|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | |  | **Logo IJL completo** | |
|  |
|  |
|  |
|  |
| ***L-278 MCE-1: Medición de calidad de energía***  ***Mayo- Junio 2013*** |

Índice

[Índice de tablas. 2](#_Toc362003522)

[Índice de figuras. 2](#_Toc362003523)

[Glosario. 3](#_Toc362003524)

[1. Análisis de calidad de energía 4](#_Toc362003525)

[1.1. Introducción 4](#_Toc362003526)

[1.2. Análisis de datos obtenidos 4](#_Toc362003527)

[1.2.1. Voltajes. 4](#_Toc362003528)

[1.2.2. Frecuencia. 6](#_Toc362003529)

[1.2.3. THD de voltaje. 7](#_Toc362003530)

[1.2.4. THD de corriente. 8](#_Toc362003531)

[1.2.5. Transitorios de voltaje. 10](#_Toc362003532)

[1.2.6. Flickers (Parpadeos) 11](#_Toc362003533)

[1.2.7. Potencia 13](#_Toc362003534)

[1.2.8. Factor de potencia. 14](#_Toc362003535)

[1.2.9. Desequilibrio de voltaje. 18](#_Toc362003536)

[1.2.10. Desequilibrio de corriente 19](#_Toc362003537)

[1.3. Conclusiones 21](#_Toc362003538)

[1.4. Recomendaciones 21](#_Toc362003539)

[Bibliografía 22](#_Toc362003540)

# Índice de tablas.

[Tabla 1‑1: Valores máximos y mínimos de los voltajes en los puntos de medición. 5](#_Toc362003541)

[Tabla 1‑2: Valores máximos y mínimos de los voltajes a 95% y 5%. 5](#_Toc362003542)

[Tabla 1‑3 Frecuencias capturadas con el analizador de calidad de energía. 6](#_Toc362003543)

[Tabla 1‑4 Valores de THD de voltaje hasta el 11 armónico. 7](#_Toc362003544)

[Tabla 1‑5: Relación corriente de cortocircuito y corriente de línea. 9](#_Toc362003545)

[Tabla 1‑6 THD de corriente y armónicos de corriente. 9](#_Toc362003546)

[Tabla 1‑7 Niveles de compatibilidad para PST y PLT en sistemas de potencia en LV y MV (IEC-1000-3-7). 12](#_Toc362003547)

[Tabla 1‑8 Valores de PST y PLT en distintos puntos de ubicación del equipo. 12](#_Toc362003548)

[Tabla 1‑9 Potencias máximas de los puntos de medición. 13](#_Toc362003549)

[Tabla 1‑10 Potencias promediadas de los puntos de medición. 14](#_Toc362003550)

# Índice de figuras.

[Figura 1‑1: Extracto de la norma técnica “Calidad del Voltaje Suministro (AR-NTCVS)” 8](#_Toc362003551)

[Figura 1‑2: Interrupciones coincidentes con actividad de rayos (D. Aranguren). 11](#_Toc362003552)

[Figura 1‑3: Factor de potencia total de la bodega de contenedores refrigerados. 15](#_Toc362003553)

[1‑4: Factor de potencia total de la bodega 1. 15](#_Toc362003554)

[Figura 1‑5: Factor de potencia total de la bodega 2. 16](#_Toc362003555)

[Figura 1‑6: Factor de potencia total de la alimentación del área de mantenimiento. 16](#_Toc362003556)

[Figura 1‑7: Factor de potencia total de la alimentación principal del comedor. 17](#_Toc362003557)

[Figura 1‑8: Factor de potencia total de la acometida principal del edificio administrativo. 17](#_Toc362003558)

[Figura 1‑9: Factor de potencia total del Tablero INCOP. 18](#_Toc362003559)

[Figura 1‑10: Curvas de desequilibrio de Voltaje 19](#_Toc362003560)

[Figura 1‑11: Curvas de desequilibrio de Corriente 20](#_Toc362003561)

# Glosario.

**Armónica:**Se definen como ondas de corriente o tensión que fluyen en el sistema de potencia a una frecuencia (múltiplo de la frecuencia fundamental) distinta de la designada para operación.

**Parpadeo o flicker**: es la distorsión en la intensidad de la iluminación que puede ser observada por el ojo humano y ocasionada por una fluctuación de tensión.

**Distorsión total de armónicos (THD):** es un indicador de la distorsión armónica en la señal de tensión o de corriente.

**Interrupción:** Se define el concepto de interrupción como una condición en la que la tensión en los puntos de suministro no supera el 10 % de la tensión declarada.

**Transitorios:** Son distorsiones en la onda sinusoidal, con una duración entre los 50 ns hasta los

50 ms, llegando a magnitudes desde los cero a los 8 p.u.

**Medición:** Es un proceso básico de la ciencia que consiste en comparar un patrón seleccionado con el objeto o fenómeno cuya magnitud física se desea medir para ver cuántas veces el patrón está contenido en esa magnitud.

# Análisis de calidad de energía

## Introducción

Las mediciones del análisis de calidad de energía se realizaron utilizando el analizador trifásico de calidad de energía FLUKE 435. Con el cual se realizaron mediciones en los siguientes puntos:

* Transferencia de la alimentación del edificio administrativo principal.
* Transferencia de la bodega de contenedores refrigerados.
* Transferencia de la bodega 1.
* Transferencia de la bodega 2 (bodega fiscal).
* Interruptor principal de alimentación del sistema eléctrico de los talleres de mantenimiento.
* Interruptor principal de la acometida del comedor.
* Tablero T-INCOP.

En los Anexo, se muestran las distintas gráficas de las capturas realizadas para estos distintos puntos.

## Análisis de datos obtenidos

### Voltajes.

De acuerdo al estándar **IEEE Std 241-1990**. En la Tabla 17 “Sistema de voltajes nominales estandarizados y rangos de voltajes”.

