



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Estudio del efecto *flicker* en una empresa industrial: Caso
aplicado a la heladería El Chalán S.A.C.**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico - Eléctrico

Omar Anthony Chero Alejandria

Asesor:
Mgtr. Ing. José Hugo Fiestas Chévez

Piura, julio de 2021



Dedicatoria

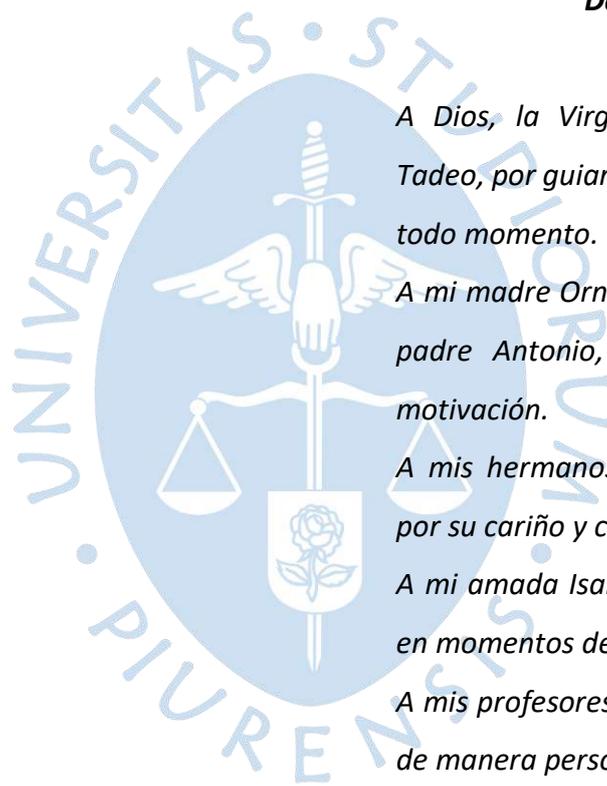
A Dios, la Virgen María y San Judas Tadeo, por guiar e iluminar mi camino en todo momento.

A mi madre Ornelia y en memoria de mi padre Antonio, por ser mi alegría y motivación.

A mis hermanos Karen, Carlos y Aldair por su cariño y comprensión.

A mi amada Isabel, por darme fortaleza en momentos de debilidad.

A mis profesores, por ayudarme a crecer de manera personal y profesional.





Resumen

La presente investigación surge en el marco del proyecto: “Mejora de los procesos de la línea de producción de helados, generando valor a través de la migración de su fuente energética convencional a energía renovable”. (Código del proyecto: PIEC1-3-P-275-059-18).

Tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento del efecto *flicker* dentro de la empresa industrial heladería El Chalán S.A.C. para diferentes situaciones; utilizando el analizador de calidad de potencia trifásica Metrel MI 2892 *Power Master*, homologado por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). La primera medición se realizó en el tablero general conectado directamente al Sistema Eléctrico de Distribución (SED), proyectado e instalado por Electronoroeste S.A. (ENOSA) con código único de suministro 16165450; luego en la pasteurizadora y finalmente con el Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) de 30 kWp operativo.

El primer capítulo, describe conceptos previos acerca de la energía solar fotovoltaica, la calidad de la energía eléctrica y el efecto *flicker*. El segundo capítulo menciona la normativa vigente para diseñar un instrumento *flickermeter*, calcular la severidad del parpadeo y los límites permitidos de su emisión en las redes eléctricas, según la Norma Técnica de la Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE). El tercer capítulo comprende los principales equipos en la industria productores de *flicker* y sus consecuencias tanto para la visión humana como para los dispositivos conectados a dicha red eléctrica. El cuarto capítulo incluye las pruebas realizadas y su posterior análisis de resultados. Por último, el quinto capítulo resume las alternativas de solución al problema del *flicker*.

En conclusión, con respecto a la influencia del efecto *flicker*; para la evaluación realizada al SED-ENOSA aumenta, debido a la presencia de cargas rápidamente fluctuantes dentro de la empresa. Por otra parte, en el diagnóstico realizado al SFCR disminuye, porque la operatividad de la empresa se redujo al 50%, debido al estado de emergencia vigente en el Perú por la pandemia mundial del coronavirus y por lo tanto el SFCR se puede considerar como un generador de autoconsumo.



Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| Introducción..... | 17 |
| Capítulo 1 | 19 |
| Marco teórico..... | 19 |
| 1.1 Energía solar fotovoltaica..... | 19 |
| 1.1.1 <i>Historia de la energía solar fotovoltaica</i> | 19 |
| 1.1.2 <i>Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica</i> | 19 |
| 1.2 Calidad de la energía eléctrica..... | 26 |
| 1.2.1 <i>Historia de la calidad de energía eléctrica</i> | 26 |
| 1.2.2 <i>Parámetros importantes en la calidad de la onda de tensión</i> | 27 |
| 1.3 El efecto flicker | 29 |
| 1.3.1 <i>Fluctuación relativa de tensión</i> | 29 |
| 1.3.2 <i>Variación de la intensidad luminosa</i> | 30 |
| 1.3.3 <i>Sensibilidad del ojo al flicker</i> | 30 |
| 1.3.4 <i>Métodos para medir el flicker en una red eléctrica</i> | 30 |
| 1.3.5 <i>Curvas de tolerancia</i> | 44 |
| Capítulo 2 | 47 |
| Normativa Eléctrica | 47 |
| 2.1 Según la calidad de la energía eléctrica..... | 47 |
| 2.1.1 <i>Norma UNE-EN 50160</i> | 47 |
| 2.1.2 <i>Norma UNE-EN 61000-4-30</i> | 50 |
| 2.2 Según los límites permitidos de flicker | 53 |
| 2.2.1 <i>Norma Técnica de la Calidad de Servicios Eléctricos (1997-10-11)</i> | 53 |
| Capítulo 3 | 57 |
| Causas y efectos del flicker..... | 57 |

| | |
|---|-----|
| 3.1 Equipos productores de <i>flicker</i> en la industria | 57 |
| 3.1.1 Hornos de arco eléctrico | 59 |
| 3.1.2 Máquinas de soldadura | 60 |
| 3.1.3 Arranque y parada de motores con cargas variables..... | 61 |
| 3.1.4 Ventiladores de mina | 62 |
| 3.1.5 Compresores industriales | 63 |
| 3.1.6 Molinos trituradores industriales | 63 |
| 3.1.7 Lámparas de descarga..... | 64 |
| 3.2 Consecuencias del <i>flicker</i> en la red eléctrica | 65 |
| 3.2.1 Efectos en la visión humana | 65 |
| 3.2.2 Efectos en los dispositivos alimentados por la red eléctrica | 65 |
| Capítulo 4 | 67 |
| Estudio del efecto <i>flicker</i> : Caso aplicado a la heladería El Chalán S.A.C. | 67 |
| 4.1 Evaluación en el SED - ENOSA 16165450 | 69 |
| 4.1.1 Objetivos | 70 |
| 4.1.2 Inspección de las instalaciones y equipos..... | 70 |
| 4.1.3 MI2892 Power Master: instalación, monitorización y recogida de datos..... | 72 |
| 4.1.4 Análisis de resultados | 74 |
| 4.2 Evaluación en la Pasteurizadora | 80 |
| 4.2.1 Objetivos | 80 |
| 4.2.2 MI2892 Power Master: instalación, monitorización y recogida de datos..... | 80 |
| 4.2.3 Análisis de resultados | 81 |
| 4.3 Evaluación con el Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) | 87 |
| 4.3.1 Objetivo..... | 87 |
| 4.3.2 Consideraciones previas | 87 |
| 4.3.3 Inspección de la instalación del SFCR | 88 |
| 4.3.4 MI2892 Power Master: instalación, monitorización y recogida de datos..... | 89 |
| 4.3.5 Análisis de resultados | 91 |
| Capítulo 5 | 97 |
| Soluciones al problema del <i>flicker</i> : Caso aplicado a la heladería El Chalán S.A.C..... | 97 |
| 5.1. Regulador automático de tensión trifásico - 250 kVA..... | 97 |
| 5.2. Banco de condensadores trifásico - 60 kVAR..... | 98 |
| 5.3 Estabilizador de tensión trifásico - 250 kVA | 102 |

| | |
|---|-----|
| 5.4 Compensador estático síncrono trifásico - 250 kVA..... | 103 |
| 5.5 Iluminación LED industrial | 104 |
| 5.6 Elección adecuada del inversor trifásico | 104 |
| Conclusiones..... | 107 |
| Recomendaciones | 109 |
| Referencias bibliográficas..... | 111 |
| Anexos | 115 |
| Anexo A. Ficha técnica MI2892 <i>Power Master</i> | 117 |
| Anexo B. Ficha técnica de los paneles solares JINKO SOLAR | 119 |
| Anexo C. Ficha técnica del inversor trifásico FRONIUS SYMO | 121 |
| Anexo D. Ficha técnica del medidor bidireccional FRONIUS <i>SMART METER</i> | 123 |
| Anexo E-1. Instalación en cuadro general..... | 125 |
| Anexo E-2. Instalación en cuadro secundario | 125 |
| Anexo E-3. Instalación en cargas y tomas de corriente industriales | 126 |





Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Energía activa total consumida en el año 2018 | 20 |
| Tabla 2. Datos técnicos del panel fotovoltaico | 23 |
| Tabla 3. Datos técnicos del inversor fotovoltaico de interconexión | 24 |
| Tabla 4. Datos técnicos del medidor bidireccional | 25 |
| Tabla 5. Nivel permisible de flicker Vfg Método Británico..... | 31 |
| Tabla 6. Nivel permisible de flicker Método francés | 33 |
| Tabla 7. Límites permitidos para problemas en la red de suministro a baja tensión..... | 48 |
| Tabla 8. Significado de la Indicación referida en la Tabla 7 | 50 |
| Tabla 9. Límites permisibles en las funciones del analizador de redes MI 2892..... | 51 |
| Tabla 10. Límites y valores permitidos de flicker para una red eléctrica | 53 |
| Tabla 11. Control de puntos de medición según la cantidad de clientes en BT | 55 |
| Tabla 12. Equipos productores de flicker | 70 |
| Tabla 13. Equipos sensibles al flicker | 71 |

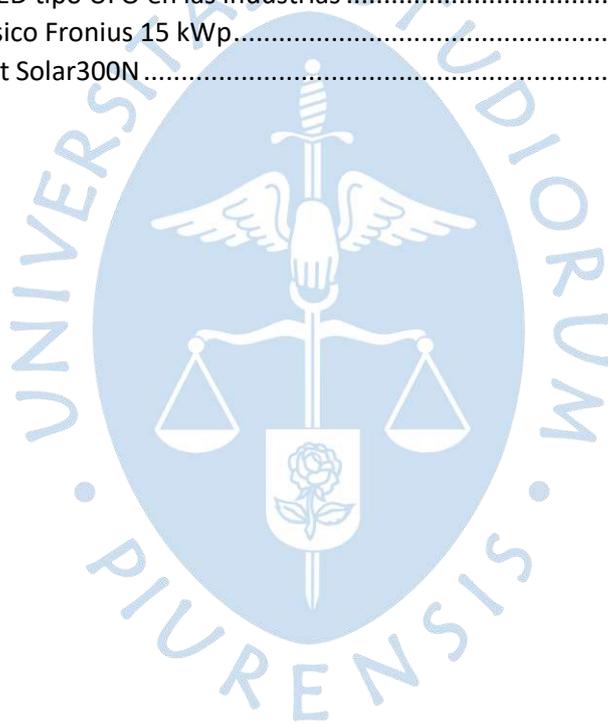


Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Sistema fotovoltaico conectado a la red | 20 |
| Figura 2. Valores de consumo mensual del perfil de autoconsumo en el software PVsol | 21 |
| Figura 3. Esquema unifilar del SFCR | 22 |
| Figura 4. Cobertura del consumo | 22 |
| Figura 5. Simulación del panel fotovoltaico JKM390M-72 en el software PVsol | 23 |
| Figura 6. Simulación del inversor Fronius SYMO 15.0-3 208 en el software PVsol | 24 |
| Figura 7. Perturbaciones en la calidad de la energía eléctrica | 26 |
| Figura 8. Aplicaciones de la electrónica de potencia en la industria | 27 |
| Figura 9. Parámetros de la calidad de la onda de tensión de suministro trifásico | 28 |
| Figura 10. Fluctuaciones en el valor de la tensión eficaz | 29 |
| Figura 11. Sensibilidad del ojo al parpadeo de luminarias | 30 |
| Figura 12. Severidad de parpadeo a corto plazo $PST = 0.9$ | 34 |
| Figura 13. Severidad de parpadeo largo plazo $PLT = 0.3$ | 35 |
| Figura 14. Respuesta en frecuencia del Bloque 3 | 38 |
| Figura 15. Respuesta del filtro de primer orden asociado al Bloque 4 | 38 |
| Figura 16. Método de clasificación del parpadeo instantáneo | 40 |
| Figura 17. Clasificación y obtención de la distribución de frecuencias acumuladas | 41 |
| Figura 18. Diagrama de bloque de un medidor de parpadeo | 43 |
| Figura 19. Curva de tolerancia IEEE 141 | 44 |
| Figura 20. Fluctuaciones de tensión Δu | 45 |
| Figura 21. Diagrama funcional del medidor de flicker de la IEC-61000-4-15 | 53 |
| Figura 22. Degradación de la tensión de la red eléctrica, debido a cargas no lineales generadoras de armónicos (HGL, harmonic generator load) | 57 |
| Figura 23. Frecuencia fundamental y armónica de una señal de onda distorsionada | 58 |
| Figura 24. Resultados de la encuesta IEEE Causas en la calidad de Suministro Eléctrico | 58 |
| Figura 25. Horno de arco eléctrico | 60 |
| Figura 26. Máquina de soldar KD DC31T | 61 |
| Figura 27. Motores eléctricos conectados en simultáneo | 62 |
| Figura 28. Ventilador de mina | 62 |
| Figura 29. Compresor de amoniaco para sistemas de refrigeración | 63 |
| Figura 30. Molino triturador de chatarra reciclada | 64 |
| Figura 31. Alumbrado interno de una cámara de refrigeración industrial | 65 |
| Figura 32. Parpadeo en los monitores de las computadoras | 66 |
| Figura 33. Sala de recepción de frutas | 67 |

| | |
|--|----|
| Figura 34. Sala de pulpeo y cocción | 68 |
| Figura 35. Mezcla para elaboración de helado..... | 68 |
| Figura 36. Sala de procesos..... | 68 |
| Figura 37. Pasteurizadora industrial..... | 69 |
| Figura 38. Cámaras frigoríficas..... | 69 |
| Figura 39. Propiedades del Registro. Prueba 1..... | 70 |
| Figura 40. Tableros de eléctricos de distribución en la Heladería El Chalán S.A.C. | 72 |
| Figura 41. Instalación del MI2892 Power Master en SED-ENOSA | 72 |
| Figura 42. Parámetros de medición en Prueba 1 - Registro instantáneo de forma de onda..... | 73 |
| Figura 43. Interfaz del software Metrel Power View v3 | 73 |
| Figura 44. Data de los valores de fase Prueba 1..... | 73 |
| Figura 45. Data de los valores de línea Prueba 1..... | 74 |
| Figura 46. Data de medidas de potencia según IEEE 1459 Prueba 1 - Registro instantáneo de forma de onda | 74 |
| Figura 47. <i>PST</i> Línea 12 (SED-ENOSA) | 75 |
| Figura 48. <i>PST</i> (1 min) Línea 12 (SED - ENOSA)..... | 75 |
| Figura 49. <i>PST</i> Línea 23 (SED-ENOSA)..... | 76 |
| Figura 50. <i>PST</i> (1 min) Línea 23 (SED-ENOSA) | 76 |
| Figura 51. <i>PST</i> Línea 31 (SED-ENOSA) | 77 |
| Figura 52. <i>PST</i> (1 min) Línea 31 (SED-ENOSA) | 77 |
| Figura 53. <i>PLT</i> Línea 12 (SED-ENOSA) | 78 |
| Figura 54. <i>PLT</i> Línea 23 (SED-ENOSA) | 79 |
| Figura 55. <i>PLT</i> Línea 31 (SED-ENOSA) | 79 |
| Figura 56. Instalación del MI 2892 Power Master en la Pasteurizadora | 80 |
| Figura 57. Gráfica de voltajes U12, U23, U31 en la pasteurizadora | 81 |
| Figura 58. Gráfica de voltajes I1, I2 e I3 en la pasteurizadora | 81 |
| Figura 59. <i>PST</i> Línea 12 (Pasteurizadora) | 82 |
| Figura 60. <i>PST</i> (1 min) Línea 12 (Pasteurizadora)..... | 82 |
| Figura 61. <i>PST</i> Línea 23 (Pasteurizadora) | 83 |
| Figura 62. <i>PST</i> (1 min) Línea 23 (Pasteurizadora) | 83 |
| Figura 63. <i>PST</i> Línea 31 (Pasteurizadora) | 84 |
| Figura 64. <i>PST</i> (1 min) Línea 31 (Pasteurizadora)..... | 84 |
| Figura 65. <i>PLT</i> Línea 12 (Pasteurizadora) | 85 |
| Figura 66. <i>PLT</i> Línea 23 (Pasteurizadora) | 86 |
| Figura 67. <i>PLT</i> Línea 31 (Pasteurizadora) | 86 |
| Figura 68. Propiedades del Registro Prueba 2..... | 87 |
| Figura 69. Paneles fotovoltaicos instalados en la Heladería El Chalán S.A.C. | 88 |
| Figura 70. Inversores trifásicos Fronius 15 kWp..... | 88 |
| Figura 71. Tablero para el control de paneles solares..... | 88 |
| Figura 72. Tablero para el control de inversores trifásicos | 89 |
| Figura 73. Instalación del MI 2892 Power Master en SFCR | 89 |
| Figura 74. Parámetros de medición en Prueba 2 - Registro instantáneo de forma de onda..... | 90 |
| Figura 75. Data de los valores de fase Prueba 2..... | 90 |
| Figura 76. Data de los valores de línea Prueba 2..... | 90 |
| Figura 77. Data de medidas de potencia según IEEE 1459 Prueba 2 - Registro instantáneo de forma de onda | 90 |
| Figura 78. <i>PST</i> Línea 12 (SFCR) | 91 |
| Figura 79. <i>PST</i> (1 min) Línea 12 (SFCR)..... | 92 |

| | |
|--|-----|
| Figura 80. <i>PST</i> Línea 23 (SFCR) | 92 |
| Figura 81. <i>PST</i> (1 min) Línea 23 (SFCR) | 93 |
| Figura 82. <i>PST</i> Línea 31 (SFCR) | 93 |
| Figura 83. <i>PST</i> (1 min) Línea 31 (SFCR) | 94 |
| Figura 84. <i>PLT</i> Línea 12 (SFCR) | 95 |
| Figura 85. <i>PLT</i> Línea 23 (SFCR) | 95 |
| Figura 86. <i>PLT</i> Línea 31 (SFCR) | 96 |
| Figura 87. Regulador automático de tensión 250 kVA | 98 |
| Figura 88. Banco de condensadores trifásico 60 kVAr | 99 |
| Figura 89. Diagrama unifilar del banco de condensadores de 60 kVAr | 99 |
| Figura 90. Demanda diaria de Potencia reactiva inductiva [kVAr] en la heladería El Chalán S.A.C. ... | 101 |
| Figura 91. Compensación diaria de Potencia reactiva capacitiva [kVAr] en la heladería El Chalán S.A.C. | 102 |
| Figura 92. Estabilizador de tensión trifásico 250 kVA..... | 103 |
| Figura 93. Compensador estático síncrono trifásico 250 kVA | 103 |
| Figura 94. Iluminación LED tipo UFO en las industrias | 104 |
| Figura 95. Inversor trifásico Fronius 15 kWp..... | 105 |
| Figura 96. HT Instrument Solar300N..... | 109 |





Introducción

La presente tesis surgió en el marco del proyecto: “Mejora de los procesos de la línea de producción de helados, generando valor a través de la migración de su fuente energética convencional a energía renovable”. (Código del proyecto: PIEC1-3-P-275-059-18). Comprende el desarrollo de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) de 30 kWp, implementado en la heladería El Chalán S.A.C., con la finalidad de reducir su dependencia de la red eléctrica pública.

Se considera como objetivo principal evaluar el comportamiento del efecto *flicker* para diferentes situaciones, dentro de sus instalaciones eléctricas y para ello se utilizó el analizador de calidad de potencia trifásica Metrel MI 2892 *Power Master*¹; homologado por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). La primera medición se realizó en el tablero general conectado directamente al Sistema Eléctrico de Distribución (SED), proyectado e instalado por Electronoroeste S.A. (ENOSA) con código único de suministro 16165450; luego en la pasteurizadora y finalmente con SFCR de 30 kWp operativo.

El primer capítulo, describe conceptos previos acerca de la energía solar fotovoltaica, la calidad de la energía eléctrica y el efecto *flicker*. El segundo capítulo menciona la normativa vigente para diseñar un instrumento *flickermeter*, calcular la severidad del parpadeo y los límites permitidos de su emisión en las redes eléctricas, según la Norma Técnica de la Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE). El tercer capítulo comprende los principales equipos en la industria productores de *flicker* y sus consecuencias tanto para la visión humana como para los dispositivos conectados a dicha red eléctrica. El cuarto capítulo incluye las pruebas realizadas y su posterior análisis de resultados. Por último, el quinto capítulo resume las alternativas de solución al problema del *flicker*.

Finalmente, el autor ofrece un reconocimiento especial a la Universidad de Piura por haber facilitado el uso del analizador de calidad de potencia trifásica, MI 2892 *Power Master* del laboratorio de Electrotecnia, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Mecánico-Eléctrica.

¹ Equipo aprobado para la medición de la calidad de tensión en puntos de entrega trifásicos. Según la Resolución OSINERGMIN N° 9-2015-OS/GFE/G.

Asimismo, agradecer al Mgtr. Ing. José Hugo Fiestas Chávez y al Ing. José Luis Uriol Paulini por su apoyo en la instalación, monitorización y análisis de datos realizados. Es necesario destacar la disposición y colaboración del personal técnico de la heladería El Chalán S.A.C.



Capítulo 1

Marco teórico

1.1 Energía solar fotovoltaica

Es una fuente de energía renovable y ecológica, pues utiliza la radiación solar para generar electricidad a través del efecto fotoeléctrico producido en los dispositivos fabricados de materiales semiconductores², denominados celdas fotovoltaicas. Estas son capaces de absorber la energía de los fotones presentes en luz emitida por el sol, pues un incremento en su nivel de energía, libera electrones energizados de la banda de valencia de sus átomos hacia la banda de conducción generando una corriente eléctrica directa (Iberdrola, 2019).

1.1.1 Historia de la energía solar fotovoltaica

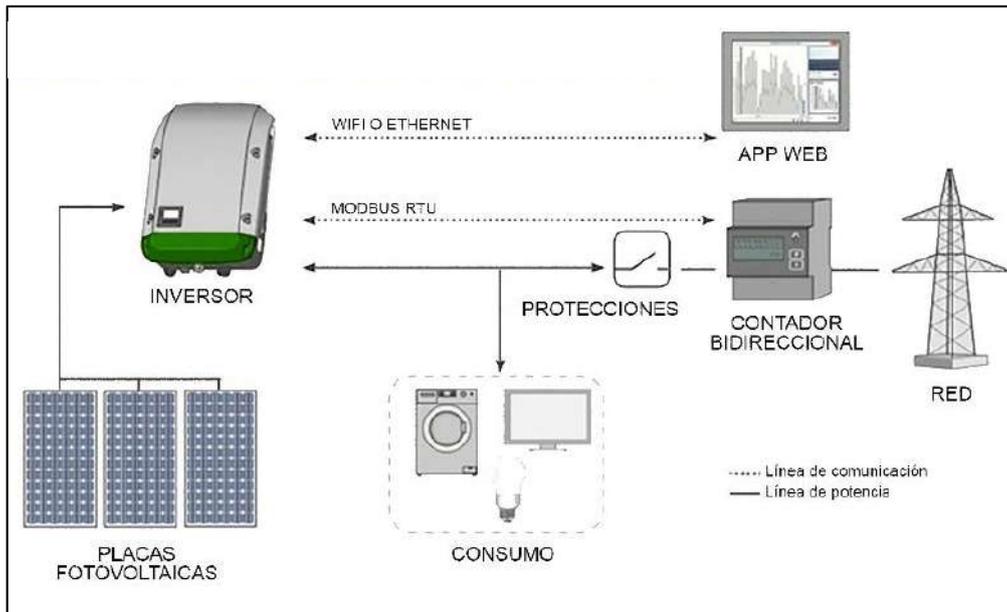
En 1839; Alexandre Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico en una pila electrolítica con electrodos de platino, pues observó un aumento del flujo de la corriente eléctrica mientras estaba expuesta a la luz solar. Posteriormente, en 1883 Charles Fritts fabricó la primera celda fotovoltaica conformada por selenio semiconductor y una capa delgada de oro; y su eficiencia era del 1%. La predecesora de las celdas fotovoltaicas de hoy en día, fue creada y patentada por Russell Ohl en 1946 y utilizaba como semiconductor el silicio. Para 1954, los laboratorios Bells desarrollaron celdas de silicio dopadas con ciertas impurezas y mejorar su sensibilidad a la luz solar (Premium Nueva Energía S.L., 2017).

1.1.2 Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica

La generación de energía depende del arreglo fotovoltaico, el cual consta de módulos fotovoltaicos. Un módulo fotovoltaico se compone, a su vez, de varias celdas fotovoltaicas conectadas en serie y/o paralelo para producir corriente continua. Igualmente, se necesita un inversor fotovoltaico para convertir la corriente continua en corriente alterna (Brinkhaus, 2020).

Se considera un sistema con dos fuentes de alimentación; pues permite la opción de entregar o extraer energía de la red eléctrica convencional. Por lo tanto, necesita de protecciones eléctricas y un medidor bidireccional para garantizar un funcionamiento óptimo.

² Materiales donde no hay electrones en la banda de conducción y la banda prohibida es menor a 5 eV.

