST EMC.....	28
Figura 14. Clavija para energizar el equipo BEST EMC. ....	29
Figura 15. Conexión a tierra del equipo BEST EMC.....	29
Figura 16. Pantalla de inicio del equipo BEST EMC.....	30
Figura 17. Guardando un ensayo en el equipo BEST EMC. ....	31
Figura 18. Abriendo un ensayo en el equipo BEST EMC.....	31

<b>Figura 19. Pantalla del menú de opciones (OPTIONS).....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 20. Pantalla de la opción de configuración (CONFIG) del menú de opciones (OPTIONS).....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 21. Montaje para una ensayo de calidad de potencia. ....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 22. Pantalla del menú para realizar el ensayo de calidad de energía (PQT).....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 23. Alimentación del hundimiento de tensión por medio de una fuente variable.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 24. Hundimiento del 40 % durante 6 ciclos usando el equipo BEST EMC.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 25. Onda para un hundimiento de tensión del 40 % durante 6 ciclos usando el equipo BEST EMC. ....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 26. Montaje para la generación de un hundimiento tensión al 80 %.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 27. Diagrama de flujo para los ensayos de inmunidad a hundimientos de tensión e interrupciones.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 28. Sistema de tierra del equipo BEST EMC. ....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 29. Montaje para el ensayo de inmunidad a hundimientos de tensión e interrupciones en un computador portátil.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 30. Curva ITI (CBEMA). ....</b>	<b>49</b>

## RESUMEN

En este documento se realizó un estudio de los fenómenos de calidad de energía clasificados como conducidos de baja frecuencia por el Comité Electrotécnico Internacional (IEC), se definieron y realzaron sus principales causas y efectos en los diferentes equipos eléctricos y electrónicos presentes en los sistemas de potencia.

Posteriormente se identificaron las distintas normas IEC existentes para la ejecución de ensayos de inmunidad frente a hundimientos de tensión e interrupciones, analizando y seleccionando la norma IEC 61000-4-11 de 2004 como la alternativa de mayor aplicación y utilidad. Seguido a esto, se estudiaron las funciones generales del equipo BEST EMC, en particular aquellas relacionadas con ensayos en calidad de energía, buscando relacionar las especificaciones del equipo con lo indicado por la norma mencionada anteriormente.

Finalmente se desarrolló un procedimiento para la ejecución de ensayos de inmunidad frente a hundimientos e interrupciones de tensión, basándose en la norma IEC 61000-4-11 de 2004 y usando las distintas funciones del equipo BEST EMC con sus accesorios y dispositivos adicionales para lograr los requerimientos indicados por la norma. Adicionalmente, se realizó un instructivo para el manejo del equipo BEST EMC y un procedimiento para la realización de los ensayos en un futuro próximo por parte del personal de los laboratorios del Grupo de Investigación en Alta Tensión (GRALTA) de la Universidad del Valle en Cali, Colombia.

**Palabras clave:** *Tensión nominal, Calidad de la energía, Hundimiento de tensión, Interrupción de tensión, Técnicas de ensayo, Inmunidad electromagnética.*

## ABSTRACT

This document describes a study of the phenomena of power quality classified as conducted low frequency by the International Electrotechnical Committee (IEC), were defined and enhanced its main causes and effects in different electrical and electronic equipment present in power systems.

Subsequently, a study of the different existing IEC standards for the implementation of testing immunity to voltage sags and interruptions, analyzing and selecting the IEC 61000-4-11 2004 as the alternative of greater application and usefulness was performed. Following this, the general functions of equipment BEST EMC were studied, in particular those related to power quality tests, seeking to link the equipment specifications as indicated by the above standard.

Finally, a procedure for carrying out tests of immunity to voltage sags and interruptions based on IEC 61000-4-11 2004 and using the various features BEST EMC with accessories and additional devices developed to achieve the requirements specified by the standard. Additionally, an instruction for operating the equipment BEST EMC and a method for carrying out the tests in the near future by the staff of the laboratories of the Research Group on High Voltage (GRALTA) of the Universidad del Valle in Cali, Colombia.

***Terms:*** *Nominal voltage, Power quality, Sag, Interruption, Test procedure, Electromagnetic immunity.*

## INTRODUCCIÓN

La calidad de la energía es el sostenimiento de la tensión, corriente y frecuencia en amplitud y forma sinusoidal en un sistema de potencia. La mayoría de los equipos a lo largo del tiempo han sido capaces de operar correctamente frente a variaciones de estos tres parámetros. No obstante, con la creciente ola tecnológica, los fabricantes constantemente buscan la elaboración de equipos de bajo costo, peso y con tiempos de funcionamiento muy cortos, lo que ha dado la inclusión de gran cantidad de aparatos electrónicos a los sistemas de potencia, los cuales no soportan variaciones en los parámetros mencionados anteriormente.

Con todos los equipos electrónicos viene especificada una tensión de funcionamiento con una determinada forma y frecuencia. El fabricante garantiza el correcto funcionamiento de sus equipos si se mantiene dicha tensión, con la forma y frecuencia antes mencionada. Los cambios en los niveles de tensión del sistema, interrupciones de corto tiempo y caídas de la tensión, afectan el comportamiento de los equipos electrónicos, limitan su vida útil, deterioran el funcionamiento de sus partes y en determinados casos causan su total destrucción.

Dichos eventos son de carácter aleatorio como las descargas atmosféricas y la elevación repentina de determinadas cargas con lo que el operador de red aunque disponga de una protección y un adecuado procedimiento frente a situaciones como las mencionadas, le es imposible evitar que los equipos de los usuarios reciban señales inadecuadas o interrupciones en el suministro de energía. Por tanto, hay una creciente necesidad frente al control de los fenómenos de calidad de energía y con ello la normalización y supervisión de los mismos.

Por medio de laboratorios de ensayo y los respectivos procedimientos o técnicas recomendadas por la Comisión Electrotécnica Internacional es posible emular los fenómenos de calidad de energía y con ello probar niveles mínimos que deben soportar los diferentes equipos eléctricos y electrónicos frente a un fenómeno de calidad de energía, según lo establece la normativa internacional y lo garantiza el fabricante.

En las instalaciones de los laboratorios del Grupo de Investigación en Alta Tensión (GRALTA) de la Universidad del Valle se encuentra el equipo BEST EMC, con el cual es posible emular caídas e interrupciones en la tensión y dirigir las hacia equipos eléctricos y electrónicos conectados a él. Éste en conjunto con las normas

IEC sobre técnicas para ensayos y mediciones de hundimientos, interrupciones y variaciones en la tensión, facilitan la ejecución de ensayos y permiten dar criterios de conformidad para los distintos equipos electrónicos conectados a los sistemas de potencia.

Por consiguiente, se plantea como objetivo general del trabajo de grado, el desarrollo de un ensayo en los laboratorios de GRALTA usando el equipo BEST EMC y con base en la normativa IEC existente, buscando observar el comportamiento de equipos electrónicos frente a hundimientos e interrupciones de tensión. Para lograrlo se tienen como objetivos específicos: estudiar y clasificar los fenómenos de calidad de energía, estudiar el comportamiento de los equipos frente a dichos fenómenos, estudiar y relacionar las funciones del equipo BEST EMC con los fenómenos de calidad de energía especificados en IEC y, seleccionar y desarrollar un procedimiento para la realización de los ensayos de acuerdo a la normativa consultada.

## **CAPITULO I**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

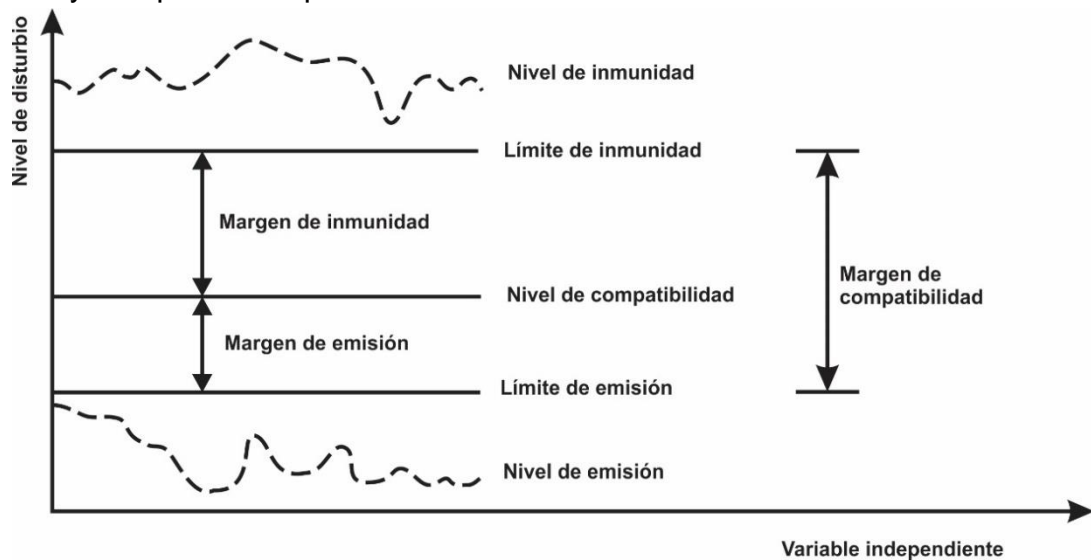
Debido a que se establecerá un procedimiento para realizar ensayos de inmunidad frente a hundimientos e interrupciones de tensión, se considera necesario realizar un estudio que muestre la clasificación dada por el Comité Electrotécnico Internacional (IEC) para los distintos fenómenos de compatibilidad electromagnética y, posteriormente, definir la calidad de la energía y mostrar los principales fenómenos de la misma, resaltando su importancia, significado, causas y efectos como se evidencia a continuación.

### **1.2 COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA**

La compatibilidad electromagnética se define como la capacidad de un equipo o sistema para funcionar satisfactoriamente en su entorno electromagnético sin producir perturbaciones de este tipo inadmisibles en dicho entorno, es decir, relaciona el nivel de perturbación de las interferencias del generador y de la inmunidad a las interferencias del receptor (IEC, 1992).

Con esto, se pueden diferenciar los dispositivos básicos de un sistema en dos grupos: equipos que emiten potencialmente perturbaciones de tensión, corriente o campos al sistema (emisores) y equipos cuyo funcionamiento podría verse afectado por dichas emisiones (receptores susceptibles). Por tanto, para el correcto funcionamiento de un sistema y de los equipos que lo conforman, es necesario diferenciar y controlar los niveles y los límites de emisión e inmunidad de los equipos de determinado sistema, a esto se le llama nivel de compatibilidad (IEC, 1992). En la Figura 1 se muestra de forma gráfica la definición de nivel de compatibilidad y se muestran términos como el nivel y el límite de inmunidad y emisión, los cuales se refieren a límites que deben soportar y emitir los equipos electrónicos conectados a redes eléctricas con perturbaciones.

Figura 1. Límites de emisión / inmunidad y nivel de compatibilidad para un único emisor y receptor susceptible.



Fuente: (IEC, 1992)

Por otra parte, la inmunidad o la emisión de fenómenos electromagnéticos, se puede presentar de dos maneras: radiada o conducida. Los fenómenos de emisión o inmunidad radiada, hacen referencia a la transmisión de energía a través de campos electromagnéticos normalmente propagados en el aire. Por el contrario, en la emisión o inmunidad a perturbaciones electromagnéticas conducidas, la energía es enviada por medio de un conductor o sistemas conductores, es decir, ésta no se envía a través de campos electromagnéticos sino por ondas conducidas o guiadas.

Existen gran variedad de fenómenos a los cuales se les conoce como perturbaciones electromagnéticas. El Comité Electrotécnico Internacional (IEC) clasifica todos estos fenómenos en tres grandes grupos:

- Fenómenos de baja frecuencia (conducidas y radiadas, de cualquier fuente, excepto ESD)
- Fenómenos de alta frecuencia (conducidas y radiadas, de cualquier fuente, excepto ESD)
- Fenómenos de descarga electrostática (ESD) (conducidas y radiadas)

Para las normas de Compatibilidad Electromagnética se consideran 9 kHz como el límite entre los fenómenos de baja frecuencia y los de alta frecuencia. En la Tabla 1 se muestra de forma general, la clasificación de los fenómenos electromagnéticos específicos de cada uno de los grupos antes mencionados (IEC, 2011).



Tabla 1. Clasificación de los principales fenómenos causantes de disturbios electromagnéticos

<p><b>Fenómenos conducidos de baja frecuencia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Armónicos, interarmónicos</li> <li>- Tensiones de señales</li> <li>- Variaciones de tensión (amplitud)</li> <li>- Hundimientos de tensión</li> <li>- Interrupciones</li> <li>- Desbalance de tensión</li> <li>- Variaciones de frecuencia</li> <li>- Tensión continua en redes de tensión alterna</li> </ul>
<p><b>Fenómenos radiados de baja frecuencia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Campos magnéticos</li> <li>- Campos eléctricos</li> </ul>
<p><b>Fenómenos conducidos de alta frecuencia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tensiones o corrientes inducidas de onda continua</li> <li>- Transitorios unidireccionales</li> <li>- Transitorios oscilatorios</li> <li>- Tensiones de señales</li> </ul>
<p><b>Fenómenos radiados de alta frecuencia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ondas continua radiadas</li> <li>- Pulsos radiados <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transitorios</li> </ul> </li> <li>- Radiación modulada</li> </ul>
<p><b>Fenómenos de descargas electrostáticas (ESD)</b></p>

Fuente: (IEC, 2011)

### 1.3 CALIDAD DE LA ENERGÍA

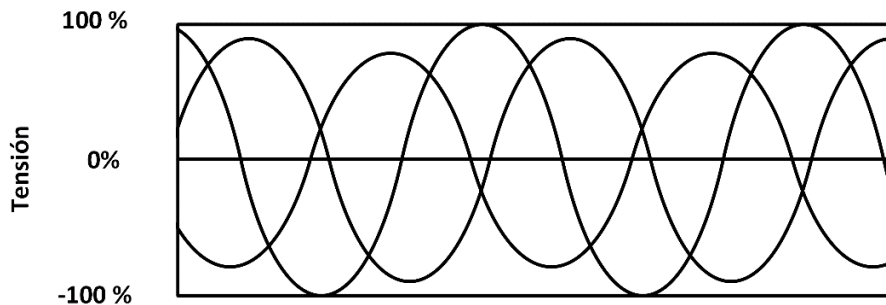
La calidad de la energía es un término que se refiere al sostenimiento sinusoidal de la forma de la onda de tensión en los sistemas de distribución de energía eléctrica a magnitud y frecuencia nominal (Chattopadhyay, Mitra, & Sengupta, 2011). Lo que indica que, cada equipo eléctrico y electrónico, cuenta con unos niveles de susceptibilidad electromagnética bajo los cuales no se ve afectado su funcionamiento. Por tanto, los fenómenos de calidad de la energía corresponden a fenómenos de emisión o inmunidad, conducida a baja frecuencia.

Los problemas de calidad de energía se producen debido a distintos tipos de perturbaciones eléctricas y causan degradación en los sistemas de potencia. Las perturbaciones de calidad de energía (EPQ) dependen de la amplitud, la frecuencia o en algunos casos de la variación de ambos parámetros. A continuación se definen los principales fenómenos y se mencionan sus causas y efectos en los sistemas de potencia:

- *Desbalance de tensión y corriente (Unbalance)*

En un sistema trifásico, el desbalance es definido como una condición en la cual las tres fases de tensión o corriente no son iguales en magnitud y/o en desplazamiento de los ángulos entre ellas, es diferente de  $120^\circ$  eléctricos (UIE, 1994). En la Figura 2 se muestra un desbalance de tensión únicamente en magnitud.

Figura 2. Desbalance de tensión.



Fuente: (Power quality in electrical systems, 2011b)

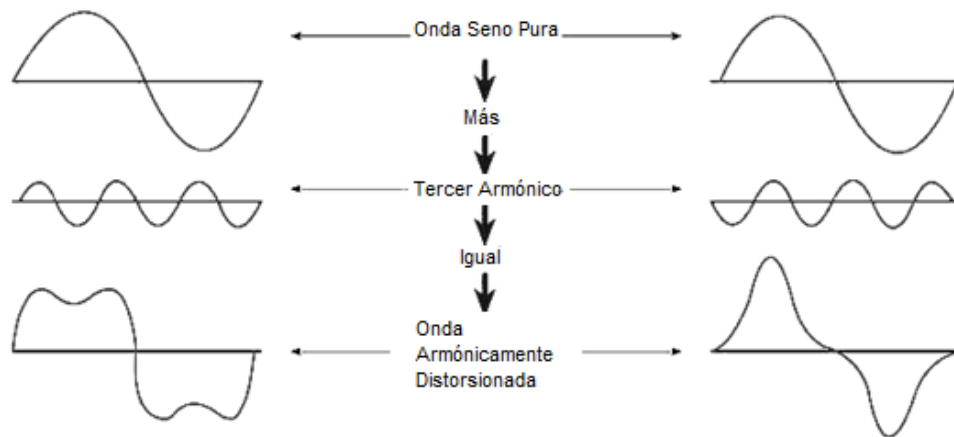
El desequilibrio de la tensión y la corriente ocurre principalmente debido a la operación de cargas desbalanceadas de baja y media tensión, motores eléctricos, aplicaciones monofásicas, hornos de arco trifásicos y desbalance en el sistema de transmisión por sobrecarga en líneas con grandes diferencias geométricas en los cables y torres. Durante un desbalance, aparecen componentes de secuencia negativa, que causan mayores pérdidas de potencia y energía, mayor calentamiento en las líneas de transmisión, con lo que aparecen corrientes de secuencia positiva y causan iluminación en las líneas de transmisión, desbalance en los nodos de las redes y afectan el correcto funcionamiento de motores asíncronos y generadores sincrónicos (Wasiak, 2008).

- *Armónicos (Harmonics)*

Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental a la que determinado sistema de potencia está diseñado para operar (la frecuencia fundamental es usualmente

50 o 60 Hz) (IEC, 1990a). Por ejemplo, en la Figura 3 se muestra la distorsión que ocasiona el tercer armónico sobre la onda sinusoidal. Los armónicos de corriente de diferentes fuentes, producen los armónicos de tensión al cruzar por las distintas impedancias de determinada red.

Figura 3. Distorsión de la frecuencia fundamental debida al tercer armónico.



Fuente: (Power quality in electrical systems, 2011a)

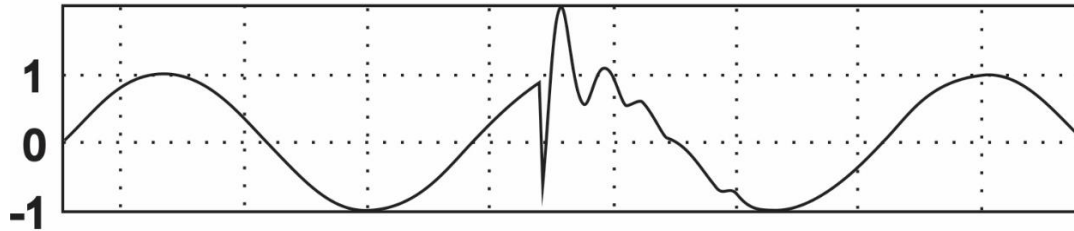
Los armónicos de corriente son generados en baja medida por las distorsiones en los sistemas de generación, transmisión y distribución, mientras que en gran medida y en grandes niveles, por las cargas industriales y domésticas. Los armónicos de corriente producidos por cargas no lineales, son inyectados en los sistemas de potencia. Estas corrientes pueden interactuar con una gran cantidad de elementos de los sistemas de potencia, como capacitores, transformadores y motores, causando pérdidas adicionales, sobrecalentamiento y sobrecarga, estos armónicos de corriente pueden causar interferencia en la redes de comunicación y errores en los medidores de potencia (Power quality in electrical systems, 2011a).