* Para sistemas 208Y/120 el valor máximo permitido es de 218Y/126 (Rangos de voltaje A) y el valor mínimo permitido es de 197Y/114 (Rangos de voltaje A).
* Para sistemas 480Y/277 V el valor máximo permitido es de 504Y/291 V (Rango de voltaje A) y el valor mínimo permitido es de 456Y/263 V (Rango de voltaje A).
* Para sistemas trifásicos de 4 líneas 240/120 V el rango máximo es de 252/126 V y el rango mínimo es de 228/114 V.

La siguiente tabla muestra los valores extremos de los voltajes de las fases en cada una de las ubicaciones de medición.

Tabla 1‑1: Valores máximos y mínimos de los voltajes en los puntos de medición.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ubicación de la medición** | **Voltaje nominal** | **Min Fase L1** | **Min Fase L2** | **Min Fase L3** | **Max Fase L1** | **Max Fase L2** | **Max Fase L3** |
| Bóveda de contenedores refrigerados | 480Y/277 | 273,26 | 273,36 | 274,4 | 280,44 | 280,58 | 281,26 |
| Sección de mantenimiento | 208Y/120 | 115 | 115 | 123,5 | 124,21 | 123,49 | 124,24 |
| Bodega 1 | 208Y/120 | 120,54 | 117,91 | 120,47 | 124,3 | 124,53 | 124,83 |
| Bodega 2 | 208Y/120 | 121,45 | 121,18 | 122,08 | 124,08 | 123,93 | 124,37 |
| Comedor | 208Y/120 | 119,86 | 117,39 | 122,96 | 123,31 | 119,63 | 125,26 |
| Tablero INCOP | 208Y/120 | 121,29 | 121,38 | 122,02 | 122,56 | 122,73 | 123,27 |
| Edificio administrativo | 208Y/120 | 127,34 | 121,87 | 121,99 | 131,11 | 124,8 | 124,99 |

Los valores mostrados cumplen con el estándar **IEEE Std 241-1990**.

Por otro lado, el estándar europeo **EN 50160** establece lo siguiente:

* Variaciones en magnitud de la tensión: el 95% de las mediciones que se realizan durante una semana cada 10 minutos debe caer entre un ±10% de la tensión nominal.
* Cambios rápidos de tensión: bajo tensión: 5% del nominal, media tensión: 4% del nominal.

La siguiente tabla muestra los valores del 95% y 5% capturados para cada uno de los puntos de medición.

Tabla 1‑2: Valores máximos y mínimos de los voltajes a 95% y 5%.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ubicación de la medición** | Voltaje nominal | 95% | | | 5% | | |
| L1 | L2 | L3 | L1 | L2 | L3 |
| Bóveda de contenedores refrigerados | 277 | 279,3 | 279,7 | 280,4 | 274,1 | 274,1 | 275 |
| Sección de mantenimiento | 120 | 123,8 | 122,7 | 123,5 | N/A | N/A | N/A |
| Bodega 1 | 120 | 123,6 | 123,7 | 124,1 | 121,3 | 120,6 | 121,6 |
| Bodega 2 | 120 | 123,5 | 123,3 | 123,9 | 122,1 | 121,7 | 122,4 |
| Comedor | 120 | 122,8 | 119,5 | 125,1 | 120,1 | 117,8 | 123,3 |
| T-INCOP | 120 | 122,5 | 122,6 | 123,2 | 121,4 | 121,5 | 122,1 |
| Edificio administrativo | 120 | 130,8 | 124,6 | 124,8 | 127,6 | 122,1 | 122,3 |

Si se cuenta con un voltaje nominal de 120 V por fase el rango de ±10% establece que el voltaje debe estar contenido entre 132 V y 110 V. Para un voltaje nominal de 277 V por fase se tiene un rango de valores permitidos de 304,7 V y 249,3 V. Para el 95% de los valores capturados.

Los rangos permitidos para los valores del 5% en caso de un voltaje nominal de 120 V es de 106 V a 126 V, y para un voltaje nominal de 277 V es de 263,15 V a 290,85 V.

Por lo tanto los valores mostrados para la bodega de contenedores refrigerados, la sección de mantenimiento, la bodega 1, la bodega 2 y el comedor son valores permitidos de voltajes nominales, según la norma **EN 50160**.

Para el caso de la acometida principal del edificio administrativo, con un voltaje de línea de 120 V, cuenta con un voltaje de 127,6 V en la línea 1 en el 5%, lo cual excede el límite máximo permitido por la norma **EN 50160** que es de 126 V.

### Frecuencia.

Los límites de variación de la frecuencia en una red de distribución de energía eléctrica en Costa Rica (60 Hz) se encuentran establecidos por la ley (norma **AR-NTCVS**) de la manera siguiente:

* Para redes acopladas a un sistema interconectado: 60 Hz ± 0.5%.
* Para redes no acopladas a un sistema interconectado: 60 Hz ± 2%.

Por lo tanto, la frecuencia eléctrica no debe ser menor a 59.7 Hz, ni mayor a 60.3 Hz, para el caso de sistemas acoplados al sistema interconectado.

La siguiente tabla muestra los valores de frecuencias máximas y mínimas obtenidas durante las mediciones en los puntos indicados.

Tabla 1‑3 Frecuencias capturadas con el analizador de calidad de energía.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Ubicación de la medición** | Frecuencia mínima  (Hz) | Frecuencia Máxima  (Hz) |
| Bóveda de contenedores refrigerados | 59,89 | 60,16 |
| Sección de mantenimiento | 59,78 | 60,2 |
| Bodega 1 | 59,84 | 60,18 |
| Bodega 2 | 59,83 | 60,16 |
| Comedor | 59,92 | 60,08 |
| T- INCOP | 59,93 | 60,05 |
| Edificio administrativo | 59,9 | 60,9 |

Como se muestra en la , los valores cumplen con los límites establecidos, excepto la frecuencia máxima del edificio administrativo, el cual excede el valor máximo permitido por la norma.

### THD de voltaje.

Según la norma **IEEE 519-1992**, la distorsión Total de Harmónicos de Voltaje (THDv) no debe exceder el 5% y cada armónica individual no deberá exceder el 3%.Además la norma técnica “Calidad del Voltaje Suministro (**AR-NTCVS**)” en el apartado 2.6, menciona que en condiciones normales, el 95% de los valores eficaces de cada tensión armónica no deben sobrepasar el 3% del valor de tensión nominal y además la tasa de distorsión armónica (THDv) suministrada no debe sobrepasar el 5%.