Figura 1. Sistema fotovoltaico conectado a la red

Fuente: *Led Total Saving Energy* (2020)

Para implementar el SFCR de 30 kWp en la heladería El Chalán S.A.C. se realizó un análisis de la energía activa total consumida durante el año 2018, los datos fueron proporcionados por ENOSA para el código único de suministro 16165450 y se muestran a continuación:

Tabla 1. Energía activa total consumida en el año 2018

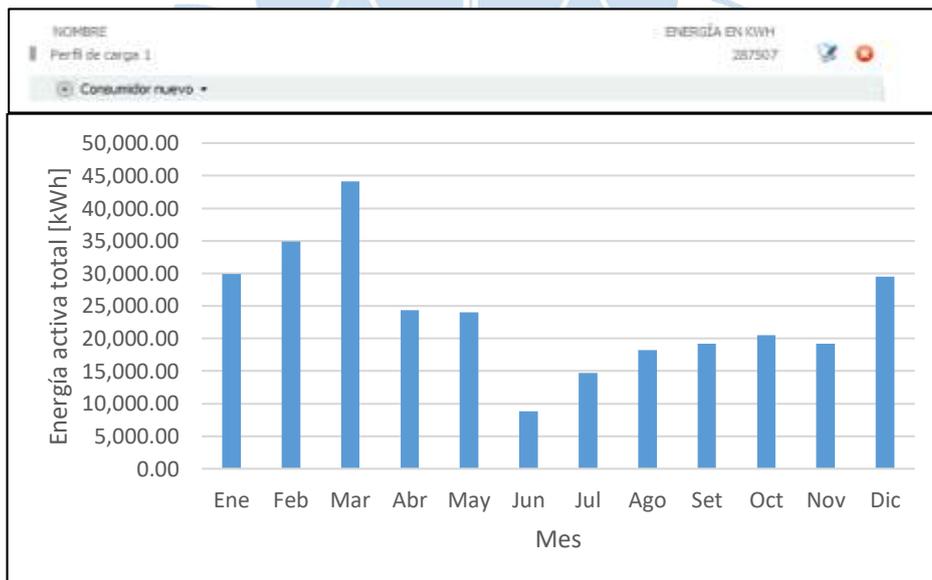
| Mes | Energía activa total [kWh] | Representación porcentual [%] |
|------------|----------------------------|-------------------------------|
| Ene - 2018 | 29,934.60 | 10.41 % |
| Feb - 2018 | 34,919.20 | 12.15 % |
| Mar - 2018 | 44,113.59 | 15.34 % |
| Abr - 2018 | 24,350.17 | 8.47 % |
| May - 2018 | 24,054.88 | 8.37 % |
| Jun - 2018 | 8,792.95 | 3.06 % |

| | | |
|--------------|------------|---------|
| Jul - 2018 | 14,702.48 | 5.11 % |
| Ago - 2018 | 18,218.16 | 6.34 % |
| Set - 2018 | 19,199.98 | 6.68 % |
| Oct - 2018 | 20,522.71 | 7.14 % |
| Nov - 2018 | 19,227.25 | 6.69 % |
| Dic - 2018 | 29,470.88 | 10.25 % |
| Total, anual | 288,506.85 | 100 % |

Fuente: Uriol Paulini (2020)

Se utilizó la información como valores de entrada para el diseño y la simulación del SFCR realizado en el Software PVsol.³

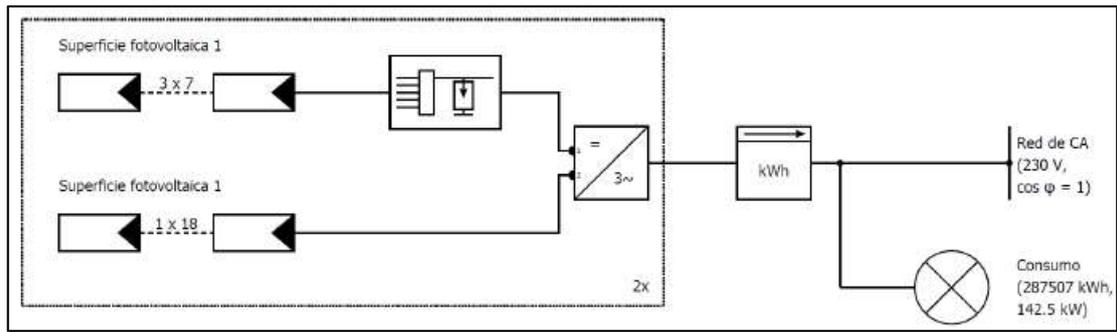
Figura 2. Valores de consumo mensual del perfil de autoconsumo en el software PVsol



Fuente: Uriol Paulini (2020)

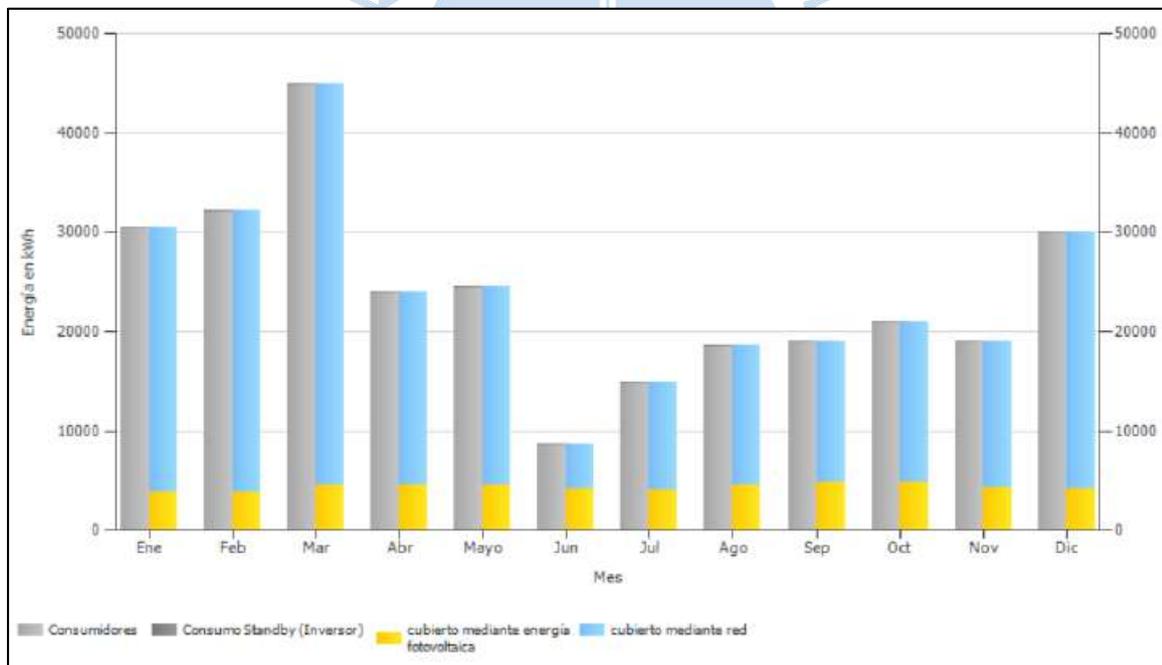
El programa tiene la opción de determinar el esquema unifilar del SFCR simulado, como se muestra a continuación:

³ Es el programa más utilizado por la industria fotovoltaica en Europa debido a las nuevas mejoras en el diseño 3D y cuenta con una extensa base de datos en componentes fotovoltaicos y datos climáticos.

Figura 3. Esquema unifilar del SFCR

Fuente: Uriol Paulini (2020)

Para finalizar, el siguiente gráfico muestra los resultados de la cobertura del consumo de energía eléctrica en la heladería, y diferencia el aporte de cada fuente de alimentación.

Figura 4. Cobertura del consumo

Fuente: Uriol Paulini (2020)

1.1.2.1 Paneles fotovoltaicos. Es un conjunto de celdas fotovoltaicas agrupadas dentro de una placa grande y convierten la radiación solar que incide sobre ellas en energía eléctrica. Se fabrican de materiales semiconductores fotoeléctricos de “tipo N” (dopado de impurezas de carga negativa) y “tipo P” (dopado de impurezas de carga positiva) generalmente formados de: silicio monocristalino, silicio policristalino, silicio amorfo, arseniuro de galio, etc. (Rodríguez, 2019).

Los paneles fotovoltaicos utilizados en el proyecto presentan estas características:

Tabla 2. Datos técnicos del panel fotovoltaico

| | |
|-------------------|---------------------|
| COMPONENTE | Panel fotovoltaico |
| FABRICANTE | Jinko Solar |
| TIPO | Monocristalino PERC |
| MODELO | JKM390M-72 |
| POTENCIA UNITARIA | 390 W |
| CANTIDAD | 78 |
| POTENCIA TOTAL | 30.42 kW |

Fuente: Uriol Paulini (2020)

Después de la simulación se obtuvieron los siguientes datos:

Figura 5. Simulación del panel fotovoltaico JKM390M-72 en el software PVsol

The screenshot shows the PVsol software interface with the following settings:

- Empresa:** Jinko Solar
- Modelo:** Cheetah Perc HC72M 390Wp V
- Selección sólo de favoritos:
- Photo Plan - Vista fotográfica preliminar de la asignación del tejado
- Asignación gráfica
- Número de módulos:** 78 (Total Power: 30.42 kW)
- Situación de montaje:** Sobre soportes - tejado
- Seguimiento:** Ninguno
- Incl. de los módulos FV:** 15
- Orientación:** 32 (Acimut 32°)

Fuente: Uriol Paulini (2020)

1.1.2.2 Inversor fotovoltaico de interconexión. Es un dispositivo utilizado para convertir la corriente directa del generador fotovoltaico en corriente alterna, respetando los parámetros del voltaje y la frecuencia de la red eléctrica. Otra de sus funciones es el

seguimiento del MPPT⁴, pues permite que el generador fotovoltaico produzca la máxima potencia posible en condiciones inestables. Se clasifican según la potencia requerida por el usuario.

Por ejemplo, se utilizan inversores monofásicos para potencias menores a los 5 kWp y para potencias mayores se utilizan inversores trifásicos (AutoSolar, 2019).

Los inversores fotovoltaicos de interconexión utilizados en el proyecto presentan las siguientes características:

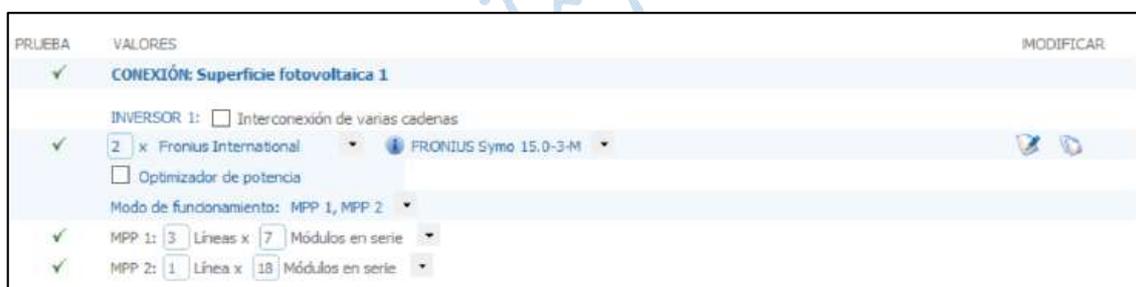
Tabla 3. Datos técnicos del inversor fotovoltaico de interconexión

| | |
|-------------------|-----------------|
| COMPONENTE | Inversor |
| FABRICANTE | Fronius |
| TIPO | Conexión a red |
| MODELO | SYMO 15.0-3 208 |
| POTENCIA UNITARIA | 15 kW |
| CANTIDAD | 2 |
| POTENCIA TOTAL | 30kW |

Fuente: Uriol Paulini (2020)

Después de la simulación se obtuvieron los siguientes datos:

Figura 6. Simulación del inversor Fronius SYMO 15.0-3 208 en el software PVsol



Fuente: Uriol Paulini (2020)

⁴ Maximum Power Point Tracker

1.1.2.3 Tablero de protecciones para el SFCR. Es un grupo de dispositivos utilizados para garantizar la mínima probabilidad de ocurrencia de fallas internas, así como para asegurar la protección de las personas y los equipos instalados. Generalmente las protecciones deben garantizar el funcionamiento óptimo en tres casos:

Sobrecorriente: en el caso de una sobrecarga, un cortocircuito o una falla a tierra se utilizan fusibles o interruptores termomagnéticos.

Contacto eléctrico: ocasionados por corrientes de fuga, en caso de contacto directo se verifica el aislamiento de todas las posibles fuentes de contacto existentes y en caso de contacto indirecto se utilizan interruptores diferenciales.

Sobretensión: ocasionada por fenómenos atmosféricos o alteraciones de la red eléctrica por efectos inductivos (aumentos de tensión) o efectos capacitivos (caídas de tensión) se utilizan descargadores de sobretensiones transitorias o permanentes, pararrayos, etc. (Tecnológico de Costa Rica, 2019, s/p).

Para el proyecto se utilizó tableros de protecciones en corriente directa (DC) y corriente alterna (AC) de la marca LEGRAND, cuyo diseño está basado en la norma IEC-61439 para una distribución eficaz de la potencia, con capacidad máxima desde 160 A hasta 6300 A.

1.1.2.4 Contador bidireccional. Es un dispositivo encargado de contabilizar la energía eléctrica que fluye en dos direcciones, por esta razón cuando el generador fotovoltaico no produce la electricidad suficiente para satisfacer el consumo energético del usuario, mide la energía extraída de la red eléctrica. Por el contrario, cuando el generador fotovoltaico produce electricidad en exceso superando la demanda energética del usuario, mide la energía inyectada a la red eléctrica (EnerPanel, 2016).

El medidor bidireccional utilizado en el proyecto presenta estas propiedades:

Tabla 4. Datos técnicos del medidor bidireccional

| | |
|---------------------|------------------------|
| COMPONENTE | Medidor bidireccional |
| FABRICANTE | Fronius |
| TIPO | Conexión a red |
| MODELO | SMART METER 240 V-3 UL |
| POTENCIA | 1.2 W |
| INTERFAZ A INVERSOR | Modbus RTU (RS 485) |

Fuente: PIEC1-3-P-275-059-18 (2019)

1.2 Calidad de la energía eléctrica

Los estándares internacionales del rubro eléctrico IEC⁵ e IEEE,⁶ normas europeas y americanas respectivamente, emplean las siguientes definiciones:

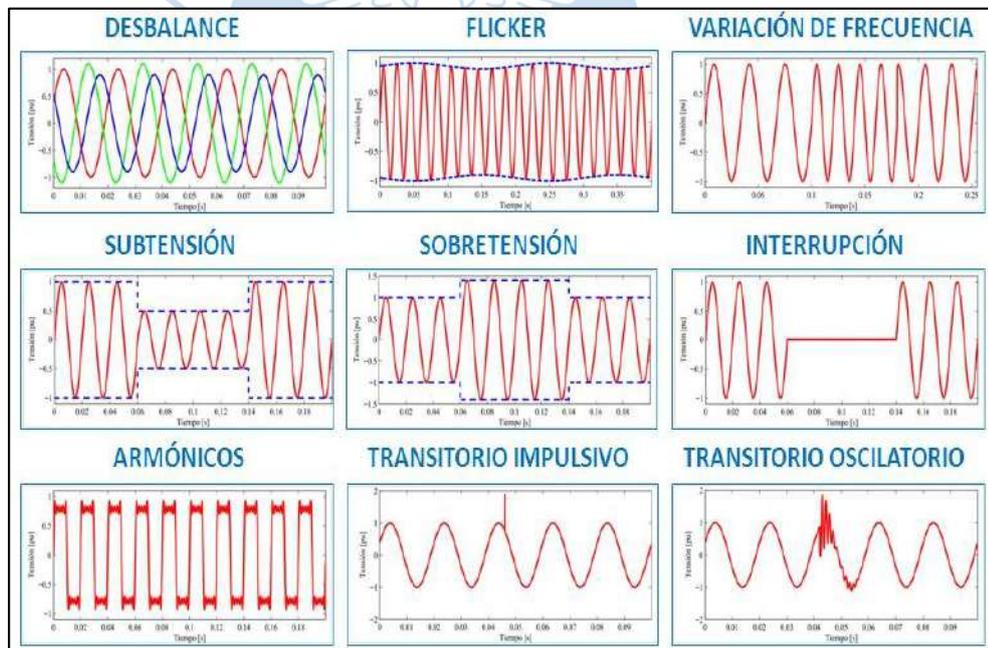
“El estándar IEC 61000-4-30 define el término “Calidad de Energía Eléctrica” como las características de la electricidad en un punto dado de la red eléctrica, evaluadas con respecto a una serie de parámetros técnicos de referencia” (Dolinar, 2006, p. 5).

“El estándar IEEE 1159/1995 define el término “Calidad de Energía Eléctrica” como la extensa variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente en un instante dado y en un lugar específico de la red eléctrica” (Dolinar, 2006, p. 5).

Dentro de las principales perturbaciones presentes en la red eléctrica se encuentran:

Desbalance, *flicker*, variación de frecuencia, subtensión, sobretensión, interrupción, armónicos, transitorio impulsivo y transitorio oscilatorio. Para mayor detalle ver figura 7.

Figura 7. Perturbaciones en la calidad de la energía eléctrica



Fuente: Montes Navarrete (2016)

1.2.1 Historia de la calidad de energía eléctrica

Durante los años 1880 y 1890, en Estados Unidos se desarrollaron los primeros proyectos de electrificación, por ello surgió una disputa entre Edison *Electric Light Company* precursora en el uso de la corriente continua y Westinghouse *Electric Corporation*, pionera en

⁵ International Electrotechnical Commission

⁶ Institute of Electrical and Electronics Engineers

la aplicación de la corriente alterna (Empresa Nacional de Electricidad Sociedad Anónima, 2019).

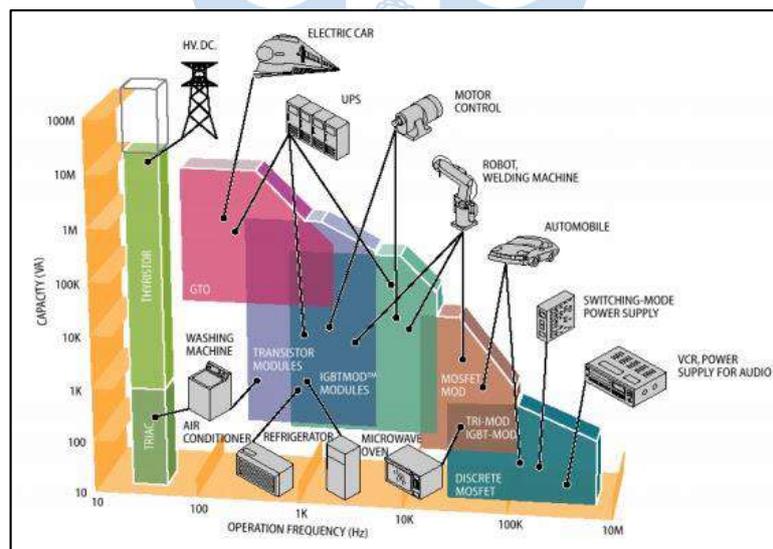
En 1886 se fabricó el primer transformador eléctrico de potencia, el cual permite transportar y distribuir la corriente alterna a través de largas distancias, aumentando o disminuyendo el voltaje de salida según corresponda (Berizzo, 2020).

Una vez conocida la ventaja de la corriente alterna, se comenzó a construir redes eléctricas por todo el mundo y además se diversificó el uso de motores eléctricos para diferentes aplicaciones industriales; por lo tanto, la demanda de energía eléctrica era mayor que su capacidad de generación, entonces para promover el consumo eficaz de la electricidad surgen los dispositivos electrónicos.

Entre 1940 y 1950 se desarrolló la electrónica de potencia permitiendo así la expansión del uso de: variadores de frecuencia, electrodomésticos, ordenadores, equipos médicos, máquinas de soldadura, laminadores siderúrgicos, compresores, equipos de telecomunicaciones, hornos de arco eléctrico, etc.; no obstante, aquellos dispositivos electrónicos representan cargas no lineales que originan perturbaciones en la calidad de energía eléctrica, pues producen distorsiones en la corriente y el voltaje consumido por los mismos (Universidad Nacional Autónoma de México, 2010).

En la figura 8 se muestran los dispositivos electrónicos y sus aplicaciones en la industria.

Figura 8. Aplicaciones de la electrónica de potencia en la industria



Fuente: EcuRed (2020)

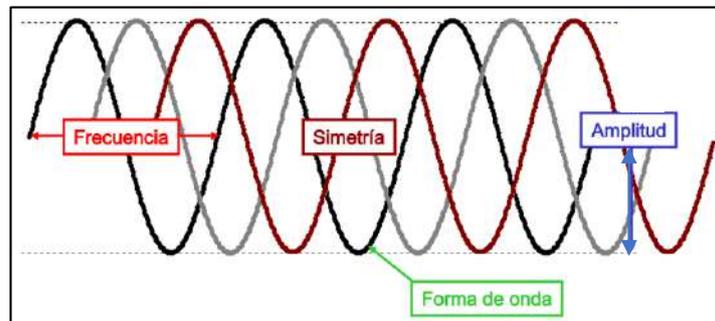
1.2.2 Parámetros importantes en la calidad de la onda de tensión

La calidad de una onda de tensión implica suponer que existe un sistema trifásico de tensiones con las siguientes características: “Permanente en el tiempo, completamente

equilibrado, perfectamente sinusoidales, de amplitud igual a su valor nominal y de frecuencia 60 Hz" (Dolinar, 2006, p. 12).

Para mayor detalle, en la siguiente gráfica se muestran los parámetros de la calidad de la onda de tensión de suministro trifásico:

Figura 9. Parámetros de la calidad de la onda de tensión de suministro trifásico



Por consiguiente, cualquier variación transitoria de alguna de estas características en el punto de conexión, entre la empresa distribuidora y el usuario, produce perturbaciones en la red eléctrica, entonces la calidad de una onda de tensión se define por los siguientes parámetros fundamentales:

1.2.2.1 Frecuencia. Es el número de veces que una onda sinusoidal se repite por segundo, completando un ciclo de positivo a negativo; o también es definida como la velocidad en que la corriente cambia de sentido por segundo. Se mide en hercios (Hz) y según NTCSE vigente en el Perú, su valor debe ser 60 Hz.

1.2.2.2 Amplitud. Es la distancia entre el punto máximo de una onda sinusoidal y la posición de equilibrio en una señal eléctrica. Cabe mencionar que el valor pico de una señal de corriente se mide en amperios (A), y de una señal de voltaje se mide en voltios (V); según el Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011) vigente en el Perú, el valor eficaz del voltaje para baja tensión es 380/220 V, media tensión es 22.9/13.2 kV, alta tensión es 60/138/220 kV, y muy alta tensión es 500 kV.

1.2.2.3 Forma. Es la representación gráfica del valor instantáneo de una señal de voltaje o corriente trazada en un determinado tiempo, pues se encuentra definida por su expresión matemática y depende del tipo de cargas conectadas a la red eléctrica.

1.2.2.4 Simetría. Es la representación gráfica de la forma de onda sinusoidal mediante desplazamientos en el eje de las abscisas u ordenadas. Puede ser de simetría impar (simetría de punto) cuando " $f(t) = f(-t)$ ", o simetría par (simetría de eje) cuando " $f(t) = f(-t)$ ".

En conclusión, después de mencionar los cuatro parámetros fundamentales para garantizar la calidad de la energía eléctrica, se debe prestar atención a los mismos, desde la etapa de generación hasta la distribución de la electricidad. Añadiendo, la frecuencia y la simetría se consideran intrascendentes, debido a que tienen menor incidencia con respecto de la amplitud y la forma, pues estas últimas dependen directamente del tipo de carga.

1.3 El efecto *flicker*

Es el fenómeno de variación de la intensidad luminosa presente en las lámparas (por ejemplo: incandescentes o de descarga) que afecta la visión humana y depende directamente de los niveles de percepción de un observador. El parpadeo se refiere a alteraciones continuas y rápidas en la magnitud de las corrientes de carga que provocan fluctuaciones de voltaje (Universidad Técnica Federico Santa María, 2009).

1.3.1 Fluctuación relativa de tensión

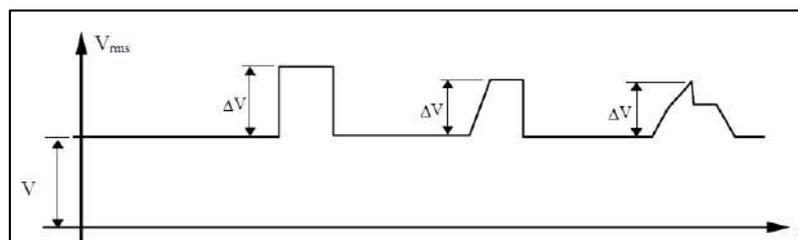
Se relaciona con la alteración en el valor de la tensión eficaz y las veces que se repiten los distintos niveles de *flicker*; por lo tanto, las fluctuaciones de voltaje se pueden considerar como una modulación de la tensión de la red eléctrica prácticamente sinusoidal en un punto. Y en otros, cuya señal de frecuencia es baja, su forma es aleatoria. La presencia de esta última hace que la tensión eficaz no tenga un valor constante, sino que oscila entre unos determinados valores; los cuales se encuentran ubicados entre 0.9 y 1.1 pu.

Para medir la severidad de estas variaciones en la tensión eficaz se define el término “variación relativa de tensión” y su expresión es:

$$\frac{\Delta V}{V} \times 100 (\%)$$

Donde “V” es la tensión eficaz antes de conectar cargas no lineales y “ΔV” es la representación de las fluctuaciones de tensión eficaz (Cidrás & Carrillo, 2007, p. 1).

Figura 10. Fluctuaciones en el valor de la tensión eficaz



Fuente: Cidrás & Carrillo (2007)

1.3.2 Variación de la intensidad luminosa

Los instrumentos medidores de *flicker* calculan la relación entre las fluctuaciones de voltaje y la perceptibilidad del ojo humano, frente a la observación del parpadeo en una lámpara incandescente de 60 W (Universidad Técnica Federico Santa María, 2009, p. 174).

1.3.3 Sensibilidad del ojo al flicker

El efecto *flicker* depende de la amplitud y duración de las fluctuaciones de voltaje que lo originan; pues se ha comprobado que una variación de voltaje superior al 0.25% produce un parpadeo visible de los sistemas de iluminación para una frecuencia de 8.8 Hz, en un determinado grupo de observadores (Universidad Técnica Federico Santa María, 2009, p. 175).

Figura 11. Sensibilidad del ojo al parpadeo de luminarias



Fuente: Marín (2019)

1.3.4 Métodos para medir el flicker en una red eléctrica

En la actualidad el problema del parpadeo se incrementa por el uso masivo de cargas no lineales sobre la potencia de cortocircuito en un punto de acoplamiento común en la red eléctrica. Por esta razón se desarrollaron diferentes métodos para predecir su comportamiento y caracterizarlo a través de las siguientes fórmulas empíricas:

1.3.4.1 Método Británico. Consiste en la modulación del voltaje de una fuente que funciona a 60 Hz, de modo que el valor instantáneo es modulado por una señal aleatoria llamada "voltaje de fluctuación (V_f)". El valor RMS del voltaje de fluctuación se interpreta como un porcentaje del voltaje de la fuente.

$$V_f = \frac{V_{\text{efectivo de la fluctuación}}}{V_{\text{RMS de la red}}}$$

Teniendo en cuenta varias pruebas se comprobó que para porcentajes V_f entre 0.2% y 0.25% se origina una perturbación perceptible por el ojo humano en un rango tolerable; por otra parte, para porcentajes mayores de 0.30% el parpadeo causa molestia.

Ahora bien, con una combinación de los valores grabados de las fluctuaciones de voltaje y un adecuado modelo estadístico del *flicker* se puede obtener la Función de Probabilidad Acumulada (FPA), y su correspondiente Función de Probabilidad Acumulada Complementaria (FPAC). Para obtener resultados cercanos a la realidad se debe medir por un lapso de tiempo prolongado que permita establecer los ciclos de las variaciones de la carga, es así como se obtiene el valor de V_{fg} que corresponde al valor de V_f cuando no ha superado más del 1% del tiempo de observación (Universidad Técnica Federico Santa María, 2009, p. 176).

El nivel de parpadeo se considera aceptable cuando V_{fg} se ajusta a los límites de la tabla 5:

Tabla 5. Nivel permisible de *flicker* V_{fg} Método Británico

| Rango de Voltaje | ≤ 138 kV | > 138 kV |
|---|---------------|---------------|
| V_{fg} (<i>Gauge - Point - Voltage</i>) | ≤ 0.25 % | ≤ 0.20 % |

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María (2009)

1.3.4.2 Método Francés. Consiste en la ponderación de los valores de las fluctuaciones de voltaje; cuya finalidad es transformar cualquier oscilación de voltaje con una frecuencia en el rango de 1 a 25 Hz, a una oscilación equivalente con frecuencia de 10 Hz. Para este método se propone hacer una curva de ponderación de frecuencia y se supone tener un filtro centrado en los 10 Hz, por lo tanto, el voltaje equivalente es determinado por la siguiente ecuación:

$$a_{10} = \left(\frac{\left(\sum_{j=0.5}^{j=25} a_j^2 g f_j^2 \right)}{n} \right)^{1/2}$$

Donde:

a_{10} = magnitud de voltaje equivalente para la frecuencia de 10 Hz

a_j = magnitud de la fluctuación de voltaje en la frecuencia f_j

$g f_j$ = coeficiente de ponderación correspondiente a f_j

El límite de perceptibilidad del parpadeo se establece en:

$$a_{10} = 0.3 \%$$

Este criterio corresponde a un estudio de la tolerancia al parpadeo, por parte de un grupo de observadores expuestos a iluminación incandescente energizada por

una red eléctrica sometida a las perturbaciones provocadas por un horno de arco eléctrico.