- *Transitorios (Transients)*

El término transitorio visto desde el punto de vista de la teoría de circuitos eléctricos, se refiere a la tensión y a la componente de corriente que se presenta cuando se pasa de un estado estacionario a otro. En general, al modelar estos fenómenos por ecuaciones diferenciales, se obtiene una respuesta homogénea (transitoria) y una respuesta permanente (estacionaria o de DC). En la teoría de circuitos, siempre se asocia el transitorio a la conexión y desconexión de determinadas cargas. En la Figura 4 se muestra la distorsión presentada en la onda sinusoidal al realizar la conexión de un banco de capacitores.

En los sistemas de potencia, se refiere a la aparición de dicho fenómeno, por un tiempo determinado. Aunque no se tiene claridad sobre su duración, cuando ocurre por un tiempo menor a 1 ciclo (sistemas de potencia de 50 y 60 Hz), generalmente se considera un transitorio (Bollen, Styvaktakis, & Yu-Hua Gu, 2005).

Figura 4. Forma de onda de un transitorio debido a la conexión de capacitores.



Fuente: (Shin, Powers, Grady, & Arapostathis, 2006)

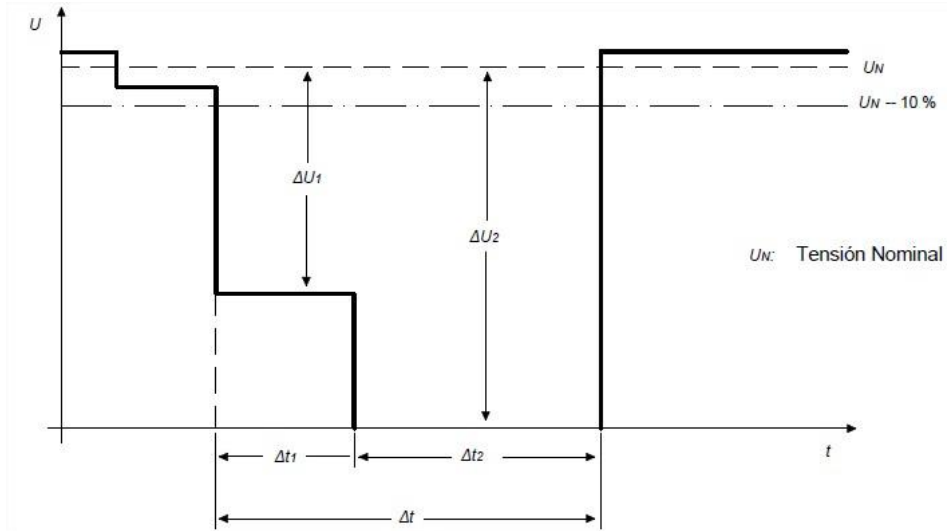
Existen dos principales fuentes de transitorios en los sistemas: conexión y desconexión de capacitores y descargas atmosféricas. También se encuentran, un sin número de transitorios en el sistema, debido a la conexión y desconexión de cargas en las instalaciones de los usuarios finales. Algunos dispositivos electrónicos de potencia, generan transitorios en el momento de su arranque.

Los transitorios están muy relacionados con el funcionamiento y el rendimiento de las diferentes partes del sistema de energía, así como las cargas y dispositivos de medición y protección. Altas magnitudes de tensiones transitorias, rompen los aislamientos del sistema, mientras altas magnitudes de corrientes transitorias, pueden quemar los dispositivos e instrumentos. Además, los transitorios pueden causar mala operación de relés y una incorrecta operación de los interruptores (Chattopadhyay et al., 2011).

- *Hundimientos de tensión (sags or dips) e Interrupciones (interruptions)*

Un hundimiento de tensión, es la reducción repentina de la tensión eficaz en un punto específico del sistema de suministro de energía, por fuera de un umbral especificado, seguido de su recuperación después de un breve intervalo (IEC, 2002). Como indica (Short, 2005), estos fenómenos son los más comunes en el sistema y tienen como principales características su amplitud y tiempo de duración. En la Figura 5 se muestran distintas amplitudes y tiempos a los que ocurre primeramente un hundimiento de tensión y posteriormente una interrupción.

Figura 5. Ilustración de un hundimiento de tensión ( $\Delta U_1$ ) y una interrupción ( $\Delta U_2$ )

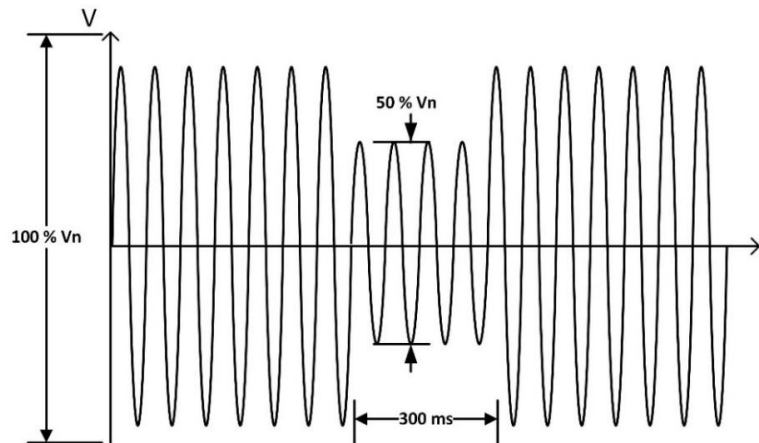


Fuente: (IEC, 1990a)

La amplitud está definida como la diferencia entre la tensión durante el hundimiento de tensión y la tensión nominal del sistema (se expresa en un porcentaje del valor nominal del sistema). La interrupción breve de una fuente de energía, puede caracterizarse como un hundimiento de tensión con reducción del 100 % del valor nominal de la tensión del sistema. Los cambios en la amplitud, que no reducen la tensión del sistema por debajo del 90 % de la tensión nominal y los que reducen su magnitud al 0 %, no se consideran un hundimiento de tensión.

La duración del evento será el tiempo desde que la tensión sale del umbral permitido hasta que vuelve al valor permitido por el umbral de determinado sistema. Las duraciones menores a medio ciclo no son consideradas hundimientos de tensión, porque estas ocurren debido a una característica natural de las fuentes de tensión alterna y se asocian con los transitorios, mientras que se consideran interrupciones breves a aquella que no exceden 1 minuto de duración (IEC, 1990a). Por ejemplo, en la Figura 6 se evidencia un hundimiento de tensión con una amplitud del 50 % de la tensión nominal y una duración de 300 ms.

Figura 6. Ejemplo de un hundimiento de tensión del 50 % de la tensión nominal y durante 300 ms.



Fuente: (Sedaghati et al., 2013)

Estos hundimientos de tensión e interrupciones breves tienen diversos orígenes tales como cortocircuitos en las redes de transmisión y distribución, despejados por la operación del fusible (unos pocos milisegundos); fallos de media y alta tensión en líneas u otros equipos, seguidos o no seguidos de reconexión automática (100 ms a 600 ms); conmutación de grandes cargas, especialmente motores y baterías de condensadores; fallas línea-tierra, línea-línea y simétrica; transferencia de carga de una fuente de energía a otra, entre otros (IEC, 2011), (Hanzelka, 2008), (Dugan, Mc Granaghan, Santoso, & Beaty, 2002).

Por consiguiente, debido al elevado número de eventos que generan hundimientos e interrupciones de tensión, éstos se convierten en el fenómeno de mayor recurrencia e importancia en los sistemas de potencia.

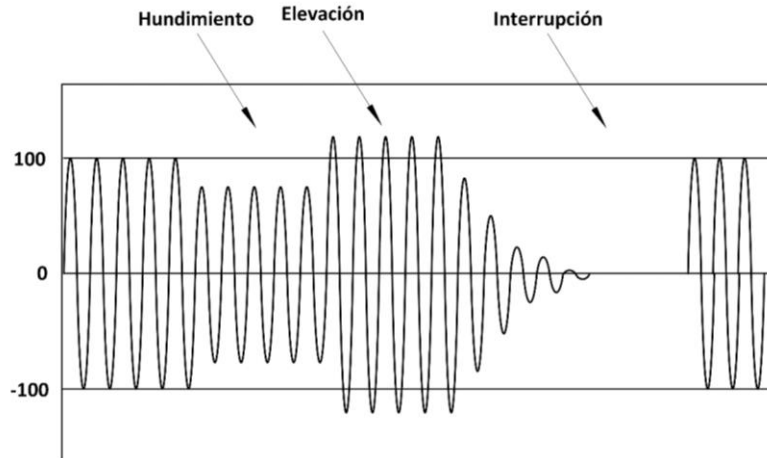
En cuanto a los principales efectos de los hundimientos de tensión en el sistema, se encuentran la inestabilidad en la tensión debido a la reducción de ésta por corta duración, mal funcionamiento de los dispositivos de baja tensión eléctrica, mal funcionamiento del sistema de alimentación ininterrumpida, mal funcionamiento de los equipos de medición y control, daños en las interfaces con señales de comunicación, disturbios en motores de inducción, problemas en variadores de velocidad, cambios en los puntos de operación de motores sincrónicos, etc. (Chattopadhyay et al., 2011), (Dugan et al., 2002).

- *Elevación de tensión momentánea (swell)*

Las elevaciones cortas de tensión, son un fenómeno de corta duración que consiste en el aumento de la tensión eficaz, donde la magnitud de la tensión de determinado

sistema se encuentra entre el 110 % y el 180 % del valor nominal correspondiente y la duración del evento va desde 0,5 ciclos a 1 minuto (Dugan, Mc Granaghan, Santoso, & Beaty, 2003). En la Figura 7 se muestra una comparación entre un hundimiento de tensión, una interrupción y una elevación de tensión de corta duración.

Figura 7. Variaciones del valor eficaz de la forma de onda de un sistema de potencia.



Fuente: (Curtis, 2007)

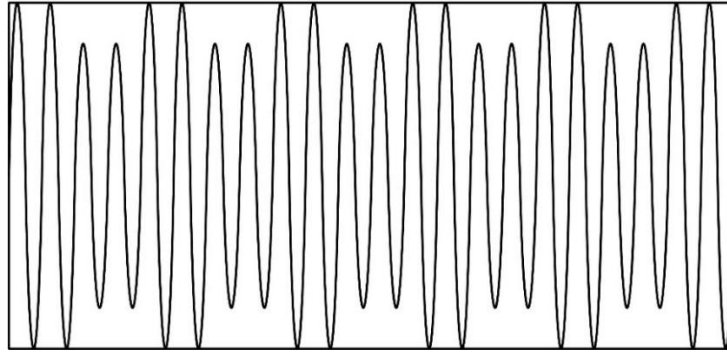
Las elevaciones de tensión son eventos raros en comparación con los hundimientos y entre las principales causas de la inflamación se encuentra la desconexión de una gran carga, la activación de un banco de condensadores o de baterías, aumento de tensión de las fases sin falla durante una falla línea-tierra, entre otras. Al igual que el hundimiento de tensión, los efectos de las sobretensiones momentáneas incluyen principalmente la inestabilidad en la tensión debido a la elevación del bus de tensión por corta duración, mal funcionamiento de los dispositivos de baja tensión eléctrica, mal funcionamiento del sistema de alimentación ininterrumpida, mal funcionamiento de los equipos de medición y control, daños en las interfaces con señales de comunicación, etc.

- *Fluctuaciones de tensión o Parpadeo (flicker)*

El parpadeo (flicker) está definido como la impresión de inestabilidad visual, inducida por un estímulo de luz cuya luminancia o distribución espectral varía con el tiempo (IEC, 1990b). En otras palabras, el parpadeo es definido como la desagradable sensación experimentada por el sistema de visión humana, cuando ocurren cambios en la intensidad lumínica de determinada fuente de luz.

Desde el punto de vista eléctrico, el parpadeo es causado por fluctuaciones de tensión con una amplitud la cual es generalmente mucho menor que el umbral de inmunidad de los equipos eléctricos. En la Figura 8 se muestra el parpadeo de una señal sinusoidal.

Figura 8. Parpadeo



Fuente. (Rotek, n.d.)

En general, se puede decir que el origen de los parpadeos está en los dispositivos conectados al sistema eléctrico que producen rápidas fluctuaciones de tensión. Usualmente, éstas son causadas por variaciones en el consumo de potencia y, especialmente, por fluctuaciones en la potencia reactiva. Las variaciones de potencia pueden deberse al encendido y apagado de grandes cargas capacitivas, a cargas con un comportamiento intrínsecamente fluctuante y a cargas industriales (Hernández, 2008).

Las fluctuaciones de tensión en sistemas de potencia provocan una variedad de efectos perjudiciales tanto a nivel técnico como fisiológico. A nivel fisiológico, el parpadeo dificulta significativamente la visión y causa malestar general, fatiga, afecta la reacción del cerebro humano, reduce los niveles de concentración y afecta la ergonomía de cualquier entorno.

Por otra parte, las fluctuaciones de tensión causan problemas técnicos como (Hanzelka & Bien, 2006):

- Funcionamiento irregular de contactores y relés
- Cambios en el par, deslizamiento, reducción de la resistencia mecánica, vibraciones excesivas y acortamiento de la vida útil de motores de inducción
- Cambios en el par, aumento de pérdidas, cambios en la potencia y desgaste prematuro de los rotores de motores y generadores síncronos
- Reducción de la eficiencia operativa de equipos electro-térmicos (hornos de arco)



- Disminución de la eficiencia y la vida útil de electrolizadores

Para finalizar, en la Tabla 2 se muestra un resumen de las principales fuentes que ocasionan los fenómenos de calidad de energía mencionados y explicados a lo largo del capítulo y sus efectos en una gran variedad de equipos.

Tabla 2. Resumen de las causas y efectos de los principales fenómenos de calidad de energía.

<b>Fenómeno</b>	<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>
Desbalance de tensión y corriente	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Operación de cargas desbalanceadas de baja y media tensión</li> <li>-Operación de motores eléctricos</li> <li>-Aplicaciones monofásicas</li> <li>-Hornos de arco trifásicos</li> <li>-Desbalance en el sistema de transmisión por sobrecarga en líneas con grandes diferencias geométricas en los cables y torres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aparición de componentes de secuencia positiva y negativa</li> <li>-Mayores pérdidas de potencia y energía</li> <li>-Mayor calentamiento en las líneas de transmisión</li> <li>-Iluminación en las líneas de transmisión</li> <li>-Desbalance en los nodos de las redes</li> <li>-Incorrecto funcionamiento de motores asíncronos y generadores sincrónicos</li> </ul>
Armónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Los armónicos de corriente son generados en baja medida por las distorsiones en los sistemas de generación, transmisión y distribución,</li> <li>-Los armónicos de corriente son generados en gran medida y en grandes niveles, debido a las cargas industriales y domésticas.</li> <li>-Los armónicos de corriente producidos por cargas no lineales, son inyectados en los sistemas de potencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Las corrientes armónicas pueden interactuar con una gran cantidad de elementos de los sistemas de potencia, como capacitores, transformadores y motores</li> <li>-Causan pérdidas adicionales, sobrecalentamiento y sobrecarga</li> <li>-Pueden causar interferencia en la redes de comunicación y errores en los medidores de potencia.</li> </ul>
Transitorios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Existen dos principales fuentes de transitorios en los sistemas:</li> <li>-Conexión y desconexión de capacitores</li> <li>-Iluminación.</li> <li>-Existen también, un sin número de transitorios en el sistema, debido a la conexión y desconexión de cargas en las instalaciones de los usuarios finales.</li> <li>-Algunos dispositivos electrónicos de potencia, generan transitorios en el momento de su arranque.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rompimiento de los aislamientos del sistema</li> <li>-Incineración de dispositivos e instrumentos</li> <li>-Mala operación de relés y una incorrecta operación de los interruptores.</li> </ul>

Fenómeno	Causas	Efectos
<p>Hundimientos de tensión e interrupciones de corta duración</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Cortocircuitos en las redes de baja tensión, despejados por la operación del fusible (unos pocos milisegundos)</li> <li>-Fallos de media y alta tensión en líneas u otros equipos, seguidos o no seguidos de reconexión automática (100 ms a 600 ms)</li> <li>-Conmutación de grandes cargas, especialmente motores y baterías de condensadores</li> <li>-Fallas línea-tierra, línea-línea y simétrica</li> <li>-Transferencia de carga de una fuente de energía a otra</li> <li>-Fallos en la transmisión o en el sistema de distribución</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Inestabilidad en la tensión debido a la reducción de la tensión por corta duración</li> <li>-Mal funcionamiento de los dispositivos de baja tensión eléctrica</li> <li>-Mal funcionamiento del sistema de alimentación ininterrumpida</li> <li>-Mal funcionamiento de los equipos de medición y control</li> <li>-Daños en las interfaces con señales de comunicación</li> </ul>
<p>Elevaciones de tensión momentáneas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Desconexión de una gran carga</li> <li>-Activación de un banco de condensadores o de baterías</li> <li>-Aumento de tensión de las fases sin falla durante una falla línea-tierra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Inestabilidad en la tensión debido a la elevación del bus de tensión por corta duración</li> <li>-Mal funcionamiento de los dispositivos de baja tensión eléctrica</li> <li>-Mal funcionamiento del sistema de alimentación ininterrumpida</li> <li>-Mal funcionamiento de los equipos de medición y control</li> <li>-Daños en las interfaces con señales de comunicación</li> </ul>
<p>Parpadeo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Variaciones en el consumo de potencia</li> <li>-Fluctuaciones en la potencia reactiva</li> <li>-Encendido y apagado de grandes cargas capacitivas, a cargas con un comportamiento intrínsecamente fluctuante y a cargas industriales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dificulta significativamente la visión y causa malestar general</li> <li>-Funcionamiento irregular de contactores y relés</li> <li>-Cambios en el par, deslizamiento, reducción de la resistencia mecánica, vibraciones excesivas y acortamiento de la vida útil de motores de inducción</li> <li>-Cambios en el par, aumento de pérdidas, cambios en la potencia y desgaste prematuro de los rotores de motores y generadores síncronos</li> <li>-Reducción de la eficiencia operativa de equipos electro-térmicos (hornos de arco)</li> <li>-Disminución de la eficiencia y la vida útil de electrolizadores.</li> </ul>

## **CAPITULO II**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Habiendo resaltado los principales fenómenos de calidad de energía, su definición, causas y efectos, se procede a consultar la normativa existente dada por IEC para la realización de ensayos de inmunidad electromagnética frente a hundimientos e interrupciones de tensión. Asimismo, se selecciona la norma de mayor aplicación y utilidad y se estudian y desarrollan todos los requerimientos y parámetros dados en la misma.

### **2.2 NORMATIVA GENERAL EXISTENTE**

Como se ilustró en el capítulo anterior, los hundimientos e interrupciones de tensión son el fenómeno de calidad de energía de mayor ocurrencia en los sistemas de potencia, por tanto, se plantea la necesidad de evaluar técnicas de medición y ensayo de dichos parámetros de calidad de energía. Así, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), cuenta con una serie de normas que dictaminan las técnicas de ensayo tanto para equipos de uso común conectados al sistema eléctrico en tensión alterna y continua, como para los equipos de medida de los diferentes sistemas.