Tabla 1‑4 Valores de THD de voltaje hasta el 11 armónico.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Línea L1 | | | | | | | | | | | |
| **Ubicación de la medición** | THDv | 2do Harm. | 3er Harm. | 4to Harm. | 5to Harm. | 6to harm. | 7mo Harm. | 8vo Harm. | 9no Harm. | 10mo Harm. | 11vo Harm. |
| Bóveda de contenedores refrigerados | 1,2 | 0,2 | 1 | 0,08 | 1,2 | 0,05 | 1 | 0,04 | 0,9 | 0,03 | 0,35 |
| Sección de mantenimiento | 1,2 | 0,1 | 0,4 | 0,04 | 0,5 | 0,03 | 0,35 | 0,02 | 0,4 | 0,02 | 0,15 |
| Bodega 1 | 1 | 0,08 | 0,6 | 0,04 | 0,6 | 0,03 | 0,5 | 0,02 | 0,4 | 0,01 | 0,12 |
| Bodega 2 | 1 | 0,08 | 0,5 | 0,04 | 0,7 | 0,025 | 0,5 | 0,016 | 0,4 | 0,01 | 0,15 |
| Comedor | 1 | 0,1 | 0,6 | 0,04 | 0,6 | 0,03 | 0,6 | 0,02 | 0,45 | 0,01 | 0,12 |
| T- INCOP | 1 | 0,08 | 0,5 | 0,05 | 0,55 | 0,05 | 0,6 | 0,02 | 0,45 | 0,02 | 0,11 |
| Edificio administrativo | 1,1 | 0,1 | 0,75 | 0,05 | 0,75 | 0,035 | 0,55 | 0,025 | 0,6 | 0,02 | 0,12 |
| Línea L2 | | | | | | | | | | | |
| **Ubicación de la medición** | THDv | 2do Harm. | 3er Harm. | 4to Harm. | 5to Harm. | 6to harm. | 7mo Harm. | 8vo Harm. | 9no Harm. | 10mo Harm. | 11vo Harm. |
| Bóveda de contenedores refrigerados | 1,3 | 0,15 | 1,4 | 0,08 | 1,1 | 0,05 | 1 | 0,03 | 0,9 | 0,025 | 0,3 |
| Sección de mantenimiento | 1,2 | 0,1 | 0,8 | 0,04 | 0,6 | 0,02 | 0,35 | 0,02 | 0,4 | 0,02 | 0,15 |
| Bodega 1 | 1 | 0,08 | 0,6 | 0,03 | 0,6 | 0,03 | 0,5 | 0,02 | 0,4 | 0,01 | 0,14 |
| Bodega 2 | 1 | 0,07 | 0,6 | 0,04 | 0,7 | 0,025 | 0,5 | 0,012 | 0,4 | 0,01 | 0,11 |
| Comedor | 0,8 | 0,1 | 0,5 | 0,03 | 0,4 | 0,03 | 0,55 | 0,02 | 0,4 | 0,02 | 0,1 |
| T- INCOP | 1 | 0,08 | 0,6 | 0,035 | 0,5 | 0,05 | 0,55 | 0,02 | 0,5 | 0,02 | 0,16 |
| Edificio administrativo | 1,2 | 0,075 | 0,75 | 0,05 | 0,75 | 0,03 | 0,5 | 0,02 | 0,6 | 0,02 | 0,08 |
| Línea L3 | | | | | | | | | | | |
| **Ubicación de la medición** | THDv | 2do Harm. | 3er Harm. | 4to Harm. | 5to Harm. | 6to harm. | 7mo Harm. | 8vo Harm. | 9no Harm. | 10mo Harm. | 11vo Harm. |
| Bóveda de contenedores refrigerados | 1,2 | 0,2 | 1,2 | 0,09 | 1,1 | 0,06 | 0,99 | 0,03 | 0,9 | 0,03 | 0,35 |
| Sección de mantenimiento | 1,2 | 0,1 | 0,5 | 0,04 | 0,6 | 0,03 | 0,45 | 0,02 | 0,4 | 0,02 | 0,15 |
| Bodega 1 | 0,8 | 0,08 | 0,5 | 0,035 | 0,5 | 0,03 | 0,4 | 0,02 | 0,4 | 0,01 | 0,14 |
| Bodega 2 | 1 | 0,08 | 0,5 | 0,04 | 0,7 | 0,025 | 0,4 | 0,014 | 0,4 | 0,01 | 0,14 |
| Comedor | 0,9 | 0,09 | 0,6 | 0,03 | 0,5 | 0,025 | 0,6 | 0,02 | 0,45 | 0,01 | 0,1 |
| T- INCOP | 0,9 | 0,08 | 0,55 | 0,045 | 0,5 | 0,035 | 0,55 | 0,02 | 0,4 | 0,0’2 | 0,09 |
| Edificio administrativo | 1 | 0,1 | 0,75 | 0,05 | 0,75 | 0,035 | 0,5 | 0,022 | 0,55 | 0,02 | 0,1 |

### THD de corriente.

Nuevamente la norma **IEEE 519-1992**, dicta que la distorsión Total de Harmónicos de Corriente (THDi) no debe exceder el 8% cuando ocurre la máxima demandada y los porcentajes permitidos para las corrientes armónicas, medidas de orden impar deben ser tales que, las componentes impares por debajo de la onceava armónica tengan magnitudes menores a 7% de la máxima corriente de carga. Con respecto a la distorsión armónica de corriente la norma técnica “Calidad del Voltaje Suministro (**AR-NTCVS**)” en el apartado 2.7 presenta los valores permitidos en la Tabla #4 a los cuales se debe ajustar la industria en sus sistemas trifásicos.