Para calcular la variación luminosa, este método usa el término “dosis unitaria de parpadeo” y se manifiesta por la siguiente ecuación:

$$Du_j = \int_{t=0}^{t=1 \text{ min.}} (a_{10}(t))^2 dt ; (\%)^2 \text{ min}$$

Donde:

Du_j = dosis unitaria de parpadeo

$a_{10}(t)$ = nivel instantáneo de parpadeo

Se aprecia que al evaluar la expresión anterior con $a_{10}(t) = 0.3\%$ y se integra durante 1 minuto, se obtiene como resultado $Du_j = 0.3\%$.

El tiempo total de muestreo es de 25 minutos y corresponde a 15 minutos de medición y 10 minutos de descanso o de recuperación; es importante que el análisis se realice durante 15 minutos consecutivos.

De lo anterior, se deriva otra variable conocida como “dosis acumulada de flicker $G(t)$ ” y se representa por la siguiente ecuación:

$$G(t) = \sum_{j=1}^{j=15} Du_j$$

Donde:

$G(t)$ = dosis acumulada de flicker

Du_j = dosis unitaria

j = minutos de medición

Esta expresión evaluada para un parpadeo instantáneo $a_{10}(t) = 0.3\%$ durante 15 minutos, indica un valor de dosis acumulada de parpadeo o flicker perceptible de $1.35 (\%)^2 \text{ mi}$ (Universidad Técnica Federico Santa María, 2009, p. 177-178).

El nivel de *flicker* permisible que utiliza este método se detalla en la tabla 6:

Tabla 6. Nivel permisible de *flicker* Método francés

| Límite de Tolerancia | Dosis unitaria (1 min) | Dosis acumulada (15 min) |
|----------------------|------------------------|-------------------------------|
| | | $\leq 0.09 (\%)^2 \text{min}$ |

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María (2009)

1.3.4.3 Método Standard (UNE-EN 60868-0). Utiliza la curva FPA del método británico, como una forma de representar la severidad del nivel de *flicker*, y fue planteado por la IEC para internacionalizar un criterio de medición del *flicker* introduciendo dos conceptos nuevos:

1.3.4.3.1 Indicador P_{ST} . Es el indicador de severidad de parpadeo a corto plazo, entonces se aplica en un punto de medida específico, donde el estudio del *flicker* es para máquinas eléctricas que operan durante ciclos de trabajo cortos (por ejemplo: trenes de laminación, bombas de calor o aplicaciones domésticas).

Según la norma IEC 555-3 se mide por ventanas de medición de 10 minutos consecutivos y su expresión matemática es:

$$P_{ST} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}}$$

Donde:

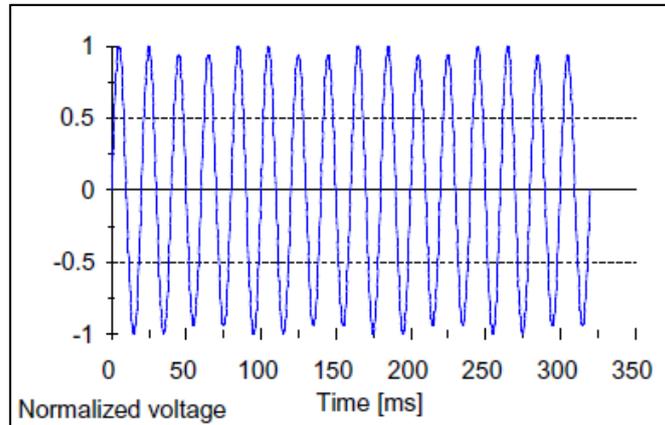
P_{ST} = valor de severidad de *flicker* de corta duración

P_j = niveles de la curva FPA con un porcentaje asignado de ser excedidos durante el periodo de observación

(UNE - EN 60868-0, 1997, p. 179).

En la siguiente gráfica se representa un *flicker* $P_{ST} = 0.9$

Figura 12. Severidad de parpadeo a corto plazo $P_{ST} = 0.9$



Fuente: Dolinar (2006)

La NTCSE recomienda programar una medición durante siete días calendarios continuos, asimismo OSINERGMIN sugiere un tiempo de muestreo de cinco minutos para la toma de datos. Por lo tanto, para que un valor P_{ST} sea considerado por el analizador de redes trifásicas debe tener como mínimo una ventana de medición de 10 minutos garantizando así un diagnóstico correcto. Se considera el valor " $P_{ST} > 1$ " como un nivel de parpadeo intolerable por un observador promedio.

1.3.4.3.2 Indicador P_{LT} . Es el indicador de severidad de parpadeo a largo plazo, entonces se aplica en el diagnóstico de redes eléctricas donde existe una combinación del efecto *flicker* por la presencia de varias cargas perturbadoras, que se encuentran operando de manera aleatoria durante ciclos de trabajo variables y largos (por ejemplo: hornos de arco eléctrico, arranque y parada de motores con cargas variables o máquinas de soldadura).

Según la norma IEC 555-3 se mide por ventanas de medición de dos horas, es decir se consideran 12 últimos indicadores de P_{ST} y su expresión matemática es la siguiente:

$$P_{LT} = \frac{\sqrt[3]{\sum_{j=1}^{j=N} (P_{ST_j})^3}}{N}$$

Donde:

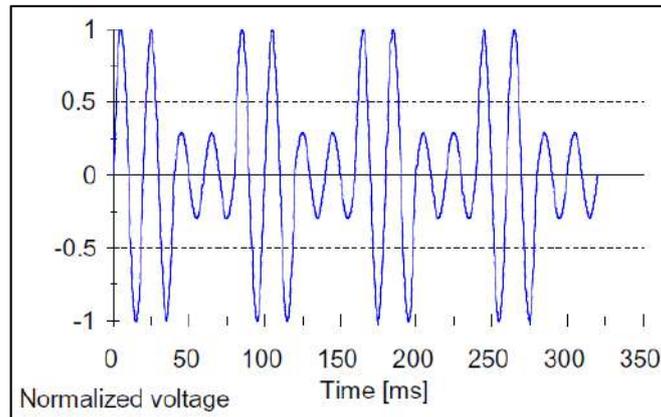
P_{ST_j} = valor P_{ST} del j – ésimo periodo de 10 minutos

N = cantidad de intervalos de 10 minutos

(UNE - EN 60868-0, 1997, p. 179).

En la siguiente gráfica se representa un *flicker* $P_{LT} = 0.3$:

Figura 13. Severidad de parpadeo largo plazo $P_{LT} = 0.3$



Fuente: Dolinar (2006)

La NTCSE recomienda programar una medición durante siete días calendarios continuos, asimismo OSINERGMIN sugiere un tiempo de muestreo de cinco minutos para la toma de datos. Por lo tanto, para que un valor P_{LT} sea considerado por el analizador de redes trifásicas debe tener como mínimo una ventana de medición de dos horas garantizando así un diagnóstico correcto. Se considera el valor " $P_{ST} > 0.74$ " como un nivel de parpadeo inadmisibles por un observador promedio.

1.3.4.4 Flicker con varias fuentes de distorsión. Es aplicado para evaluar el nivel de severidad del parpadeo en un punto cualquiera de la red eléctrica, pues se busca conocer los valores de severidad del parpadeo que produce cada carga perturbadora en el punto de acoplamiento común y su expresión matemática es:

$$P_{ST} = \sqrt[m]{\sum_{j=1}^{j=N} (P_{STj})^m}$$

Donde:

P_{ST} = nivel de severidad del parpadeo producido en el nodo por el total de las j cargas perturbadoras

P_{STj} = valor P_{ST} de la j – ésima carga perturbadora

m = coeficiente que varía entre 1 y 4 dependiendo de las características de los principales generadores de perturbaciones flicker

Para algunos casos se dispone:

$m = 1$, para fluctuaciones de tensión de la misma forma y sincrónicas.

$m = 2$ o 3 , para fluctuaciones de tensión separadas temporalmente entre 1 y 300 segundos.

$m = 2$, para fluctuaciones de tensión complejas con probabilidad de superposición temporal.

$m = 3$, para fluctuaciones de tensión complejas con baja probabilidad superposición temporal.

(Universidad Técnica Federico Santa María, 2009, p. 180).

1.3.4.5 Medición normalizada de flicker (IEC 868). Un medidor de flicker detecta variaciones de amplitud de las fluctuaciones de tensión presentes en la red eléctrica en un determinado punto y comprende el siguiente diagrama de bloques:

Transformador de entrada: es el encargado de aislar al equipo del nivel de tensión de entrada, y adaptarlo a unos niveles de tensión admisibles. Debe aceptar un amplio rango de tensiones nominales de entrada. Además, el ancho de banda del transformador no permite que se introduzcan atenuaciones de consideración ± 25 Hz alrededor de la frecuencia nominal. El nivel de aislamiento debe ser 2 kV r.m.s. durante un 1 minuto y 2 kV de pico para un impulso de duración de $1,2/50 \mu\text{s}$.

Bloque 1-Adaptación de la tensión de entrada y circuito de chequeo: consta de un generador de señal para la calibración del medidor de parpadeo, de manera que se puede conmutar y realizar las medidas en el secundario del transformador. Este generador proporciona una onda sinusoidal a la frecuencia de la red eléctrica, modulada por una onda cuadrada de 2.94 Hz con un valor de fluctuación relativa de tensión, " $\Delta V/V$ (%)" del 1%.

Por último, aquel bloque cuenta con un adaptador cuyo propósito es ajustar el nivel de tensión en el secundario del transformador a un nivel de referencia constante, sin modificar la fluctuación relativa de tensión, dicho circuito posee 1 minuto, como tiempo de respuesta.

Bloque 2-Demodula: para una lámpara de incandescencia la intensidad luminosa emitida se ajusta a la siguiente ecuación:

$$\frac{J}{J_R} = \left(\frac{V}{V_R}\right)^\gamma$$

Donde:

$V_R =$ tensión nominal de la lámpara

$V =$ tensión de alimentación de la lámpara

$J =$ intensidad luminosa a la tensión nominal de la lámpara

$J_R =$ intensidad luminosa a la tensión de alimentación

$\gamma =$ constante entre el valor de 3.4 y 3.8

Si se admite que las fluctuaciones de tensión son pequeñas, entonces la ecuación anterior se modifica de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta J}{J_R} = \gamma \frac{\Delta V}{V_R}$$

Significa que, la entrada al medidor de parpadeo puede ser la tensión, pues las fluctuaciones de tensión son proporcionales a las variaciones de intensidad luminosa emitidas por una lámpara de incandescencia. En este bloque se eleva la señal de entrada al cuadrado, con la finalidad de recuperar el valor de la fluctuación de tensión de entrada.

Bloque 3-Simulación del ojo: consta de tres filtros en cascada más un selector de rango, cuya ubicación puede ser antes o después de los filtros. La salida del bloque obtiene la sensación instantánea de parpadeo.

El primer filtro es un paso-alto de Butterworth de 1º orden, con una frecuencia de corte de 0.05Hz, aquí se busca descartar el componente continuo de la señal de entrada. La salida del filtro se acondiciona un filtro paso-bajo de Butterworth de 6º orden, en donde se eliminan las frecuencias cercanas al doble de la frecuencia de la red eléctrica.

En estos primeros filtros se ejecuta el pre-filtrado de fluctuaciones no perceptibles por el ojo humano y cabe mencionar que se puede agregar un filtro rechazo-banda, sintonizado al doble de la frecuencia de la red, y quitar las imperfecciones de la demodulación.

En cascada con los filtros anteriores; se establece un tercer filtro que pondera, en el dominio de la frecuencia, las fluctuaciones de tensión. La siguiente función de transferencia se ha obtenido a través de estudios estadísticos realizados sobre poblaciones; y equivale a la sensibilidad de un observador promedio al parpadeo producido por una lámpara incandescente (60W- 230V), cuya tensión de alimentación está modulada sinusoidalmente.

$$F(s) = \frac{k \omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \cdot \frac{1 + s/\omega_2}{(1 + s/\omega_3)(1 + s/\omega_4)}$$

Donde:

$$k = 1.74802$$

$$\lambda = 2\pi 4.05981$$

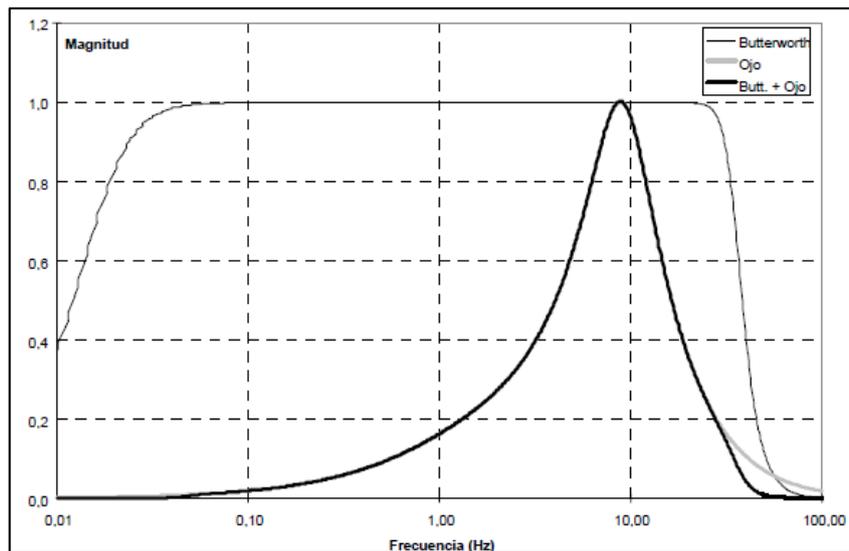
$$\omega_1 = 2\pi 9.15494$$

$$\omega_2 = 2\pi 2.27979$$

$$\omega_3 = 2\pi 1.22535$$

$$\omega_4 = 2\pi 21.9$$

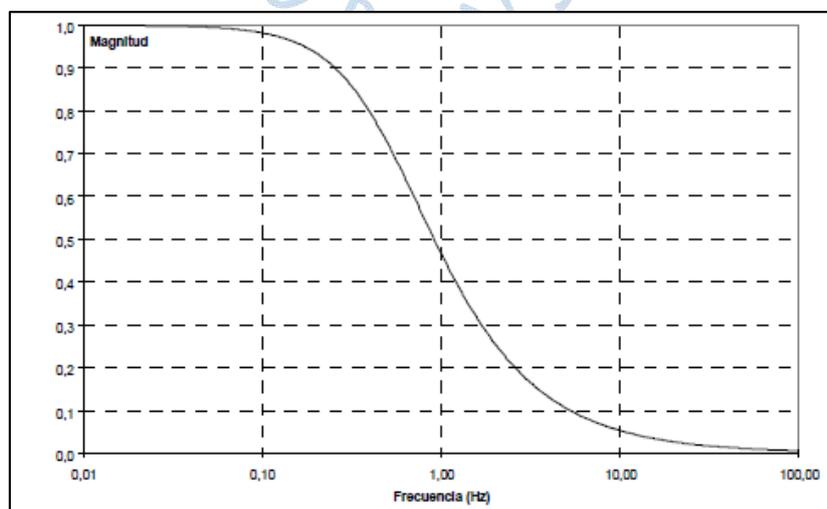
La respuesta de este filtro depende de la población seleccionada y del sistema de iluminación empleado. A continuación, se muestra una gráfica aproximada:

Figura 14. Respuesta en frecuencia del Bloque 3

Fuente: Cidrás & Carrillo (2007)

Finalmente se encuentra el selector de rango (ubicado antes o después de los filtros), encargado de escalar la salida (o la entrada) de los filtros anteriores para adecuar la percepción del equipo al valor de la fluctuación relativa de tensión

Bloque 4-Simulación del cerebro: busca simular la sensación del parpadeo procesada por el cerebro, para ello se cuenta con una parte donde se eleva al cuadrado la señal de entrada para simular el comportamiento no lineal de la sensibilidad del ojo y el cerebro trabajando en conjunto. Después, se obtiene un filtro de 1º orden que representa la memoria de las sensaciones visuales, esto es parecido a contar con un filtro paso-bajo compuesto por una resistencia y un condensador (de 1º orden) con una constante de tiempo de 300 ms.

Figura 15. Respuesta del filtro de primer orden asociado al Bloque 4

Fuente. Cidrás & Carrillo (2007)

Bloque 5-Análisis estadístico en línea: la salida en esta etapa representa el nivel de severidad del parpadeo obtenido a partir de las medidas realizadas en la red eléctrica; se puede clasificar en: severidad de periodo corto (P_{ST}) o severidad de periodo largo (P_{LT}).

Primero se debe discretizar la señal que llega a este bloque; es necesario utilizar un “convertidor A/D” con al menos 6 bits de resolución, y una “frecuencia de muestreo mayor o igual de 50 muestras/s”. El método de medición de *flicker* debe comprender dos situaciones primordiales: la severidad de la fluctuación y su permanencia en el tiempo.

En otras palabras, a la salida *flickermeter* no solo se registra el valor instantáneo del nivel de *flicker*, sino que muestra porcentajes de tiempo durante los cuales se exceden determinados niveles de parpadeo. Como se puede apreciar, la variable encargada de asegurar el funcionamiento adecuado en este bloque es “el periodo de observación”, pues se debe considerar un periodo significativo para las fluctuaciones de tensión.

Conforme la duración de este tiempo se conoce dos tipos de estudios:

- **De periodo corto:** Suelen ser intervalos de 5, 10 o 15 minutos.
- **De periodo largo:** Suelen abarcar un número entero de periodos cortos (por debajo de 10 080); el intervalo sugerido es de 2 horas.

Después de haber elegido el periodo de muestreo y la longitud del periodo corto, se organiza los valores instantáneos de parpadeo de acuerdo a su severidad, y se consigue su distribución en frecuencias. Según sea el caso, cuando una muestra se encuentra entre dos niveles que limitan una clase, se aumenta en uno el valor de dicha clase.

De esta manera, para una “clase k ” existe un número de muestras (N_k) que se obtiene con la siguiente ecuación:

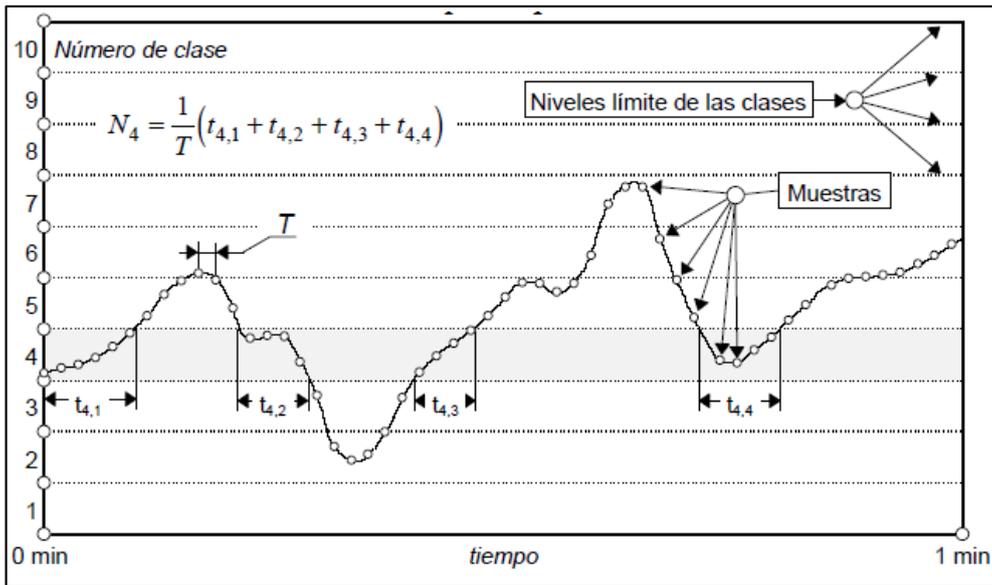
$$N_k = \frac{1}{T} \sum_n t_n^k$$

Donde:

$T =$ periodo de muestreo

$t_n^k =$ intervalo de tiempo durante el cual el parpadeo instantaneo está entre los niveles que delimitan la clase k

En la figura 16 se aprecia un ejemplo del cálculo de N_k :

Figura 16. Método de clasificación del parpadeo instantáneo

Fuente: Cidrás & Carrillo (2007)

La clasificación por frecuencias se desarrolla durante el periodo de observación escogido (por lo general 10 minutos). Una vez finalizado dicho periodo se obtiene la distribución de frecuencias acumuladas, a partir de la distribución de frecuencias resultantes del proceso de clasificación. Por lo tanto, el valor de una determinada clase se obtiene acumulando dichos valores, sin acumular los valores de las clases anteriores, es decir:

$$N_{ac,k} = \sum_{n=k}^{N_c} N_n = N_k + N_{ac,k-1}$$

Donde:

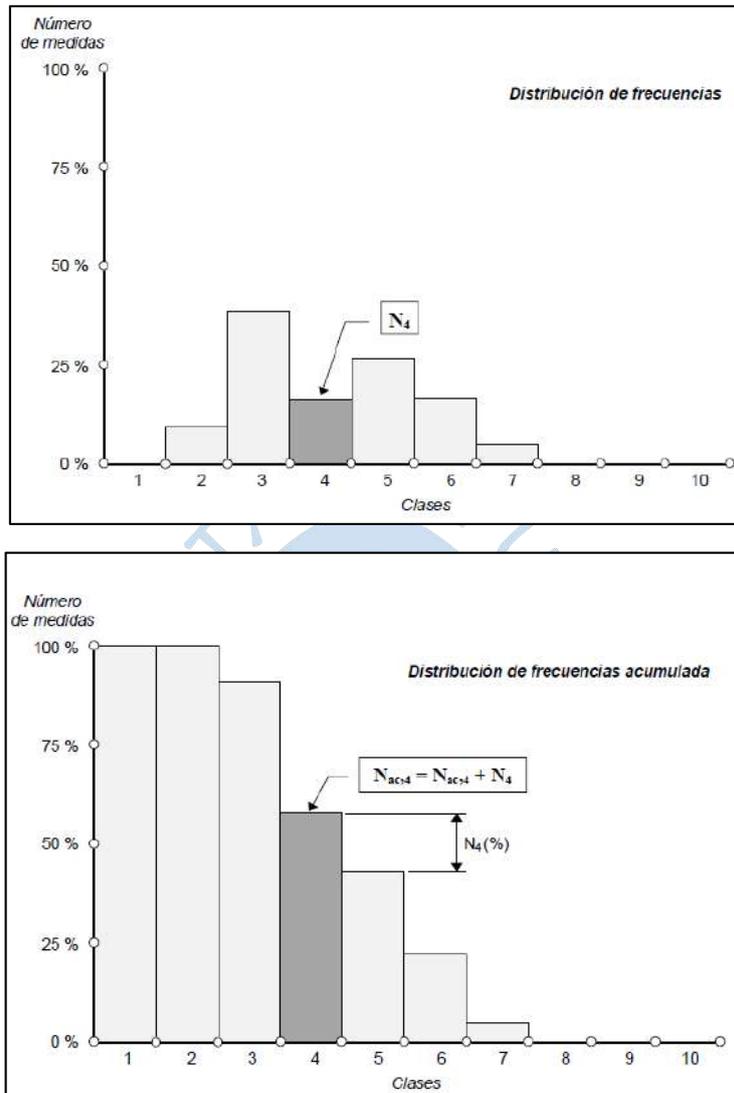
$N_{ac,k}$ = valor acumulado de la clase k

N_k = valor de la clase k

N_c = número de clases

La ecuación anterior facilita la obtención de la distribución de frecuencias acumuladas en valores absolutos de muestras. En la siguiente gráfica se observa la distribución de frecuencias, resultado del proceso de clasificación con $N_c = 10$ y su correspondiente distribución acumulada relativa de frecuencias.

Figura 17. Clasificación y obtención de la distribución de frecuencias acumuladas



Fuente: Cidrás & Carrillo (2007)

Por lo consiguiente, la respuesta a la “etapa 5” es un número que cuantifica la severidad del parpadeo, cuyo valor se relaciona con la distribución de la frecuencia acumulada obtenida mediante un algoritmo que opera con los percentiles.