A continuación se mencionan las principales normas encontradas en la revisión realizada, referente a ensayos de inmunidad frente a hundimientos e interrupciones de tensión, los cuales corresponden a las pruebas que deben soportar diferentes equipos electrónicos cuando en la red eléctrica aparecen fenómenos que afectan la calidad de la energía:

La norma IEC 61000-4-11 de 2004, define los ensayos de inmunidad para equipos eléctricos y electrónicos de baja tensión conectados a 50 o 60 Hz con una corriente de alimentación menor a 16 A frente a hundimientos de tensión, interrupciones momentáneas y variaciones de tensión. De forma similar, la norma IEC 61000-4-34 de 2009, define los ensayos mencionados anteriormente, pero para equipos alimentados con corrientes nominales superiores a 16 A.

Por su parte, la norma IEC 61000-4-29 del 2000 define los ensayos de inmunidad para equipos eléctricos y electrónicos conectados a fuentes de alimentación de corriente continua frente a los mismos fenómenos de calidad de energía mencionados anteriormente. Finalmente, la norma IEC 61000-4-30 de 2015 define los ensayos y métodos de medida de la calidad de potencia, es decir, los ensayos

que deben cumplir los equipos destinados a la medición de parámetros de calidad de potencia y la forma en la que deben realizar dicha mediciones.

La mayoría de los equipos de uso común, trabajan con corrientes menores a 16 A. Por ende, la norma IEC 61000-4-34 de 2009 aunque es de gran importancia, no tendría gran aplicación para equipos con las características mencionadas. Asimismo, el sistema eléctrico en general presenta un mayor número de redes en corriente alterna que continua y por tanto los fabricantes diseñan la mayoría de los equipos para trabajar en dicho tipo de tensión. Así, los ensayos indicados por la norma IEC 61000-4-29 del 2000, pierden importancia debido a la poca cantidad de demanda que presentarían. Por otra parte, los ensayos aplicados a equipos de medida de la calidad de potencia, pierden importancia en un sistema eléctrico como el colombiano donde no se tienen regulaciones claras en aspectos de calidad de energía y por consiguiente no hay exigencias en el cumplimiento de los métodos y ensayos indicados en la normativa.

Como consecuencia, ya que la mayoría de los equipos de uso común trabajan en redes de corriente alterna a 50 o 60 Hz, los ensayos indicados en la norma IEC 61000-4-11 de 2004 toman fuerza y podrían ser una solución para garantizar un nivel mínimo de inmunidad en los equipos de las personas en general para soportar hundimientos de tensión e interrupciones de corta duración. Además, podrían ser un inicio al establecimiento de normas que regulen la ocurrencia de los fenómenos de calidad de energía y los niveles de inmunidad con los que deben contar los equipos de uso común distribuidos en el país.

### **2.3 TÉCNICAS DE ENSAYO Y MEDICIÓN – ENSAYOS DE INMUNIDAD A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN, INTERRUPCIONES CORTAS Y VARIACIONES DE TENSIÓN**

La norma IEC 61000-4-11 de 2004 define los métodos y rangos de los ensayos de inmunidad para equipos eléctricos y electrónicos de baja tensión frente a hundimientos de tensión, interrupciones de corto tiempo y variaciones de tensión. Esta norma aplica para equipos eléctricos y electrónicos que tienen una corriente de entrada menor a 16 A por fase y que se conectan a redes de 50 o 60 Hz.

A continuación se muestran los niveles de tensión para ensayos obligatorios y opcionales expuestos por la norma, la instrumentación necesaria, el montaje, procedimiento, evaluación y reporte del ensayo.

### **2.3.1 NIVELES DE TENSIÓN PARA ENSAYOS CON HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES CORTAS**

Los niveles de tensión establecidos para los ensayos de inmunidad se dan en porcentaje de la tensión nominal del equipo eléctrico o electrónico y corresponden a los siguientes valores: 0 %, 40 %, 70 % y 80 %. Para determinar las duraciones y preferencias de los ensayos de inmunidad, es necesario realizar una clasificación del nivel de inmunidad de los equipos eléctricos y electrónicos, como la siguiente:

#### **Clase 1**

Para esta clase, aplican los equipos que tienen un nivel de compatibilidad menor al de la red pública que los alimenta. Así, se tienen en cuenta todos los equipos que son muy susceptibles a disturbios en las fuentes de tensión, como lo son los laboratorios tecnológicos, algunos equipos de protección y automatización, ciertos computadores, equipos que necesiten sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), equipos con filtros o supresores de sobretensiones, entre otros.

#### **Clase 2**

Esta clase aplica a puntos de acoplamiento común para consumidores comunes y puntos de acoplamiento común para plantas de consumidores industriales en general. El nivel de compatibilidad de esta clase es idéntica a la de la red pública, por lo que los componentes diseñados para aplicaciones en las redes públicas, puede ser utilizado en esta clase de entorno industrial.

#### **Clase 3**

Aplica solo para redes especializadas en intercambio de datos basadas en protocolos de comunicación en ambientes industriales. Éstas tienen un nivel de compatibilidad mayor que la clase 2 para ciertos fenómenos de perturbación. Para ser considerado de esta clase, se debe cumplir cualquiera de las siguientes condiciones: una parte importante de la carga se alimenta a través de los convertidores, contar con máquinas de soldadura, poner con frecuencia grandes motores en marcha o que las cargas varíen rápidamente.

Conociendo las clases que establece la IEC para los niveles de compatibilidad electromagnética, en la Tabla 3 y Tabla 4 se muestran los niveles y tiempos de duración para hundimientos de tensión e interrupciones cortas que deben aplicarse al momento de probar los dispositivos de las distintas clases respectivamente.

Tabla 3. Niveles de tensión y duración para ensayos de hundimientos de tensión.

Clase	Nivel y tiempo de duración para ensayos de hundimientos de tensión (50 Hz/60 Hz)				
Clase 1	Niveles y duraciones en función de los requerimientos del equipo bajo ensayo				
Clase 2	0 % durante $\frac{1}{2}$ ciclo	0 % durante 1 ciclo	70 % durante $\frac{25}{30}^a$ ciclos		
Clase 3	0 % durante $\frac{1}{2}$ ciclo	0 % durante 1 ciclo	40 % durante $\frac{10}{12}^a$ ciclos	70 % durante $\frac{25}{30}^a$ ciclos	80 % durante $\frac{250}{300}^a$ ciclos
<sup>a</sup> $\frac{25}{30}$ ciclos, significa 25 ciclos para ensayos a 50 Hz y 30 ciclos para ensayos a 60 Hz.					

Fuente: (IEC, 2004)

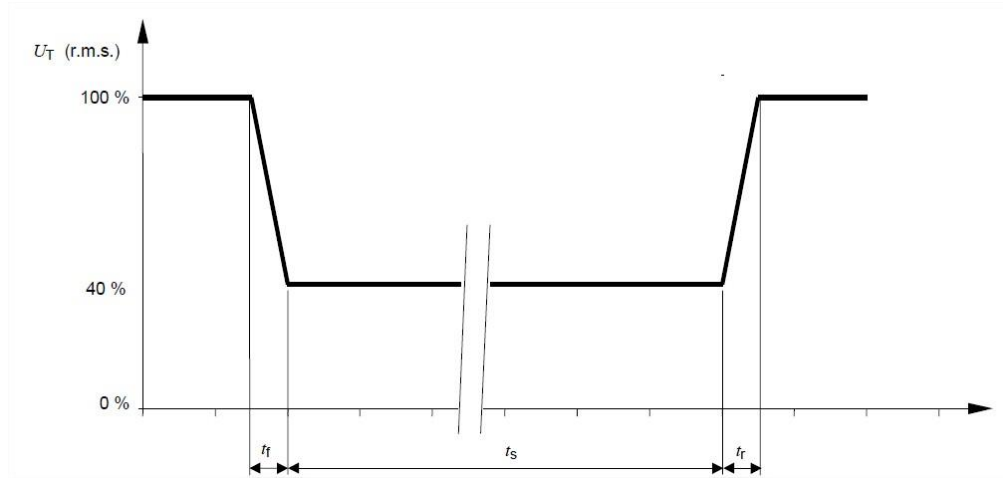
Tabla 4. Niveles de tensión y duración para ensayos de interrupciones de tensión.

Clase	Nivel y tiempo de duración para ensayos de interrupción de tensión (50 Hz/60 Hz)				
Clase 1	Niveles y duraciones en función de los requerimientos del equipo bajo ensayo				
Clase 2	0 % durante $\frac{250}{300}^a$ ciclos				
Clase 3	0 % durante $\frac{250}{300}^a$ ciclos				
<sup>a</sup> $\frac{250}{300}$ ciclos, significa 25 ciclos para ensayos a 50 Hz y 30 ciclos para ensayos a 60 Hz.					

Fuente:(IEC, 2004)

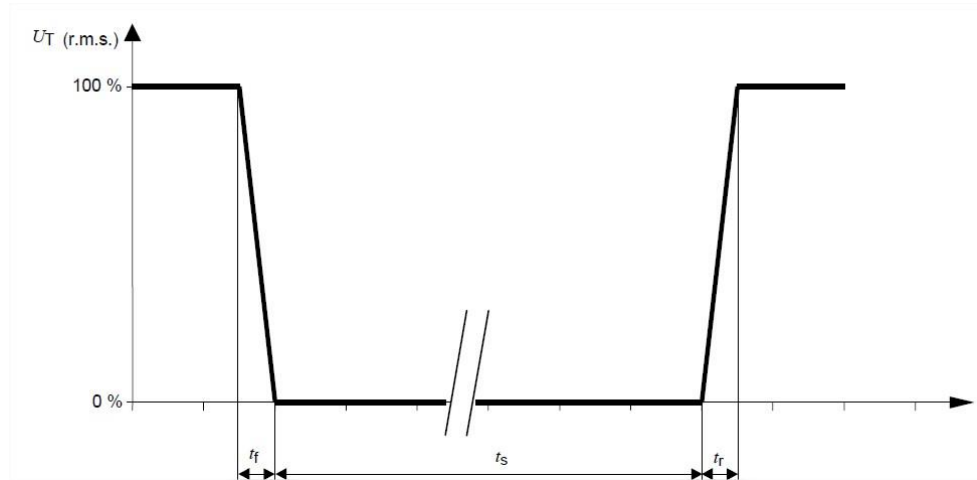
Los niveles indicados en la Tabla 3 son razonablemente severos y representan muchos hundimientos reales que aparecen en la red, pero estos no garantizan inmunidad total para cualquier tipo de hundimiento de tensión. En la Figura 9, Figura 10 y Figura 11 se muestran ejemplos de hundimientos de tensión al 40 %, una interrupción de corto tiempo y un hundimiento de tensión del 70 %, respectivamente.

Figura 9. Hundimiento de tensión al 40 % de la tensión nominal.



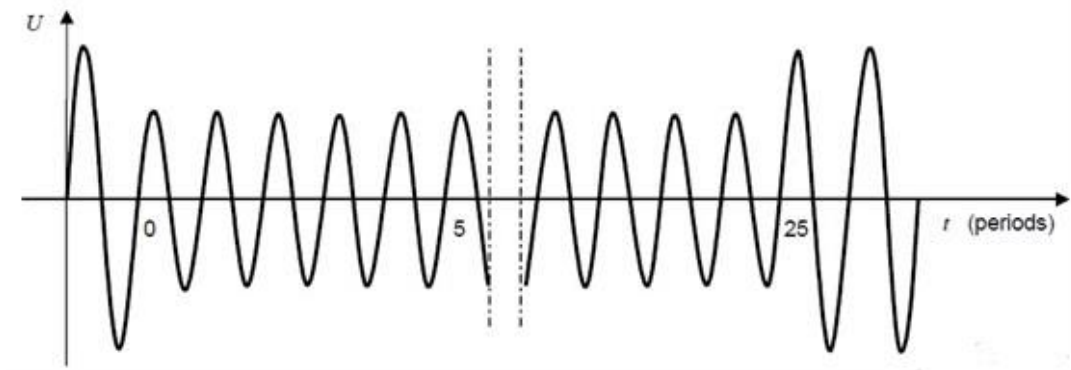
Fuente: (IEC, 2004)

Figura 10. Interrupción de corta duración.



Fuente: (IEC, 2004)

Figura 11. Hundimiento de tensión del 70 % de la tensión nominal durante 25 ciclos.



Fuente: (IEC, 2004)

### 2.3.2 NIVELES DE TENSIÓN PARA ENSAYOS CON VARIACIONES DE TENSIÓN (OPCIONAL)

Las variaciones de tensión, son causadas por la continua variación de cargas conectadas a la red. Este ensayo pretende considerar una transición entre una tensión nominal menor a la establecida y una variación de la misma.

En la Tabla 5 se muestra la duración y los niveles de tensión establecidos para las variaciones de tensión. Los pasos entre las variaciones de tensión, deben ser colocados en los cruces por cero y no deben ser mayor del 10 % de la tensión nominal. En la Figura 12 se muestra un ejemplo de la tensión r.m.s. en función del tiempo durante un ensayo de variación de tensión. El ensayo puede ejecutarse a niveles de tensión diferentes al mencionado, teniendo una justificación establecida por los comités de producto.

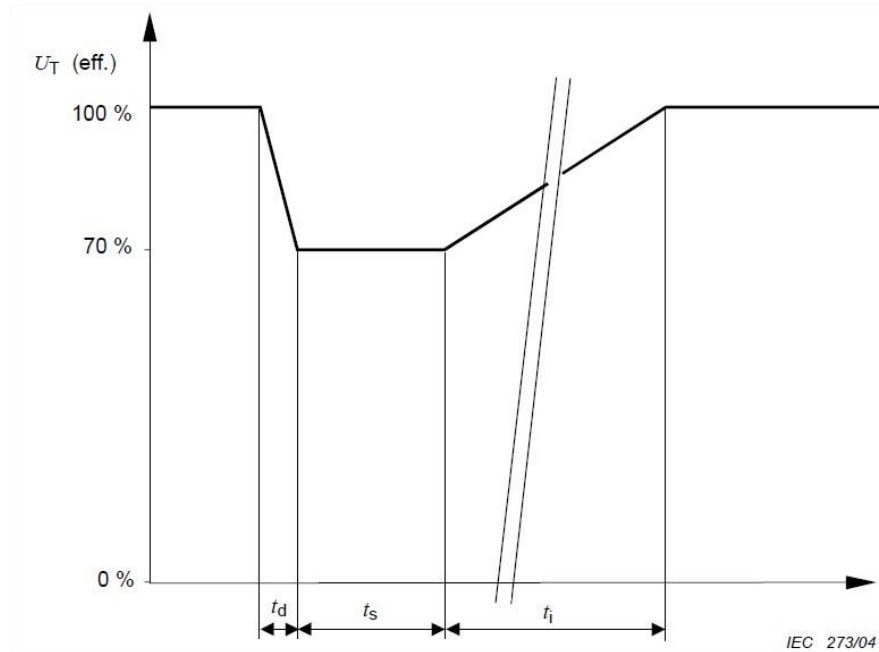
Tabla 5. Duraciones y niveles de tensión para ensayos de variaciones de tensión.

Nivel de tensión del ensayo	Tiempo que tarda en decrecer la tensión ( $t_d$ )	Tiempo para reducir la tensión ( $t_s$ )	Tiempo para incrementar la tensión ( $t_i$ ) (50 Hz/60 Hz)
70 %	Abrupto	1 ciclo	<sup>b</sup> 25/30 ciclos
X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup>
<sup>a</sup> Valores definidos por los comités de productos. <sup>b</sup> 25/30 ciclos, significa 25 ciclos para ensayos a 50 Hz y 30 ciclos para ensayos a 60 Hz.			

Fuente: (IEC, 2004)



Figura 12. Variación de tensión



Fuente: (IEC, 2004)

### 2.3.3 INSTRUMENTACIÓN DEL ENSAYO

Para realizar los ensayos expuestos anteriormente, es necesario contar un generador de fenómenos de calidad de energía. Por tanto, en la Tabla 6 se muestran los requerimientos que debe cumplir el generador de hundimientos e interrupciones de tensión según la norma IEC 61000-4-11 de 2004.

Tabla 6. Especificaciones del generador

Parámetro	Especificación requerida
Salida de tensión sin carga	$\pm 5$ % del valor de tensión residual
Cambio de tensión con carga a la salida del generador 100 % a la salida, 0 A a 16 A 80 % a la salida, 0 A a 20 A 70 % a la salida, 0 A a 23 A 40 % a la salida, 0 A a 40 A	Menor al 5 % de la tensión de ensayo
Capacidad de corriente de salida	16 A r.m.s. por fase a la tensión nominal. El generador será capaz de mantener 20 A al 80 % de la tensión nominal durante 5 s. También será capaz de mantener 23 A al 70 % de la tensión nominal y 40 A al 40 % de la tensión nominal durante 3 s.

<b>Parámetro</b>	<b>Especificación requerida</b>
Capacidad pico de corriente	No está limitado por el generador. Sin embargo, la capacidad de pico máximo no necesita exceder 1000 A para tensiones entre 250 V y 600 V, 500 A para tensiones entre 200 V y 400 V, o 250 A para tensiones entre 100 V y 120 V principalmente.
Pico instantáneo por encima o por debajo de la tensión actual, con una carga resistiva de 100 $\Omega$ conectada al generador	Menor al 5 % de la tensión de ensayo
Duración del tiempo de caída o aumento de tensión durante un cambio abrupto cuando se encuentra conectada una carga resistiva de 100 $\Omega$ al generador	Entre 1 $\mu$ s y 5 $\mu$ s
Desplazamiento de fase (si es necesario)	0° a 360°
Relación entre la fase de los hundimientos de tensión e interrupciones con respecto a la frecuencia de fuente de alimentación	Menos de $\pm 10^\circ$
Control del cruce por cero del generador	$\pm 10^\circ$

Fuente: (IEC, 2004)

Se permite cualquier generador con características iguales o más severas (amplitud y duración) a la prescrita por la norma.

Con el fin de verificar o comparar los resultados obtenidos en un ensayo, con distintos generadores, deben ser verificadas las características de los mismos de acuerdo con lo establecido a continuación:

- El 100 %, 80 %, 70 % y 40 % de las tensiones de salida del generador deben corresponder a dichos porcentajes de la tensión de operación seleccionada: 230 V, 120 V, etc.
- El 100 %, 80 %, 70 % y 40 % de las tensiones de salida del generador serán medidas sin carga y deben mantener el porcentaje especificado de la tensión de ensayo.
- La regulación de carga se verificará a la corriente de carga nominal en cada una de las tensiones de salida y la variación no podrá exceder del 5 % de la tensión de alimentación nominal de 100 %, 80 %, 70 % y el 40 % de la tensión de ensayo.

Para la tensión de salida de 80 % del valor nominal, los requisitos anteriores sólo tienen que ser verificados para un máximo de 5 s de duración. Para tensiones de salida de 70 % y 40 % del valor nominal, los requisitos anteriores sólo necesitan ser

verificados por un máximo de duración de 3 s. Por otro lado, con respecto a la fuente de alimentación del generador, la frecuencia de la tensión de ensayo debe estar dentro del  $\pm 2 \%$  de la frecuencia nominal.