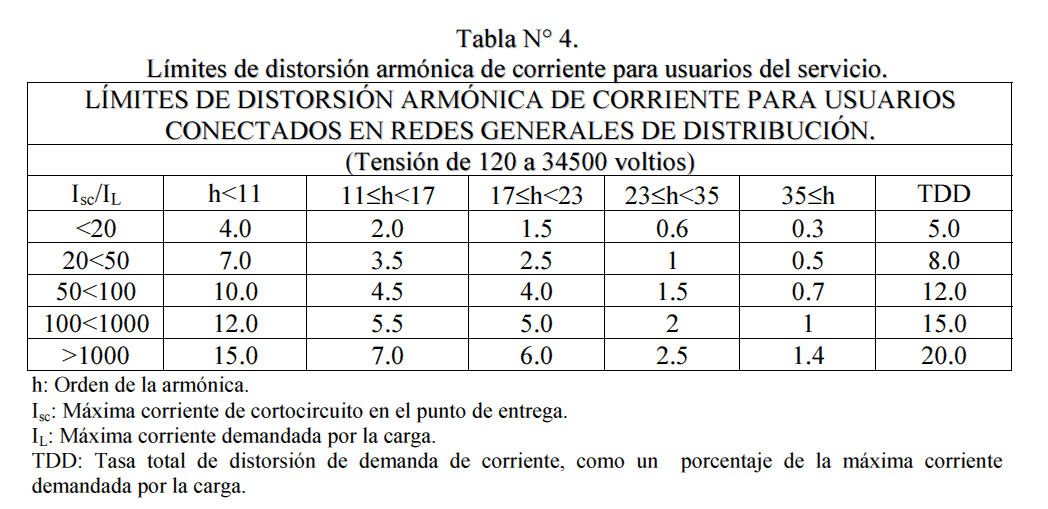


Figura 1‑1: Extracto de la norma técnica “Calidad del Voltaje Suministro (AR-NTCVS)”

Primero es necesario calcular la relación:

Donde es la máxima corriente demandada por la carga e es la máxima corriente de cortocircuito en el punto de entrega.

Tabla 1‑5: Relación corriente de cortocircuito y corriente de línea.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Ubicación de la medición** | Corriente de línea del sistema (A) | Isc/IL |
| Bóveda de contenedores refrigerados | 150 | 1200 |
| Sección de mantenimiento | 60 | 6917 |
| Bodega 1 | 200 | 2075 |
| Bodega 2 | 200 | 2075 |
| Comedor | 80 | 5188 |
| T- INCOP | 250 | 1660 |
| Edificio administrativo | 300 | 1383 |

Se establece para valores de Isc/IL mayores a 1000, quelas armónicasmenores al orden 11, deben ser mayores a 15% del valor de IL y que los valores de THD de corriente, no deben ser mayores a 20% el valor de la corriente nominal (voltaje nominalmenor a 69 kV), esto según la norma **IEEE 519-1992**.

Estas mismas condiciones son adoptadas por la norma nacional **AR-NTGT**de la **ARESEP**.

Tabla 1‑6 THD de corriente y armónicos de corriente.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Línea L1 | | | | | | | | | | | |
| **Ubicación de la medición** | THDi | 2do Harm. | 3er Harm. | 4to Harm. | 5to Harm. | 6to harm. | 7mo Harm. | 8vo Harm. | 9no Harm. | 10mo Harm. | 11vo Harm. |
| Bóveda de contenedores refrigerados | 4 | 0,3 | 0,5 | 0,05 | 0,5 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,015 | 0,05 |
| Sección de mantenimiento | 12 | 0,5 | 1,5 | 0,15 | 2 | 0,05 | 0,5 | 0,04 | 0,15 | 0,035 | 0,2 |
| Bodega 1 | 8 | 1 | 5 | 0,25 | 6 | 0,14 | 3 | 0,1 | 0,4 | 0,04 | 0,4 |
| Bodega 2 | 8 | 0,8 | 5 | 0,2 | 2,5 | 0,08 | 0,5 | 0,06 | 0,35 | 0,04 | 0,6 |
| Comedor | 9 | 0,7 | 3 | 0,15 | 0,9 | 0,1 | 0,25 | 0,1 | 0,16 | 0,07 | 0,15 |
| T- INCOP | 4 | 2 | 5 | 0,45 | 8 | 0,18 | 1 | 0,16 | 1 | 0,1 | 0,6 |
| Edificio administrativo | 6 | 2 | 6 | 0,75 | 2 | 0,3 | 4 | 0,35 | 1,75 | 0,2 | 2 |
| Línea L2 | | | | | | | | | | | |
| **Ubicación de la medición** | THDi | 2do Harm. | 3er Harm. | 4to Harm. | 5to Harm. | 6to harm. | 7mo Harm. | 8vo Harm. | 9no Harm. | 10mo Harm. | 11vo Harm. |
| Bóveda de contenedores refrigerados | 4 | 0,3 | 0,45 | 0,05 | 0,5 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,06 | 0,015 | 0,04 |
| Sección de mantenimiento | 12 | 0,5 | 3 | 0,15 | 2 | 0,06 | 0,65 | 0,05 | 0,25 | 0,04 | 0,25 |
| Bodega 1 | 7 | 1 | 8 | 0,25 | 6 | 0,16 | 2,8 | 0,1 | 0,4 | 0,06 | 0,35 |
| Bodega 2 | 9 | 0,8 | 9 | 0,2 | 1,5 | 0,08 | 1 | 0,06 | 0,3 | 0,06 | 0,7 |
| Comedor | 3 | 0,7 | 1,5 | 0,2 | 0,7 | 0,06 | 0,3 | 0,05 | 0,2 | 0,04 | 0,14 |
| T- INCOP | 3 | 1,5 | 2 | 0,5 | 5 | 0,45 | 2 | 0,45 | 1,3 | 0,4 | 1,2 |
| Edificio administrativo | 6 | 1,5 | 6 | 0,75 | 1,2 | 0,3 | 3 | 0,35 | 3 | 0,25 | 3 |
| Línea L3 | | | | | | | | | | | |
| **Ubicación de la medición** | THDi | 2do Harm. | 3er Harm. | 4to Harm. | 5to Harm. | 6to harm. | 7mo Harm. | 8vo Harm. | 9no Harm. | 10mo Harm. | 11vo Harm. |
| Bóveda de contenedores refrigerados | 4 | 0,3 | 0,3 | 0,06 | 0,5 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,06 | 0,015 | 0,04 |
| Sección de mantenimiento | 14 | 0,5 | 2 | 0,15 | 2,5 | 0,05 | 0,8 | 0,05 | 0,25 | 0,04 | 0,4 |
| Bodega 1 | 7 | 1 | 3 | 0,25 | 6 | 0,15 | 3,2 | 0,1 | 0,2 | 0,06 | 0,35 |
| Bodega 2 | 10 | 0,7 | 11 | 0,2 | 2,5 | 0,12 | 0,8 | 0,08 | 0,25 | 0,06 | 0,7 |
| Comedor | 9 | 0,4 | 2 | 0,15 | 0,7 | 0,08 | 0,35 | 0,05 | 0,16 | 0,04 | 0,1 |
| T- INCOP | 3,5 | 1,75 | 4 | 0,55 | 4 | 0,45 | 2,2 | 0,45 | 1,1 | 0,4 | 1,2 |
| Edificio administrativo | 6 | 2 | 6 | 0,75 | 2,1 | 0,3 | 3,5 | 0,35 | 2,75 | 0,25 | 2 |