Para el caso de P_{ST} :

$$P_{ST} = \sqrt{K_{0.1}P_{0.1} + K_1P_1 + K_3P_3 + K_{10}P_{10} + K_{50}P_{50}}$$

Donde:

P_{ST} = nivel de severidad de parpadeo de periodo corto

$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}$ y P_{50} = percentiles del 0.1%, 1%, 3%,

10% y 50% respectivamente

$K_{0.1}, K_1, K_3, K_{10}$ y $K_{50} =$ constantes definidas por la IEC y su valor es: 0.0314, 0.0525, 0.0657, 0.28 y 0.08 respectivamente

Para el caso de P_{LT} :

$$P_{LT} = \sqrt[3]{\frac{\sum_i^{N_{P_{ST}}} P_{ST_i}^3}{N_{P_{ST}}}}$$

Donde:

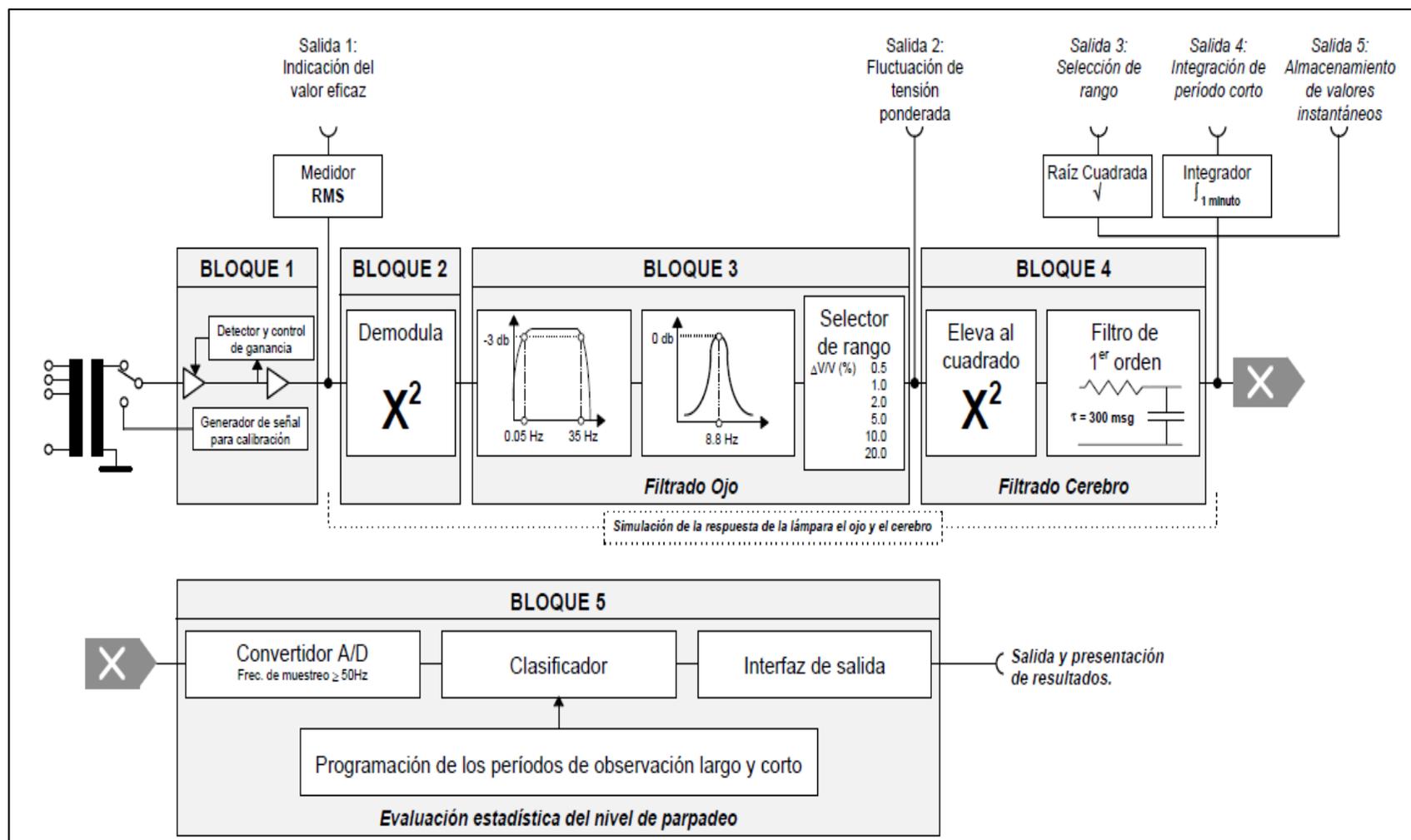
$N_{P_{ST}}$ = número de periodos cortos tenidos en cuenta (hasta 1008)

P_{ST_i} = valor de la severidad de periodo corto para cada uno de los $N_{P_{ST}}$ intervalos que se tienen en cuenta para el cálculo del P_{LT}

(Cidrás & Carrillo, 2007, p. 2-7)



Figura 18. Diagrama de bloque de un medidor de parpadeo



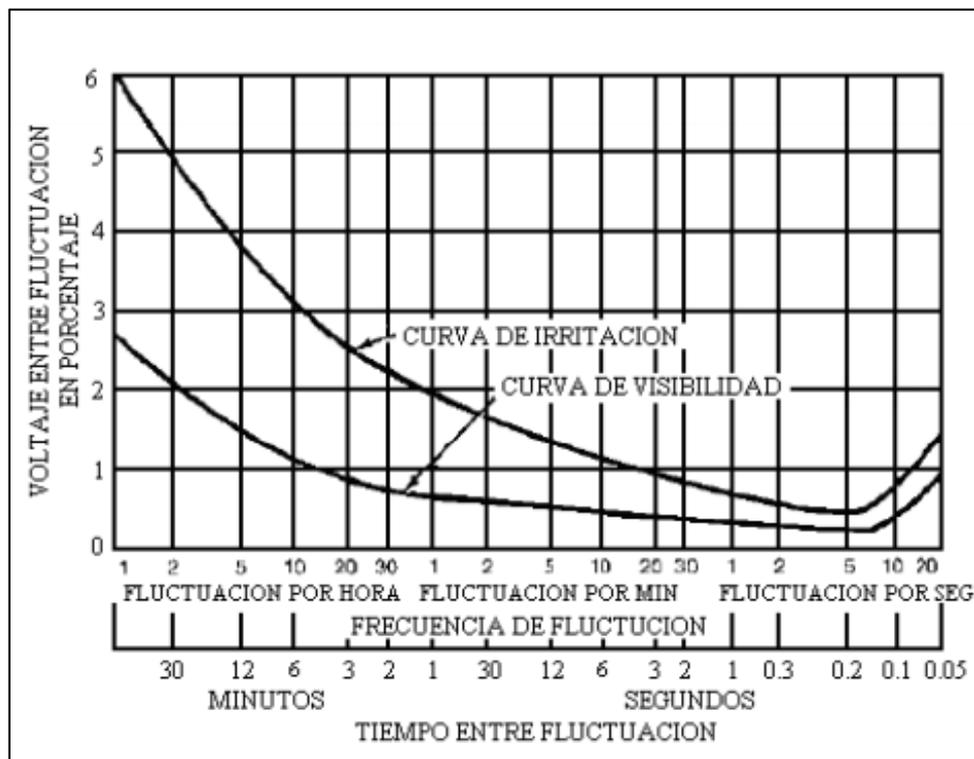
Fuente: Cidrás & Carrillo (2007)

1.3.5 Curvas de tolerancia

En diferentes oportunidades la IEEE en sus publicaciones considera curvas que advierten el límite de la amplitud de las fluctuaciones de tensión, en relación a su probabilidad de ocurrencia. Estas se han realizado de manera estadística, haciendo pruebas a diferentes observadores de forma empírica utilizando una lámpara incandescente de 60 W a 220V (Pila & Zambrano, 2010).

1.3.5.1 Según IEEE 141.

Figura 19. Curva de tolerancia IEEE 141



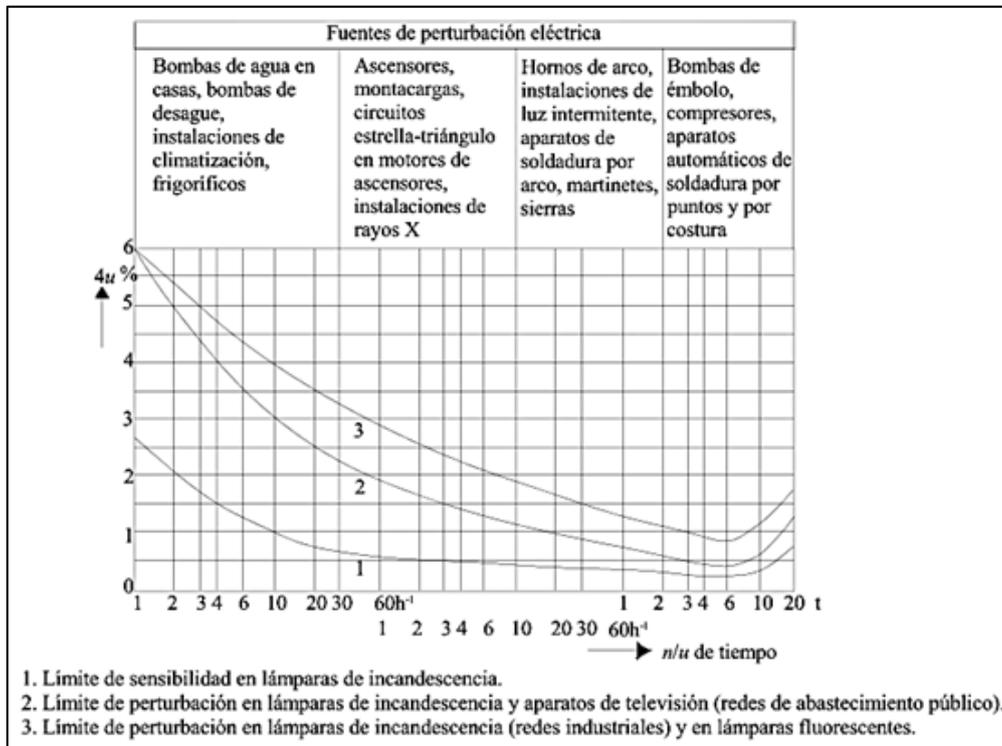
Fuente: Pila & Zambrano (2010)

La figura 19 representa la relación entre las fluctuaciones de tensión porcentuales y la frecuencia con la que estos se repiten, además grafica la línea de frontera de visibilidad, que muestra la percepción del parpadeo de una luminaria por parte del observador; y la línea de frontera de irritación, indica cuándo el parpadeo afecta de manera perjudicial al observador.

Por ejemplo, para 20 fluctuaciones por hora, se puede apreciar el parpadeo, con una variación de tensión del 0.9%, mientras que para una variación de tensión del 2.6%, el parpadeo se vuelve una molestia.

1.3.5.2 Según IEEE 519. Se adjunta la imagen de las “Fluctuaciones de tensión Δu ” (en porcentaje de la tensión nominal), en función del número de variaciones de tensión por unidad de tiempo.

Figura 20. Fluctuaciones de tensión Δu



Fuente: Ingeniería de máquinas y sistemas eléctricos (2020)

La figura 20 muestra los límites de sensibilidad al *flicker* por cada tipo receptor dependiendo de la fuente de perturbación eléctrica. Por ejemplo, en caso del primer grupo de equipos (bombas de agua en casa, instalaciones de climatización, etc.) cuando hay variaciones de tensión menores al 2.6%, las lámparas de incandescencia (área debajo de la curva 1) son los dispositivos de mayor vulnerabilidad al parpadeo.

Por otra parte, para variaciones de tensión menores al 6%, se logra apreciar en las redes eléctricas de abastecimiento público (área debajo de la curva 2) su perceptibilidad de menor rango que en las redes eléctricas industriales (área debajo de la curva 3).



Capítulo 2

Normativa Eléctrica

2.1 Según la calidad de la energía eléctrica

En este apartado se describen las normas aplicadas para garantizar la calidad de la energía en una red eléctrica, caracterizando la onda de tensión de suministro, utilizando como instrumentos de medición los analizadores de potencia trifásica.

2.1.1 Norma UNE-EN 50160

Define, describe y especifica las características principales de la tensión suministrada por una red eléctrica de baja, media y alta tensión, a condiciones normales de explotación y en el punto de entrega al usuario. Además, establece y menciona, los valores límites de la calidad de la onda de tensión trifásica, con respecto a sus parámetros principales: frecuencia, amplitud, forma y simetría que están sujetas a variaciones debidas al tipo de carga conectada, perturbaciones emitidas por ciertos equipos y por fallas de causa externa (UNE - EN 50160, 2011, p. 6).

En la siguiente tabla se muestran los requisitos mínimos a cumplir por la señal de suministro en baja tensión frente a perturbaciones en la red eléctrica:

Tabla 7. Límites permitidos para problemas en la red de suministro a baja tensión

| Perturbación | Medida | Límites | Intervalos de evaluación | Porcentaje de medidas dentro de los límites durante el intervalo |
|-------------------------------------|--|---------------|--------------------------|--|
| Frecuencia | Promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s | $\pm 1\%$ | al año | 99,5% |
| | | + 4% / - 6% | | 100,0 % |
| Variaciones de la tensión | Promedio de la VAC de cada ciclo durante 10 minutos | $\pm 10\%$ | cada semana | 99,5% |
| | | + 10% / - 15% | | 100,0 % |
| Variaciones rápidas de tensión | Número de eventos tipo escalón de tensión de hasta el 10% de U_N | Indicación 1 | | |
| Severidad del parpadeo | P_{LT} (2 horas) | < 1 | cada semana | 95% |
| Huecos de tensión | Número de eventos con ($U < 0.9 U_N$) | Indicación 2 | al año | |
| Interrupciones breves de la tensión | Número de eventos con ($U < 0.01 U_N$ y $t < 3 \text{ min}$) | Indicación 3 | al año | |
| Interrupciones largas de la tensión | Número de eventos con ($U < 0.01 U_N$ y $t > 3 \text{ min}$) | Indicación 4 | al año | |

Fuente: Usunáriz (1999)

| | | | | |
|--------------------------------|---|--------------|----------------|-----|
| Sobretensiones (50 Hz) | Número de eventos con $(U > 1.1 U_N \text{ y } t > 10 \text{ ms})$ | Indicación 5 | | |
| Sobretensiones transitorias | Número de eventos con $(U > 1.1 U_N \text{ y } t < 10 \text{ ms})$ | Indicación 6 | | |
| Desequilibrio de la tensión | Promedio de la U_{inv}/U_{dir} de cada ciclo durante 10 minutos | < 2% | cada semana | 95% |
| Tensiones armónicas | Para cada armónico i , promedio de la U_i/U_N en cada ciclo durante 10 min | Ver tabla | cada semana | 95% |
| | Promedio del THD de la tensión referido a U_N en cada ciclo durante 10 min | < 8% | cada semana | 95% |
| Tensiones interarmónicas | Por estudiar | | | |
| Transmisión de señales | Tensión eficaz de la señal transmitida promediado en 3 s | Ver tabla | cada día | 99% |

Fuente: Usunáriz (1999)

Tabla 8. Significado de la Indicación referida en la Tabla 7

| N° | Indicación |
|----|---|
| 1 | Escalones del 5% de U_N son normales. Escalones del 10% de U_N pueden producirse varias veces al día. |
| 2 | De 10 a 1,000. La mayoría duran menos 1 s y tienen una profundidad inferior al 60% de U_N . |
| 3 | De 10 a 1,000. El 70% de las interrupciones duran menos de 1 s. |
| 4 | De 10 a 50. |
| 5 | Generalmente no sobrepasan los 1,5 kV AC. |
| 6 | Generalmente no sobrepasan los 6 kV de cresta. |

Fuente: Usunáriz (1999)

2.1.2 Norma UNE-EN 61000-4-30

Define los métodos de medición y la forma de interpretar los resultados, que guardan relación con los parámetros de la calidad de onda de tensión de suministro para una frecuencia fundamental de 50 o 60 Hz.

Dentro de los parámetros se encuentran: la frecuencia, la amplitud de la tensión de alimentación, el *flicker*, los huecos de tensión, las sobretensiones, las interrupciones de tensión, las tensiones transitorias, los armónicos e interarmónicos, el desequilibrio de tensión, las señales de transmisión por la red y las variaciones rápidas de tensión; logrando así obtener valores confiables, repetitivos y comprobables indistintamente del fabricante del equipo analizador de redes y de sus condiciones ambientales (UNE - EN 61000-4-30, 2015).

Para cada parámetro de medición existe una clase de requerimiento:

- ✓ **Clase A:** el nivel de exigencia en la medida es mayor y se utiliza para encontrar medidas precisas, como es el caso de aplicaciones de tipo estipulado cuya finalidad es comprobar el cumplimiento total de las normas y evitar inconvenientes (Holguin & Gomez , 2010).
- ✓ **Clase B:** el nivel de exigencia en la medida es menor, es mayormente utilizado para realizar una auditoría de la calidad de energía eléctrica en una instalación (Holguin & Gomez , 2010).

A continuación, se muestra una tabla con las diferentes funciones y exigencias que debe cumplir el analizador de potencia trifásica MI 2892 clase A:

Tabla 9. Límites permisibles en las funciones del analizador de redes MI 2892

| Funciones | Rango de medición | Precisión |
|--|--|--|
| Potencia (P, Q, S, $\cos\phi$, FP...) | Depende de la tensión y las pinzas seleccionadas | IEC 61557-12 clase 1 |
| Energía | Depende de la tensión y las pinzas seleccionadas | Activo: IEC 62053-21 clase 1 Reactivo: IEC 62053-23 clase 2 |
| Armónicos (DC ÷ 50th) | 0 ÷ 20% de tensión nominal | IEC 61000-4-7 clase 1 |
| Interarmónicos (1 ÷ 50th) | 0 ÷ 20% de tensión nominal | IEC 61000-4-7 clase 1 |
| <i>Flicker</i> | 0.2 ÷ 10 | IEC 61000-4-15 clase F3 |
| Señalizaciones de la red | 0 ÷ 15 de tensión nominal | IEC 61000-4-30 clase A |
| Desequilibrio | Tensión: 0 ÷ 5% Corriente: 0 ÷ 17% | |
| Temperatura | -10 ÷ 85 °C | ± 0.5 °C |
| Subidas, caídas de tensión | 10 ÷ 150% de tensión nominal | ± 0.2% de tensión nominal ± 1 ciclo |
| Interrupciones | 0 ÷ 10% de tensión nominal | ± 1 ciclo |

Fuente: Metrel (2017)

Las medidas de fluctuaciones de tensión se deben medir sobre un ciclo completo de la señal, y actualizar cada medio ciclo. No obstante, para la evaluación de su medida se deben

promediar los resultados obtenidos a nivel de ciclo durante un tiempo superior y se proponen cuatro intervalos de agregación:

Ventana base de observación (200ms): se agregan 10 ciclos para 50 Hz y 12 ciclos para 60 Hz.

$$U_{rms_200ms} = \sqrt{\frac{1}{200\ ms} \int_{200\ ms} u^2(t) dt}$$

Intervalos muy cortos (3s): se agregan 15 ventanas base.

$$U_{rms_3s} = \sqrt{\frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} U_{rms_200ms}^2}$$

Intervalos cortos (10 minutos): se agregan 200 intervalos muy cortos

$$U_{rms_10min} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} U_{rms_3s}^2}$$

Intervalos largos (2 horas): se agregan 12 intervalos cortos

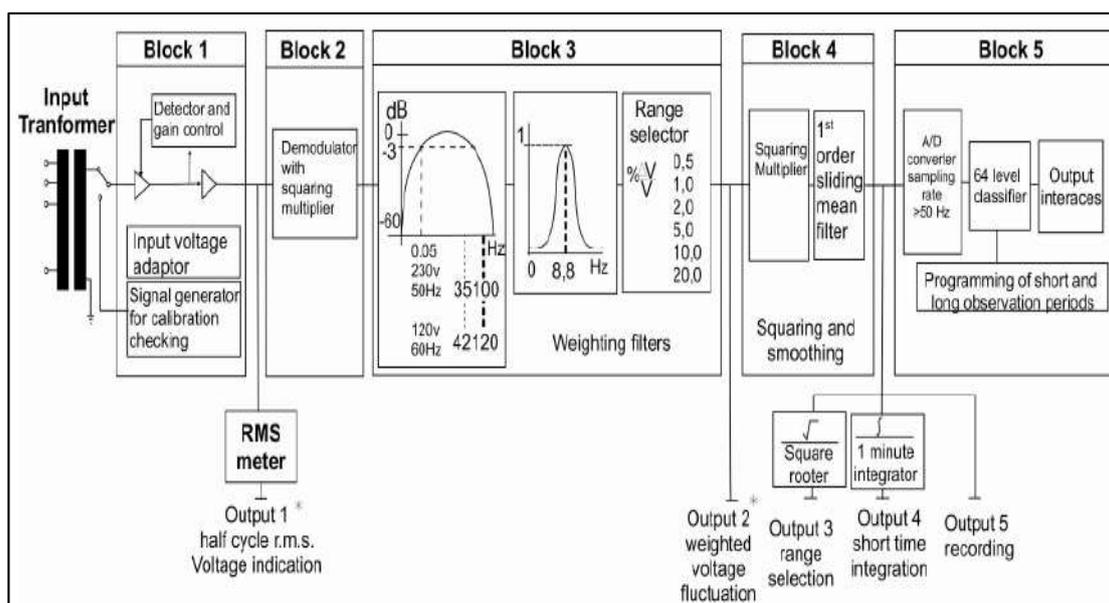
$$U_{rms_2h} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} U_{rms_10min}^2}$$

(Usunáriz, 1999, p. 9).

2.1.2.1 Norma IEC-61000-4-15. Es un apartado de la norma IEC- 61000 Compatibilidad Electromagnética Parte 4-15: Técnicas de ensayo y de medida, donde se establecen las condiciones de diseño y exigencias para el funcionamiento de los instrumentos medidores de *flicker* digitales para todas las formas de onda de fluctuaciones de tensión (con entradas de 120 V y 230 V, a 50 Hz y 60 Hz, respectivamente).

Implica simular el fenómeno de parpadeo en las luminarias, para cuantificarlo dependiendo de la sensibilidad y capacidad de reacción que afecta a cada observador de manera diferente. Consta de 5 bloques resumidos en: adaptador de tensión de entrada, multiplicador de elevación al cuadrado, filtros de ponderación, elevación al cuadrado -alisado y análisis estadístico en tiempo real; su objetivo es caracterizar el índice de severidad de parpadeo para controlar su probabilidad de ocurrencia en la red eléctrica (UNE - EN 61000-4-15, 2012).

Figura 21. Diagrama funcional del medidor de *flicker* de la IEC-61000-4-15



Fuente: UNE - EN 61000-4-15 (2012)

2.2 Según los límites permitidos de *flicker*

Se establecen los límites de su propagación, a usuarios conectados mediante líneas propias o de terceros, diferentes a las instalaciones que brinda la empresa distribuidora.

Tabla 10. Límites y valores permitidos de *flicker* para una red eléctrica

| Indicador | Límites aceptables de <i>flicker</i> | Niveles de compatibilidad para planificación | |
|-----------|--------------------------------------|--|------|
| | BT | MT | AT |
| P_{ST} | 1 | 1 | 0.79 |
| P_{LT} | 0.74 | 0.74 | 0.58 |

Fuente: Enríquez Harper (2009)

2.2.1 Norma Técnica de la Calidad de Servicios Eléctricos (1997-10-11)

Es la norma vigente en el Perú, para establecer los valores límites tolerables de perturbaciones en la red eléctrica, que garantizan una buena calidad del servicio, incluyen el alumbrado público y las obligaciones de las empresas distribuidoras de electricidad junto con

los usuarios que operan bajo el régimen de la Ley de Concesiones Eléctricas (Decreto Ley N° 25844) reguladas por OSINERGMIN.

Se manifiesta en los siguientes aspectos:

- ✓ **Calidad del producto:** evaluar tensión, frecuencia y perturbaciones (*flicker* y armónicas).
- ✓ **Calidad de suministro:** interrupciones.
- ✓ **Calidad de servicio comercial:** trato al cliente, medios de atención y precisión de medida.
- ✓ **Calidad de alumbrado:** deficiencias del alumbrado.

El *flicker* se mide en el voltaje de puntos de acoplamiento común del sistema eléctrico o puntos indicados por la NTCSE. La norma indica que el índice de severidad de parpadeo a corto plazo deber ser menor que la unidad ($P_{ST} \leq 1$) en AT, MT y BT, pues se considera el límite " $P_{ST} = 1$ " como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia percibida por una cantidad de personas específicas, sin causar incomodidad visual.

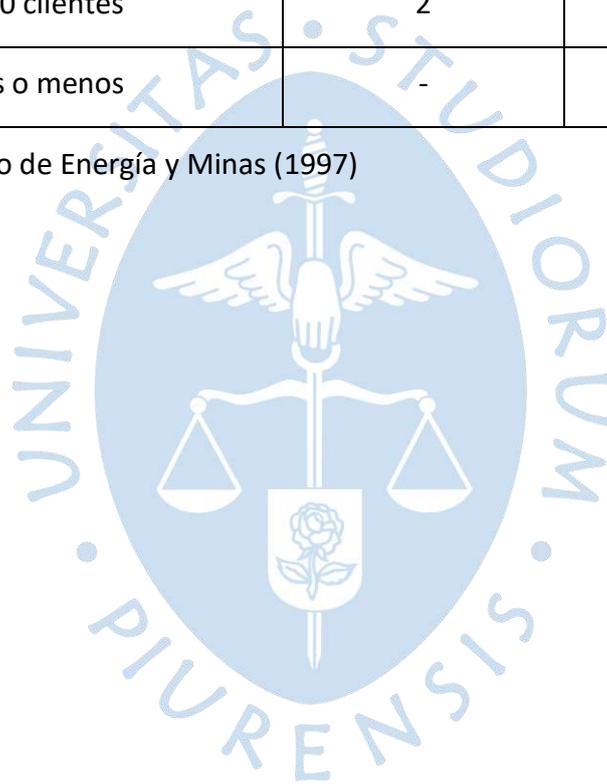
El control se desarrolla por medio de mediciones y registros realizados con equipos estrictamente certificados y cuyas especificaciones técnicas hayan sido validadas por el ente regulador; como es el caso del analizador de potencia trifásica MI 2892 homologado por OSINERGMIN. La muestra mensual debe asegurar al menos el siguiente número de lecturas válidas.

- ✓ En 1 por cada 50 puntos de entrega a clientes con suministros de muy alta, alta y media tensión.
- ✓ En el caso de tener una muestra significativa del número de barras de salida en BT de subestaciones de BT/MT se debe considerar lo siguiente:

Tabla 11. Control de puntos de medición según la cantidad de clientes en BT

| Clientes en baja tensión por suministrador | Número de puntos de medición registrados mensualmente | |
|---|--|-----------|
| | <i>Flicker</i> | Armónicas |
| Con más de 500,000 clientes | 18 | 18 |
| Con 100,001 a 500,000 clientes | 9 | 9 |
| Con 10,001 a 100,000 clientes | 5 | 5 |
| Con 501 a 10,000 clientes | 2 | 2 |
| Con 500 clientes o menos | - | - |

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (1997)





Capítulo 3

Causas y efectos del flicker

3.1 Equipos productores de flicker en la industria

Hoy en día, debido a la automatización industrial el consumo de electricidad en cualquier tipo de industria (por ejemplo: siderúrgica, petroquímica, alimentaria, textil, farmacéutica, informática, mecánica, etc.) depende directamente, de las máquinas eléctricas que intervienen en los procesos de fabricación para la elaboración de sus productos.

De esta manera, surge la electrónica de potencia; no obstante, representan cargas no lineales, que distorsionan la señal de una onda de tensión debido al consumo periódico inestable de corriente produciendo fluctuaciones de tensión relacionadas con el flicker.

En la figura 22 se observa la distorsión una onda de tensión producida por corrientes armónicas.

Figura 22. Degradación de la tensión de la red eléctrica, debido a cargas no lineales generadoras de armónicos (HGL, *harmonic generator load*)

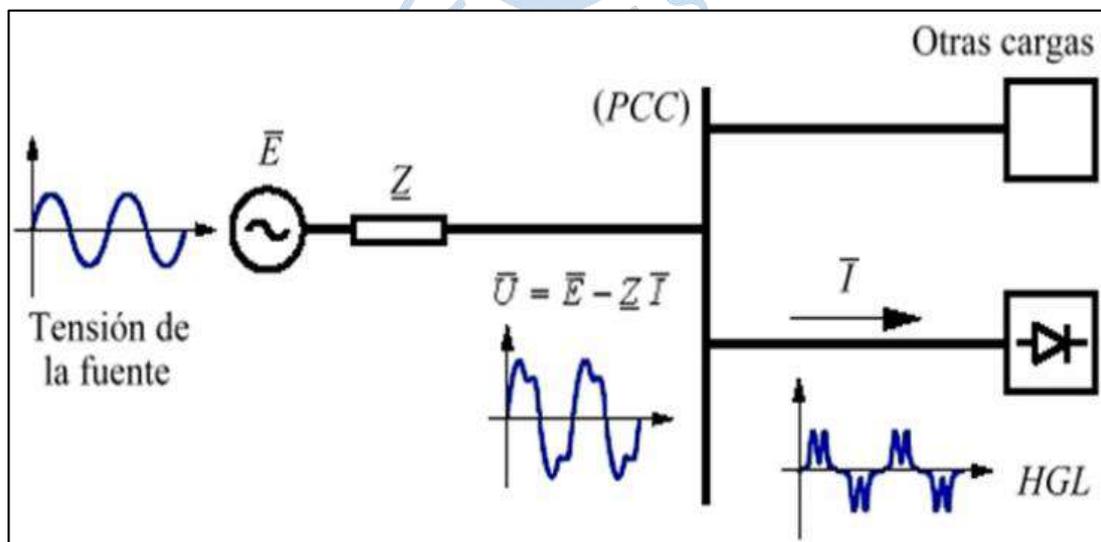
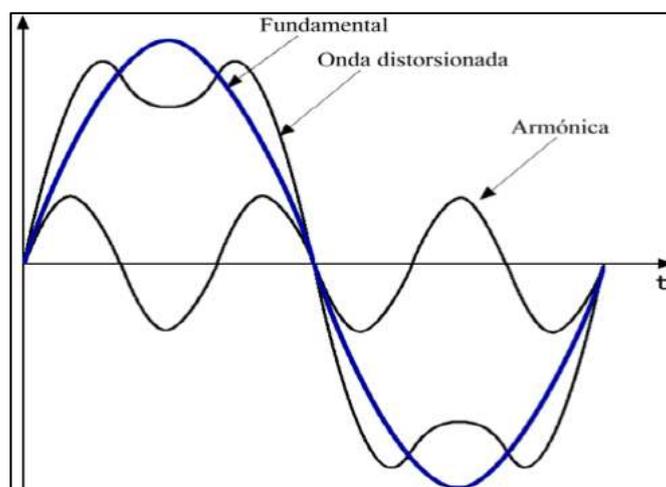


Figura 23. Frecuencia fundamental y armónica de una señal de onda distorsionada

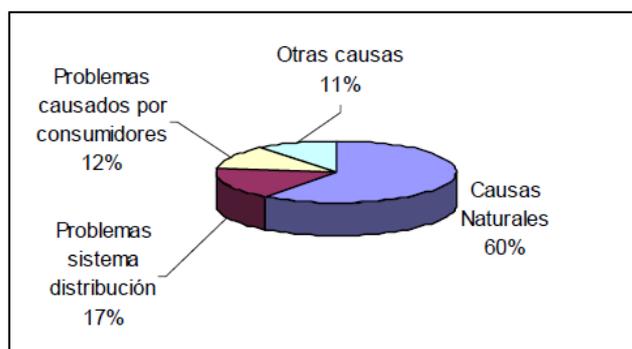


La industria siderúrgica, es la principal fuente productora de fluctuaciones de tensión y armónicos en las redes eléctricas de transmisión y distribución a nivel mundial. En el Perú, se encuentran Aceros Arequipa S.A y la Empresa Siderúrgica del Perú S.A.A (SIDERPERU), las cuales anualmente producen 850,000 y 750, 000 toneladas de acero líquido, respectivamente (Banco Wiese Sudameris, 2002).