#### **2.3.4 MONTAJE Y PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO**

Continuando con lo indicado en la norma IEC 61000-4-11 de 2004, el montaje será realizado con el equipo bajo ensayo conectado al generador de parámetros, con el cable de alimentación especificado por el fabricante del equipo bajo ensayo. Si no se especifica una longitud para el cable, se realizará con el de menor longitud que permita la aplicación del ensayo al equipo.

Los ensayos para los cuales se indican los diferentes montajes y procedimientos que indica la norma, son de tres tipos:

- Hundimientos de tensión
- Interrupciones de corta duración
- Variaciones de tensión (opcional)

Antes de iniciar, es necesario preparar un plan de ensayo, el cual debe representar la forma en la que el sistema se usa realmente. Muchos sistemas pueden requerir un preciso pre-análisis para definir qué configuración debe tener el sistema de ensayo para ser reproducido en campo. Finalmente, los resultados obtenidos deben registrarse en un reporte de ensayo.

Se recomienda que los planes de ensayo incluyan los siguientes ítems:

- Designación del tipo de equipo bajo ensayo.
- Información de posibles conectores con sus correspondientes cables y periféricos.
- Puerto de alimentación de entrada del equipo a probar.
- Modos de funcionamiento del equipo bajo ensayo.
- Criterios de desempeño utilizados y definidos en las especificaciones técnicas del equipo.
- Modos de operación de los equipos.
- Descripción del montaje del ensayo.

Para cada ensayo, se registrará cualquier degradación del montaje. El equipo de monitoreo debe ser capaz de mostrar el estado de operación del equipo durante y después del ensayo. Después de cada grupo de ensayos, se llevará a cabo una revisión funcional completa.

Las condiciones climáticas de referencia, serán las especificadas por los fabricantes del equipo bajo ensayo y el generador para su correcta operación. Los ensayos no deben ser realizados si la humedad relativa es tan alta (> 80 %) que pueda causar condensación en el equipo bajo ensayo o el generador.

Por otra parte, las condiciones electromagnéticas del laboratorio en el que se realice el ensayo deben garantizar la correcta operación del equipo, de forma que no influyan en el resultado. Además, las principales tensiones para el ensayo deben ser monitoreadas con una exactitud del 2 %.

Para la ejecución del ensayo de hundimientos de tensión e interrupciones de corta duración, se debe tener en cuenta lo expuesto a continuación:

El equipo bajo debe ser ensayado para cada combinación seleccionada del nivel de tensión y su duración, en una secuencia de tres hundimientos/interrupciones, con intervalos de 10 segundos mínimo entre cada evento. Para los equipos que tengan más de un punto de alimentación, debe probarse cada una de sus entradas de alimentación individualmente.

Para hundimientos de tensión, el evento debe ocurrir cuando la onda de tensión cruce por cero y en ángulos adicionales, considerados críticos por los comités de producto o por las especificaciones del producto específico, seleccionando preferiblemente 45°, 90°, 135°, 180°, 270° y 315° en cada fase. En los sistemas trifásicos con neutro, cada tensión individual (fase-neutro y fase-fase) debe ser probada. Esto implica una serie de seis diferentes ensayos. De igual forma, para sistemas trifásicos sin hilo neutro, cada tensión individual (fase-fase) debe ser probada, lo que implica tres series diferentes de ensayo.

Para interrupciones de corta duración, el ángulo debe ser definido por los comités de producto en los peores casos, o, en ausencia de esto, se recomienda usar un ángulo de 0°. Para sistemas trifásicos, las interrupciones de corta duración deben ejecutarse de forma simultánea en las tres fases.

Por otra parte, al ejecutar el ensayo de variación de tensión, el equipo bajo ensayo debe ser probado tres veces en cada una de las variaciones de tensión especificadas y, en intervalos de 10 segundos para los modos de operación más representativos.

### 2.3.5 EVALUACIÓN Y REPORTE DEL ENSAYO

Los resultados del ensayo deben clasificarse en términos de la pérdida del funcionamiento o la degradación del equipo bajo ensayo, con relación a un nivel de desempeño definido por su fabricante, el solicitante o un acuerdo entre ambos. La clasificación recomendada es la siguiente:

- a) Ejecución normal, dentro de los límites especificados por el fabricante, solicitante o comprador.
- b) Pérdida temporal del funcionamiento o disminución del rendimiento, que cesa al finalizar el disturbio y en el cual el equipo bajo retorna a su funcionamiento normal, sin la intervención de un operador.
- c) Pérdida temporal del funcionamiento o disminución del rendimiento, en el cual es necesaria la intervención del operario para su corrección.
- d) Pérdida del funcionamiento o disminución del rendimiento que no es recuperable debido a daños en el hardware, software o por pérdida de datos.

Las especificaciones del fabricante deben definir los efectos sobre el equipo bajo ensayo que se considerarán insignificantes y por tanto aceptables. Esta clasificación debe ser usada como una guía para la formulación de criterios de rendimiento, por los comités genéricos responsables, normas de producto o de familias de productos o como un marco para los acuerdos entre el fabricante y el comprador, donde no existe una norma genérica, de producto o de familias de productos.

El reporte del ensayo debe contener toda la información necesaria para reproducir el ensayo. En particular, debe registrarse lo siguiente:

- Los ítems especificados en el plan del ensayo.
- Identificación del equipo bajo ensayo y cualquier equipo asociado, por ejemplo: marca, tipo de equipo, número de serie, etc.
- Identificación del equipo necesario para el ensayo (generador), por ejemplo: marca, tipo de equipo, número de serie, etc.
- Cualquier condición ambiental especial en la que se realizó el ensayo, por ejemplo: blindaje, recinto.
- Cualquier condición específica necesaria para realizar el ensayo.
- Nivel de desempeño definido por el fabricante, comprador o solicitante.
- Criterio de desempeño especificado por una norma genérica, de producto o de familia de productos.
- Cualquier efecto observado durante o después de la aplicación del ensayo sobre el equipo y el tiempo que dichos efectos persistieron.

- Justificación para la aprobación/reprobación (basados en el criterio de rendimiento especificado en la norma genérica, de producto o de familia de productos, o el común acuerdo entre el fabricante y el comprador).

Cualquier condición específica de uso, por ejemplo: la longitud o el tipo de cable de alimentación, el blindaje o la puesta a tierra o las condiciones de operación del equipo bajo ensayo que son necesarias para lograr el cumplimiento.

## **CAPITULO III**

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Teniendo en cuenta los requerimientos dados por la norma IEC 61000-4-11 de 2004, se establece la necesidad un generador de hundimientos e interrupciones de tensión que cumpla todo lo establecido en dicha norma. Por esta razón, a continuación se muestran las partes del generador BEST EMC, los niveles de tensión a los que se alimenta, sus principales funciones, el uso de sus accesorios y todas las especificaciones dadas para realizar ensayos de inmunidad frente a hundimientos e interrupciones de tensión como lo indica la normativa seleccionada.

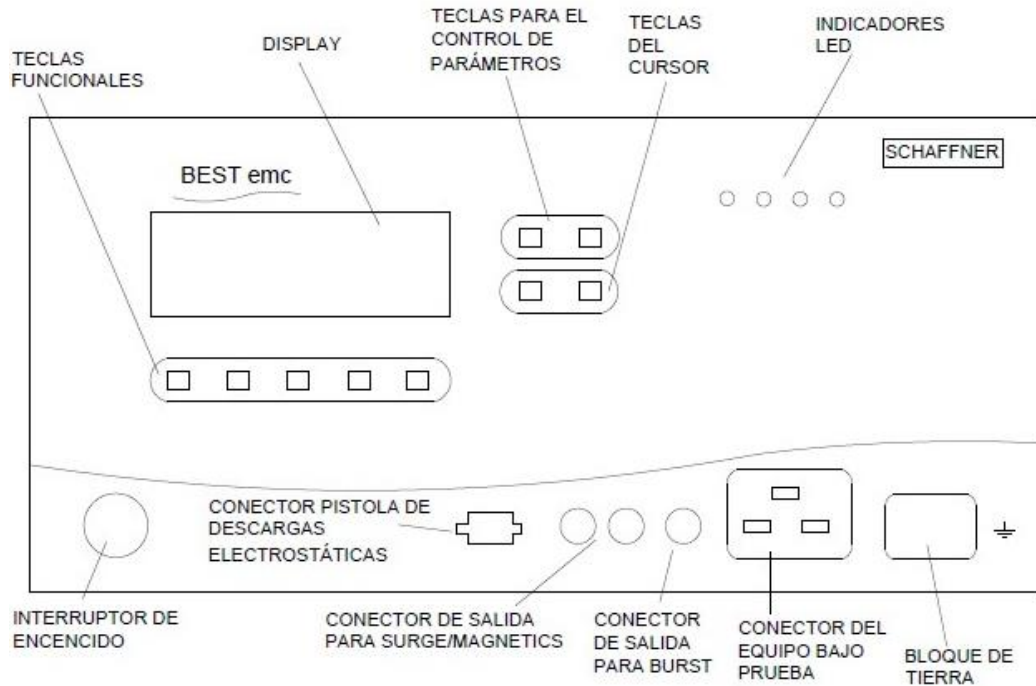
### **3.2 GENERALIDADES DEL EQUIPO BEST EMC**

El equipo BEST EMC ofrece la posibilidad de llevar a cabo ensayos de inmunidad para equipos utilizados en ambientes industriales, también cumple con los requerimientos necesarios para realizar ensayos de inmunidad a nivel doméstico, comercial o para la iluminación de uso industrial. El control del dispositivo se realiza directamente desde el panel frontal o de forma remota desde un computador, usando el paquete de control por software del equipo (WINBEST).

Los tipos de ensayos que se pueden realizar son: transitorios (alta tensión), descargas electrostáticas, sobretensiones (alta tensión), ensayos de calidad de energía (transitorios) y pruebas de campo magnético. Para el interés del proyecto, solo se entrará en detalle sobre el uso de la función para realizar ensayos en calidad de energía (hundimientos de tensión e interrupciones de corta duración).

En la Figura 13 se muestra una imagen que describe los principales componentes del panel frontal del equipo BEST EMC.

Figura 13. Vista frontal del equipo BEST EMC



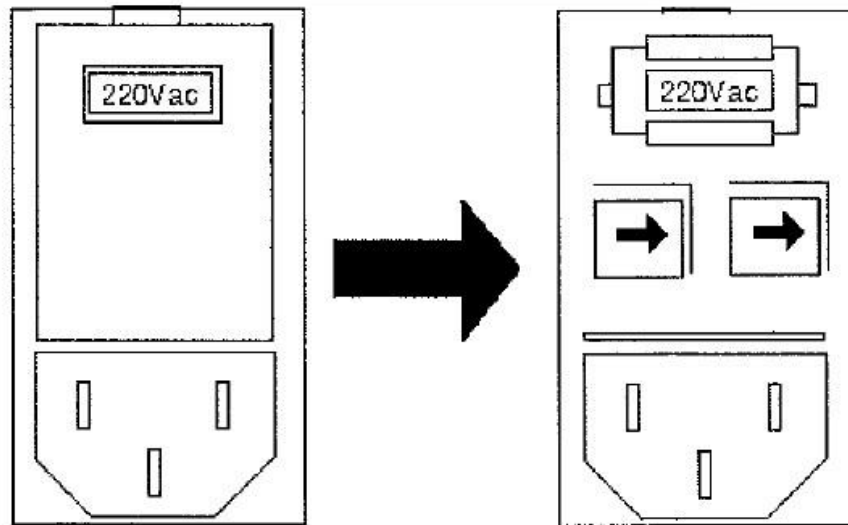
Fuente: (Schaffner, 2000)

Cabe resaltar que, para la finalidad de este proyecto, sólo se utilizará el conector del equipo bajo ensayo, por medio del cual se generan los hundimientos de tensión y las interrupciones momentáneas, además de las funciones básicas como el interruptor de encendido, el bloque de tierra, las teclas, la pantalla y las indicaciones de los led.

Al empezar a usar el equipo BEST EMC, se debe establecer el nivel de tensión al que se va a conectar, puesto que éste determina el nivel de tensión al que funciona el equipo bajo ensayo. En la clavija (Figura 14), el equipo proporciona la opción de escoger entre una fuente de alimentación de 110-120 V y una de 220-240 V. Cada una de estas alimentaciones cuenta con su respectivo fusible de 20 mm para 3,15 A y 1,6 A.



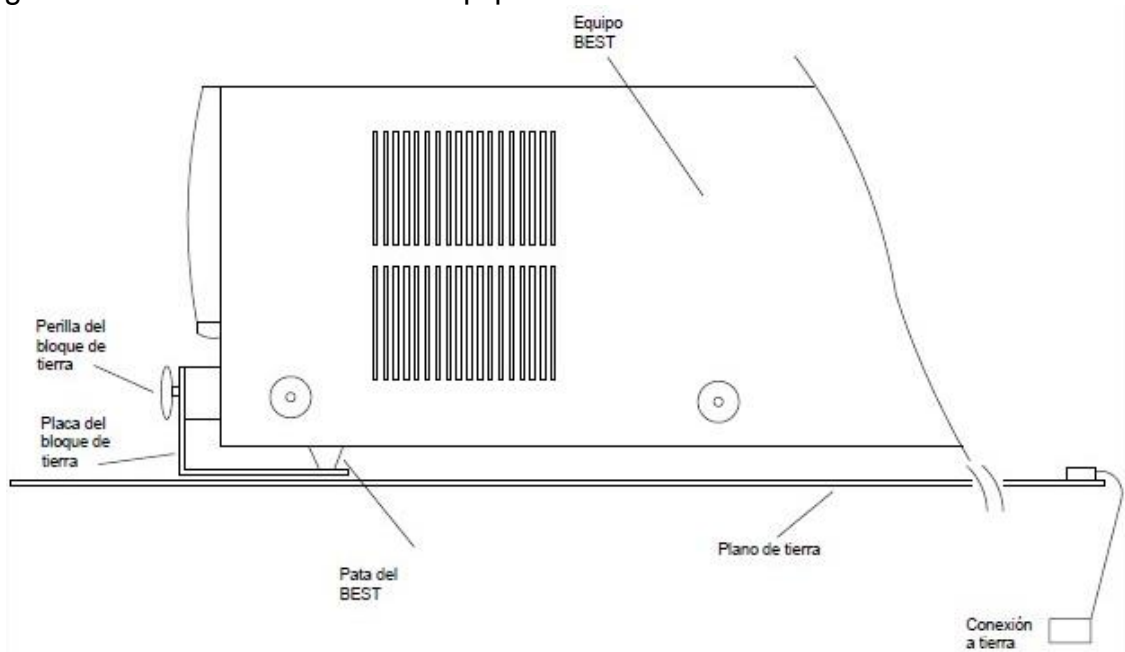
Figura 14. Clavija para energizar el equipo BEST EMC.



Fuente: (Schaffner, 2000)

Es de vital importancia conectar a tierra al equipo, para evitar distorsiones durante la ejecución de los diferentes ensayos. En la Figura 15 se observa cuál es la forma correcta de conectar el equipo a una tierra física, el sitio en el que se realice el ensayo debe contar con ésta.

Figura 15. Conexión a tierra del equipo BEST EMC.



Fuente: (Schaffner, 2000)

Al encender el equipo BEST EMC, se verá una pantalla como la mostrada en la Figura 16.

Figura 16. Pantalla de inicio del equipo BEST EMC.



Usando las teclas funcionales es posible acceder a cada menú de las distintas pruebas con las que cuenta el equipo, donde se tienen las siguientes cuatro opciones básicas:

- *RUN*: función que inicia la prueba, con los parámetros mostrados en pantalla.
- *OPEN*: función para abrir una prueba de la memoria.
- *SAVE*: función para guardar las configuraciones existentes en la memoria.
- *QUIT*: función para salir de la prueba actual y volver al menú inicial (Figura 16).

Una alternativa que ofrece el equipo BEST EMC, es guardar las configuraciones de los ensayos realizados, con el fin de cargarlos al momento de ejecutarlos en el futuro y evitar demoras en la configuración del equipo. Al pulsar la opción *SAVE*, aparecerá una pantalla como la mostrada en la Figura 17, donde usando los cursores se podrá desplazar por los nombres disponibles para los ensayos y podrá confirmar que desea guardarlo.

Figura 17. Guardando un ensayo en el equipo BEST EMC.

```
SAVE TEST                                     L
                                          
TESTNAME:  USER TEST 1
                                          
OK                                                CANCEL
```

Fuente: (Schaffner, 2000)

Para utilizar algún ensayo guardado con anterioridad, debe pulsarse la opción *OPEN*, con lo que aparecerá una pantalla como la mostrada en la Figura 18, donde al hacer uso de los cursores podrá seleccionar entre los nombres disponibles para usar el ensayo configurado. Los ensayos guardados en el equipo tienen dos formatos:

- Los ensayos creados por el usuario, llamados USER TEST X, donde X es un número. Este tipo de ensayos puede ser modificado para cumplir los requerimientos del usuario.
- Los ensayos basados en normas, los cuales cuentan con parámetros específicos de cada normativa, son llamados STANDARD TEST X, donde X es un número, y, abajo del nombre, aparecerá la descripción del tipo de ensayo. Estas configuraciones vienen con el equipo y pueden modificarse para ser guardadas como ensayos del usuario, conservando siempre la configuración original.

Figura 18. Abriendo un ensayo en el equipo BEST EMC.

```
LOAD TEST                                     L
                                          
TESTNAME   :   STARNDARD TEST 1
DESCRIPTION :   EN50082 - 1 PORT SIGNAL LINES
                                          
OK                                                CANCEL
```

Fuente: (Schaffner, 2000)

Para cumplir con el fin de este trabajo, se profundizará en el menú para ensayos de calidad de potencia (PQT), sin dejar de un lado la importancia que presenta la función configuración (CONFIG) del menú opciones (OPTIONS). En la Figura 19 se muestra la pantalla inicial al ingresar al menú de opciones.

Figura 19. Pantalla del menú de opciones (OPTIONS).

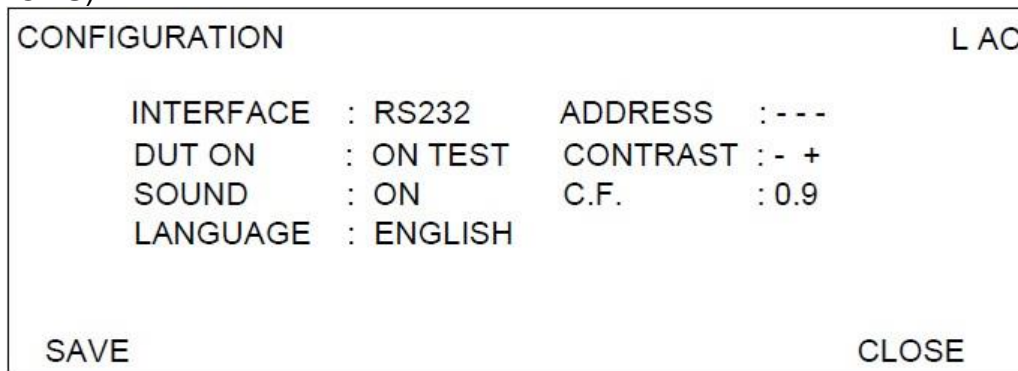


La pantalla inicial del menú OPTIONS tiene tres funciones básicas:

- *CONFIG*: permite configurar parámetros generales del equipo BEST EMC.
- *DIAG*: permite realizar una prueba diagnóstica automática de los componentes electrónicos del instrumento.
- *QUIT*: permite salir del menú de opciones y volver a la pantalla inicial.