### Transitorios de voltaje.

Un hueco de tensión o DIP es una disminución temporal debajo del 90 % del voltaje nominal, la mayoría de huecos de tensión no son inferiores al 50% del voltaje nominal, además durannormalmente de 3 a 10 ciclos o 50 a 170 ms, aproximadamente. Los DIP son probablemente el problema más común de la mala calidad de energía eléctrica para los clientes industriales de la actualidad. Son causados por incrementos precipitados de cargas, cortoscircuitos, fallas a tierra, arranque de grandes motores, los grandes calentadores eléctricos, o por incrementos precipitados en la impedancia de la fuente (típicamente por conexiones flojas).

Muchos tipos de equipos electrónicos son sensibles a los huecos de tensión, incluyendo los variadores de frecuencia, contactores para arranques de motores, los equipos de robótica, controladores lógicos programables (PLC), fuentes reguladas de alimentación, relees de control, etc.

Según la **ARESEP** un DIP está fuera de Norma si el hueco de tensión posee una magnitud entre 0% y 87% del voltaje nominal y con una duración mayor a 8.33 ms.

Según la norma**IEEE 1159-1995** hay varias formas de clasificar una interrupción:

Variaciones de corta duración que a su vez se dividen en:

Momentáneas: con una duración entre 30 ciclos y 3 s con un valor de magnitud de voltaje típica menor a 0.1 p.u.

Temporales: Con una duración de 3s a 1min con una magnitud de voltaje típica menor a 0.1 p.u.

Variaciones de larga duración o interrupciones sostenidas, mayores a 1 minuto y con magnitud de voltaje típica 0 p.u.

Las interrupciones pueden ser resultado de fallas en el sistema de potencia, en el equipo o en el control del sistema. Otra de las causas de las interrupciones son las tormentas eléctricas que generan fallas en las líneas de distribución eléctrica. Los rayos son los causantes de entre el 30% y el 50% de los fallos en las redes aéreas.

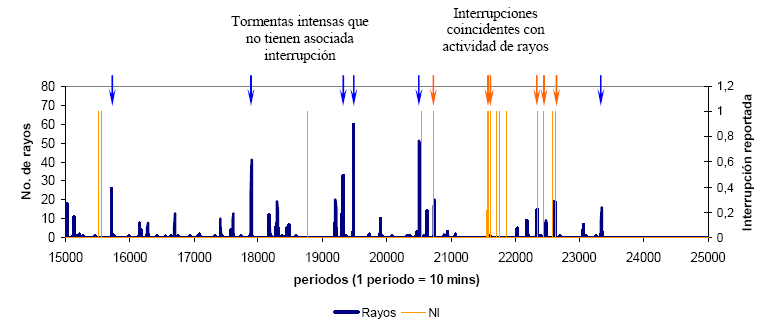


Figura 1‑2: Interrupciones coincidentes con actividad de rayos (D. Aranguren).

En puerto se encontró que:

1. Para el caso de la bodega de contenedores refrigerados se ubicaron 3 interrupciones con una duración entre 100 ms y 0,5 s y 2 interrupciones con una duración entre 1 s y 3 s.
2. Para la bodega 1 se presentaron 2 interrupciones de con una duración de 1s a 3 s.
3. En la sección de mantenimiento y talleres se presentó dos interrupciones, una programada que tuvo una duración mayor a 60 s (dado que el ICE colocó al puerto fuera de línea) y la otra interrupción con una duración entre 3 s y 20 s.

### Flickers (Parpadeos)

Parpadeo (“Flicker”), este fenómeno consiste en variaciones rápidas de la amplitud de la onda de voltaje, la cual puede descender hasta en un 6% o 7% de su valor nominal restableciéndose unas decenas de ciclos después.

Este tipo de disturbios se traduce en parpadeos de la luminosidad del alumbrado incandescente. La medición del parpadeo dada como sensación instantánea se expresa en P.U. (porunidad); entendiéndose igual a 1 las salida que el instrumento (fliker-meter) produce cuando su entrada es el umbral de perceptibilidad.

La severidad del parpadeo, es por lo tanto un número que indica cuanto por encima del umbral de perceptibilidad se presenta la sensación visual correspondiente.

**Severidad de parpadeo de corta duración (PST):** el lapso debe ser suficiente para permitir que un observador perciba el parpadeo (flicker), advirtiendo su presencia.

En Costa Rica se utiliza una severidad del parpadeo de corta duración medida en un lapso base de 10 minutos definido por la norma**IEC-1000-3-7**.

**Severidad de parpadeo de larga duración (PLT):**existen aparatos generadores de disturbios que tienen un ciclo de funcionamiento prolongado, para los cuales la evaluación de la severidad del parpadeo (flicker) de corta duración no es suficiente (por ejemplo los hornos de arco). Para estos casos es necesario definir una metodología de evaluación de la severidad del parpadeo de larga duración, y es posible adoptar una técnica de elaboración estadística de los datos, a manera de caracterizar el fenómeno con un solo parámetro que indique la severidad de larga duración. En Costa Rica la severidad de larga duración (PLT) se calcula a partir de una secuencia de 12 valores PST en un intervalo de 2 horas.