Aquellas compañías emplean hornos de arco eléctrico para el proceso de fundición de la chatarra, por lo tanto, generan disturbios eléctricos, que distorsionan considerablemente la calidad de la onda de tensión de la red de distribución local y se propagan rápidamente hacia las barras de subestaciones cercanas al punto de acoplamiento común (Banco Wiese Sudameris, 2002).

Los resultados de una encuesta elaborada por la IEEE sobre las causas que generan perturbaciones en la calidad de suministro son los siguientes:

Figura 24. Resultados de la encuesta IEEE
Causas en la calidad de Suministro Eléctrico



Fuente: Llanos (2003)

Los equipos más utilizados en la industria, cuya relación de consumo entre corriente y voltaje es prácticamente impredecible por sus condiciones de operación, se mencionan a continuación:

3.1.1 Hornos de arco eléctrico

Es un recipiente alargado con forma cilíndrica, compuesto de una plancha gruesa recubierta al interior por un material refractario para almacenar el líquido fundido y la escoria, además por el exterior, sus paredes cuentan con paneles refrigerados por agua y electrodos de grafito. Su principio de funcionamiento es generar un arco eléctrico entre los electrodos para fundir la chatarra y producir de esta manera acero industrial de alto grado, utilizado para fabricar varillas de construcción, láminas de acero inoxidable, perfiles de acero, etc. (Fernando, 2006).

Su influencia en la generación del *flicker* radica en el consumo inestable de la potencia reactiva, pues utiliza alto amperaje (60 kA) y bajo voltaje (1200 V), y a medida que se consumen los electrodos el transformador va cambiando las condiciones del suministro eléctrico en función a la fase de operación del horno; es decir, representan cargas rápidamente fluctuantes.

Por esta razón, la manera de calcularlo es analizando su índice de severidad P_{ST} conforme lo establece la siguiente fórmula empírica:

$$P_{ST} = K_{ST} \frac{S_{ccf}}{S_{ccn}} \cdot \frac{1}{R_{svc}} \cdot \frac{CHT}{BT}$$

Donde:

K_{ST} = *coeficiente experimental cuyo valor se encuentra entre 45 y 85 con un valor medio igual a 61 y un valor aconsejable de 75*

S_{ccf} = *potencia de cortocircuito del horno eléctrico con los electrodos dentro dentro del baño*

S_{ccn} = *potencia de cortocircuito de la red de alimentación en el punto común de conexión*

R_{svc} = *factor de reducción que aporta un compensador estático de potencia reactiva*

$\frac{CHT}{BT}$ = *coeficiente de atenuación para la atenuación del flicker de la red de alta tensión a la red de baja tensión (su valor se encuentra entre 0.5 y 1)*

(Enríquez Harper, 2009, p. 112).

Figura 25. Horno de arco eléctrico

Fuente: Láminas y aceros (2020)

3.1.2 Máquinas de soldadura

Pueden ser del tipo transformador AC (generan un cordón de soldadura inestable y limitan el uso de electrodos) o de transformador/rectificador AC/ DC (generan un cordón de soldadura de mejor calidad y tienen la posibilidad de utilizar varios tipos de electrodos), pues deben producir una descarga eléctrica a partir de un amperaje alto para realizar una soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (Vallejo, 2018).

Asimismo, cuentan con una pinza porta electrodo (conectado directamente al bobinado), una pinza de masa (conectado a la pieza a soldar), cables de conexión y la perilla selectora de amperaje. Su principio de funcionamiento es generar un arco eléctrico entre el electrodo y un metal a soldar, con el objetivo de fundir ambos materiales formando una unión fija y resistente, cuando la soldadura se enfríe. Generalmente se utiliza en la fabricación de estructuras metálicas, máquinas herramientas de manufactura, etc. (Vallejo, 2018).

Su influencia en la generación de *flicker* radica en el consumo inestable de la potencia reactiva, pues utiliza un alto amperaje dependiendo de las características del electrodo del electrodo (37A - 300A) y un bajo voltaje (47V - 70V); es decir, representan cargas rápidamente fluctuantes. Por consiguiente, una forma de medirlo es calcular su índice de severidad P_{ST} por la siguiente fórmula:

$$\Delta V/V_N = \left(S_{m\acute{a}x}/V^2 \right) \cdot (R \cos\varphi + X \sen\varphi)$$

Donde:

ΔV = caída de tensión en el punto de conexión

V_N = tensión nominal

$S_{m\acute{a}x}$ = potencia máxima de soldadura

$R + jX = \text{impedancia de la red en el punto de conexión}$

$\cos\phi = \text{factor de potencia del equipo de soldadura}$

(Enríquez Harper, 2009, p. 107).

Figura 26. Máquina de soldar KD DC31T



Fuente: Pilman Maquinaria (2020)

3.1.3 Arranque y parada de motores con cargas variables

Se encuentran compuestos por el estator (parte fija) en donde se coloca un bobinado de cobre, y el rotor (parte móvil) con un eje acoplado. Su principio de funcionamiento es convertir la energía eléctrica tomada de la red en energía mecánica, pues al inducir corriente en el bobinado se produce un campo magnético que hace girar al rotor. Se utiliza principalmente para diferentes aplicaciones en la industria como: trenes de laminación, compresores, bombas centrífugas industriales, mezcladora, etc.

Influyen en la producción de *flicker* por el consumo inestable de potencia reactiva; pues entre 10 HP y 100 HP, presentan un consumo elevado de corriente (16A-138A) y un voltaje bajo (380V).

Agregando, en la mayoría de tipos de motores se cumple que el torque es proporcional al cuadrado de su velocidad, entonces la corriente de arranque es demasiado elevada, para motores de gran potencia operando en simultáneo con cargas variables, por esta razón ocasionan una caída de tensión disminuyendo la frecuencia de la red eléctrica. En caso contrario, la parada de dichos motores, genera una desconexión brusca de la carga aumentando la frecuencia de la red eléctrica, produciendo fluctuaciones de tensión (Schneider Electric, 2020).

Figura 27. Motores eléctricos conectados en simultáneo



Fuente: *Motor Direct* (2018)

3.1.4 Ventiladores de mina

Constan de uno o más rodetes (dependiendo del número de etapas presentes en la máquina) instalados al interior de una carcasa cilíndrica y accionados por un motor eléctrico. Su principio de funcionamiento es generar la diferencia de presión del flujo de aire por medio de la energía mecánica suministrada al rodete, para forzar el ingreso de aire fresco y extraer el aire contaminado en lugares de trabajo, donde se lleva a cabo actividades mineras.

Posee una influencia directa en originar el *flicker* debido al consumo inestable de la potencia reactiva del motor con servicio de variaciones de carga y velocidad no periódicas. Se encuentran entre 2300 HP y 3000 HP, presentan consumos elevados de corriente (365A) y un voltaje bajo (380V). La resistencia del aire, dependiendo de la zona geográfica, requiere un mayor torque lo cual significa un aumento de corriente y variación de voltaje (Campillos Prieto, 2015).

Figura 28. Ventilador de mina



Fuente: *Pauls Fan Company* (2018)

3.1.5 Compresores industriales

Estos poseen en su interior al rodete, el cual es accionado por un motor eléctrico. La forma depende del tipo de compresor a utilizar, para un determinado proceso en la industria. Además, pueden trabajar en una o más etapas según la presión de salida requerida. Su principio de funcionamiento es aumentar la presión del fluido gas para elevar su temperatura y capacidad de movimiento. Generalmente se utilizan en los sistemas de refrigeración industrial, para comprimir los gases refrigerantes en diferentes aplicaciones como: plantas de hielo, industria cárnica, industria pesquera, industria hortofrutícola, etc. (Ochoa Galindo, 2008).

Por otra parte, se utilizan compresores de aire para diferentes aplicaciones en la industria: automotriz, petroquímica, textil, farmacéutica, etc.

Su influencia en la producción de *flicker* se debe al consumo de potencia inestable del motor con servicio intermitente, pueden ser entre 10 HP y 100 HP, cuyo consumo de corriente es elevado (16A - 138A) y un voltaje bajo (380V). En la mayoría de casos, el uso del compresor es irregular y depende del proceso de fabricación (Valarezo Ortiz, 2002).

Figura 29. Compresor de amoníaco para sistemas de refrigeración



Fuente: Depositphotos (2016)

3.1.6 Molinos trituradores industriales

Están conformados por una tolva de alimentación para ingresar el material a triturar; una cámara de molienda (donde se encuentra el rotor portacuchillas y el estator con otras cuchillas para producir el corte del material), el tamiz (define la granulometría de salida) y finalmente tiene una tolva de descarga para salida del material molido.

Su principio de funcionamiento es proporcionar la energía mecánica suficiente al rotor accionado por el motor, para que sea posible mover la cuchilla y generar el corte del material.

La mayoría tiene su aplicación en la industria para triturar metales, plásticos, papel, madera, caña de azúcar, etc. Estas máquinas pueden ocasionar *flicker* debido al consumo de potencia reactiva inestable causada por el motor cuyo servicio es ininterrumpido, pues depende de las características del material a triturar, para garantizar el torque mecánico necesario en la molienda. Entonces, representan cargas rápidamente fluctuantes por sus variaciones de corriente y voltaje impredecibles (Gaitán Hernández, 2018).

Figura 30. Molino triturador de chatarra reciclada



Fuente: Uma Shankar Engineering (2020)

3.1.7 Lámparas de descarga

Conformadas por un tubo de descarga, gas, electrodos y casquillo. Estos dispositivos reemplazaron a las lámparas incandescentes, dado que producen luz de manera más eficiente y económica; no obstante, el uso masivo de estos dispositivos causa el efecto *flicker* en los sistemas de iluminación porque tienen un consumo excesivo de voltaje y una corriente de trabajo inestable.

Para su funcionamiento emplea un balastro que suministra la tensión y corriente adecuada de arranque para iniciar la descarga eléctrica, entre dos electrodos situados al interior de un tubo fluorescente lleno de gas ionizado (vapor de mercurio o vapor de sodio) con el objetivo de lograr la radiación electromagnética, originada por la energía liberada de sus átomos.

En la actualidad constituyen la fuente de iluminación más utilizada en la industria y en el hogar, pero se están volviendo obsoletas ya que producen corrientes armónicas y en su interior contienen un gas tóxico dañino para la salud (García Fernandez, 2020).

Figura 31. Alumbrado interno de una cámara de refrigeración industrial



3.2 Consecuencias del *flicker* en la red eléctrica

Este disturbio se manifiesta en la red eléctrica de manera impredecible, pues depende de muchos factores, en ciertas ocasiones algunos equipos eléctricos funcionan de manera correcta supuestamente, pero a veces ocultan daños irremediables (por ejemplo: si una lámpara fluorescente se sobrealimenta el 10% de la tensión nominal sigue iluminando y se puede o no apreciar el parpadeo, dependiendo de la sensibilidad del observador, incluso puede afectar su vida útil).

3.2.1 Efectos en la visión humana

El parpadeo de la luz, conocido como efecto estroboscópico se encuentra en todo tipo de fuente de luz artificial, aunque muchas veces nuestra vista no los puede distinguir existen casos donde es posible percibirlos debido a la variación de la frecuencia. Un estudio realizado demostró que las variaciones de 3-70 Hz pueden producir ataques de epilepsia fotosensible y variaciones de 165 Hz pueden producir dolores de cabeza, agotamiento, estrés, falla en la visión, falta de concentración, etc. (Lamparadirecta.es, 2020).

Se ha demostrado que el ser humano puede percibir parpadeos con frecuencias hasta 200 Hz, pero sus consecuencias dependen de la sensibilidad de cada persona. En el caso de las bombillas incandescentes y fluorescentes que se alimentan directamente de la red a 60 Hz pueden presentar parpadeos al doble de la frecuencia de la red 120 Hz, este valor determina un factor de riesgo ergonómico.

3.2.2 Efectos en los dispositivos alimentados por la red eléctrica

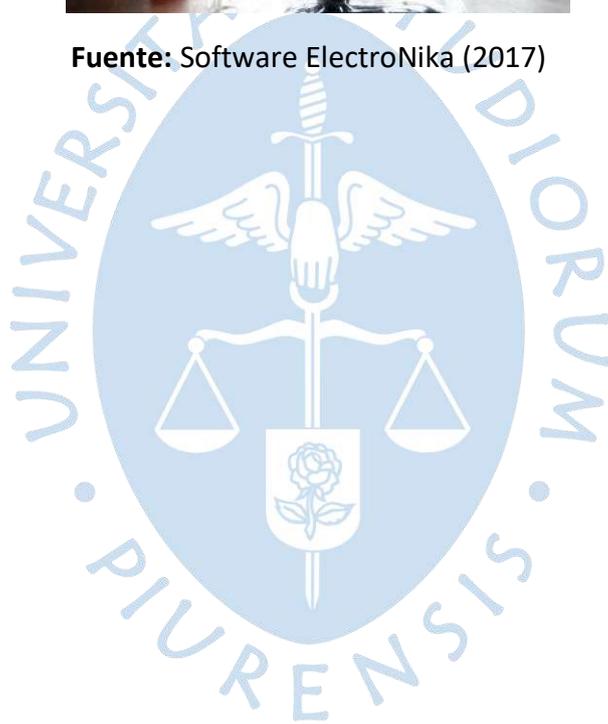
Una mala calidad de la energía suministrada a la red eléctrica de distribución influye en el desempeño de los equipos conectados a la misma. Generalmente se manifiesta con el reinicio o apagado de computadoras, interferencia de imágenes en pantallas de televisores y equipos electrónicos sensibles, desgaste prematuro de dispositivos electrónicos, operación incorrecta de equipos automatizados, reducción de la eficiencia eléctrica del sistema

ocasionando un sobrecalentamiento de transformadores o maquinaria rotativa, problemas de compensación de energía reactiva, etc.

Figura 32. Parpadeo en los monitores de las computadoras



Fuente: Software ElectroNika (2017)



Capítulo 4

Estudio del efecto *flicker*: Caso aplicado a la heladería El Chalán S.A.C.

Durante las pruebas de campo realizadas, en la fase inicial del proyecto, se evidenció el parpadeo de los sistemas de iluminación en el área de procesos dentro de la empresa. Esta falla fue reportada por el responsable del área de mantenimiento, y por esta razón el estudio planteado busca evaluar el efecto *flicker*, tanto, antes y después de la instalación de un SFCR. Asimismo se ejecuta un análisis en la pasteurizadora como fuente productora de *flicker*.

En la figura 33, se observa la sala de recepción de frutas donde se realiza el lavado y desinfección, para después realizar el proceso de selección.

Figura 33. Sala de recepción de frutas



En la figura 34, se observa la sala de pulpeo y cocción donde se extrae el zumo de las frutas.

Figura 34. Sala de pulpeo y cocción



En la figura 35, se observa el proceso de la mezcla de leche en polvo, azúcar, suero en polvo y mantequilla para elaboración de helado.

Figura 35. Mezcla para elaboración de helado



En la figura 36, se observa la sala de procesos con las máquinas productoras de helados verticales y horizontales.

Figura 36. Sala de procesos



En la figura 37, se observa el proceso de maduración del helado en las pasteurizadoras.

Figura 37. Pasteurizadora industrial



En la figura 38, se observan las cámaras frigoríficas donde se almacenan los helados y cremoladas como producto terminado, listo para su consumo.

Figura 38. Cámaras frigoríficas



4.1 Evaluación en el SED - ENOSA 16165450

En octubre de 2019, se realizó el análisis de la calidad de energía eléctrica en la empresa industrial El Chalán S.A.C. con la finalidad de obtener un registro de la forma de onda de tensión, en el punto de entrega al usuario. Se utilizó el analizador de redes MI 2892 *Power Master* para identificar principalmente la presencia de *flicker* en tiempo real, según el periodo de muestreo. Es importante mencionar que la producción de helados durante esta estación del año es moderada, según indica el supervisor de producción.

Figura 39. Propiedades del Registro. Prueba 1

| Propiedades del registro |
|---|
| Perfil: Estándar |
| Hora de inicio: 1/10/2019 15:45:00.000 |
| Hora de parada: 10/10/2019 16:20:00.000 |
| Duración: 9 d 0 h 35 m 0 s |
| Número de intervalos: 2599 |
| Duración de los intervalos: 5 m 0 s |
| Causa de parada: Parada manual |
| Nombre del archivo: R0015GEN.REC |
| Sincronización de reloj: RTC |
| Versión del archivo: 18 |

4.1.1 Objetivos

Comprobar la presencia de *flicker* P_{ST} y P_{LT} en la fábrica de helados, antes de implementar el SFCR, ubicar los equipos productores de *flicker* y los equipos sensibles al *flicker* dentro de sus instalaciones.

4.1.2 Inspección de las instalaciones y equipos

En esta oportunidad se realizó un recorrido por sus instalaciones, corroborando su diagrama unifilar para determinar las principales cargas conectadas al tablero de distribución general (es donde se ubican las barras de cobre, los dispositivos de protección y maniobra de los alimentadores, que permiten operar sobre toda la instalación o de manera fraccionada), y posteriormente reconocer los dispositivos, productores y sensibles, al parpadeo.

Tabla 12. Equipos productores de *flicker*

| Principales cargas productoras de <i>flicker</i> |
|---|
| Planta procesadora de agua |
| Pasteurizadoras |
| Productoras de helados - horizontales (maduradoras) |
| Productoras de helados - verticales (maduradoras) |
| Congeladoras de endurecimiento de helados y de pulpeo |

| |
|---|
| Cámaras frigoríficas |
| Torre de enfriamiento |
| Productoras de cremoladas – horizontales (granizadoras) |
| Productoras de cremoladas – verticales (granizadoras) |
| Licadoras industriales |
| Amasadora industrial |
| Sistemas de aire acondicionado |

Tabla 13. Equipos sensibles al *flicker*

| Dispositivos sensibles al <i>flicker</i> |
|--|
| Sistemas de iluminación (fluorescentes) |
| Circuito Cerrado de Televisión (cámaras de seguridad) |
| Luces de emergencia |
| Pantallas de computadoras |
| Transformador |

La mayoría de equipos productores de *flicker* son cargas de tipo inductivas por el uso de motores eléctricos. Estos consumen energía reactiva y generan una deficiencia en el consumo de potencia activa ocasionando fluctuaciones de voltaje, por el incremento repentino en la corriente de carga.

A continuación, se muestra la evidencia fotográfica de las instalaciones dentro de la empresa:

Figura 40. Tableros de eléctricos de distribución en la Heladería El Chalán S.A.C.



4.1.3 MI2892 Power Master: instalación, monitorización y recogida de datos

Este instrumento permite realizar un diagnóstico de la red según la norma IEC-61000-4-30 (Clase A), donde el tiempo mínimo de evaluación para garantizar resultados confiables son 7 días continuos, independientemente del intervalo de duración escogido para almacenar los datos.

En relación a su instalación, es de manera rápida y sencilla, pues consiste en conectar las pinzas amperimétricas a la entrada de cada una de las fases R, S, T y GND para medir problemas en la red aguas abajo.

Figura 41. Instalación del MI2892 *Power Master* en SED-ENOSA



Figura 42. Parámetros de medición en Prueba 1 - Registro instantáneo de forma de onda



La observación de resultados, se realizó en el software Metrel *Power View v3*, pues su interfaz interactiva permite estudiar otros parámetros eléctricos y perturbaciones en la red eléctrica.

Figura 43. Interfaz del software Metrel *Power View v3*

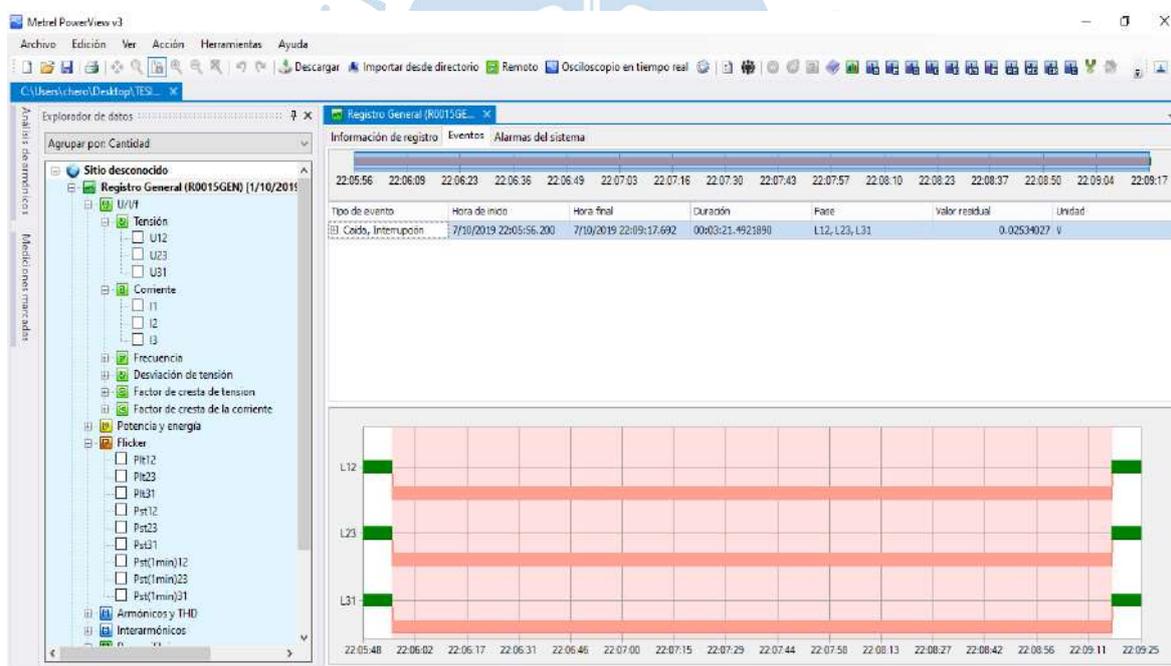


Figura 44. Data de los valores de fase Prueba 1

| | | Valores de fase | | | Total | Unidad |
|---------|--------------------------|-----------------|--------|--------|-------|--------|
| Símbolo | Nombre | L12 | L23 | L31 | | |
| I | Corriente | 21.385 | 30.059 | 26.555 | --- | A |
| THD I | THD de corriente | 6.2526 | 8.8685 | 8.5052 | --- | % |
| THD I | THD de corriente | 1.3342 | 2.6551 | 2.2503 | --- | A |
| CFI | Factor de cresta de l... | 1.3808 | 1.4204 | 1.6970 | --- | |
| T | Temperatura | --- | --- | --- | --- | °C |

Figura 45. Data de los valores de línea Prueba 1

| Valores de línea | | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|--------|--------|--------|-----|-------|--------|--|
| Símbolo | Nombre | L12 | L23 | L31 | | Total | Unidad | |
| U | Tensión | 237.83 | 237.13 | 235.84 | --- | --- | V | |
| f | Frecuencia | 59.880 | --- | --- | --- | --- | Hz | |
| THD U | THD de tensión | 5.6634 | 6.6473 | 6.2334 | --- | --- | V | |
| THD U | THD de tensión | 2.3822 | 2.8042 | 2.6439 | --- | --- | % | |
| CFu | Factor de cresta de ... | 1.4476 | 1.4505 | 1.4599 | --- | --- | | |
| Plt | Flicker PLT | --- | --- | --- | --- | --- | | |
| Pst | Flicker PST | --- | --- | --- | --- | --- | | |
| Pst(1min) | Flicker PST 1min | --- | --- | --- | --- | --- | | |
| Umin1/2 | Tensión RMS min de ... | 131.26 | 235.69 | 233.98 | --- | --- | V | |
| Umax1/2 | Tensión RMS max de ... | 238.61 | 258.07 | 248.28 | --- | --- | V | |
| UpicoRms | Pico max de tensión ... | 344.28 | 343.94 | 344.30 | --- | --- | V | |

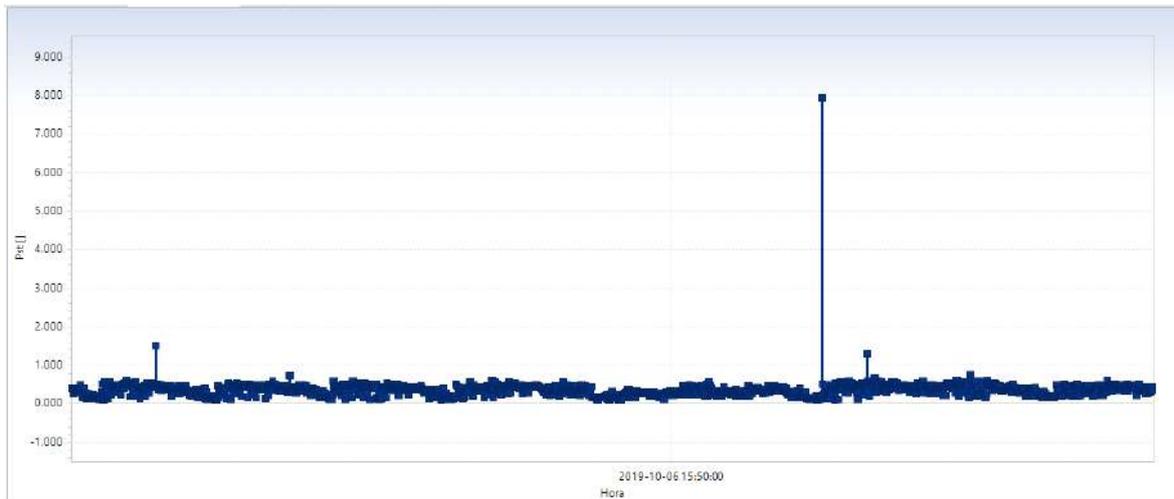
Figura 46. Data de medidas de potencia según IEEE 1459 Prueba 1 - Registro instantáneo de forma de onda

| Medidas de potencia según IEEE 1459 | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|--------|--------|--|
| Símbolo | Nombre | L12 | L23 | L31 | | Total | Unidad | |
| Combinados | | | | | | | | |
| P | Potencia activa | --- | --- | --- | --- | 9.3413 | kW | |
| N | Potencia reactiva | --- | --- | --- | --- | 5.0436 | kvar | |
| S / Se | Potencia aparente d... | --- | --- | --- | --- | 10.769 | kVA | |
| PF | Factor de potencia p... | --- | --- | --- | --- | 0.8674 | | |
| Qfund / Q+ | Potencia reactiva fu... | --- | --- | --- | --- | 5.1172 | kvar | |
| Sfund / S+ | Potencia aparente f... | --- | --- | --- | --- | 10.501 | kVA | |
| Sufund | Potencia aparente f... | --- | --- | --- | --- | 2.1992 | kVA | |
| DPF / DPF+ | Desplazamiento de f... | --- | --- | --- | --- | 0.8732 | | |
| LU | Desequilibrio de cargas | --- | --- | --- | --- | 20.943 | % | |
| Fundamental | | | | | | | | |
| Pfund / P+ | Potencia activa fund... | --- | --- | --- | --- | 9.1694 | kW | |
| No fundamental | | | | | | | | |
| SN | Potencia aparente n... | --- | --- | --- | --- | 0.9374 | kVA | |
| Di | Distorsión de corrien... | --- | --- | --- | --- | 0.8954 | kvar | |
| Dv | Potencia no activa p... | --- | --- | --- | --- | 0.2777 | kvar | |
| SH | Potencia armónica a... | --- | --- | --- | --- | 0.0232 | kVA | |
| DH | Potencia no activa p... | --- | --- | --- | --- | 0.0000 | kvar | |
| PH | Potencia activa armó... | --- | --- | --- | --- | 0.1619 | kW | |
| HP | Polución armónica | --- | --- | --- | --- | 8.7379 | % | |

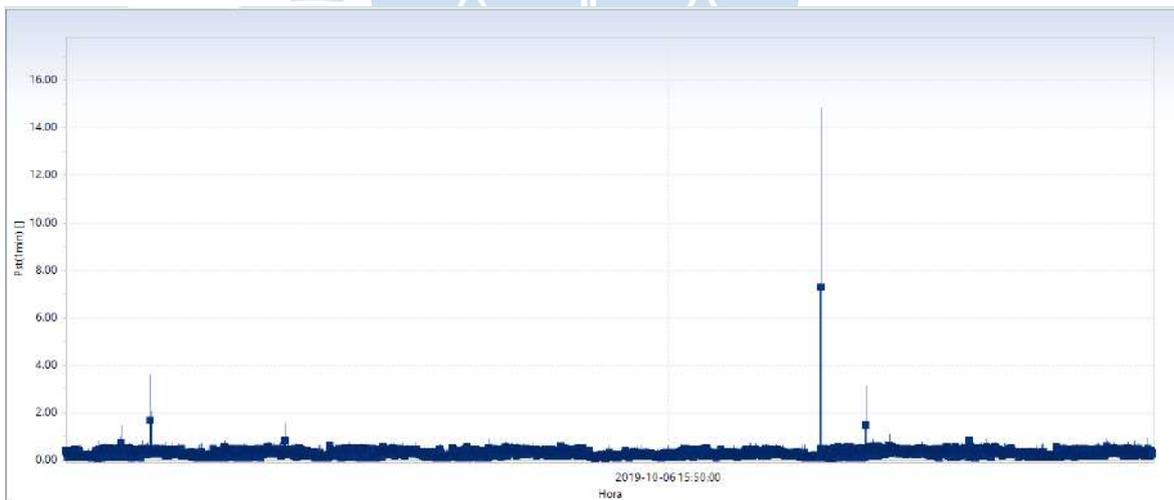
4.1.4 Análisis de resultados

4.1.4.1 Flicker P_{ST} . Durante el recorrido de la fábrica fue evidente un parpadeo del sistema de iluminación dentro de la sala de procesos, por lo tanto, los valores obtenidos en la evaluación realizada al SED-ENOSA 16165450 concuerdan con la realidad.