Al ingresar a la opción de configuración (CONFIG), se tiene una pantalla como la expuesta en la Figura 20.

Figura 20. Pantalla de la opción de configuración (CONFIG) del menú de opciones (OPTIONS).



Fuente: (Schaffner, 2000)

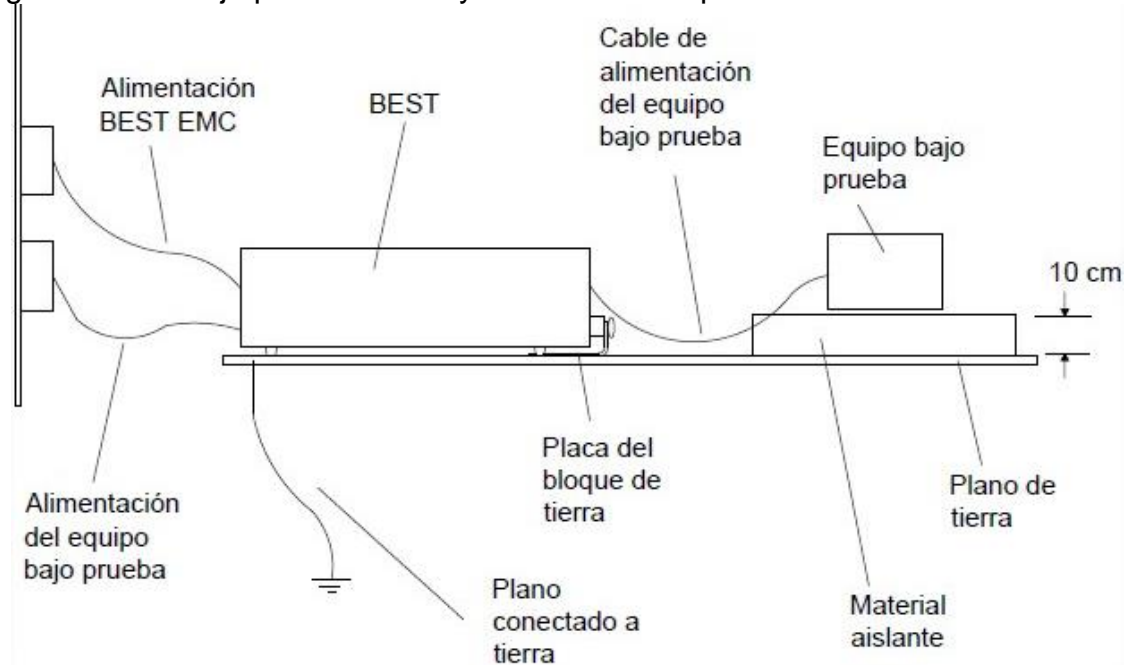
En la pantalla se observan parámetros que se utilizan para realizar configuraciones generales al funcionamiento del equipo BEST EMC:

- *INTERFACE*: función para seleccionar la interface de comunicación, la cual se puede seleccionar entre RS232 o IEEE. Se usan las teclas + y – para desplazarse entre los valores disponibles.
- *ADDRESS*: función para seleccionar la dirección del protocolo IEEE 448. Cualquier dirección entre 1 y 31 puede seleccionarse usando las teclas + y – para desplazarse. Cuando se selecciona la interface RS232, este parámetro no es relevante.
- *DUT ON*: función para especificar en qué momento del ensayo, la entrada de alimentación del equipo bajo ensayo en el panel frontal está energizada. Las opciones disponibles son:
  - ✓ *ALWAYS*: la entrada de alimentación del equipo bajo ensayo se encuentra energizada todo el tiempo.
  - ✓ *ON TEST*: la entrada de alimentación del equipo bajo ensayo se encuentra energizada únicamente durante la misma; entre un ensayo y otra se desenergiza el equipo.
- *CONTRAST*: función para cambiar el contraste de la pantalla LCD. Se usan las teclas + y – para desplazarse entre 100 diferentes valores.
- *SOUND*: función para habilitar o inhabilitar un pitido audible. Cuando se selecciona ON, se genera un pitido cada vez que se presiona una tecla, cuando un ensayo termina, cuando ocurre un error, etc. Cuando se selecciona OFF, se desactiva el pitido.
- *C.F.*: función para cambiar el factor de inducción para la prueba de campos magnéticos (no aplicable al objetivo de este trabajo).
- *LANGUAGE*: función para seleccionar el lenguaje del equipos BEST EMC. Se usan las teclas para seleccionar entre los idiomas inglés, francés y alemán.

### **3.3 ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO DE CALIDAD DE ENERGÍA**

La opción PQT del equipo BEST EMC, permite emular hundimientos de tensión e interrupciones momentáneas, tal como son definidas por la norma IEC 61000-4-11 de 2004. Para realizar un ensayo, es necesario realizar el montaje mostrado en la Figura 21.

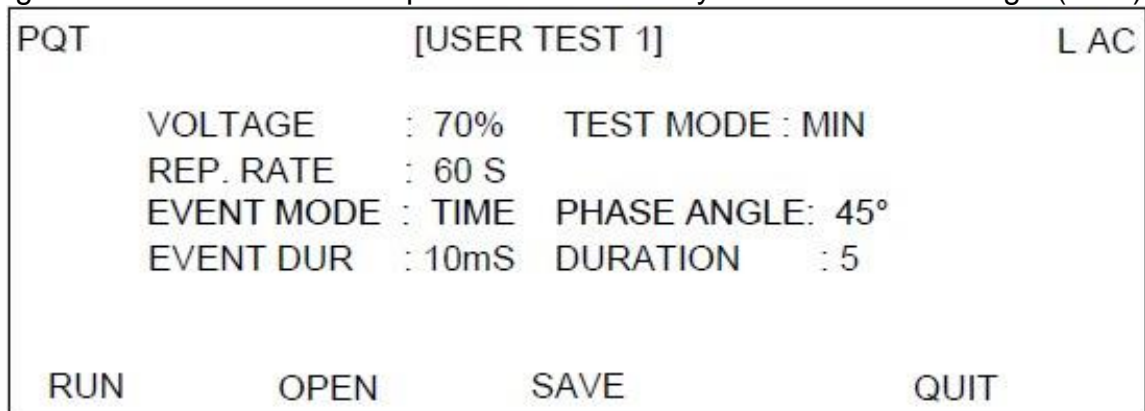
Figura 21. Montaje para una ensayo de calidad de potencia.



Fuente: (Schaffner, 2000)

Al ingresar al menú para realizar el ensayo de calidad de energía (PQT), se verá una pantalla como la mostrada en la Figura 22.

Figura 22. Pantalla del menú para realizar el ensayo de calidad de energía (PQT).



Fuente: (Schaffner, 2000)

Como se observa en la Figura 22, en la parte inferior de la pantalla se encuentran las cuatro opciones básicas mencionadas anteriormente. Además, en la esquina superior izquierda se especifica el tipo de ensayo que se está realizando, así como

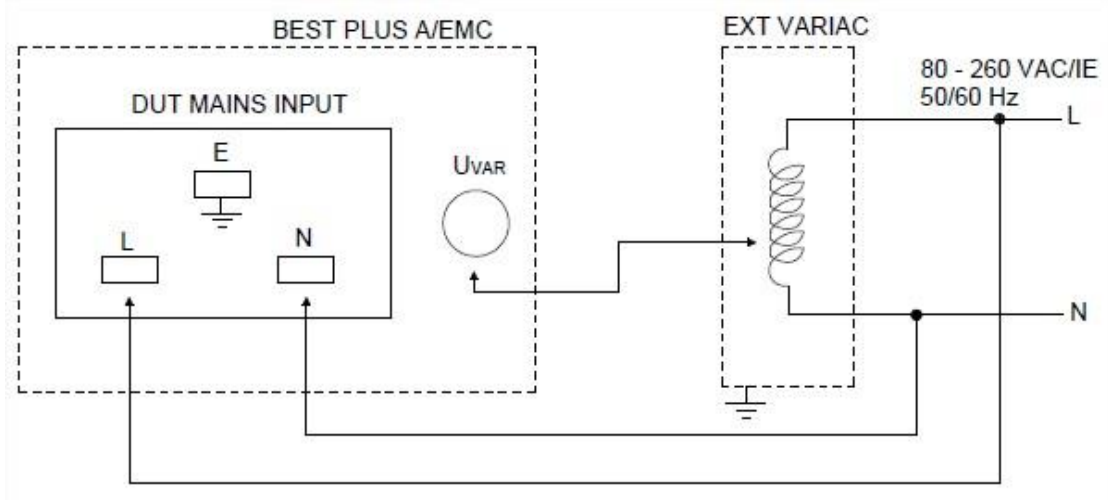
en la esquina superior derecha, el tipo de tensión (alterna o continua). En la parte superior de la pantalla aparece el nombre del ensayo, para el caso en el que se use alguna guardada previamente, y en el centro de la pantalla aparecen los parámetros a configurar, para el ensayo que se va a realizar:

- *VOLTAGE (Tensión)*: con esta función se determina el valor al que cae la tensión durante un ensayo. Este valor se expresa como un porcentaje del valor nominal de tensión a la que se alimenta el equipo bajo ensayo o se configura para conectar una fuente externa. Se usan las teclas + y – para desplazarse entre los valores disponibles.
- *REP. RATE (Tiempo de repetición)*: función para determinar el tiempo entre un evento y el siguiente. Se usan las teclas + y – para incrementar o disminuir el valor requerido.
- *EVENT MODE (Modo del evento)*: esta opción especifica las unidades a ser utilizadas para definir la duración del evento de calidad de energía. Se puede seleccionar entre CYCLES (ciclos) o TIME (tiempo), dependiendo del equipo bajo ensayo que está conectado al BEST EMC.  
Si no se encuentra conectado ningún equipo, el modo del evento se establece únicamente en tiempo.  
Si el equipo bajo ensayo trabaja a 50 Hz, se podrá seleccionar el modo del evento entre tiempo o ciclos. Cambiando de tiempo a ciclos, se convertirá la duración del evento actual al respectivo valor base del ciclo y viceversa.  
Si el equipo bajo ensayo trabaja a 60 Hz, solo se establecerá el modo del evento en ciclos.
- *EVENT DUR (Duración del evento)*: especifica la duración (en ms o ciclos, dependiendo del modo del evento) del hundimiento o la interrupción.
- *PHASE ANGLE (Ángulo de fase)*: función que permite seleccionar el ángulo en la red de alimentación del equipo bajo ensayo, al cual iniciará el evento. Se usan las teclas + y – para incrementar o disminuir el valor requerido, o se selecciona ASYNC, para no establecer un ángulo, por lo que el evento iniciará de forma aleatoria en cualquier parte del ciclo.
- *TEST MODE (Modo del ensayo)*: este parámetro en combinación con la duración (DURATION), definen cuánto tiempo tomará el ensayo. Se usan las teclas + y – para desplazarse entre las siguientes opciones disponibles:

- ✓ SEC: Segundos. El número actual de la duración especifica el valor.
  - ✓ MIN: Minutos. El número actual de la duración especifica el valor.
  - ✓ HRS: Horas. El número actual de la duración especifica el valor.
  - ✓ COUNT: Número de pulsos. El número actual de la duración especifica el valor.
  - ✓ CONT.: Continuo. El ensayo correrá por un tiempo indefinido hasta que sea detenida (tecla STOP), o hasta que falle el equipo bajo ensayo.
- *DURATION (Duración)*: parámetro que especifica cuánto tiempo tomará el ensayo, en conjunto con la configuración del modo del ensayo (TEST MODE).

Finalmente, el equipo BEST EMC tiene la opción de generar hundimientos de tensión al valor especificado por una fuente externa, es decir, la conmutación entre la tensión nominal y el hundimiento de tensión, se hace al valor dado por la fuente, la cual se conecta al equipo BEST como lo muestra el esquema de la Figura 23.

Figura 23. Alimentación del hundimiento de tensión por medio de una fuente variable.



Con el fin de mostrar el funcionamiento del equipo BEST EMC, se generó un hundimiento al 40 % de la tensión nominal, para un periodo de tiempo igual a seis ciclos. En la Figura 24 se muestra el montaje realizado para generar el mencionado hundimiento.

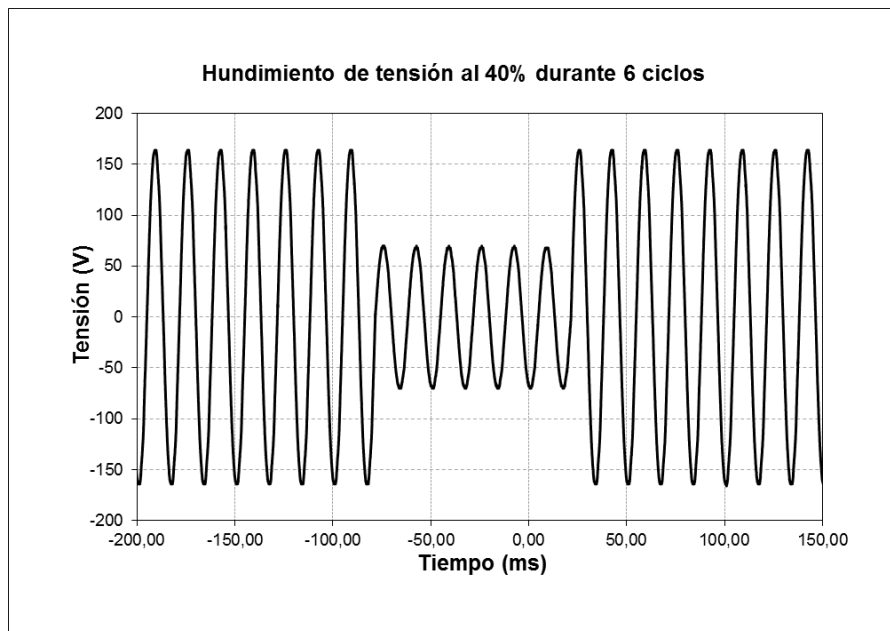


Figura 24. Hundimiento del 40 % durante 6 ciclos usando el equipo BEST EMC.



Como se observa en la Figura 24, se usó el osciloscopio marca GW-INSTEK modelo GDS-3354 para capturar la señal generada por el equipo BEST EMC. En la Figura 25 se observa la onda medida por el osciloscopio, donde se puede notar la magnitud del hundimiento de tensión programado en el equipo patrón.

Figura 25. Onda para un hundimiento de tensión del 40 % durante 6 ciclos usando el equipo BEST EMC.



## CAPITULO IV

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Por último, es necesario relacionar los requerimientos expuestos por la norma IEC 61000-4-11 de 2004 con las funciones del equipo BEST EMC, buscando establecer un procedimiento para ensayos de inmunidad frente a hundimientos de tensión e interrupciones. Para ello, se elabora una comparación entre las especificaciones dadas por la norma y las del equipo BEST EMC y, posteriormente, se establece el procedimiento del ensayo. Para finalizar, se realiza un ensayo a un computador portátil, mostrando detenidamente la ejecución del procedimiento y seleccionando un criterio de conformidad genérico para el caso implementado.

### 4.2 REQUERIMIENTOS ADICIONALES PARA REALIZAR LOS ENSAYOS DE INMUNIDAD A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES BAJO LA NORMA IEC 61000-4-11 DE 2004

Al observar los niveles de tensión y la instrumentación requerida por la norma IEC 61000-4-11 de 2004 para realizar los ensayos, y compararlos con las características técnicas del equipo BEST EMC, se puede resaltar una gran afinidad en términos de tensiones de salida del generador, corrientes soportadas por el generador durante determinados hundimientos y el error máximo permitido de los valores de tensión generados. En la Tabla 7 se expone una comparación entre los requerimientos de la norma y las especificaciones técnicas del equipo BEST EMC dadas por el fabricante.

Tabla 7. Comparación entre los requerimientos de la norma IEC 61000-4-11 de 2004 y las funciones del equipo BEST EMC.

<b>Parámetro</b>	<b>Especificación de la norma</b>	<b>Especificación del BEST EMC</b>
Salida de tensión sin carga	$\pm 5$ % del valor de tensión residual	$\pm 5$ % del valor de tensión residual
Cambio de tensión con carga a la salida del generador	Todos los cambios tienen un error menor al 5 % de la tensión de ensayo: 100 % a la salida, 0 A a 16 A 80 % a la salida, 0 A a 20 A 70 % a la salida, 0 A a 23 A	100 % a la salida, 0 A a 16 A, con un error menor al 5 % 70 % a la salida, 0 A a 23 A, con un error menor al 7 % 40 % a la salida, 0 A a 40 A, con un error del 10 %

<b>Parámetro</b>	<b>Especificación de la norma</b>	<b>Especificación del BEST EMC</b>
	40 % a la salida, 0 A a 40 A	Fuente externa 0 % - 100 % a la salida, 0 A a 16 A, con un error del 5 %
Capacidad de corriente de salida	16 A r.m.s. por fase a la tensión nominal. El generador será capaz de mantener 20 A al 80 % de la tensión nominal durante 5 s. También será capaz de mantener 23 A al 70 % de la tensión nominal y 40 A al 40 % de la tensión nominal durante 3 s.	16 A r.m.s. por fase a la tensión nominal. 23 A al 70 % de la tensión nominal durante 5 s y 40 A al 40 % de la tensión nominal durante 5 s.
Capacidad pico de corriente	1000 A para tensiones entre 250 V y 600 V 500 A para tensiones entre 200 V y 400 V 250 A para tensiones entre 100 V y 120 V	500 A para una tensión de 220 V 250 A para una tensión de 115 V
Pico instantáneo por encima o por debajo de la tensión actual, con una carga resistiva de 100 $\Omega$ conectada al generador	Menor al 5 % de la tensión de prueba	Menor al 5 % de la tensión de prueba
Duración del tiempo de caída o aumento de tensión durante un cambio abrupto cuando se encuentra conectada una carga resistiva de 100 $\Omega$ al generador	Entre 1 $\mu$ s y 5 $\mu$ s	Entre 1 $\mu$ s y 5 $\mu$ s
Desplazamiento de fase (si es necesario)	0° a 360°	0° a 359°, en cambios de 1°
Relación entre la fase de los hundimientos de tensión e interrupciones con respecto a la frecuencia de fuente de alimentación	Menos de $\pm 10^\circ$	Menos de $\pm 10^\circ$
Duración de los eventos	Mínimo: 0,5 ciclos Máximo: 300 ciclos	Mínimo: 0,5 ciclos Máximo: 250 ciclos

En la Tabla 7, se destaca la falta de generación del nivel de tensión correspondiente al 80 % de la tensión de alimentación del equipo bajo ensayo y la falta de generación de eventos con duración superior a 250 ciclos, los cuales son necesarios para llevar a cabo el ensayo y que fueron identificados en el numeral 2.3.1 (Tabla 3 y Tabla 4).

Para dar cumplimiento al nivel de tensión del 80 % de la tensión nominal, como lo requiere la norma, el equipo BEST EMC presenta la opción de conectar una fuente variable externa para establecer el valor al cual se realizará la conmutación del hundimiento de tensión. Por tanto, es necesario conectar una fuente que genere el valor correspondiente al 80 % de la tensión de alimentación determinada y configurar el equipo BEST EMC para que realice la conmutación con la fuente externa. En la Figura 26 se muestra en montaje para la medición de un hundimiento de tensión al 80 % de 120 V como tensión de alimentación.