Tabla 1‑7Niveles de compatibilidad para PST y PLT en sistemas de potencia en LV y MV (IEC-1000-3-7).

|  |  |
| --- | --- |
|  | Niveles de compatibilidad |
| Pst | 1.0 |
| Plt | 0.8 |

La severidad de los flicker evaluados sobre un período corto de tiempo (10 minutos). Para 230 volts 50 Hz el Pst = 1 y para 120 volt 60 Hz Pst = entre 1.2 y – 1.35 son los parámetros convencionales de irritabilidad y además su límite. Según la normativa establecida por la **ARESEP** “En condiciones normales de explotación, durante el 95% del tiempo, para cada periodo de una semana (siete días consecutivos), el nivel de severidad de larga duración del parpadeo, ligado a fluctuaciones de tensión, debe ser inferior a 1 pu”.

Tabla 1‑8 Valores de PST y PLT en distintos puntos de ubicación del equipo.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ubicación de la medición** | **PST** | | **PLT** | |
| Bodega de contenedores refrigerados. | 1,71  1,626  1,273  9,77  10,56  13,28 | 14,5  1,346  1,476  1,373 | 5,595  5,811  3,964  6,353  0,706 | 0,787  0,624 |
| Bodega 1 | 6,795  2,705  6,465  10,291  11,01 | 13,01  10,768  10,41 | 5,915  4,853  4,882  4,618 | 3,336  3,033  2,837  1,517 |
| Bodega 2 | 11,83  6,682  1,909  4,5  3,1  2,455 | 1,636  7,909  1,773  7,297  6,4865  5,25 | 1,081  3,243 | 2,838  1,081 |
| Soda y comedor | 0,674  0,745 | 0,509  0,873 |  |  |
| Edificio de oficinas administrativas | 7,64  9,02  7,21 | 2,63  1,383 | 3,58  2,67 | 2,04 |
| Sección del taller de mantenimiento. | 9,533  30,21 | 4,492  8,085 | 4,312  13,295 | 3,593 |
| Tablero INCOP | 0,55  0,203 | 0,3 | 0,25 |  |

Como muestra la en la bodega de contenedores refrigerados, la zona del taller de mantenimiento, la bodega 1 y la bodega 2, presentan valores de parpadeos del tipo PST y PLT no permitidos, los cuales superan los rangos máximos establecidos de 1 en el caso de PST y de 0,8 para PLT.

### Potencia

Se midió la potencia en los puntos de interés, con el fin de determinar el consumo máximo del sistema y los valores de consumo de potencia reactiva del mismo, así como potencia activa y aparente. La siguiente tabla muestra los valores máximos de consumo de cada uno de los sitios de medición:

Tabla 1‑9 Potencias máximas de los puntos de medición.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Punto de medición** | **Potencia activa máxima (kW)** | **Potencia Reactiva máxima (kVAR)** | **Potencia Aparente máxima (kVA)** |
| Bodega de contenedores refrigerados | 100 | 90 | 134 |
| Bodega 1 | 82,3 | 47,5 | 95,8 |
| Bodega 2 | 45,8 | 47,5 | 68,7 |
| Área de talleres y mantenimiento | 22,1 | 13,8 | 24,5 |
| Edificio administrativo | 125 | 28,7 | 127,7 |
| Comedor | 20,3 | 14,6 | 25,8 |
| Tablero INCOP | 96,5 | 19,3 | 98,3 |

La tabla anterior muestra que el sistema eléctrico de la bodega de contenedores refrigerados representa la mayor carga del sistema con 134 kVA de consumo. La segunda mayor carga de las instalaciones la representa el sistema eléctrico del edificio administrativo, el cual consume 127,7 kVA como máximo. Luego se encuentra el tablero de INCOP con 98,3 kVA y la bodega 1 con 95,8 kVA. Estos valores máximos nos muestran donde se ubican las mayores cargas del sistema, sin embargo para poder realizar una comparación más minuciosa es necesario observar el consumo promedio de estos sitios.

Estos valores son representados como los valores máximos medidos en el sistema y no pueden ser comparados a los valores mostrados por los equipos de medición comunes, ya que estos presentan los promedios estimados en lapsos de tiempo preestablecidos y no los valores máximos.

La siguiente tabla muestra los consumos promediados durante los lapsos de medición de cada uno de los puntos.

Tabla 1‑10 Potencias promediadas de los puntos de medición.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Punto de medición** | **Potencia activa promedio (kW)** | **Potencia Reactiva promedio (kVAR)** | **Potencia Aparente promedio (kVA)** |
| Bodega de contenedores refrigerados | 31,7 | 27,4 | 42,2 |
| Bodega 1 | 45,5 | 19,3 | 50,6 |
| Bodega 2 | 24,9 | 28,7 | 39,6 |
| Área de talleres y mantenimiento | 12,5 | 6,7 | 14,7 |
| Edificio administrativo | 63,3 | 12,5 | 64,1 |
| Comedor | 13,6 | 8,5 | 16,8 |
| Tablero INCOP | 77,5 | 14,9 | 79,2 |

Al ver los valores promediados es notable como en esta ocasión la mayor carga a través de varias horas o días es el tablero INCOP con 79,2 kVA promedios, luego el edificio administrativo con 64,1 kVA, seguido por la bodega 1 con 50,6 y la bodega de contenedores refrigerados con 42,2 kVA, esta última es la carga mas variable a través del tiempo debido a que los contenedores refrigerados salen y entran al puerto en forma aleatoria lo que implica que no es una carga constante durante el mes.

Del análisis se puede notar como para las dos tablas anteriores, la potencia reactiva de la bodega 2 es muy alta en comparación con la potencia activa, lo que indica un bajo factor de potencia y además una alta concentración de cargas que consumen reactivo.