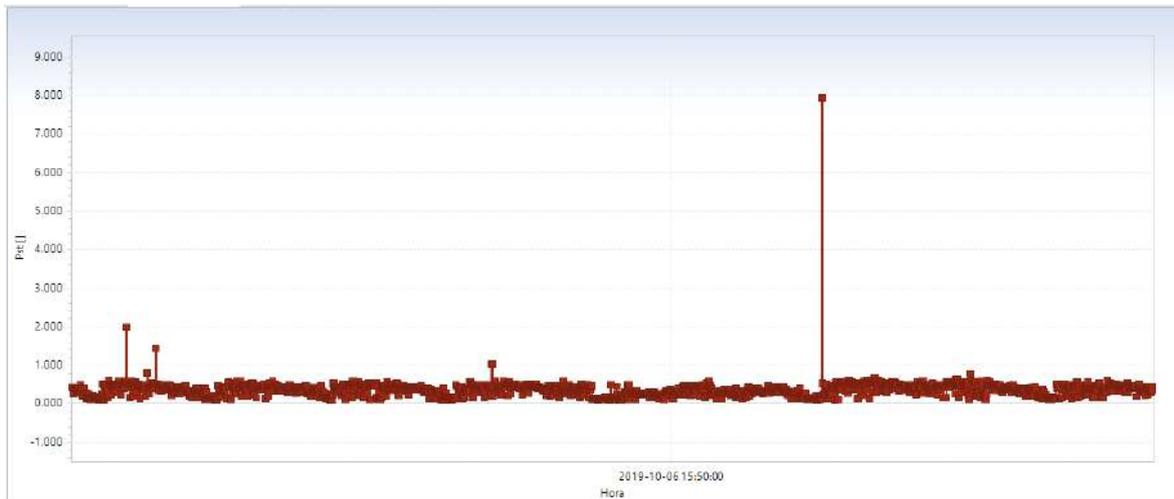
Una de las principales causas, estuvo comprendida por la simultaneidad de cargas o encendido frecuente de motores eléctricos con cargas variables, además los resultados coinciden con la hora del proceso de cocción y pasteurización, ya que luego se vierte la mezcla homogénea a una máquina procesadora de helados (madurador) y finalmente se almacena en los congeladores o cámaras frigoríficas. Por otra parte, no existe una correcta distribución de las cargas dentro de la empresa, pues las máquinas y los sistemas de iluminación están en un mismo circuito, es por ello que se evidencia un desequilibrio de corrientes en función de las cargas conectadas.

Figura 47. P_{ST} Línea 12 (SED-ENOSA)

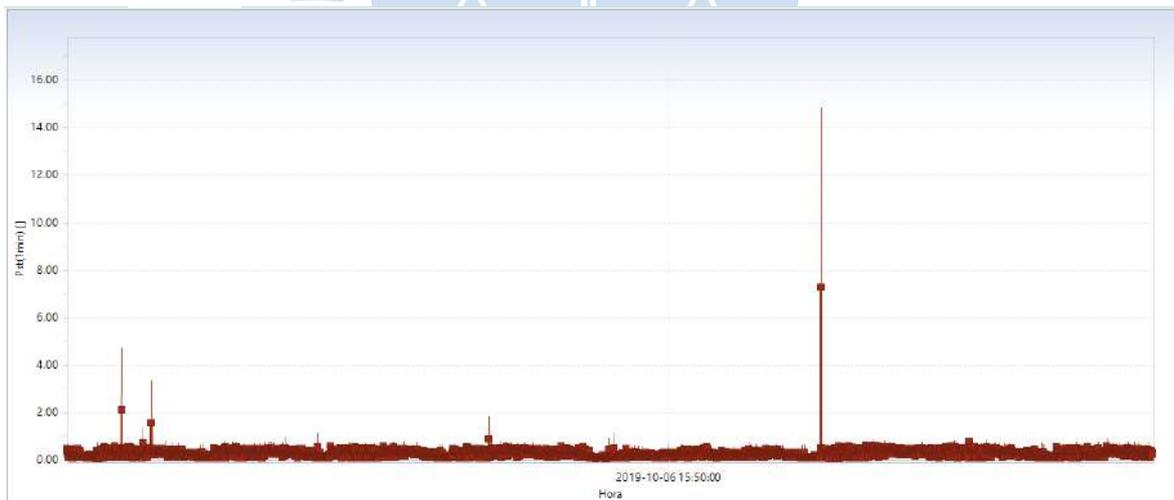
En la figura 47 se observa un $P_{ST} = 1.49$ el día 02/10/19 a las 08:45 A.M. dicho valor excede lo permitido. Además, el día 07/10/19 se registró un $P_{ST} = 7.93$ a las 22:10 P.M. Por último, el día 08/10/19 se registró un $P_{ST} = 1.29$ a las 07: 10 A.M; sin embargo, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{ST} < 1$.

Figura 48. P_{ST} (1 min) Línea 12 (SED - ENOSA)

En la figura 48 se observa un $P_{ST} = 1.65$ el día 02/10/19 a las 08:40 A.M. dicho valor excede lo permitido. También el día 07/10/19 se registró un $P_{ST} = 7.25$ a las 22:10 P.M. Luego el día 08/10/19 se registró un $P_{ST} = 1.46$ a las 07: 10 A.M. Sin embargo, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{ST} < 1$.

Figura 49. P_{ST} Línea 23 (SED-ENOSA)

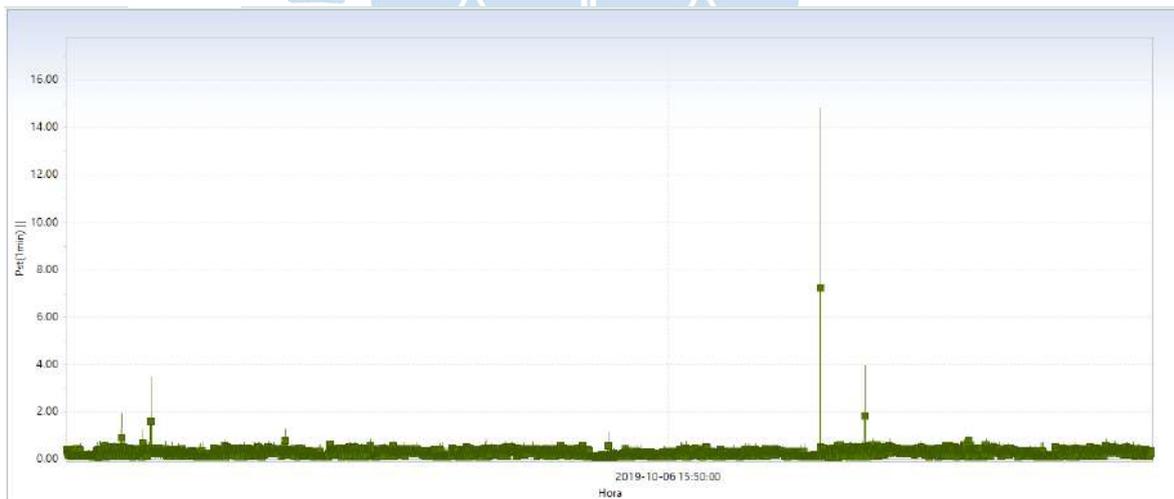
En la figura 49 se observa un $P_{ST} = 1.97$ el día 02/10/19 a las 02:55 A.M. Luego existe otro $P_{ST} = 1.43$ a las 08:45 A.M. Ahora bien, dichos valores exceden lo permitido. Asimismo, el día 07/10/19 se registró un $P_{ST} = 7.93$ a las 22: 10 P.M; a pesar de ello, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{ST} < 1$.

Figura 50. P_{ST} (1 min) Línea 23 (SED-ENOSA)

En la figura 50 se observa un $P_{ST} = 2.13$ el día 02/10/19 a las 02:45 A.M. Luego existe otro $P_{ST} = 1.54$ a las 08:40 A.M. No obstante, dichos valores exceden lo permitido. Además, el día 07/10/19 se registró un $P_{ST} = 7.25$ a las 22: 10 P.M. Sin embargo, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{ST} < 1$.

Figura 51. P_{ST} Línea 31 (SED-ENOSA)

En la figura 51 se observa un $P_{ST} = 1.45$ el día 02/10/19 a las 08:40 A.M. dicho valor excede lo permitido. También el día 07/10/19 se registró un $P_{ST} = 7.93$ a las 22:15 P.M. El día 08/10/19 se registró un $P_{ST} = 1.62$ a las 07:10 A.M. En cambio, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{ST} < 1$.

Figura 52. P_{ST} (1 min) Línea 31 (SED-ENOSA)

En la figura 52 se observa un $P_{ST} = 1.57$ el día 02/10/19 a las 08:40 A.M. dicho valor excede lo permitido. También el día 07/10/19 se registró un $P_{ST} = 7.24$ a las 22:10 P.M. El día 08/10/19 se registró un $P_{ST} = 1.84$ a las 07:10 A.M. Sin embargo, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{ST} < 1$.

Para resumir, tenemos que la mayoría de los valores P_{ST} encontrados en el estudio del *flicker* realizado a cada una de las líneas de tensión cumplen con los límites de propagación establecidos por la NTCSE, por lo tanto, el parpadeo producido en los sistemas de iluminación no es perceptible para un observador promedio.

4.1.4.2 Flicker P_{LT} . Los resultados obtenidos en la evaluación realizada al SED-ENOSA 16165450 concuerdan con la realidad. Una posible causa fue el funcionamiento continuo de los motores eléctricos, pues produce un sobrecalentamiento en los mismos que originan caídas de tensión. Por otra parte, una mala puesta a tierra, una infraestructura inadecuada en el sistema de iluminación de la empresa o el montaje de la estructura metálica para poner los paneles solares utilizando máquinas de soldar, influyen en la producción de *flicker*.

Figura 53. P_{LT} Línea 12 (SED-ENOSA)



En la figura 53 se observa un $P_{LT} = 3.46$ el día 08/10/19 registrado entre las 00:10 A.M. y 01:55 A.M. Pese a ello, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{LT} < 0.74$.

Figura 54. P_{LT} Línea 23 (SED-ENOSA)



En la figura 54 se observa un $P_{LT} = 0.90$ el día 02/10/19 registrado entre las 04:00 A.M. y 05:55 A.M. Otro valor de $P_{LT} = 3.46$ el día 08/10/19 fue registrado entre las 00:10 A.M. y 01:55 A.M. Sin embargo, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{LT} < 0.74$.

Figura 55. P_{LT} Línea 31 (SED-ENOSA)



En la figura 55 se observa un $P_{LT} = 3.46$ el día 08/10/19 registrado entre las 00:10 A.M. y 01:55 A.M. Otro valor de $P_{LT} = 0.76$ el mismo día, pero fue registrado entre las 08:05 A.M. y 09:55 A.M. A pesar de todo, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{LT} < 0.74$.

Para resumir, tenemos que algunos de los valores los valores P_{LT} encontrados en el estudio del *flicker* realizado a cada una de las líneas de tensión no cumplen con los límites de

propagación establecidos por la NTCSE, en consecuencia, el parpadeo producido en los sistemas de iluminación es perceptible para un observador promedio.

4.2 Evaluación en la Pasteurizadora

En marzo de 2020, se realizó el análisis de la calidad de energía eléctrica en la pasteurizadora, con la finalidad de obtener un registro del comportamiento de la onda de tensión en dicho punto de conexión, para identificar y estudiar una de las principales fuentes productoras del efecto *flicker* dentro de la sala de procesos en la fábrica. Es importante mencionar que la producción de helados durante esta estación del año es alta, según indica el supervisor de producción.

4.2.1 Objetivos

Comprobar si la pasteurizadora produce una fluctuación cíclica o aleatoria de la tensión con respecto al tiempo, debido a que su consumo de corriente es inestable.

4.2.2 MI2892 Power Master: instalación, monitorización y recogida de datos

Figura 56. Instalación del MI 2892
Power Master en la Pasteurizadora



Figura 57. Gráfica de voltajes U12, U23, U31 en la pasteurizadora

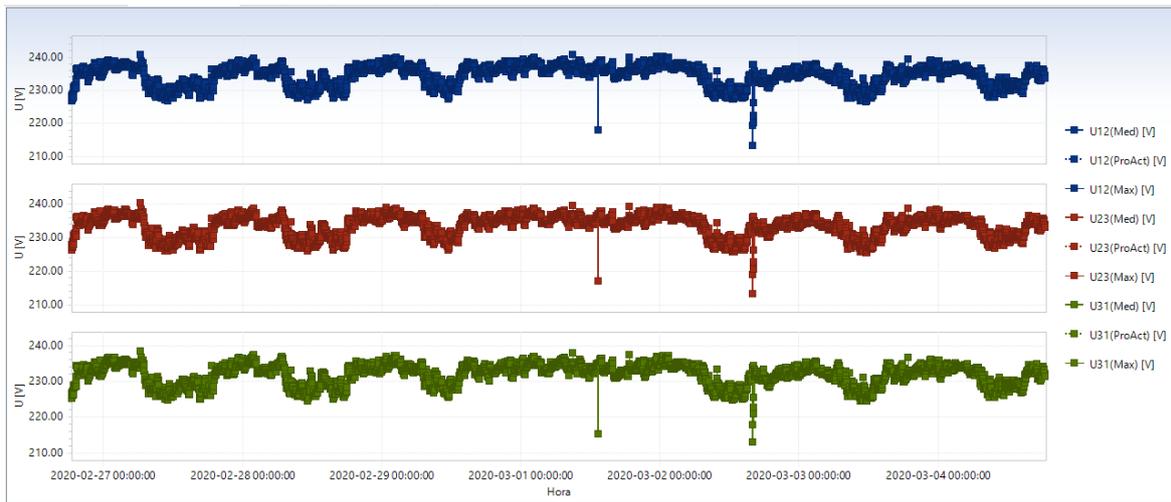
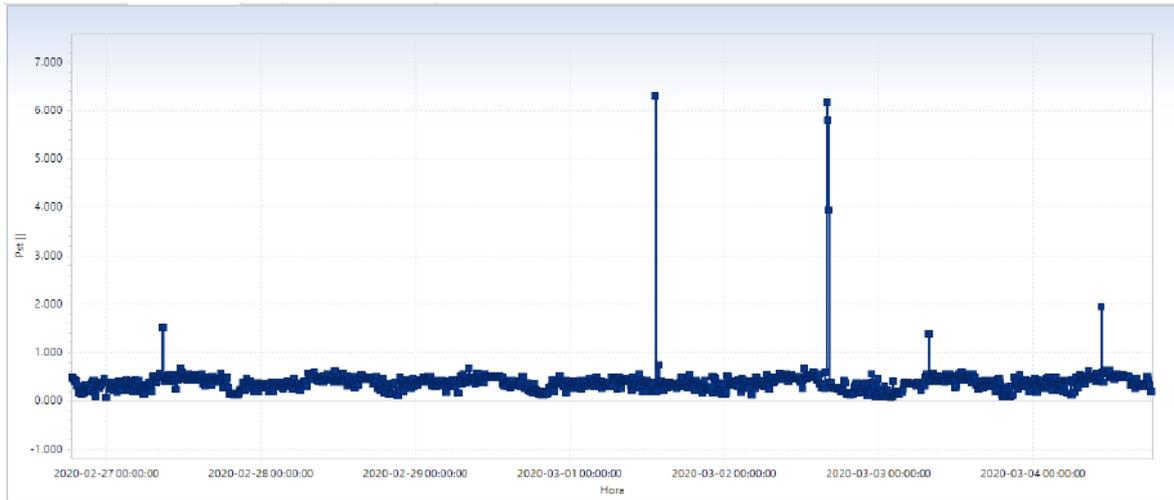


Figura 58. Gráfica de voltajes I1, I2 e I3 en la pasteurizadora

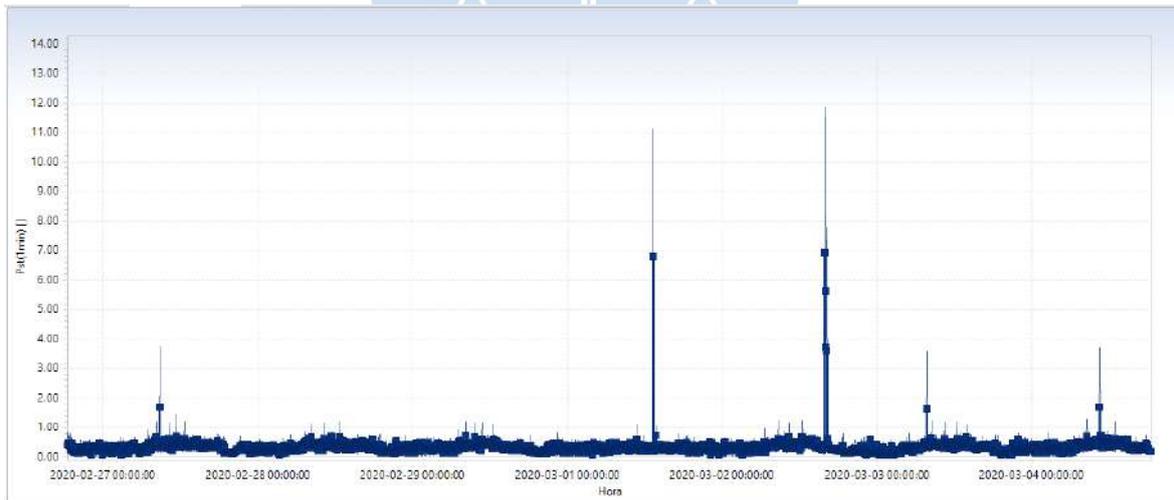


4.2.3 Análisis de resultados

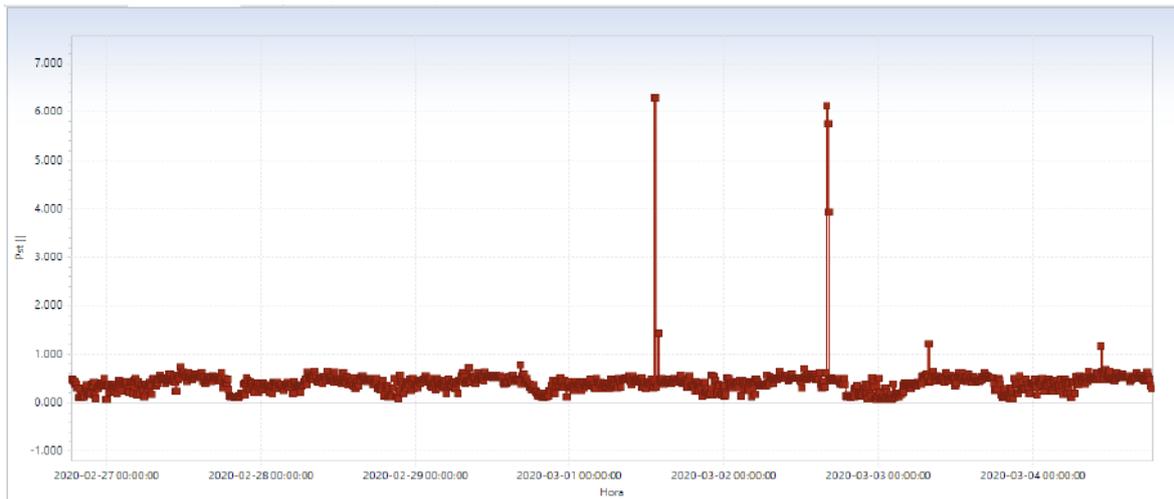
4.2.3.1 Flicker P_{ST} . Durante el recorrido de la fábrica se constató un parpadeo en el circuito cerrado de televisión, por eso, los valores obtenidos de la evaluación realizada en la pasteurizadora industrial, concuerdan con la realidad. Esto se debe al consumo de potencia reactiva inductiva, por parte de las máquinas procesadoras de helados, maduradoras y granizadoras, pues provocan una distorsión en el suministro eléctrico que se propagaba rápidamente por el circuito de acoplamiento común más cercano; en este caso hacia el sistema de seguridad.

Figura 59. P_{ST} Línea 12 (Pasteurizadora)

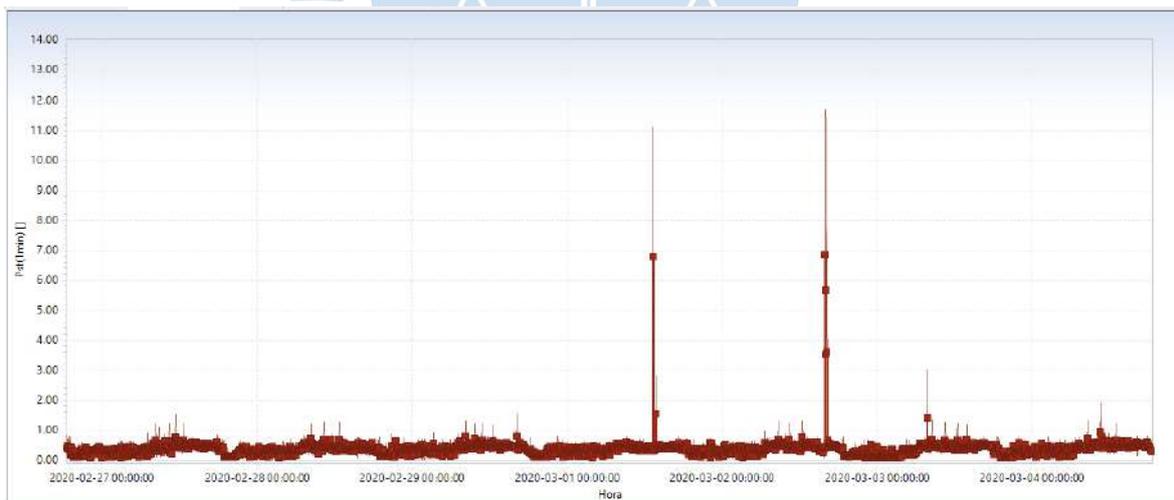
En la figura 59 se observa un $P_{ST} = 1.5$ el día 27/02/20 a las 08:55 A.M. dicho valor excede lo permitido. Además, el día 01/03/20 se registró un $P_{ST} = 6.30$ a las 13:25 P.M; el día 02/03/20 se registró un $P_{ST} = 6.17$ a las 16: 05 P.M; el día 03/03/20 se registró un $P_{ST} = 1.38$ a las 07: 55 A.M. Por último, día el día 04/03/20 se registró un $P_{ST} = 1.94$ a las 10: 45 A.M.

Figura 60. P_{ST} (1 min) Línea 12 (Pasteurizadora)

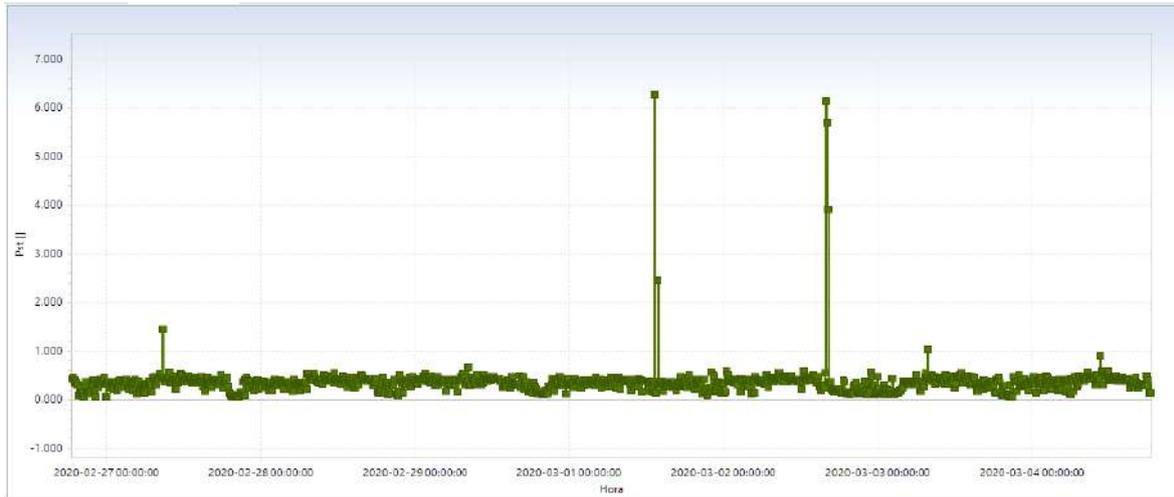
En la figura 60 se observa un $P_{ST} = 1.69$ el día 27/02/20 a las 08:50 A.M. dicho valor excede lo permitido. Además, el día 01/03/20 se registró un $P_{ST} = 6.78$ a las 13:20 P.M. El día 02/03/20 se registró un $P_{ST} = 6.91$ a las 16: 00 P.M; el día 03/03/20 se registró un $P_{ST} = 1.62$ a las 07: 45 A.M; y el día el día 04/03/20 se registró un $P_{ST} = 1.69$ a las 10: 35 A.M.