Figura 26. Montaje para la generación de un hundimiento tensión al 80 %.



Para los ensayos de inmunidad frente a hundimientos de tensión al 80 % e interrupciones, la norma exige la generación de eventos durante 250/300 ciclos para frecuencias de alimentación de 50/60 Hz. No obstante, debido al diseño del equipo BEST EMC, solo se permite generar eventos por un tiempo máximo de 250 ciclos, es decir, solo podrían aplicarse ensayos a equipos que trabajen a 50 Hz. En la actualidad, gran variedad de equipos trabajan a 50 Hz o 60 Hz y con el fin de continuar con el desarrollo del proyecto, se trabajará con la limitación de la duración de los eventos y deberá ser tema de trabajos futuros buscar una solución a dicha problemática.

### **4.3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR ENSAYOS DE INMUNIDAD A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES BAJO LA NORMA IEC 61000-4-11 DE 2004**

Con el fin de establecer un procedimiento para realizar ensayos bajo la norma IEC 61000-4-11 de 2004, es necesario establecer 6 partes vitales en la estructura del mismo:

#### **1. Equipos y materiales necesarios para el ensayo**

- Equipo patrón BEST EMC con sus respectivos accesorios para generar parámetros transitorios de tensión (hundimientos e interrupciones).
- Equipo bajo ensayo.
- Cables de conexión.

#### **2. Documentos necesarios para realizar el ensayo**

- Norma IEC 61000-4-11 de 2004.
- Instructivo para el manejo del equipo BEST EMC – Función PQT (Anexo I).
- Formato toma de datos.

#### **3. Objetivo**

Establecer el procedimiento a seguir para realizar ensayos de inmunidad a hundimientos de tensión e interrupciones momentáneas bajo la norma IEC 61000-4-11 de 2004.

#### **4. Alcance**

El método descrito en este procedimiento es de aplicación para la realización de ensayos de inmunidad a hundimientos de tensión e interrupciones momentáneas a cualquier equipo eléctrico o electrónico que trabaje conectado a la red eléctrica en tensiones nominales de 110-120 V o 220-240 V y corrientes nominales menores a 16 A por fase.

#### **5. Condiciones previas del ensayo**

Es necesario determinar la clase de inmunidad del equipo bajo ensayo, para establecer los niveles de tensión y tiempos de los hundimientos de tensión e interrupciones momentáneas. La clase de cada equipo, vendrá especificada por el fabricante, en cumplimiento con lo establecido en la norma IEC 61000-4-11 de 2004, como se muestra a continuación:

### Clase 1

Para esta clase, aplican los equipos que tienen un nivel de compatibilidad menor al de la red pública que los alimenta. Así, se tienen en cuenta todos los equipos que son muy susceptibles a disturbios en las fuentes de tensión, como lo son los laboratorios tecnológicos, algunos equipos de protección y automatización, ciertos computadores, equipos que necesiten sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), equipos con filtros o supresores de sobretensiones, entre otros.

### Clase 2

Esta clase aplica a puntos de acoplamiento común para consumidores comunes y puntos de acoplamiento común para plantas de consumidores industriales en general. El nivel de compatibilidad de esta clase es idéntica a la de la red pública, por lo que los componentes diseñados para aplicaciones en las redes públicas, puede ser utilizados en esta clase de entorno industrial.

### Clase 3

Aplica sólo para redes especializadas en intercambio de datos basadas en protocolos de comunicación en ambientes industriales. Éstas tienen un nivel de compatibilidad mayor que la clase 2 para ciertos fenómenos de perturbación. Para ser considerado de esta clase, se debe cumplir cualquiera de las siguientes condiciones: una parte importante de la carga se alimenta a través de los convertidores, contar con máquinas de soldadura, poner con frecuencia grandes motores en marcha o que las cargas varíen rápidamente.

Conociendo la clase del equipo bajo ensayo, se procede a establecer los valores de tensión y tiempo dados por la norma IEC 61000-4-11 de 2004 para la inmunidad frente a hundimientos de tensión (Tabla 8) e interrupciones momentáneas (Tabla 9).

Tabla 8. Niveles de tensión y duración para ensayos de hundimientos de tensión.

<b>Clase</b>	<b>Nivel y tiempo de duración para ensayos de hundimientos de tensión (60 Hz)</b>				
Clase 1	Niveles y duraciones en función de los requerimientos del equipo bajo ensayo				
Clase 2	0 % durante 0,5 ciclos	0 % durante 1 ciclo	70 % durante 30 ciclos		
Clase 3	0 % durante 2 ciclos	0 % durante 1 ciclo	40 % durante 12 ciclos	70 % durante 30 ciclos	80 % durante 300 ciclos

Tabla 9. Niveles de tensión y duración para ensayos de interrupciones de tensión.

<b>Clase</b>	<b>Nivel y tiempo de duración para ensayo de interrupción de tensión (60 Hz)</b>
Clase 1	Niveles y duraciones en función de los requerimientos del equipo bajo ensayo
Clase 2	0 % durante 300 ciclos
Clase 3	0 % durante 300 ciclos

El equipo bajo ensayo debe ser ensayado para cada combinación seleccionada del nivel de tensión y su duración, en una secuencia de tres hundimientos/interrupciones, con intervalos de 10 segundos mínimo entre cada evento. Para los equipos bajo ensayo que tengan más de un punto de alimentación, debe probarse cada una de sus entradas de alimentación individualmente.

Para hundimientos de tensión, el evento debe ocurrir cuando la onda de tensión cruce por cero y en ángulos adicionales, considerados críticos por los comités de producto o por las especificaciones del producto específico, seleccionando preferiblemente 45°, 90°, 135°, 180°, 270° y 315° en cada fase. En los sistemas trifásicos con neutro, cada tensión individual (fase-neutro y fase-fase) debe ser probada. Esto implica una serie de seis diferentes ensayos. De igual forma, para sistemas trifásicos sin hilo neutro, cada tensión individual (fase-fase) debe ser probada, lo que implica tres series diferentes de ensayo.

Para interrupciones de corta duración, el ángulo debe ser definido por los comités de producto en los peores casos. En ausencia de esto, se recomienda usar un ángulo de 0°. Para sistemas trifásicos, las interrupciones de corta duración deben ejecutarse de forma simultánea en las tres fases.

Los resultados del ensayo deben clasificarse en términos de la pérdida del funcionamiento o la degradación del equipo bajo ensayo, con relación a un nivel de desempeño definido por su fabricante, el solicitante o un acuerdo entre ambos. La clasificación recomendada es la siguiente:

- e) Ejecución normal, dentro de los límites especificados por el fabricante, solicitante o comprador.
- f) Pérdida temporal del funcionamiento o disminución del rendimiento, que cesa al finalizar el disturbio y en el cual el equipo bajo ensayo retorna a su funcionamiento normal, sin la intervención de un operador.

- g) Pérdida temporal del funcionamiento o disminución del rendimiento, en el cual es necesaria la intervención del operario para su corrección.
- h) Pérdida del funcionamiento o disminución del rendimiento que no es recuperable debido a daños en el hardware, software o por pérdida de datos.

Es necesario aislar la zona de ensayos de tal manera que solo se encuentren las personas relacionadas y verificar que los equipos involucrados se encuentran desenergizados y en la ubicación espacial adecuada.

Se debe tener a mano el instructivo sobre el manejo del equipo BEST EMC, en el cual se indica cómo conectar el equipo generador de parámetros transitorios y configurarlo para realizar los ensayos. Por otra parte, se debe tener el formato toma de datos donde se registrarán todos los valores relacionados con el ensayo.

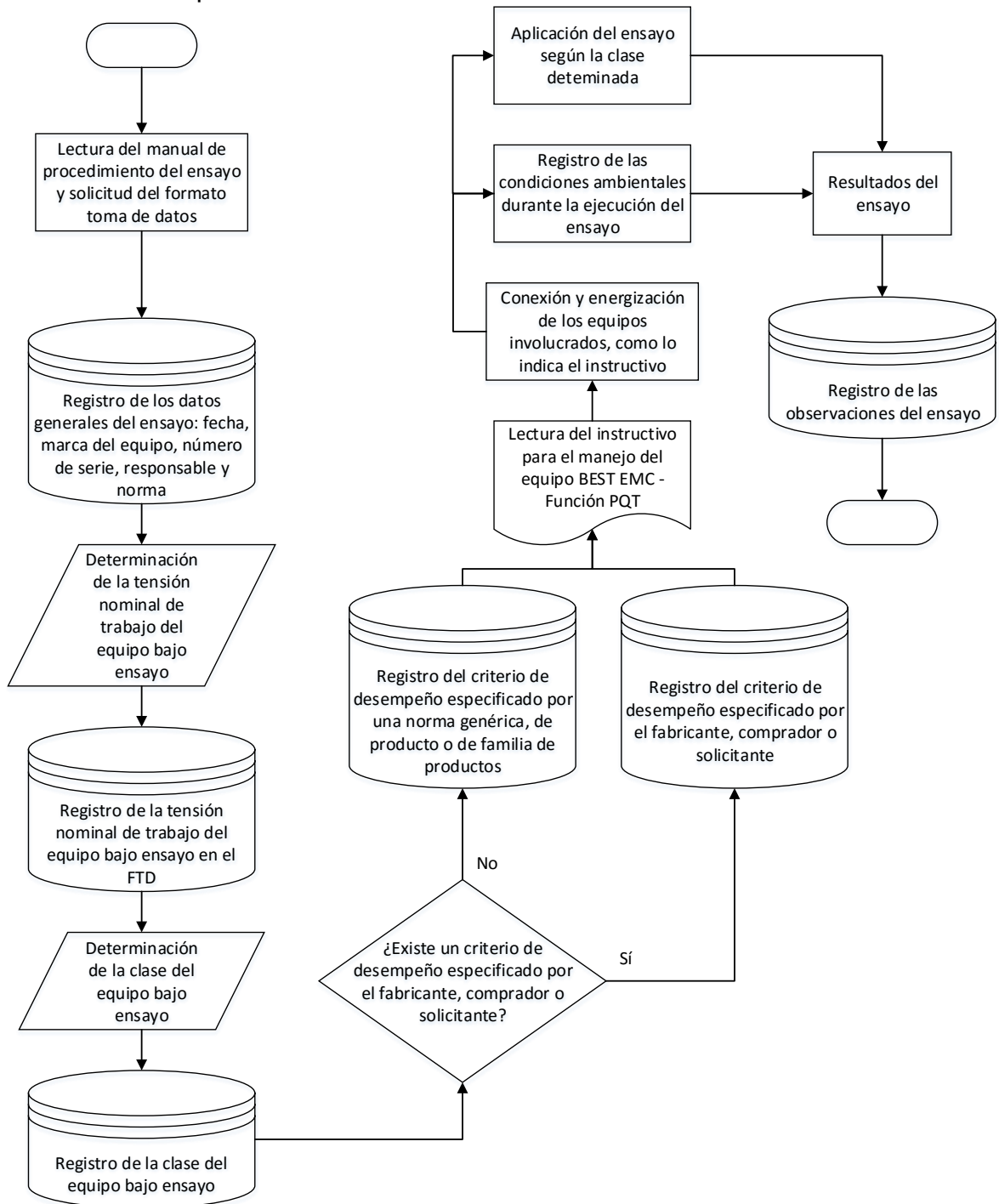
## **6. Secuencia de ensayo**

Antes de iniciar el ensayo, es necesario indicar datos generales como fecha, marca del equipo bajo ensayo, número de serie del equipo bajo ensayo, responsable y norma de aplicación. Además, durante la realización del ensayo es necesario tomar registros de la humedad y la temperatura.

Teniendo en cuenta lo especificado por el instructivo del equipo BEST EMC, se procede a realizar la conexión del mismo con todos sus accesorios y la conexión del equipo bajo ensayo. Posteriormente se aplican los valores dados por la norma para tiempo y tensión al equipo bajo ensayo. Todas las observaciones y criterios de conformidad dados por el fabricante o por una norma genérica deben registrarse en el formato toma de datos. Para dar más claridad a la secuencia de ensayo, en la Figura 27 se muestra un diagrama de flujo con el detalle de la realización del ensayo.



Figura 27. Diagrama de flujo para los ensayos de inmunidad a hundimientos de tensión e interrupciones.



#### 4.4 REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE INMUNIDAD A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES BAJO LA NORMA IEC 61000-4-11 DE 2004 A UN COMPUTADOR PORTÁTIL

Con el fin de validar el procedimiento establecido para la realización de ensayos de inmunidad a hundimientos de tensión e interrupciones bajo la norma IEC 61000-4-11 de 2004, se realizó un ensayo a un equipo con componentes eléctricos y electrónicos como lo es un computador portátil.

En primer lugar se realiza la adecuación del sistema de tierra del equipo BEST. En la Figura 28 se muestra la conexión del sistema de tierra del equipo BEST EMC, donde se resalta la conexión física de la tierra con la que cuenta el plano de tierra y la placa del bloque a tierra.

Figura 28. Sistema de tierra del equipo BEST EMC.



Después se hace el montaje del ensayo, el cuál puede observarse en la Figura 29 y resalta accesorios como el material aislante para elevar el equipo bajo ensayo del nivel del plano de tierra, el cable especial para la conexión del equipo bajo ensayo con el equipo BEST EMC y por último el osciloscopio GW-INSTEK modelo GDS-

3354 para ver la forma de onda durante el ensayo. Cabe resaltar que el equipo portátil se conectó sin batería para verificar su funcionamiento al alimentarse únicamente con la tensión de la red.

Figura 29. Montaje para el ensayo de inmunidad a hundimientos de tensión e interrupciones en un computador portátil.



Posteriormente se procedió a diligenciar datos generales como el nombre del ensayo (protocolo), la fecha del ensayo, marca y serie del equipo bajo ensayo, responsable del ensayo y la norma bajo la cual se realiza el mismo. En la Tabla 10 se muestran los valores registrados.

Tabla 10. Datos generales del ensayo

Protocolo	PROT-001-15
Fecha del ensayo	2015-04-25
Marca del equipo bajo ensayo	Dell Inspiron N4110
Serie del equipo bajo ensayo	73T7SS1
Ensayo realizado por	Oscar Julián Ravelo Chaparro
Norma	IEC 61000-4-11 de 2004

Después, es necesario determinar la tensión nominal de trabajo del equipo bajo ensayo y la clase dada por el fabricante o en su defecto la que será asignada para probar el dispositivo. Leyendo el manual del dispositivo, el equipo puede trabajar a 100-240 V, 50-60 Hz y conociendo los niveles de alimentación con los que cuenta el sistema eléctrico del laboratorio, se selecciona 110-120 V como tensión de trabajo y 60 Hz como frecuencia. Por otra parte, el fabricante no especifica una clase para el equipo, en cumplimiento con la norma. Sin embargo, leyendo las definiciones dadas por la norma, se selecciona la clase 2 como la más adecuada para probar el nivel de inmunidad frente a hundimientos de tensión e interrupciones momentáneas. En la Tabla 11 se registran los valores seleccionados para realizar el ensayo.

Tabla 11. Tensión nominal de alimentación y clase asignada del equipo bajo ensayo

Tensión nominal de alimentación	100-220 V, 60 Hz
Clase del equipo bajo ensayo	Clase 2

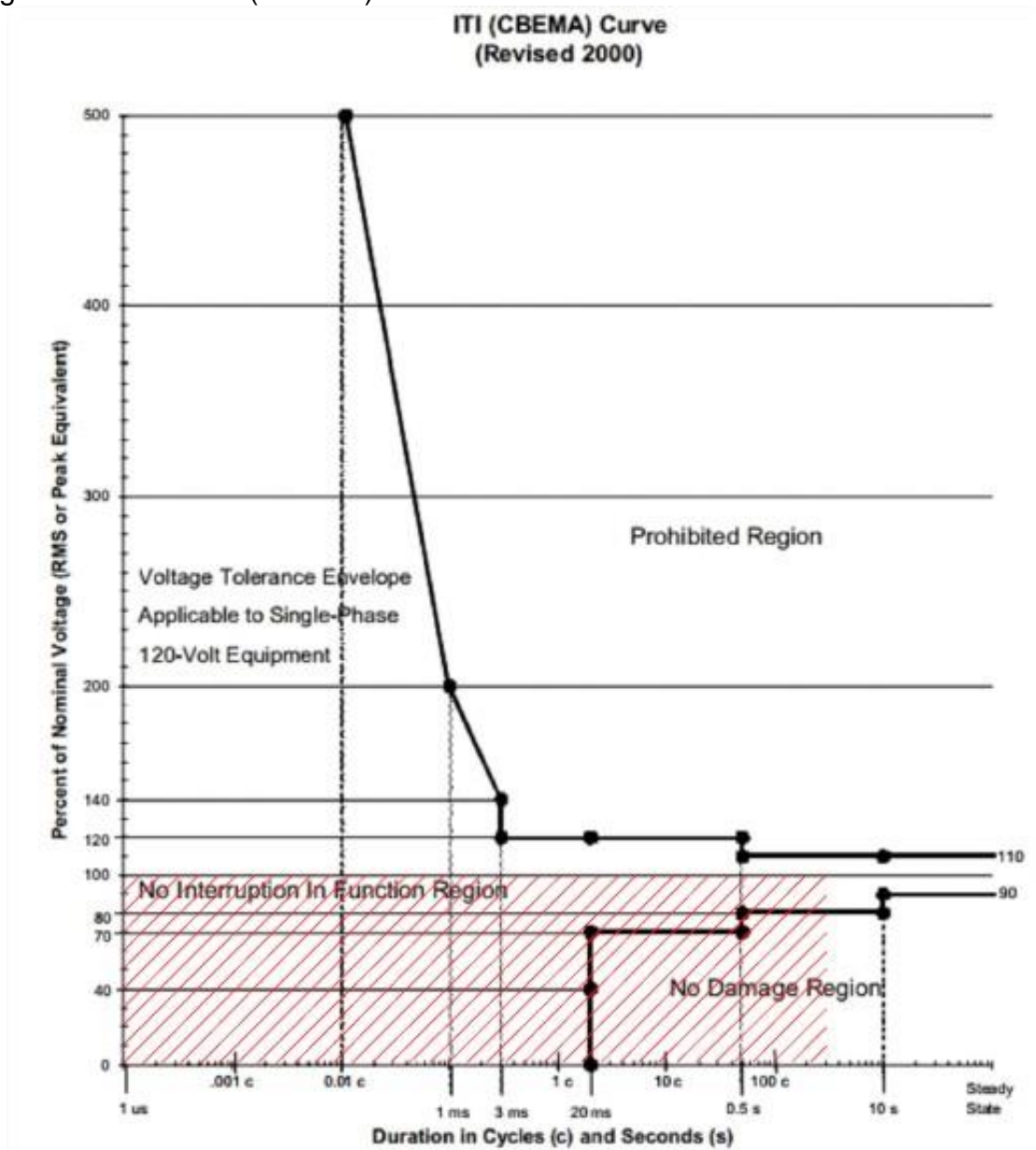
Finalmente, antes de iniciar el ensayo debe cuestionarse la existencia de un criterio de conformidad por parte del fabricante, comprador o solicitante o en su defecto algún criterio dado por una norma genérica o de producto. El equipo bajo ensayo no cuenta con un criterio de conformidad dado por el fabricante, por lo que se toma del Anexo III, la curva ITI (CBEMA) como norma genérica para determinar el funcionamiento del equipo bajo ensayo.