### Factor de potencia.

Un factor de potencia bajomenor a 0.9(según norma **IEEE Std. 241-1990**), implica que el sistema posee elevados consumos de potencia reactiva, produciendo una circulación excesiva de corriente eléctrica en las instalaciones y en las redes de la empresa de distribución. Esto tiene como consecuencia:

1. Daños en el sistema eléctrico por efectos de sobrecargas.
2. Aumento en las pérdidas por recalentamiento.
3. Aumento en la potencia aparente entregada por el transformador.
4. Producción de alteraciones en la calidad de energía eléctrica (variaciones de tensión), por lo que empeora el rendimiento y el funcionamiento de los equipos eléctricos.
5. En la mayoría de los casos cuando actúan los interruptores o fusibles se achaca la culpa a la mayor carga conectada y generalmente se piensa en ampliar la potencia del transformador sin antes verificar el factor de potencia.

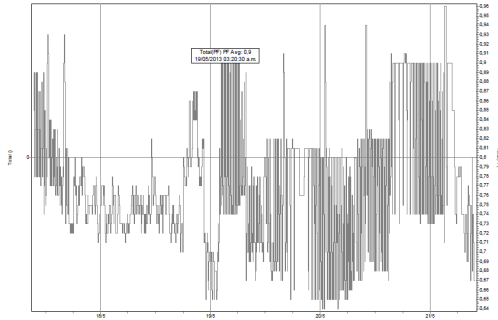


Figura 1‑3:Factor de potencia total de la bodega de contenedores refrigerados.

La muestra como el factor de potencia de la bodega de contenedores refrigerados se encuentra por debajo de 0.9 llegando a un valor mínimo de 0.64. En promedio el factor de potencia es de **0.77**.

Para la bodega 1 se muestra el siguiente comportamiento del factor de potencia.

1‑4:Factor de potencia total de la bodega 1.

La imagen anterior muestra como el factor de potencia de la bodega 1 va desde, 0.997 hasta 0.59, en promedio el factor de potencia de la bodega 1 es de **0.9**.

Para la bodega 2 se muestra el comportamiento del factor de potencia total en la siguiente figura:

Figura 1‑5:Factor de potencia total de la bodega 2.

Para este caso se muestra que el factor de potencia de la bodega 2 va desde 0.917 hasta 0.436.En promedio el factor de potencia es de **0.7**.

El factor de potencia de la alimentación que proporciona fluido eléctrico al área de mantenimiento y talleres posee el comportamiento mostrados en la siguiente figura:

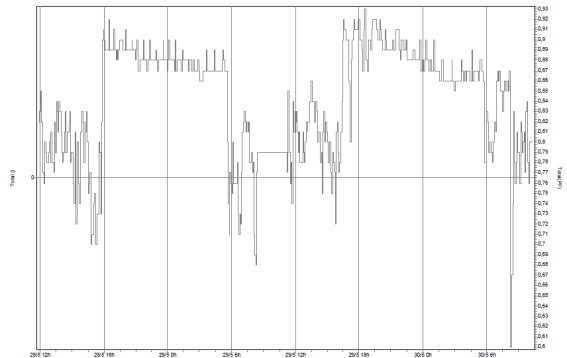


Figura 1‑6:Factor de potencia total de la alimentación del área de mantenimiento.

Para este caso el factor de potencia varía desde 0.92 hasta 0.68. En promedio el factor de potencia es de **0.8**.

La siguiente figura muestra el comportamiento del factor de potencia en la alimentación eléctrica del comedor interno del puerto.

Figura 1‑7:Factor de potencia total de la alimentación principal del comedor.

En este caso se muestra en la figura como el factor de potencia varía desde 0.91 hasta 0.68 con un promedio de **0.83**.

El edificio administrativo cuenta con un factor de potencia descrito por la siguiente figura.

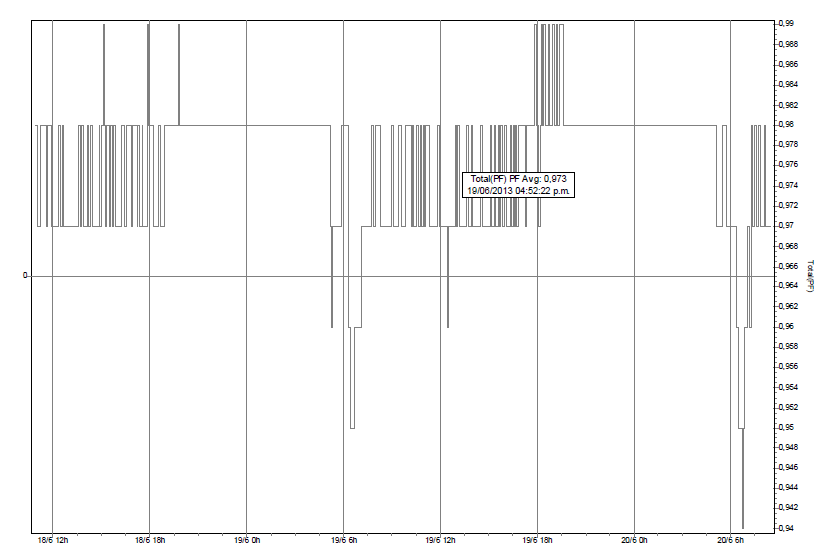


Figura 1‑8:Factor de potencia total de la acometida principal del edificio administrativo.

Se muestra en la figura como el factor de potencia varía desde 0.94 hasta 0.99 con un promedio de **0.966**.

El transformador Tablero INCOP cuenta con el siguiente factor de potencia descrito por la siguiente figura.