Figura 61. P_{ST} Línea 23 (Pasteurizadora)

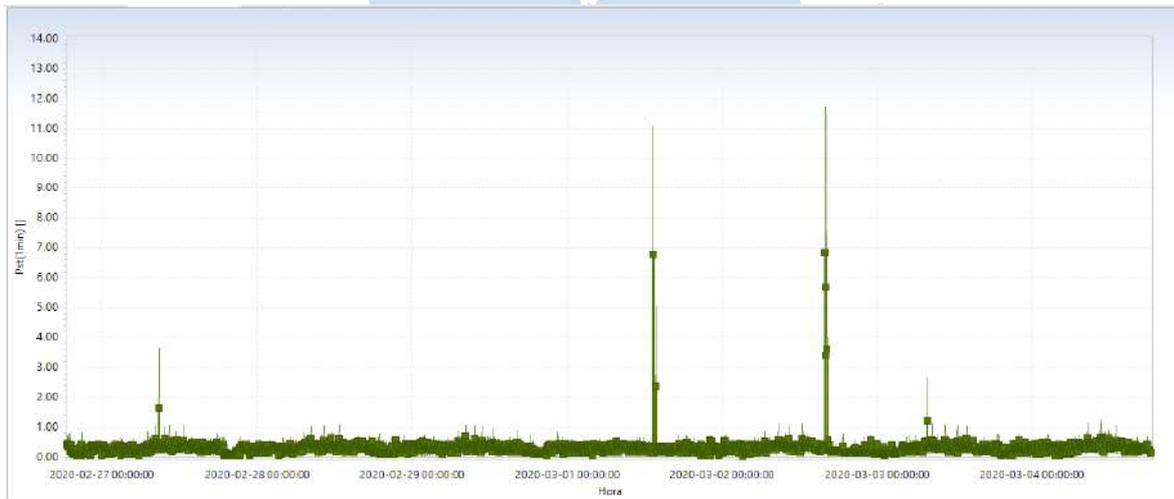
En la figura 61 se observa un $P_{ST} = 6.29$ el día 01/03/20 a las 13:25 P.M. dicho valor excede lo permitido. Añadiendo, el día 02/03/20 se registró un $P_{ST} = 6.12$ a las 16:05 P.M.; el día 03/03/20 se registró un $P_{ST} = 1.19$ a las 07: 55 A.M. Finalmente, el día 04/03/20 se registró un $P_{ST} = 1.16$ a las 10: 45 A.M.

Figura 62. P_{ST} (1 min) Línea 23 (Pasteurizadora)

En la figura 62 se observa un $P_{ST} = 6.78$ el día 01/03/20 a las 13:20 P.M. dicho valor excede lo permitido. Además, el día 02/03/20 se registró un $P_{ST} = 6.84$ a las 16:00 P.M. Por último el día 03/03/20 se registró un $P_{ST} = 1.40$ a las 07: 45 A.M.

Figura 63. P_{ST} Línea 31 (Pasteurizadora)

En la figura 63 se observa un $P_{ST} = 1.45$ el día 27/02/20 a las 08:55 A.M. dicho valor excede lo permitido. Además, el día 01/03/20 se registró un $P_{ST} = 6.27$ a las 13:25 P.M; el día 03/03/20 se registró un $P_{ST} = 1.1$ a las 07: 55 A.M.

Figura 64. P_{ST} (1 min) Línea 31 (Pasteurizadora)

En la figura 64 se observa un $P_{ST} = 1.64$ el día 27/02/20 a las 08:50 A.M. dicho valor excede lo permitido. A esto se le suma que, el día 01/03/20 se registró un $P_{ST} = 6.76$ a las 13:20 P.M; el día 02/03/20 se registró un $P_{ST} = 6.84$ a las 16: 00 P.M. Luego el día 03/03/20 se registró un $P_{ST} = 1.2$ a las 07: 45 A.M.

Para resumir, tenemos que la mayoría de valores P_{ST} encontrados en el estudio del *flicker* realizado a cada línea de tensión cumplen con los límites de propagación establecidos por la NTCSE, por lo tanto, el parpadeo producido en el circuito cerrado de televisión no es perceptible para un observador promedio.

4.2.3.2 Flicker P_{LT} . Los resultados obtenidos de la evaluación realizada en la pasteurizadora, concuerdan con la realidad. Una posible causa se debe al uso de motores eléctricos con operación cíclica, pues produce un sobrecalentamiento de los mismos; también se debe a interferencias por combinaciones de suministro eléctrico entre máquinas y sistemas de seguridad dentro de un mismo circuito. Además, coincide con el uso de licuadoras industriales para la producción de cremoladas.

Figura 65. P_{LT} Línea 12 (Pasteurizadora)



En la figura 65 se observa un $P_{LT} = 2.75$ el día 01/03/20 registrado entre las 14:00 P.M. y 15:55 P.M.; el día 02/03/20 se registró un $P_{LT} = 2.70$ entre las 16:05 P.M. y 19:55 P.M. Finalmente, el día 04/03/20 se registró un $P_{LT} = 0.91$ entre las 12:05 P.M. y 13:55 P.M.

Figura 66. P_{LT} Línea 23 (Pasteurizadora)



En la figura 66 se observa un $P_{LT} = 2.76$ el día 01/03/20 registrado entre las 14:00 P.M. y 15:55 PM; el día 02/03/20 se registró un $P_{LT} = 2.67$ entre las 16:05 P.M. y 19:55 P.M.

Figura 67. P_{LT} Línea 31 (Pasteurizadora)



En la figura 67 se observa un $P_{LT} = 2.79$ el día 01/03/20 registrado entre las 14:00 P.M. y 15:55 P.M.; el día 02/03/20 se registró un $P_{LT} = 2.67$ entre las 16:05 P.M. y 19:55 P.M.

Para resumir, tenemos que algunos de los valores los valores P_{LT} encontrados en el estudio del *flicker* realizado no cumplen con los límites de propagación establecidos por la NTCSE, en consecuencia, el parpadeo producido en el circuito cerrado de televisión es perceptible para un observador promedio.

4.3 Evaluación con el Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR)

En julio de 2020, se realizó el análisis de la calidad de energía eléctrica en la heladería El Chalán S.A.C. con el SFCR operativo, para obtener un nuevo registro del comportamiento de la onda de tensión. Se buscó realizar un análisis comparativo, para ello se utilizó el mismo analizador de redes trifásicas y así verificar la influencia del efecto *flicker*. Es importante mencionar que la producción de helados durante esta estación del año es baja, según indica el supervisor de producción.

Figura 68. Propiedades del Registro Prueba 2

| Propiedades del registro | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| Perfil: | Estándar |
| Hora de inicio: | 25/07/2020 09:45:00.000 |
| Hora de parada: | 1/08/2020 09:45:00.000 |
| Duración: | 7 d 0 h 0 m 0 s |
| Número de intervalos: | 2016 |
| Duración de los intervalos: | 5 m 0 s |
| Causa de parada: | Duración programada de registro |
| Nombre del archivo: | R0055GEN.REC |
| Sincronización de reloj: | RTC |
| Versión del archivo: | 18 |

4.3.1 Objetivo

Comprobar si influye la instalación del SFCR en la producción de *flicker* P_{LT} y P_{ST} dentro de la empresa.

4.3.2 Consideraciones previas

La potencia consumida por la empresa, si fuera una instalación fotovoltaica aislada, debería tener una capacidad de 100 kWp; pero, se optó por un SFCR para abastecer de energía solar el 30% del consumo total, es decir, un equivalente a 30 kWp.

4.3.3 Inspección de la instalación del SFCR

Se realizó un recorrido por el SFCR para identificar sus componentes principales.

Figura 69. Paneles fotovoltaicos instalados en la Heladería El Chalán S.A.C.



Figura 70. Inversores trifásicos Fronius 15 kWp



Figura 71. Tablero para el control de paneles solares



Figura 72. Tablero para el control de inversores trifásicos



4.3.4 MI2892 Power Master: instalación, monitorización y recogida de datos

Figura 73. Instalación del MI 2892 Power Master en SFCR



Figura 74. Parámetros de medición en Prueba 2 - Registro instantáneo de forma de onda



Figura 75. Data de los valores de fase Prueba 2

| Valores de fase | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--|--|
| Símbolo | Nombre | L12 | L23 | L31 | Total | Unidad | | |
| I | Corriente | 32.793 | 42.836 | 23.190 | --- | A | | |
| THD I | THD de corriente | 9.2062 | 9.4336 | 13.795 | --- | % | | |
| THD I | THD de corriente | 3.0060 | 4.0231 | 3.1685 | --- | A | | |
| CFI | Factor de cresta de la corri... | 1.3412 | 1.5218 | 1.7371 | --- | --- | | |
| T | Temperatura | --- | --- | --- | --- | °C | | |

Figura 76. Data de los valores de línea Prueba 2

| Valores de línea | | | | | | | | |
|------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--|--|
| Símbolo | Nombre | L12 | L23 | L31 | Total | Unidad | | |
| U | Tensión | 236.42 | 235.17 | 236.63 | --- | V | | |
| f | Frecuencia | 59.991 | --- | --- | --- | Hz | | |
| THD U | THD de tensión | 7.8055 | 7.1928 | 6.7220 | --- | V | | |
| THD U | THD de tensión | 3.3032 | 3.0601 | 2.8421 | --- | % | | |
| CFu | Factor de cresta de tensión | 1.4528 | 1.4608 | 1.4529 | --- | --- | | |
| Pit | Flicker PLT | --- | --- | --- | --- | --- | | |
| Pst | Flicker PST | --- | --- | --- | --- | --- | | |
| Pst(1min) | Flicker PST 1min | 0.6516 | 0.4834 | 0.6618 | --- | --- | | |
| Umin1/2 | Tensión RMS min de ciclo sen... | 0.0287 | 0.0249 | 0.0356 | --- | V | | |
| Umax1/2 | Tensión RMS max de ciclo se... | 239.07 | 237.27 | 239.38 | --- | V | | |
| UpicoRms | Pico max de tensión (desde r... | 343.47 | 343.53 | 343.80 | --- | V | | |

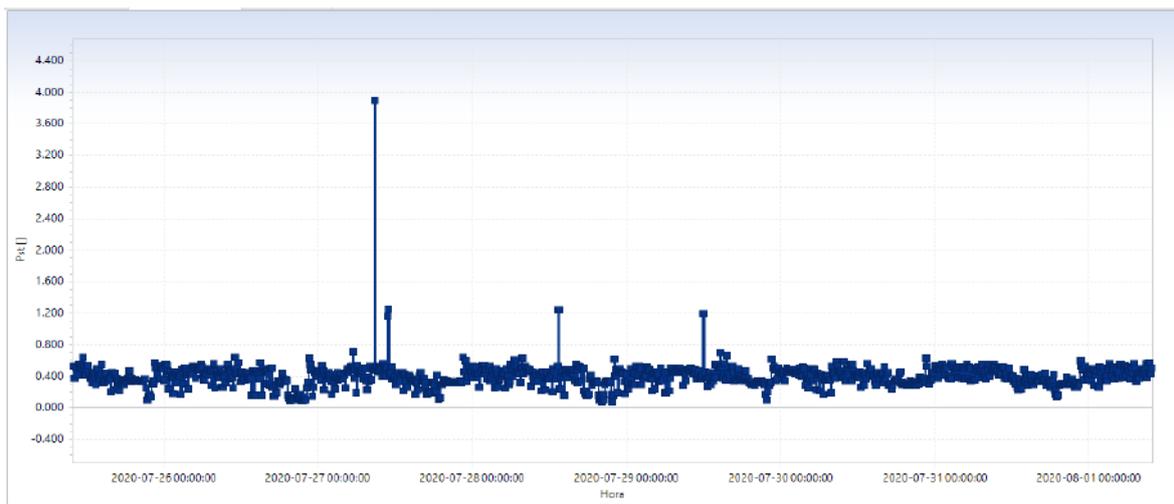
Figura 77. Data de medidas de potencia según IEEE 1459 Prueba 2 - Registro instantáneo de forma de onda

| Medidas de potencia según IEEE 1459 | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|---------|--------|--|--|
| Símbolo | Nombre | L12 | L23 | L31 | Total | Unidad | | |
| Combinados | | | | | | | | |
| P | Potencia activa | --- | --- | --- | 3.2000 | kW | | |
| N | Potencia reactiva | --- | --- | --- | -12.52 | kvar | | |
| S / Se | Potencia aparente de... | --- | --- | --- | 13.862 | kVA | | |
| PF | Factor de potencia p... | --- | --- | --- | 0.2308 | --- | | |
| Qfund / Q+ | Potencia reactiva fun... | --- | --- | --- | -12.50 | kvar | | |
| Sfund / S+ | Potencia aparente fu... | --- | --- | --- | 12.913 | kVA | | |
| Sufund | Potencia aparente fu... | --- | --- | --- | 4.8215 | kVA | | |
| DPF / DPF+ | Desplazamiento de f... | --- | --- | --- | 0.2506 | --- | | |
| LU | Desequilibrio de cargas | --- | --- | --- | 37.338 | % | | |
| Fundamental | | | | | | | | |
| Pfund / P+ | Potencia activa fund... | --- | --- | --- | 3.2363 | kW | | |
| No fundamental | | | | | | | | |
| SN | Potencia aparente no... | --- | --- | --- | 1.4711 | kVA | | |
| Di | Distorsión de corrient... | --- | --- | --- | 1.4085 | kvar | | |
| Dv | Potencia no activa po... | --- | --- | --- | 0.4227 | kvar | | |
| SH | Potencia armónica ap... | --- | --- | --- | 0.0432 | kVA | | |
| DH | Potencia no activa po... | --- | --- | --- | 0.0394 | kvar | | |
| PH | Potencia activa armó... | --- | --- | --- | -0.0178 | kW | | |
| HP | Polución armónica | --- | --- | --- | 10.673 | % | | |

4.3.5 Análisis de resultados

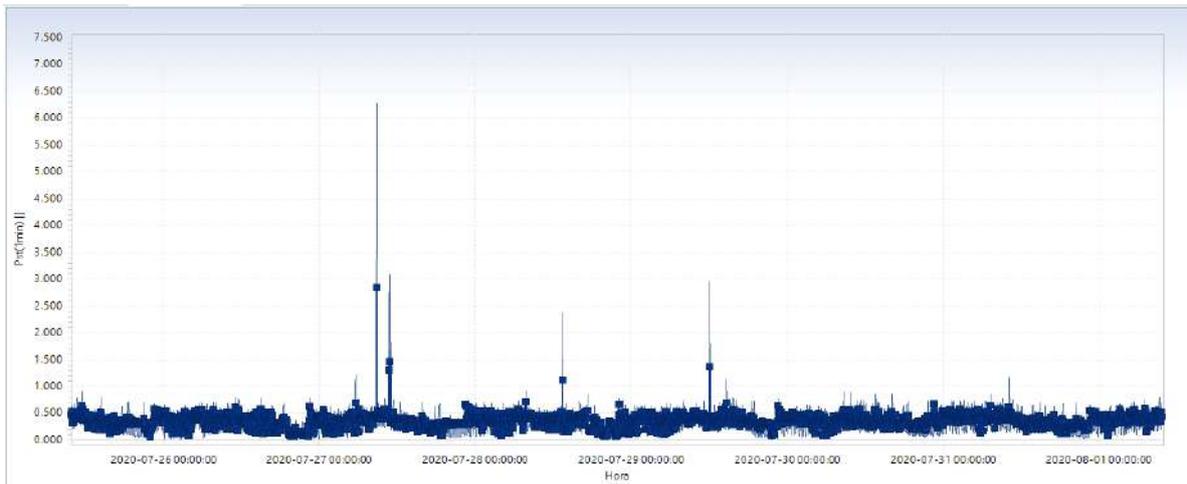
4.3.5.1 Flicker P_{ST} . Después de implementar el SFCR disminuyó considerablemente el parpadeo del sistema de iluminación y del circuito cerrado de televisión debido a que la producción de helados en la fábrica se realizó con el 50% de operatividad por el estado de emergencia a causa de la pandemia mundial coronavirus; por lo tanto, se puede deducir que los eventos obtenidos en la evaluación realizada, se deben a caídas de tensión por un consumo de energía eléctrica mayor en las congeladoras y cámaras frigoríficas industriales durante la mañana para alcanzar la temperatura óptima del producto terminado, en cambio durante la tarde dicha temperatura se mantiene estable y no fluctúa demasiado.

Figura 78. P_{ST} Línea 12 (SFCR)



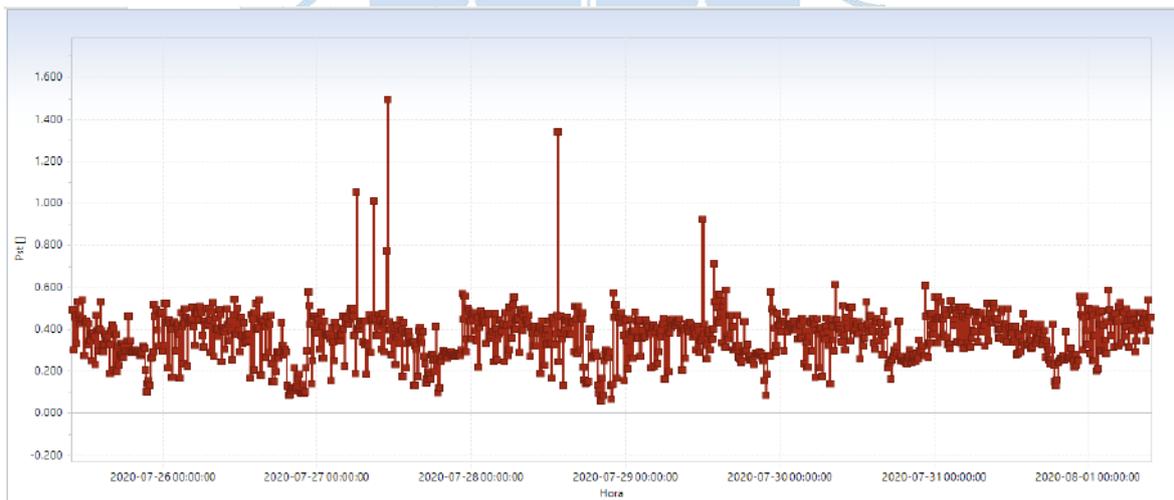
En la figura 78 se observa un $P_{ST} = 3.89$ el día 27/07/20 a las 08:55 A.M. dicho valor excede lo permitido. Sumando, el día 28/07/20 se registró un $P_{ST} = 1.23$ a las 13:35 P.M. y el día 29/07/20 se registró un $P_{ST} = 1.19$ a las 12:05 P.M.; sin embargo, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{ST} < 1$.

Figura 79. P_{ST} (1 min) Línea 12 (SFCR)



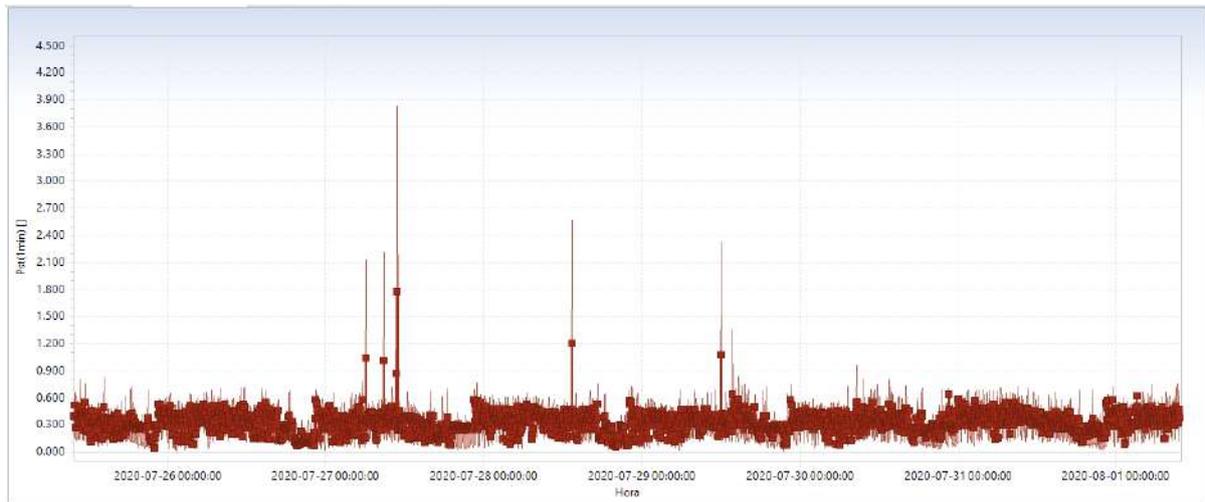
En la figura 79 se observa un $P_{ST} = 2.83$ el día 27/07/20 a las 08:50 A.M. dicho valor excede lo permitido. Además, el día 28/07/20 se registró un $P_{ST} = 1.11$ a las 13:25 P.M. y el día 29/07/20 se registró un $P_{ST} = 1.35$ a las 12:05 P.M; pero, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{ST} < 1$.

Figura 80. P_{ST} Línea 23 (SFCR)



En la figura 80 se observa un $P_{ST} = 1.49$ el día 27/07/20 a las 11:05 A.M. dicho valor excede lo permitido. Además, el día 28/07/20 se registró un $P_{ST} = 1.33$ a las 13:35 P.M; sin embargo, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{ST} < 1$.

Figura 81. P_{ST} (1 min) Línea 23 (SFCR)



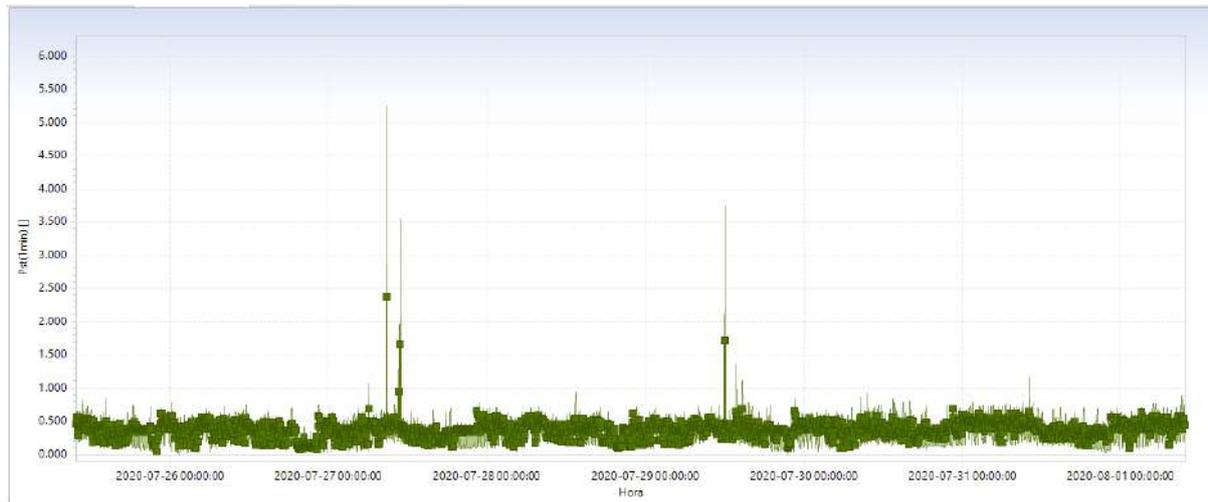
En la figura 81 se observa un $P_{ST} = 1.77$ el día 27/07/20 a las 10:55 A.M. dicho valor excede lo permitido. Además, el día 28/07/20 se registró un $P_{ST} = 1.19$ a las 13:25 P.M; no obstante, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{ST} < 1$.

Figura 82. P_{ST} Línea 31 (SFCR)



En la figura 82 se observa un $P_{ST} = 2.68$ el día 27/07/20 a las 08:55 A.M. dicho valor excede lo permitido. Añadiendo, el día 29/07/20 se registró un $P_{ST} = 1.46$ a las 12:05 P.M; pero, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{ST} < 1$.

Figura 83. P_{ST} (1 min) Línea 31 (SFCR)



En la figura 83 se observa un $P_{ST} = 2.36$ el día 27/07/20 a las 08:50 A.M. dicho valor excede lo permitido. Además, el día 29/07/20 se registró un $P_{ST} = 1.71$ a las 12:05 P.M; sin embargo, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{ST} < 1$.

Para resumir, tenemos que la mayoría de valores P_{ST} encontrados en el estudio del *flicker* realizado a cada línea de tensión cumplen con los límites de propagación establecidos por la NTCSE, por lo tanto el parpadeo producido en el sistema de iluminación y el circuito cerrado de televisión no es perceptible para un observador promedio.

4.3.5.2 Flicker P_{LT} . Los valores obtenidos en la evaluación realizada en el SFCR concuerdan con los resultados obtenidos. Una posible causa se debe al uso de motores eléctricos con funcionamiento a baja carga, pues consumen mayor energía reactiva inductiva de lo convencional para su funcionamiento a plena carga.

Figura 84. P_{LT} Línea 12 (SFCR)



En la figura 84 se observa un $P_{LT} = 1.71$ el día 27/07/20 registrado entre las 10:00 A.M. y 11:55 A.M; pese a esto, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{LT} < 0.74$.

Figura 85. P_{LT} Línea 23 (SFCR)



En la figura 85 se observa que la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{LT} < 0.74$.

Figura 86. P_{LT} Línea 31 (SFCR)



En la figura 86 se observa un $P_{LT} = 1.19$ el día 27/07/20 registrado entre las 10:00 A.M. y 11:55 A.M; sin embargo, la mayoría de eventos cumple con el rango $P_{LT} < 0.74$.

Para resumir, tenemos que la mayoría de los valores los valores P_{LT} encontrados en el estudio del *flicker* realizado a cada línea de tensión cumplen con los límites de propagación establecidos por la NTCSE, en consecuencia, el parpadeo producido en el sistema de iluminación y el circuito cerrado de televisión no es perceptible para un observador promedio.

Capítulo 5

Soluciones al problema del *flicker*: Caso aplicado a la heladería El Chalán S.A.C.

Si bien es cierto, la evaluación del *flicker* con el SFCR obtuvo como resultado una presencia mínima de dicho problema, por lo tanto, se puede asumir como una buena calidad de energía eléctrica de suministro. No obstante, en este apartado se consideran soluciones electrotécnicas disponibles para la mitigación de fluctuaciones de tensión conducidas a frecuencias bajas, sin necesidad de modificar la instalación eléctrica de la fábrica aguas arriba, pues implicaría un costo de inversión elevado.

En la heladería El Chalán S.A.C. la mayoría de las fluctuaciones de tensión presentes se originan por el consumo de potencia reactiva inductiva, sin embargo su demanda sigue siendo la misma antes y después de la instalación SFCR porque depende directamente del tipo de carga conectada a la red de suministro.

Ahora bien, para realizar una compensación de la energía reactiva se utilizan dispositivos eléctricos que regulan de manera automática la tensión de la red, por esta razón su dimensionamiento guarda relación con la potencia aparente del transformador de 250 kVA - 10/0.22 kV instalado en la empresa.

5.1. Regulador automático de tensión trifásico - 250 kVA

Es un autotransformador con el conmutador automático de taps⁷ bajo carga, para regular de manera automática el nivel de tensión en el SED (Electrowerke, 2020). Se utiliza para calcular y corregir las caídas de tensión generadas en las líneas de distribución debido a la corriente de la carga sobre la impedancia propia de la línea. Están diseñados para sistemas 220/380 V trifásicos; además pueden ser instalados en subestaciones de distribución o en la entrada del suministro de un usuario específico, generalmente tienen su aplicación en la industria siderúrgica.