En la Figura 30 se muestra la curva ITI (CBEMA), la cual se utiliza como una referencia para definir la capacidad de dispositivos electrónicos que trabajan a 120 V, 60 Hz, para soportar problemas de calidad de energía eléctrica (Information Technology Industry Council, 2000). La curva tiene en el eje de las ordenadas, valores dados en función del porcentaje de la tensión nominal, y en el eje de las abscisas, el tiempo en ciclos o en segundos.

En la imagen se resaltan tres áreas: la región de funcionamiento normal, en la que se ven eventos como hundimientos de tensión, elevaciones de tensión e interrupciones, pero todos de corta duración, por tanto como su nombre lo indica, el equipo no debe notar los fenómenos de calidad de energía; la región de 'no daños', donde se reflejan fenómenos como hundimientos de tensión e interrupciones pero con duraciones más elevadas, por lo que el equipo puede apagarse y dejar de funcionar, pero sus componentes no debe sufrir daños severos, y al encender de nuevo el dispositivo, debe trabajar con normalidad; por último está la región prohibida, donde aparecen las elevaciones de tensión como fenómeno principal y el equipo podría tener daños severos y no volver a funcionar.

Por otra parte, en la Figura 30 se señala con color rojo, el área correspondiente a los niveles de tensión y tiempos que incluye la norma IEC 61000-4-11 de 2004, por lo que el equipo bajo ensayo se encuentra en las regiones de 'no daño' y funcionamiento sin interrupción durante cualquier ensayo realizado en el procedimiento.

Figura 30. Curva ITI (CBEMA).



Fuente: (Information Technology Industry Council, 2000)

Teniendo toda la información necesaria, se procede a realizar los ensayos específicos para un equipo clase 2, donde se incluyen cuatro series de ensayos:

- Tres hundimientos de tensión al 0 % durante 0,5 ciclos en intervalos de 10 segundos.
- Tres hundimientos de tensión al 0 % durante 1 ciclo en intervalos de 10 segundos.
- Tres hundimientos de tensión al 70 % durante 30 ciclos en intervalos de 10 segundos.
- Tres interrupciones al 0 % durante 250 ciclos en intervalos de 10 segundos.

Ya que no se cuenta con una norma de producto, todos los fenómenos se ejecutan a un ángulo de 0°. En la Tabla 12 se muestra el registro de la norma que dará los criterios de conformidad a tener en cuenta y los resultados obtenidos en la ejecución de los ensayos de inmunidad a hundimientos de tensión e interrupciones. Por otra parte, en la Tabla 13 se registraron los valores de humedad relativa y temperatura del ambiente en el que se realizó el ensayo, con el fin de mostrar la necesidad de realizar la prueba en las condiciones ambientales requeridas tanto por el generador como por el equipo bajo ensayo, debido a que la norma no especifica unos límites para dichas condiciones.

Tabla 12. Selección del criterio de desempeño y resultados de los ensayos de inmunidad frente a hundimientos de tensión e interrupciones cortas.

Criterio de desempeño especificado por el fabricante, comprador o solicitante.	No aplica
Criterio de desempeño especificado por una norma genérica, de producto o de familia de productos.	Curva ITI (CBEMA)
Observaciones del ensayo de hundimientos de tensión	El equipo no nota los fenómenos de calidad de energía y continúa trabajando de manera normal. Todos los fenómenos corresponden a la región de funcionamiento normal de la curva ITI (CBEMA).
Observaciones del ensayo de interrupciones momentáneas.	El equipo deja de funcionar y es necesario encenderlo de nuevo para verificar su correcto funcionamiento. Como lo indica la curva ITI (CBEMA) el equipo se encuentra en la región de 'no daños'.

Tabla 13. Condiciones ambientales durante el ensayo

Humedad relativa	51 %
Temperatura	24,3 °C

Así, se obtienen resultados positivos de los ensayos de inmunidad a hundimientos de tensión e interrupciones cortas dados por la norma IEC 61000-4-11 de 2004, aplicados a un computador portátil, teniendo como criterio de conformidad la curva ITI (CBEMA).

Como anexo a la versión digital del documento, se adjuntan dos videos con la ejecución del ensayo en la carpeta "Videos de los ensayos": el video "Hundimiento" contiene el ensayo de tres hundimientos de tensión al 70 % durante 30 ciclos en intervalos de 10 segundos, y el video "Interrupción", muestra el ensayo de tres interrupciones al 0 % durante 250 ciclos en intervalos de 10 segundos.

## CONCLUSIONES

La investigación realizada permitió clasificar los fenómenos causantes de disturbios electromagnéticos contemplados por el Comité Electrotécnico Internacional (IEC) y concedió la adquisición de gran cantidad de conocimiento con el cual se definieron, estudiaron y realzaron las características e importancia de los fenómenos de calidad de la energía.

Se establecieron las principales causas de los fenómenos de calidad de energía y los efectos que traen sobre los diferentes dispositivos eléctricos y electrónicos presentes en los sistemas de potencia.

Con la revisión bibliográfica realizada, se evidencia la gran variedad de causas de los hundimientos de tensión e interrupciones, concluyendo que son el fenómeno de mayor ocurrencia e incidencia en los sistemas de potencia.

Se estudió la normatividad existente para ensayos de inmunidad frente a hundimientos de tensión e interrupciones, y posteriormente se seleccionó y estudió la norma IEC 61000-4-11 de 2004 como la conveniente para realizar los ensayos, debido al alcance y variedad de aplicaciones que presenta.

Se estudió el equipo BEST EMC, con el fin de dar claridad sobre su funcionamiento y control, para dar cumplimiento de los requerimientos dados por la norma IEC 61000-4-11 de 2004 y garantizar la correcta realización de los ensayos de inmunidad frente a hundimientos de tensión e interrupciones.

Con los requisitos identificados en la norma IEC 61000-4-11 de 2004 y las funciones del equipo BEST EMC, se desarrolló un procedimiento para la realización de ensayos de inmunidad frente a hundimientos de tensión e interrupciones de corta duración.

Se validó el procedimiento desarrollado, realizando los ensayos de inmunidad frente a hundimientos de tensión e interrupciones en un computador portátil y usando como criterio de conformidad la curva genérica ITI (CBEMA), obteniendo como resultado el funcionamiento normal del equipo durante los hundimientos y la pérdida temporal del funcionamiento durante las interrupciones, donde fue necesaria la intervención del operario para encender de nuevo el dispositivo.

Se realizaron dos documentos con el fin permitir realizar el procedimiento de ensayos de inmunidad frente a hundimientos de tensión e interrupciones por parte del personal de los laboratorios de GRALTA: un instructivo para el manejo del



equipo BEST EMC en las funciones referentes a los ensayos y un procedimiento para la realización de los mismos.

## **TRABAJOS FUTUROS**

Desarrollar e implementar otro tipo de ensayos en calidad de energía, basándose en las normas de compatibilidad electromagnética de IEC y usando la gran variedad de funciones que posee el equipo BEST EMC.

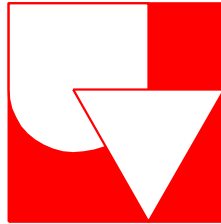
Solucionar el inconveniente de no generar hundimientos de tensión e interrupciones durante más de 300 ciclos, con el fin de lograr desarrollar todos los requerimientos de la norma IEC 61000-4-11 de 2004 para equipos que trabajan a 60 Hz.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bollen, M., Styvaktakis, E., & Yu-Hua Gu, I. (2005). Categorization and analysis of power system transients. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2298–2306.
- Chattopadhyay, S., Mitra, M., & Sengupta, S. (2011). Electric Power Quality. In *Electric Power Quality* (pp. 5, 38–42). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Curtis, P. (2007). The fundamentals of power quality and their associated problems. In *Maintaining mission critical systems in a 24/7 environment* (p. 138). United States.
- Dugan, R., Mc Granaghan, M., Santoso, S., & Beaty, W. (2002). Voltage Sags and Interruptions. In McGraw - Hill (Ed.), *Electrical Power Systems Quality* (2nd ed., pp. 43–46, 89–94). New York.
- Dugan, R., Mc Granaghan, M., Santoso, S., & Beaty, W. (2003). Terms and definitions. In *Electric Power Systems Quality* (2nd ed., p. 23). New York: McGraw-Hill.
- Hanzelka, Z. (2008). Voltage Dips and Short Supply Interruptions. In A. Baghini (Ed.), *Handbook of power quality* (pp. 87–89). England.
- Hanzelka, Z., & Bien, A. (2006). Power Quality Application Guide. Voltage disturbances. Flicker. England: Leonardo Power Quality Initiative (LPQI).
- Hernández, A. (2008). Voltage fluctuations and flicker. In A. Baghini (Ed.), *Handbook of power quality* (pp. 151–152). England.
- IEC. Description of the environment – Electromagnetic environment for low frequency conducted disturbances and signaling in public power supply systems, Pub. L. No. IEC 61000-2-1 (1990). Suiza.
- IEC. (1990b). Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary. Retrieved October 17, 2014, from <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=161-08-13>
- IEC. Application and interpretation of fundamental definitions and terms, Pub. L. No. IEC 61000-1-1 (1992). Suiza.
- IEC. Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results, Pub. L. No. IEC 61000-2-8 (2002). Suiza.

- IEC. Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests, Pub. L. No. IEC 61000-4-11 (2004). Suiza.
- IEC. Classification of electromagnetic environments, Pub. L. No. IEC 61000-2-5 (2011). Suiza.
- Information Technology Industry Council. (2000). ITI (CBEMA) Curve application note. Washington.
- Power quality in electrical systems. (2011a). Harmonics. Retrieved September 11, 2014, from <http://www.powerqualityworld.com/2011/07/harmonics-power-quality-basics.html>
- Power quality in electrical systems. (2011b). Voltage unbalance. Retrieved September 11, 2014, from <http://www.powerqualityworld.com/2011/06/voltage-unbalance-power-quality-basics.html>
- Rotek. (n.d.). Operator manual model 8100, power and energy calibrator. Massachusetts.
- Schaffner. (2000). Operating instructions BEST EMC. Connectors and controls.
- Sedaghati, R., Afroozi, N., Nemati, Y., Rohani, A., Toorani, A., Javidtash, N., ... Sedaghati, H. (2013, December). A survey of voltage sags and voltage swells phenomena in power quality. *International Journal of Scientific Research and Management*, 460.
- Shin, Y.-J., Powers, E., Grady, M., & Arapostathis, A. (2006). Power quality indices for transient disturbances. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 257.
- Short, T. A. (2005). Voltage Sags and Momentary Interruptions. In *Distribution Reliability and Power Quality* (p. 39). England.
- UIE. (1994). Types of Disturbances and Relevant Standards. In *Guide to quality of electrical supply for industrial installations*.
- Wasiak, I. (2008). Voltage and current unbalance. In A. Baggini (Ed.), *Handbook of power quality* (p. 174). England.

## **ANEXO I**



Universidad  
del Valle

---

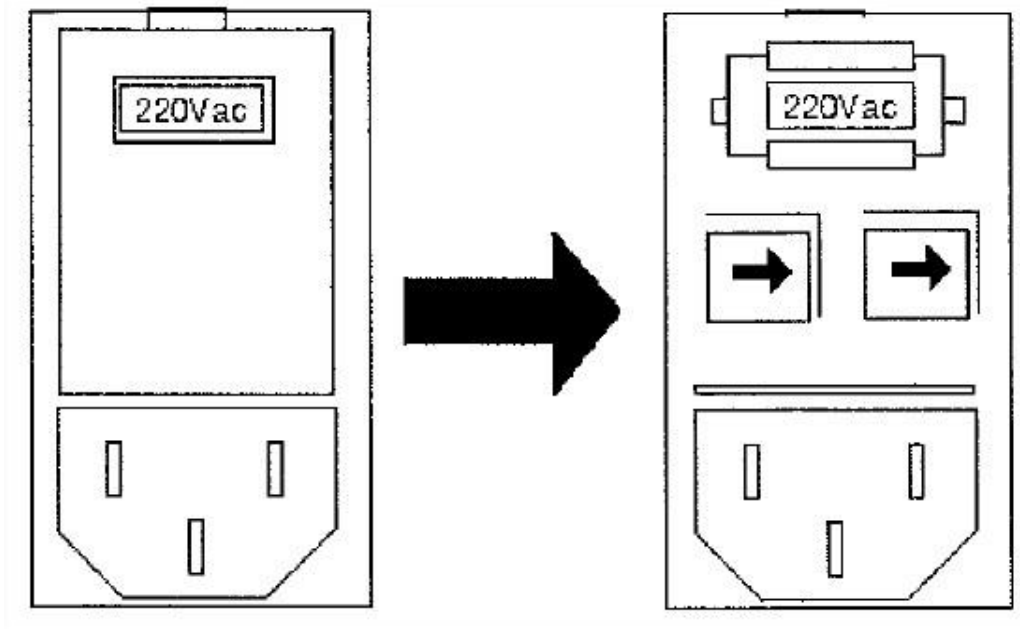
# **MANEJO DEL EQUIPO BEST EMC**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DEL VALLE  
SANTIAGO DE CALI**

## INSTRUCTIVO PARA EL MANEJO DEL EQUIPO BEST EMC – FUNCIÓN PQT

Para energizar el equipo BEST EMC, es necesario seleccionar la tensión a la que trabajará el equipo. En la Figura 1 se muestra el terminal para energizar el equipo, donde usando las flechas, se puede seleccionar entre 110 V o 220 V. Al tener energizado el equipo BEST EMC, es necesario energizar el terminal al cual se conectará el equipo bajo ensayo (DUT). De igual forma, como se muestra en la Figura 1, se puede seleccionar entre 110 V y 220 V como tensión nominal del equipo bajo ensayo.

Figura 1. Tensión de trabajo del equipo BEST EMC.



Teniendo energizadas ambas entradas, se procede a realizar el montaje del ensayo, como se muestra en la Figura 2, para posteriormente encender el equipo usando en interruptor de encendido mostrado en la Figura 3.

Figura 2. Montaje del ensayo.

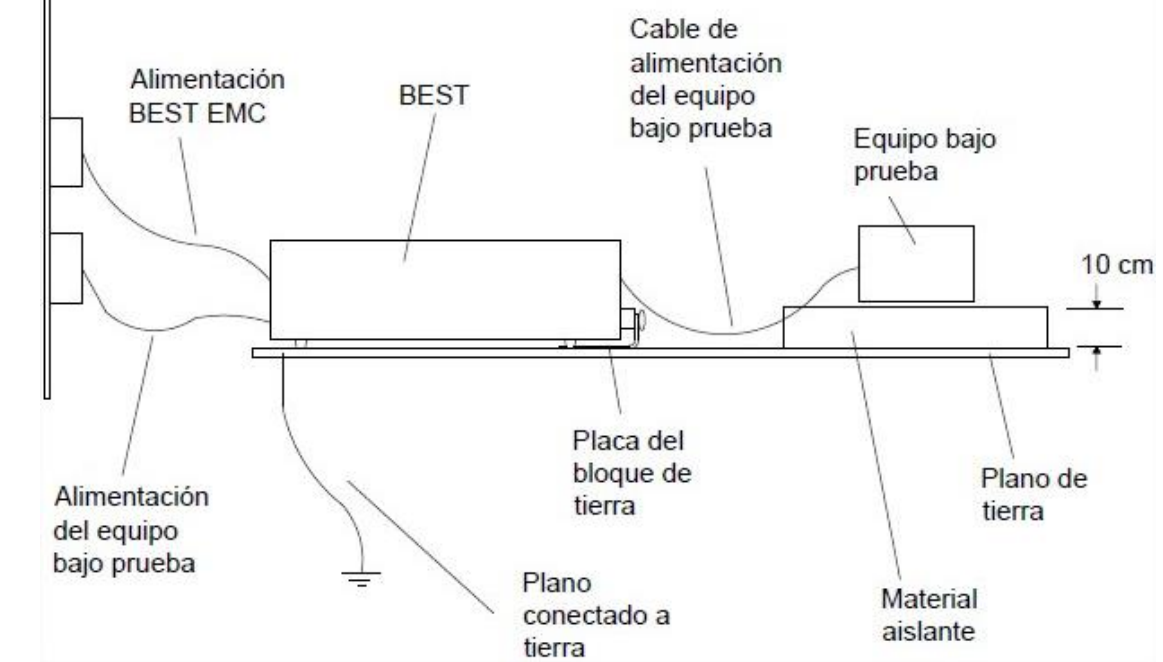
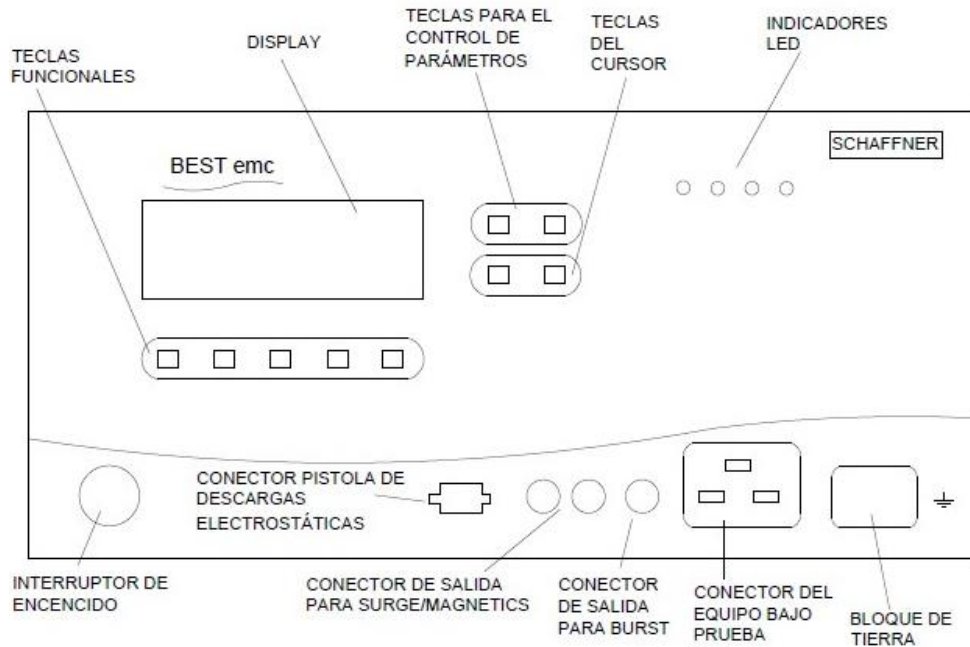


Figura 3. Vista frontal del equipo BEST EMC.