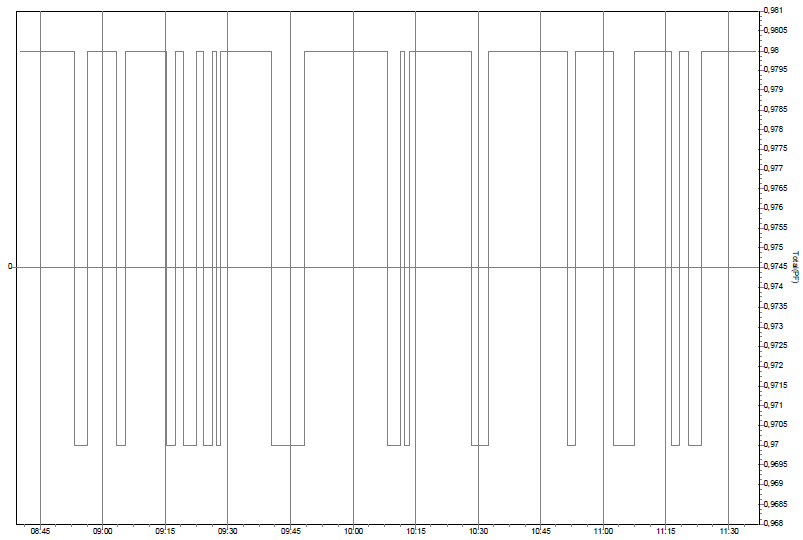


Figura 1‑9:Factor de potencia total del Tablero INCOP.

Se muestra en la figura como el factor de potencia varía desde 0.97 hasta 0.98 con un promedio de **0.974**.

### Desequilibrio de voltaje.

La tensión o corriente de fase se puede dividir en tres componentes: secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero. El componente de **secuencia negativa** es consecuencia de tensiones y corrientes desequilibradas fase a fase. Este componente causa, por ejemplo, un efecto “de frenado” en los motores trifásicos, con el consiguiente sobrecalentamiento y reducción de la vida útil.

La **secuencia positiva** es el componente normal tal como se presenta en sistemas trifásicos en equilibrio.

Los componentes de **secuencia cero** pueden aparecer en una carga desequilibrada de sistemas eléctricos de cuatro conductores y representan la corriente en el conductor N (neutro). Un desequilibrio por encima del 2% se considera elevado.

La siguiente imagen muestra el desequilibrio del voltaje negativo de las mediciones realizadas en campo:

|  |  |
| --- | --- |
| Bodega de contenedores refrigerados | Bodega 1 |
| Bodega 2 | Área de talleres y mantenimiento |
| Comedor | Edificio administrativo |
| Tablero INCOP | |

Figura 1‑10: Curvas de desequilibrio de Voltaje

De las mediciones efectuadas en campo, se encontró que el porcentaje del desequilibrio no supera el 2%, excepto en la aparición de transitorios en el desequilibrio de voltaje de la bodega 1 y 2. Por lo tanto el porcentaje de desequilibrio del voltaje negativo excluyendo eventos transitorios es menor al 2% y se encuentra dentro de los valores aceptables por la norma.

### Desequilibrio de corriente

El desequilibrio de corriente no debe ser superior al 10%. En caso de que el desequilibrio sea demasiado alto se recomiendan utilizar otros modos de medida para seguir analizando el sistema eléctrico.

La siguiente imagen muestrael porcentaje de desequilibrio de corriente A negativa.

|  |  |
| --- | --- |
| Bodega de contenedores refrigerados | Bodega 1 |
| Bodega 2 | Área de talleres y mantenimiento |
| Comedor | Edificio Administrativo |
| Tablero INCOP | |

Figura 1‑11: Curvas de desequilibrio de Corriente

El porcentaje de desequilibrio no supera el 10% para el banco de transformadores de la bodega de contenedores refrigerados.

El porcentaje de desequilibrio supera el 10% para el banco de transformadores de la bodega 1, llegando a valores superiores al 40%. Esta elevación se da principalmente durante los periodos nocturnos cuando ingresa la carga de iluminación. Durante el día los porcentajes disminuyen a menos del 10% que es el valor máximo permitido.

De igual forma que en la bodega 1, en la bodega 2 se dan incrementos elevados en el porcentaje de desequilibrio de corriente A negativa durante los periodos nocturnos (18 h a las 6 h). Estos porcentajes llegan a valores máximos de 40% durante la noche y de 14% durante el día.

En la sección de talleres el desequilibrio de corriente A negativa es superior al 10 %, de igual forma pasa para la acometida del edificio administrativo y para el tablero INCOP.

En la sección del comedor el desequilibrio de corriente A negativa es superior al 10 %, con valores máximos de hasta un 74%, en la acometida de las oficinas administrativas llega a 31%, mientras que en elTablero INCOP llega hasta el 25%.

## Conclusiones

1. Los armónicos no superan los valores establecidos por las normas internacionales y nacionales, por lo tanto su valor es permisible.
2. Se encontraron problemas en el factor de potencia dentro de las instalaciones del puerto, siendo los promedios más bajos, los casos de Bodega de contenedores de refrigerados (0.77), Bodega 2 (0.7) y el área de mantenimiento y talleres (0.8).
3. Para el caso de la acometida principal del edificio administrativo, con un voltaje de línea de 120 V, cuenta con un voltaje de 127,6 V en la línea 1 en el 5%, lo cual excede el límite máximo permitido por la norma **EN 50160** que es de 126 V.
4. La frecuencia máxima en una de las fases el edificio administrativo presenta un valor elevado de 60,9 Hz, lo cual sobre pasa el valor permitido de 60.3 Hz.

## Recomendaciones

1. Colocar bancos de capacitores para mejorar el factor de potencia del puerto a no menos de 0,9 (según norma **IEEE Std. 241-1990**). Esto para eliminar el pago de la multa en el recibo eléctrico, la cual ronda los cincuenta mil colones por mes.
2. Se recomienda realizar análisis de calidad de energía del sistema eléctrico en forma periódica debido a los cambios continuos del sistema eléctrico en general. Buscando encontrar las distintas causas de los problemas de calidad de energía en el puerto.
3. Se debe indicar al ICE sobre los problemas de voltaje y frecuencia elevada en una de las fases de forma que evalúen la causa y posible solución del problema.

## Bibliografía

D. Aranguren, J. I. *Efectos de la actividad de rayos en los parámetros de calidad de energía en redes de distribución rural.*Bogota: Universidad Nacional de Colombia.

FLUKE. (2007). *Manual de uso, FLUKE 435 POWER QUALITY ANALIZER.*Paises Bajos: Fluke Corporation.