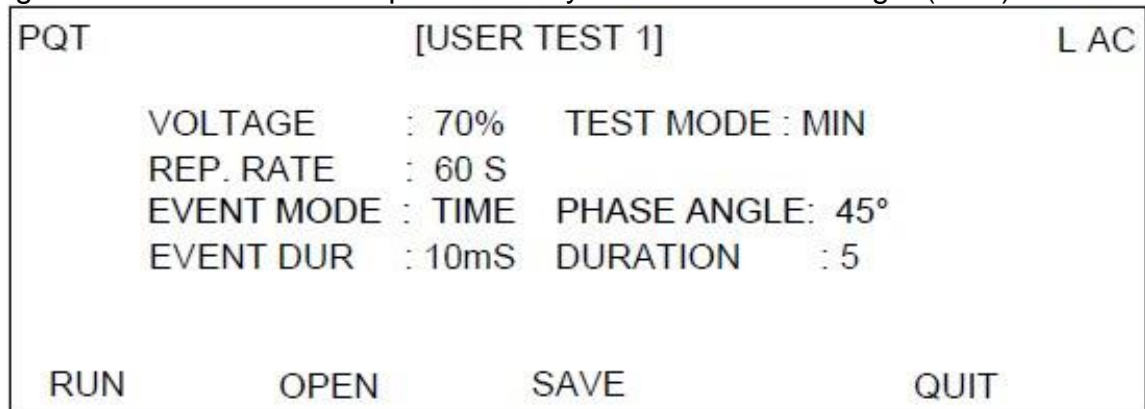
Al encender el equipo, se tendrá una pantalla como la mostrada en la Figura 4, donde usando las teclas funcionales se seleccionará la función PQT, para acceder al menú del ensayo de hundimientos de tensión e interrupciones.

Figura 4. Pantalla inicial del equipo BEST EMC.



Al ingresar al menú PQT se verá una pantalla como la mostrada en la Figura 5, donde se realiza la configuración del ensayo.

Figura 5. Pantalla del menú para el ensayo en calidad de energía (PQT).



En la esquina superior izquierda se especifica el tipo de ensayo que se está realizando, así como en la esquina superior derecha, el tipo de tensión (alterna o continua). En el centro de la pantalla aparecen los parámetros a configurar, para el ensayo que se va a realizar:

- *VOLTAGE (Tensión)*: con esta función se determina el valor al que cae la tensión durante un ensayo. Este valor se expresa como un porcentaje del valor nominal de tensión a la que se alimenta el equipo bajo ensayo o se

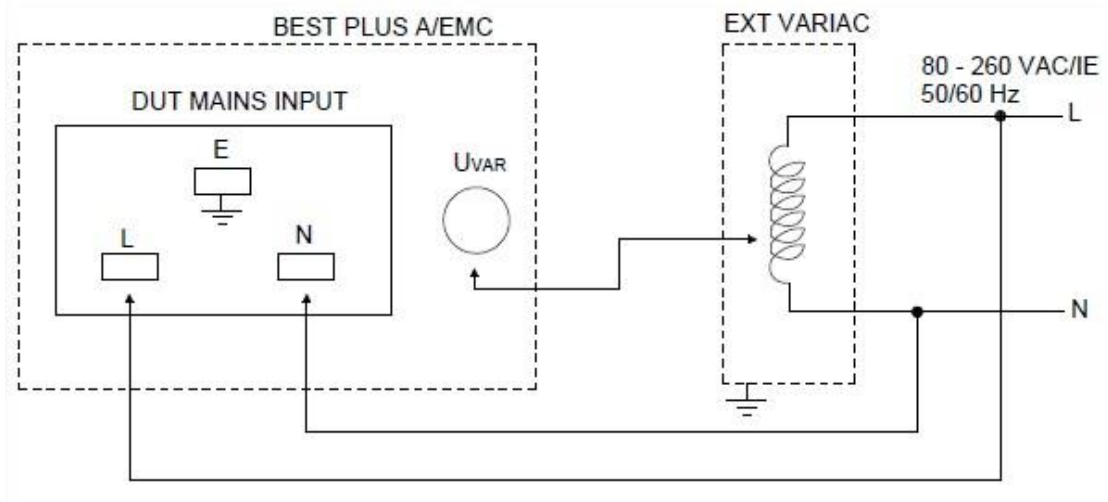
configura para conectar una fuente externa. Se usan las teclas + y – para desplazarse entre los valores disponibles.

- *REP. RATE (Tiempo de repetición)*: función para determinar el tiempo entre un evento y el siguiente. Se usan las teclas + y – para incrementar o decrementar el valor requerido.
- *EVENT MODE (Modo del evento)*: esta opción especifica las unidades a ser utilizadas para definir la duración del evento de calidad de energía. Se puede seleccionar entre CYCLES (ciclos) o TIME (tiempo), dependiendo del equipo bajo ensayo que está conectado al BEST EMC.  
Si no se encuentra conectado ningún equipo, el modo del evento se establece únicamente en tiempo.  
Si el equipo bajo ensayo trabaja a 50 Hz, se podrá seleccionar el modo del evento entre tiempo o ciclos. Cambiando de tiempo a ciclos, se convertirá la duración del evento actual al respectivo valor base del ciclo y viceversa.  
Si el equipo bajo ensayo trabaja a 60 Hz, solo se establecerá el modo del evento en ciclos.
- *EVENT DUR (Duración del evento)*: especifica la duración (en ms o ciclos, dependiendo del modo del evento) que durará el hundimiento o la interrupción.
- *PHASE ANGLE (Ángulo de fase)*: función que permite seleccionar el ángulo en la red de alimentación del equipo bajo ensayo, al cual iniciará el evento. Se usan las teclas + y – para incrementar o decrementar el valor requerido, o se selecciona ASYNC, para no establecer un ángulo, así, el evento iniciará de forma aleatoria en cualquier parte del ciclo.
- *TEST MODE (Modo del ensayo)*: este parámetro en combinación con la duración (DURATION), definen cuánto tiempo se ejecutará el ensayo. Se usan las teclas + y – para desplazarse entre las siguientes opciones disponibles:
  - ✓ SEC: Segundos. El número actual de la duración especifica el valor.
  - ✓ MIN: Minutos. El número actual de la duración especifica el valor.
  - ✓ HRS: Horas. El número actual de la duración especifica el valor.

- ✓ COUNT: Número de pulsos. El número actual de la duración especifica el valor.
- ✓ CONT.: Continuo. El ensayo correrá por un tiempo indefinido hasta que sea detenida (tecla STOP), o hasta que falle el equipo bajo ensayo.
- *DURATION (Duración)*: parámetro que especifica cuanto tiempo se ejecutará el ensayo, en conjunto con la configuración del modo del ensayo (TEST MODE).

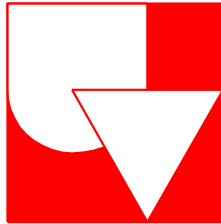
Finalmente, el equipo BEST EMC trae la opción de generar hundimientos de tensión al valor especificado por una fuente externa, es decir, la conmutación entre la tensión nominal y el hundimiento de tensión, se hace al valor dado por la fuente, la cual se conecta al equipo BEST como lo muestra el esquema de la Figura 6.

Figura 6. Alimentación de hundimiento de tensión por medio de una fuente variable.



Al tener configurados los tiempos y niveles de tensión del ensayo, se pulsa la opción RUN y el ensayo empieza a correr el número de veces, durante la cantidad de tiempo y el nivel de tensión especificados.

## **ANEXO II**



Universidad  
del Valle

---

# **PROCEDIMIENTO PARA ENSAYOS DE INMUNIDAD FRENTE A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DEL VALLE  
SANTIAGO DE CALI**

## **PROCEDIMIENTO PARA ENSAYOS DE INMUNIDAD A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES**

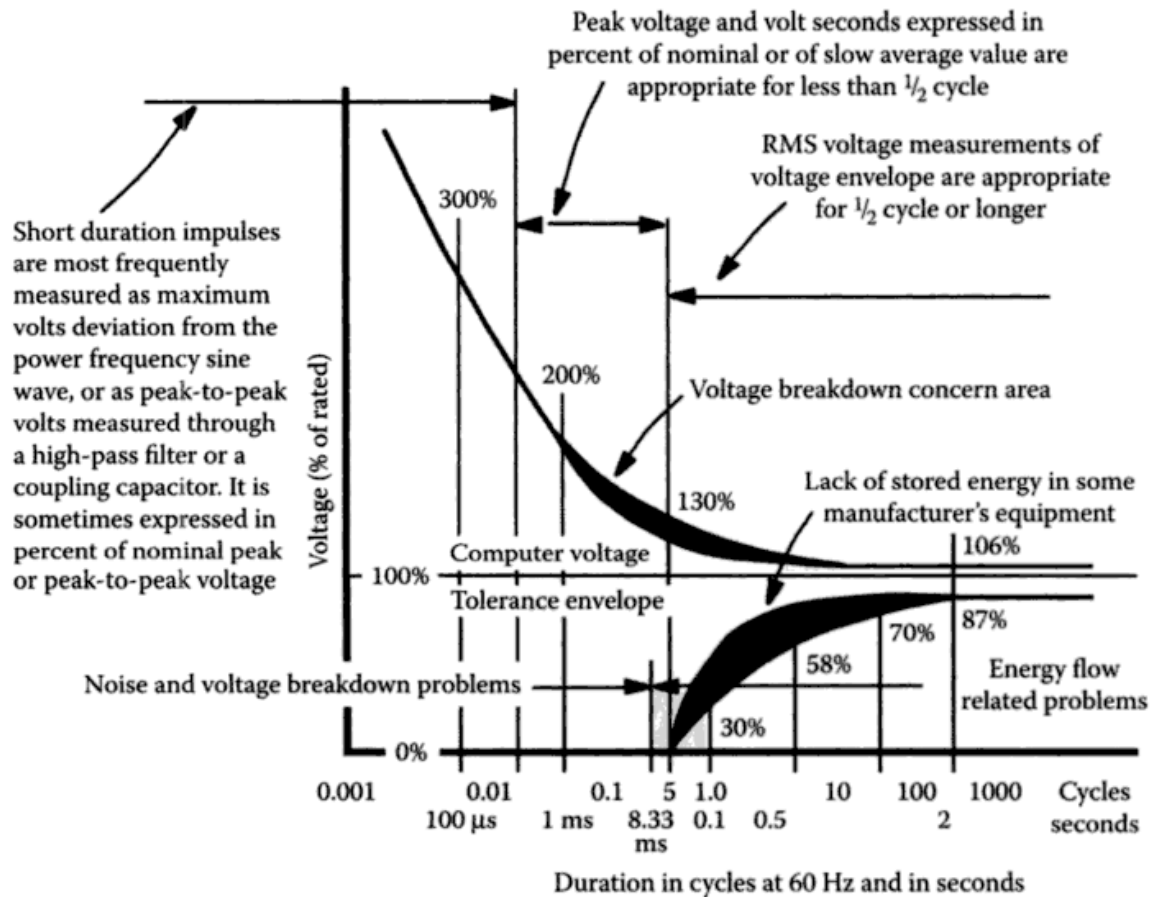
El Anexo II hace parte de la documentación confidencial del Laboratorio de Alta Tensión y por tanto no se adjunta a esta versión del documento. De requerir su uso, debe dirigirse al laboratorio para solicitarlo.

## **ANEXO III**

## CURVAS GENÉRICAS PARA LA SELECCIÓN DE UN CRITERIO DE CONFORMIDAD DE ENSAYOS DE INMUNIDAD FRENTE A HUNDIMIENTOS DE TENSIÓN E INTERRUPCIONES

A continuación se muestra una serie de curvas usadas como criterios de conformidad para fenómenos de calidad de energía a nivel mundial. En la Figura 1 se muestra la curva CBEMA.

Figura 1. Curva CBEMA



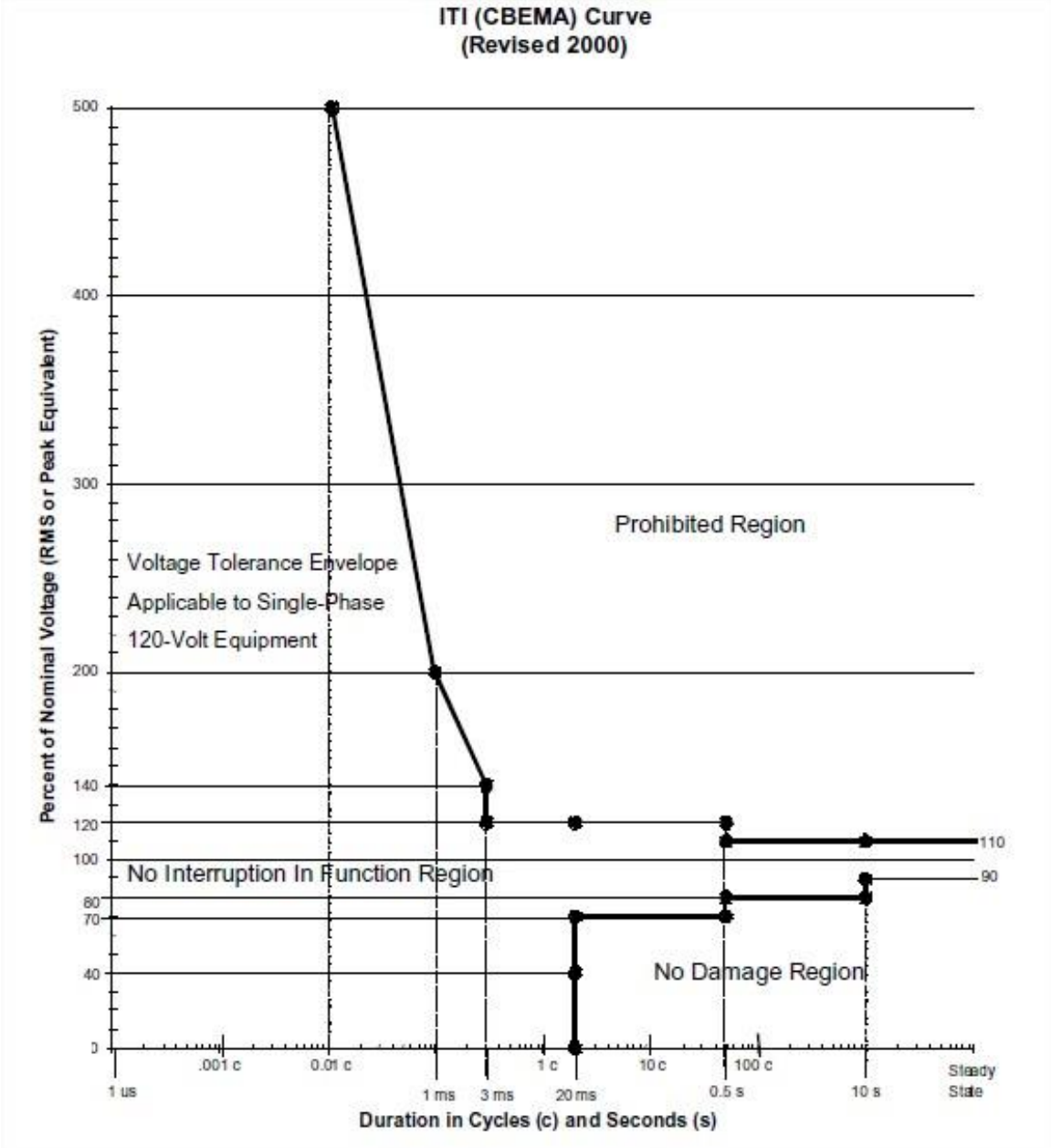
El nombre de la curva proviene del "Computer Business Equipment Manufacturers Association", y se desarrolló en la década de 1970 para cualificar la tolerancia de la computadora central a variaciones de tensión en los sistemas de alimentación. Ya que muchos ordenadores modernos presentan una mayor tolerancia, la curva se usa comúnmente para dispositivos sensibles a fenómenos de calidad de energía.

Posteriormente, se desarrolló la curva ITI (CEBMA), la cual es una adecuación de la curva original realizada por "Information Technology Industry Council". La principal diferencia entre las curvas, es la contemplación de un espectro más amplio



sobre el comportamiento de los equipos de la actualidad (el ajuste se realizó en el 2000). En la Figura 2 se muestra la curva ITI (CBEMA).

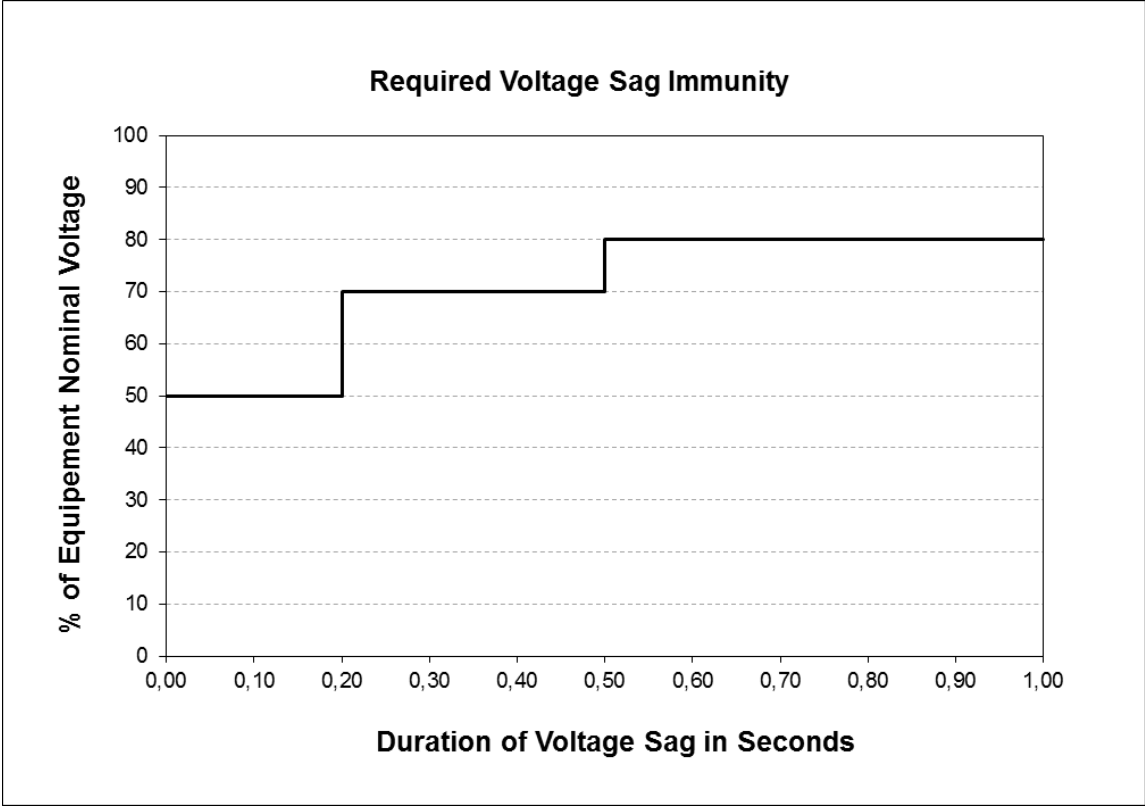
Figura 2. Curva ITI (CBEMA)



La curva se utiliza para equipamientos con tensión nominal de 120V obtenidos de suministros 208Y/120V y 120/240V a 60Hz, aunque también se permite su uso para sistemas que trabajen a 50 Hz.

Finalmente, en la Figura 3 se muestra una curva realizada por la “Asociación Internacional de la Industria de Semiconductores” (SEMI), la cual especifica las tolerancias requeridas para inmunidad a hundimientos de tensión en equipos que trabajen con semiconductores.

Figura 3. Curva SEMI F47 (Requerimiento de inmunidad frente a hundimientos de tensión).



Por su parte, en la Figura 4 se muestra una curva con la duración y los niveles de tensión recomendadas mas no requeridas por la norma SEMI F47 para inmunidad frente a hundimientos de tensión.

Figura 4. Curva SEMI F47 (Recomendación de inmunidad frente a hundimientos de tensión).