El costo referencial de su adquisición es aproximadamente de 181 000 US\$; este garantiza un control del suministro de energía eléctrica a todos los equipos presentes en la

⁷ Selector mecánico cuya función es sobreponer al bobinado primario un número de espiras.

fábrica para funcionar dentro de un rango de voltaje, minimizando considerablemente las fluctuaciones de tensión (Alibaba.com, 2020d).

Figura 87. Regulador automático de tensión 250 kVA



Fuente: Alibaba.com (2020d)

5.2. Banco de condensadores trifásico - 60 kVAr

Es un conjunto de condensadores cuya finalidad es corregir el factor de potencia en las instalaciones eléctricas de tipo industrial, pues se debe disminuir la potencia reactiva consumida por las cargas inductivas (reactancia inductiva) añadiendo cargas capacitivas (reactancia capacitiva).

De igual manera, se utilizan para compensar las fluctuaciones de tensión por elevación o caídas de tensión, durante la conexión y desconexión de grupos de motores, respectivamente; entre sus formas de instalación encontramos de tipo fijo o automáticos. Se pueden instalar por grupos de cargas, es decir, en un sector con varios motores para la corrección del factor de potencia colectiva, o de forma localizada específicamente al motor a corregir su factor de potencia (Legrand, 2020).

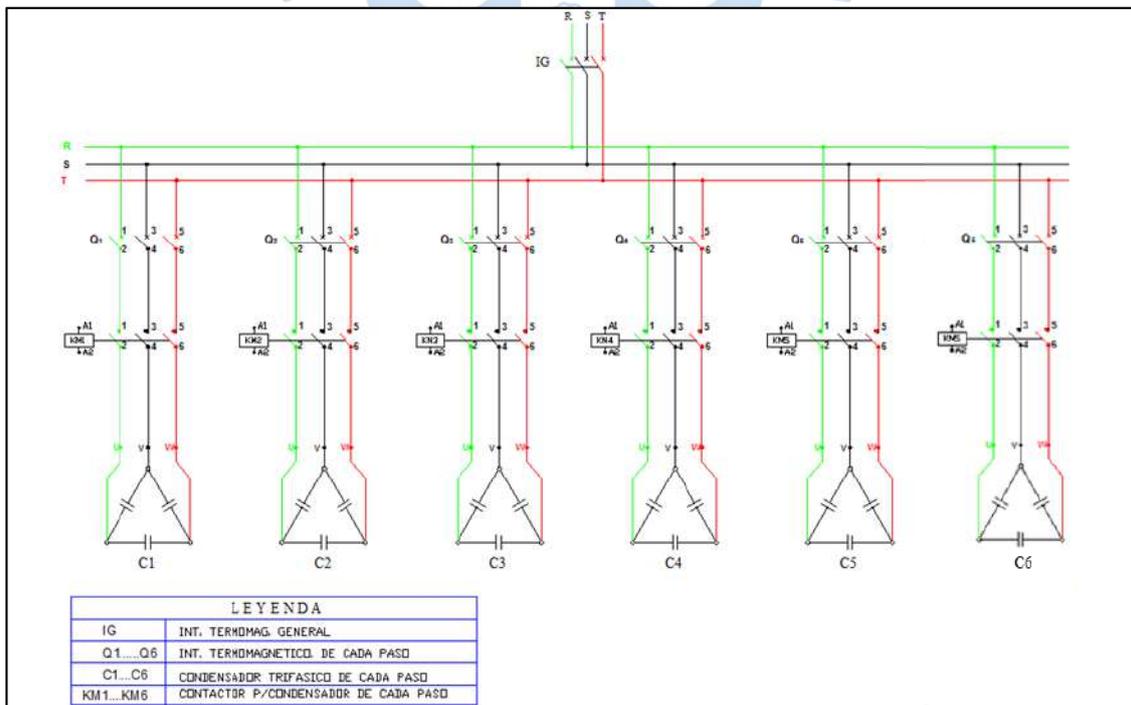
Figura 88. Banco de condensadores trifásico
60 kVAr



Fuente: Alibaba.com (2020a)

En el caso de la heladería El Chalán S.A.C. se optó por el diseño de un banco de condensadores del tipo automático de 60 kVAr, que aportará la potencia reactiva capacitiva necesaria para corregir el factor de potencia. Este banco de condensadores automático consta de 4 pasos, dos de 10 kVAr y dos de 20 kVAr. El costo referencial de adquisición es 3200 US\$.

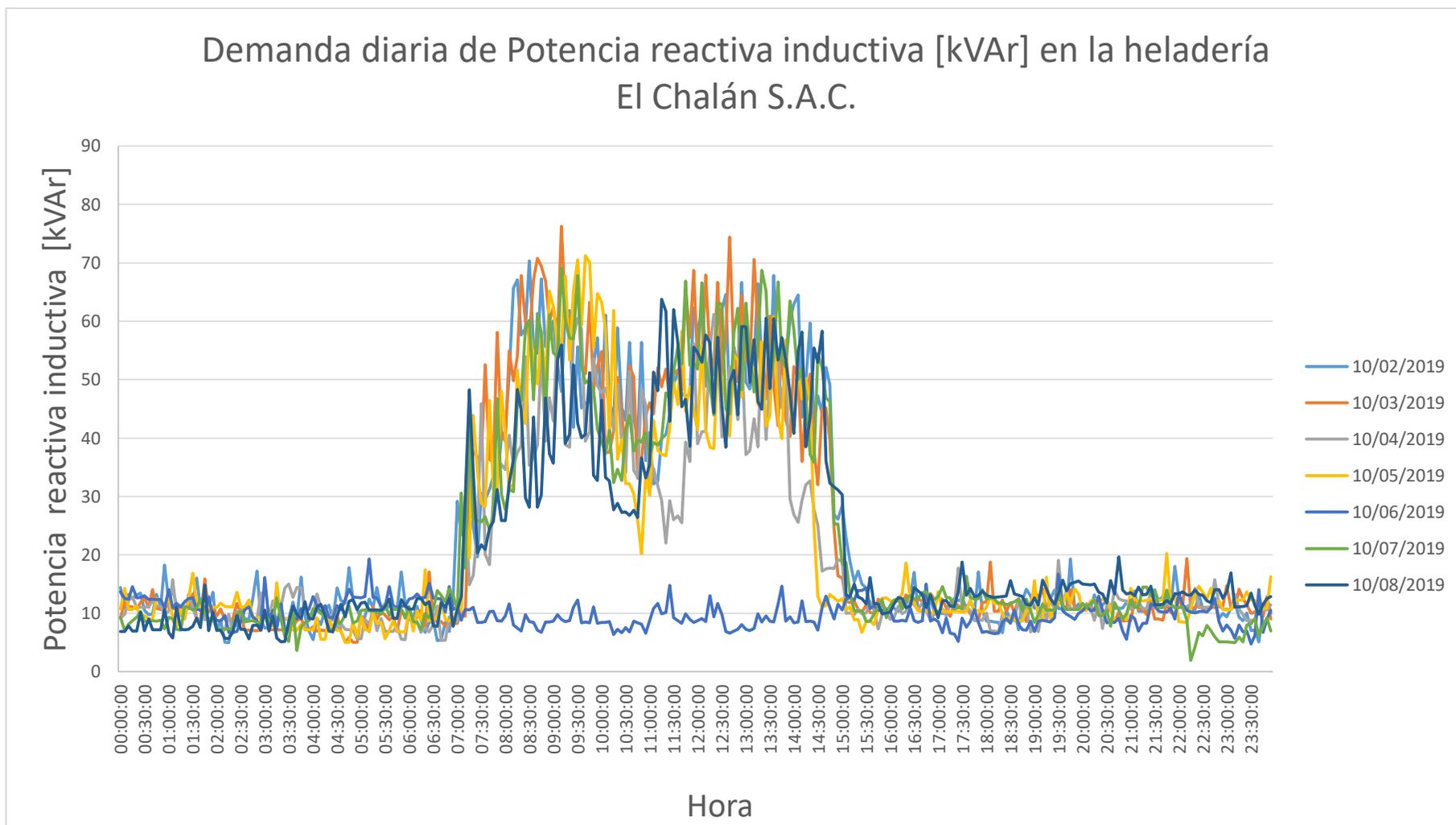
Figura 89. Diagrama unifilar del banco de condensadores de 60 kVAr



Para el diseño y selección del banco de condensadores se consideró la demanda diaria promedio de potencia reactiva. En la figura 90, se puede apreciar las lecturas de potencia reactiva inductiva desde el día 02/10/19 hasta el día 08/10/19, estos datos fueron obtenidos en la evaluación al SED - ENOSA 16165450.



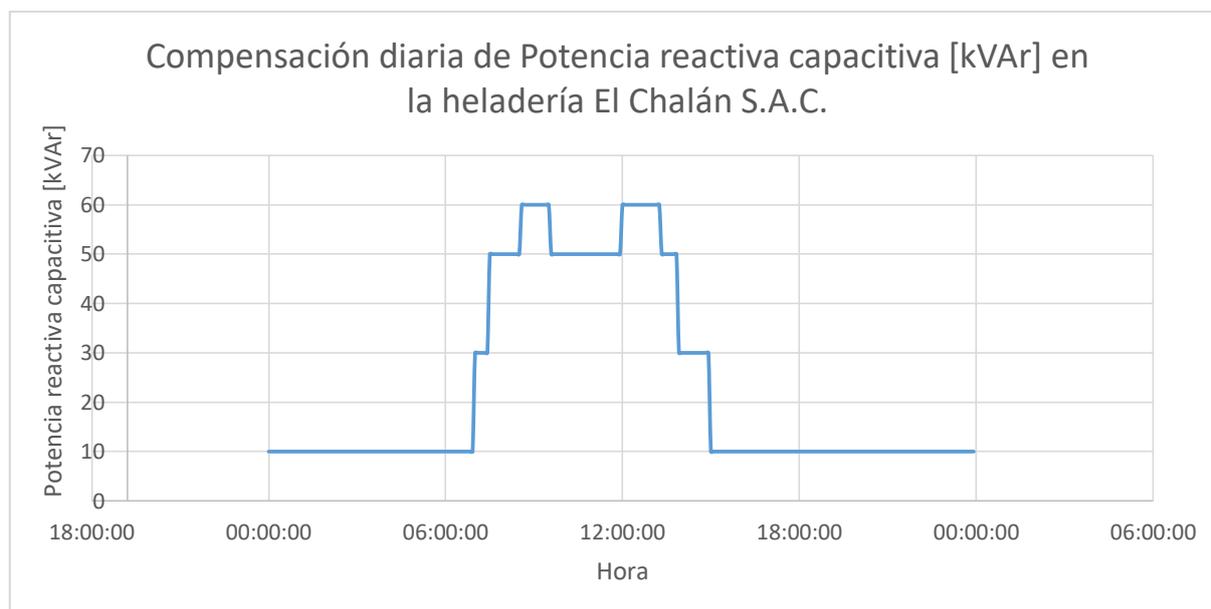
Figura 90. Demanda diaria de Potencia reactiva inductiva [kVAr] en la heladería El Chalán S.A.C.



El comportamiento de la demanda de potencia reactiva inductiva puede ser aproximado a un esquema escalonado, en bloques de 10 kVAr y 20 kVAr. Esto determina la selección de los pasos y la capacidad nominal del banco de condensadores.

En la figura 91, se muestra un esquema del comportamiento que tendría el banco de condensadores proyectado.

Figura 91. Compensación diaria de Potencia reactiva capacitiva [kVAr] en la heladería El Chalán S.A.C.



5.3 Estabilizador de tensión trifásico - 250 kVA

Son equipos utilizados para brindar un voltaje de salida estable, según sea el caso 220/380 V trifásicos, incluso si el voltaje de entrada es mayor o menor al de uso. En su mayoría, la tensión de entrada se conecta al sistema de distribución para proteger motores, bombas, cargas críticas o grandes cargas, garantizando una regulación del voltaje de suministro entre +/- 5%.

El costo referencial de su adquisición es aproximadamente 292 000 US\$; aquello mejora el control de las fluctuaciones de tensión y otros disturbios eléctricos (Alibaba.com, 2020c)

Figura 92. Estabilizador de tensión trifásico 250 kVA



Fuente: Alibaba.com (2020c)

5.4 Compensador estático síncrono trifásico - 250 kVA

Es un equipo diseñado de condensadores conmutados por tiristores (TSC) y bobinas conmutadas (TSR) o controladas por tiristores (TCR), para compensar la potencia reactiva de forma instantánea, ya sea de cargas inductivas o cargas capacitivas; incluso para minimizar las fluctuaciones de voltaje, filtrado de armónicos, balanceo de cargas y principalmente mitigar el *flicker* en instalaciones industriales. Uno de los beneficios principales, es una mejora de la capacidad de la red de transmisión y distribución.

El costo referencial de su adquisición es aproximadamente entre 20 000 US\$; pero garantiza un control de las fluctuaciones de tensión de manera automática, proporcionando una operatividad óptima en los equipos industriales conectados (Alibaba.com, 2020b).

Figura 93. Compensador estático síncrono trifásico 250 kVA



Fuente: Anhui Zhongdian (ZDDQ), Electric Co (2001)

5.5 Iluminación LED industrial

Hoy en día existen tubos LED que se conectan directamente a la tensión de la red 220 V, en su interior poseen un driver electrónico para transformar la corriente alterna en corriente continua, de esta manera funcionan sus tiras de diodos emisores de luz envueltos por una carcasa, pues no necesitan un arrancador y un balastro.

Figura 94. Iluminación LED tipo UFO en las industrias



Fuente: Blog.compratuled (2020)

5.6 Elección adecuada del inversor trifásico

Al momento de seleccionar un inversor se debe tener en cuenta la potencia nominal, pues en cargas resistivas no existe un desfase entre la corriente y el voltaje; por ello se consume potencia activa (W). A diferencia de las cargas capacitivas (producen energía reactiva) e inductivas (consumen energía reactiva), que causan aumentos y caídas de tensión, respectivamente, dando origen al consumo de potencia reactiva (VAr). Después de lo anterior aparece el concepto de potencia aparente (VA), el cual define la mayoría de máquinas industriales en la actualidad.

Otro parámetro a considerar, es la potencia pico, que representa la energía necesaria para el arranque de grandes cargas.

En instalaciones industriales conectadas a la red se recomienda usar un inversor trifásico de onda sinusoidal, ello implica un mayor gasto económico, pero permite poseer el control del voltaje de salida, garantizando una señal puramente sinusoidal con características similares de la red. Aun así, existen perturbaciones cuando el rendimiento del generador voltaico no es el óptimo o por falta de mantenimiento.

El costo referencial de su adquisición es aproximadamente entre 7 210 US\$ porque implica utilizar dos inversores (Uriol Paulini, 2020).

Figura 95. Inversor trifásico
Fronius 15 kWp



Para finalizar, en el caso específico de la heladería El Chalán S.A.C. se recomienda realizar una correcta distribución de las cargas, separando los sistemas de iluminación y circuito cerrado de televisión de los tomacorrientes utilizados por las máquinas industriales dentro de la fábrica. Luego, inspeccionar el consumo de potencia reactiva de los motores eléctricos y verificar si necesitan de un banco de condensadores colectivo o individual. Finalmente optar por el cambio a iluminación LED en la sala de procesos.

Por otra parte, si el problema del *flicker* se mantiene vigente después de realizar todos los cambios anteriormente mencionados, es prudente instalar un compensador estático síncrono trifásico - 250 kVA, este representa una mayor inversión con la finalidad de garantizar un control automático de las fluctuaciones de tensión y otros disturbios eléctricos; logrando un funcionamiento correcto de los equipos industriales conectados a dicha red eléctrica alargando su vida útil.



Conclusiones

La evaluación posterior a la instalación del SFCR (ver el apartado 4.3.5) en la empresa industrial, El Chalán S.A.C., demostró que la presencia de *flicker* disminuye, en comparación con los resultados obtenidos por el suministro SED-ENOSA 16165450 (ver el apartado 4.1.4); pues en el análisis del caso de estudio se muestran índices de severidad al parpadeo $P_{ST} < 1$ y el $P_{LT} < 0.74$. Aquellos valores se encuentran dentro del nivel permitido NTCSE vigente en el Perú, para evitar problemas ergonómicos en los trabajadores.

El estudio realizado en la pasteurizadora, certificó su relación directa como la principal fuente productora de *flicker* dentro de la sala de procesos, pues representa una carga rápidamente fluctuante y su consumo no lineal de corriente ocasiona fluctuaciones de tensión, que afectan fundamentalmente al sistema de iluminación por fluorescentes.

La influencia del efecto *flicker* dentro de la empresa depende principalmente de los equipos industriales conectados a la red eléctrica, pues la mayoría representa a cargas inductivas como: pasteurizadora, máquinas procesadoras de helados (maduradores y granizadoras), congeladores, cámaras frigoríficas, licuadoras industriales, etc.; por lo tanto, producen fluctuaciones de tensión.

La potencia consumida por la empresa depende directamente de la producción de helados; pese a ello, después de la instalación del SFCR se abasteció el 30% de la energía eléctrica total de suministro y el otro 70% seguía siendo suministrado por la SED-ENOSA 16165450.

Durante octubre de 2019, la empresa industrial funcionaba al 100% de su capacidad de producción total, por esta razón existe una mayor influencia del efecto *flicker* en la red eléctrica, en cambio para julio de 2020 su operatividad se redujo al 50% debido al estado de emergencia vigente en el Perú por la pandemia mundial del coronavirus. A partir de lo antes mencionado se concluye que el SFCR estaba funcionando prácticamente como un generador de autoconsumo, obteniendo como resultado posible, una reducción del efecto *flicker* aparentemente.

Después de revisar el diagrama unifilar de la instalación eléctrica de la empresa existe una combinación de cargas, entre máquinas industriales y sistemas de iluminación, por ende, estos últimos se ven afectados por el efecto de parpadeo.

Una solución parcial resultó ser la no simultaneidad de cargas porque se tiene un mayor control en el consumo de potencia reactiva, sin embargo, el efecto *flicker* se produce también por la contaminación de la red eléctrica en puntos de acoplamiento común o una deficiente regulación del voltaje en el SED.



Recomendaciones

En futuras investigaciones se sugiere utilizar el instrumento Solar 300N, exclusivo para revisar la eficiencia y la calidad de la energía eléctrica en instalaciones de sistemas fotovoltaicos monofásicos o trifásicos, de acuerdo con la normativa EN50160.

Figura 96. HT Instrument Solar300N



Fuente: HT Italia S.R.L. (2020)

Igualmente, se propone realizar un análisis comparativo en el sistema fotovoltaico conectado a la red cuando está recién instalado, y otro después del año de funcionamiento, pues muchas veces la falta de mantenimiento de los equipos (paneles solares e inversores) influye directamente en la calidad de energía eléctrica suministrada.



Referencias bibliográficas

- Alibaba.com. (Noviembre de 2020a). *Banco de condensadores trifásico 15 kVAR*. Obtenido de https://spanish.alibaba.com/product-detail/three-phase-capacitor-bank-15kvar-cylindrical-power-capacitor-60679721158.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikeexp.1.21c27ea3VoGvyM
- Alibaba.com. (Noviembre de 2020b). *Compensador estático síncrono trifásico 250kVAR*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-voltage-static-var-generator-27-5kv-svg-statcom-for-power-station-62340202204.html?spm=a2700.details.maylikeexp.1.7dad73eb8KCtMi>
- Alibaba.com. (Noviembre de 2020c). *Estabilizador de tensión trifásico 250 kVA*. Obtenido de https://spanish.alibaba.com/product-detail/sbw-250kva-300kva-320kva-350kva-300kw-3phase-voltage-stabilizer-regulator-62411623816.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_image.322470481J7yRq
- Alibaba.com. (Agosto de 2020d). *Regulador automático de tensión 250kVA*. Obtenido de https://spanish.alibaba.com/product-detail/250kva-voltage-regulator-3-phase-automatic-voltage-stabilizer-avr-with-ce-rohs-62044716661.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_image.25b213b4XRABjE
- Anhui Zhongdian (ZDDQ), Electric Co. (2001). Obtenido de https://es.zddqelectric.com/high-performance-250kvar-static-var-generator-svg-cabinets-supplies_p45.html
- AutoSolar*. (2019). Obtenido de <https://autosolar.es/inversor-de-conexion-a-red>
- Banco Wiese Sudameris. (2002). *Industria siderúrgica*. Lima: Departamento de Estudios Económicos.
- Barcelona Led. (Enero de 2019). *Índice de Deslumbramiento Unificado*. Obtenido de <https://www.barcelonaed.com/blog/informacion-led/ugr-indice-deslumbramiento-unificado/>
- Berizzo, R. (Septiembre de 2020). *Ingeniería Eléctrica 357*. Obtenido de https://www.editores.com.ar/sites/default/files/ricardo_berizzo_20201006_la_historia_del_transformador_electrico.pdf
- Blog.compratuled. (Octubre de 2020). *Ventajas de la iluminación industrial LED*. Obtenido de <https://blog.compratuled.es/ventajas-iluminacion-industrial-led/>
- Brinkhaus, M. (2020). *Energía fotovoltaica - tecnología*. Berlín: Renewables Academy AG.
- Campillos Prieto, A. (2015). *Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

- Cidrás, J., & Carrillo, C. (2007). *Fenómeno del parpadeo*. Obtenido de http://grupo_ene.webs.uvigo.es/wordpress/publicaciones/Apuntes_Flicker_prot.pdf
- Depositphotos. (Octubre de 2016). *Estación de refrigeración de un compresor industrial*. Obtenido de <https://sp.depositphotos.com/128554422/stock-photo-industrial-compressor-refrigeration-station-at.html>
- Dolinar, D. (2006). *Análisis de potencia, armónicos y perturbaciones de red en sistemas trifásicos de distribución*. Eslovenia: Metrel.
- EcuRed. (Marzo de 2020). *Aplicaciones de la electrónica de potencia*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Electr%C3%B3nica_de_potencia
- Electrowerke. (Julio de 2020). *Reguladores de tensión automáticos*. Obtenido de <https://www.electrowerke.com.pe/producto/reguladores-de-tension-automaticos/>
- Empresa Nacional de Electricidad Sociedad Anónima. (10 de Octubre de 2019). *Tesla contra Edison: la guerra que generó la corriente alterna*. Obtenido de <https://www.endesa.com/es/conoce-la-energia/blog/tesla-edison-guerra>
- Energys. (2018). Obtenido de <http://www.energys-bo.com/Sistema-fotovoltaico-hibrido>
- EnerPanel. (11 de Noviembre de 2016). Obtenido de <http://enerpanel.com/como-funciona-el-medidor-bidireccional-de-cfe-y-los-paneles-solares/>
- Enríquez Harper, G. (2009). *La calidad de energía en los sistemas eléctricos*. México: Limusa Noriega.
- Félix, O., & Marmolejos, G. (Noviembre de 2016). *Propuesta para la elaboración de un programa de calidad energética implementado en la empresa industrial Electric de la zona industrial de Herrera en el periodo septiembre - diciembre 2016*. Obtenido de https://bibliotecaunapec.blob.core.windows.net/tesis/TESIS_C2_INE_07_2016_ET170184.pdf
- Fernando, I. (2006). *Medición, caracterización y compensación de flicker en hornos de arco eléctrico*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Gaitán Hernández, D. (2018). *Diseño de un molino triturador de polímeros termoplásticos para la empresa INDUSTRIA RECUPLAST S.A.S*. Bogotá: Universidad Libre.
- García Fernández, J. (Junio de 2020). *CITCEA*. Obtenido de <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/ldesc1.html#:~:text=Funcionamiento,de%20potencial%20entre%20los%20electrodos.>
- Hart, D. (2001). *Electronica de Potencia*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- Holguin, M., & Gomez, D. (2010). *Análisis de la calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- HT Italia S.R.L. (Diciembre de 2020). *Solar300N*. Obtenido de <https://www.ht-instruments.com/en/products/power-quality-analyzers/touch-screen-display/solar300n/#>
- Iberdrola. (2019). Obtenido de <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-fotovoltaica>

- Ingeniería de máquinas y sistemas eléctricos. (Abril de 2020). *Fluctuaciones de tensión: Flicker*. Obtenido de <http://imseingenieria.blogspot.com/2016/09/fluctuaciones-de-tension-flicker.html>
- Láminas y aceros*. (Marzo de 2020). Obtenido de <https://blog.laminasyaceros.com/blog/el-uso-de-electrodos-para-hornos-el%C3%A9ctricos-de-arco-en-la-fundici%C3%B3n-de-acero>
- Lamparadirecta.es. (Agosto de 2020). Obtenido de <https://www.lamparadirecta.es/blog/efectos-de-la-luz-led-en-nuestro-organismo>
- Led Total Saving Energy. (Marzo de 2020). *Esquema de instalación fotovoltaica*. Obtenido de <https://www.ledtse.com/site/fotovoltaica/esquema-fotovoltaico-2/>
- Legrand. (2020). *Compensación de energía reactiva y monitoreo de la calidad de potencia*. Limoges.
- LEGRAND. (2020). *Tableros a norma IEC-61439*. Obtenido de <https://legrand.com.pe/wp-content/uploads/2018/03/Catalogo-Tablero-A-Norma-1.pdf>
- Llanos, D. (2003). *Sistemas de corrección de perturbaciones*. Girona: Universidad de Girona.
- Marín, P. (16 de Marzo de 2019). *Iluminet*. Obtenido de Recomendaciones Técnicas: <https://www.iluminet.com/flicker-iluminacion-led/>
- Merus Power. (Octubre de 2020). *Compensador estático síncrono 8 MVAR*. Obtenido de <https://www.meruspower.fi/products/statcom/>
- Metrel. (2017). *MI 2892 Power Master*. Eslovenia.
- Ministerio de Energía y Minas. (1997). *Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE)*. Lima: Diario El Peruano.
- Montes Navarrete, M. (2016). *Mediciones eléctricas I*. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Motor Direct. (Mayo de 2018). *Clases de servicio en motores eléctricos*. Obtenido de https://motordirect.es/WIKI/clases_de_servicio.html
- Ochoa Galindo, D. (2008). *Instalación de equipos de refrigeración industrial*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Pauls Fan Company. (Diciembre de 2018). *Ventiladores de mina*. Obtenido de <https://clusmin.org/capsulas-de-escape-pauls-fans/>
- Pila, H., & Zambrano, M. (2010). *Estudio del flicker en una instalación eléctrica*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Pilman Maquinaria. (Abril de 2020). *Maquina soldar tig y electrodos KD DC31T*. Obtenido de <https://www.pilmanmaquinaria.com/maquinaria-usada/soldadura-y-corte/soldadura-tig-usado-equipos/maquina-soldar-tig-y-electrodos-kd-dc31t>
- Premium Nueva Energía S.L.* (22 de Febrero de 2017). Obtenido de <https://premiumenergia.es/historia-de-la-energia-solar/>
- Ptolomeo UNAM*. (12 de Noviembre de 2019). Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/626/4/A4.pdf>

- Rodriguez, E. (2019). *Tecnología*. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>
- Schneider Electric. (2020). *Motores y cargas*. Obtenido de https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Guia+de+soluciones+de+automatizacion+Capitulo+3+Motores+y+cargas.pdf&p_Doc_Ref=ESMKT02042D14_03
- Software *ElectroNika*. (Noviembre de 2017). Obtenido de <https://electronikasoftware.blogspot.com/2017/>
- Tecnológico de Costa Rica. (2019). *SESLab*. Obtenido de http://seslab.org/fotovoltaico/23_proteccion_frente_a_sobretensiones.html
- Uma Shankar Engineering. (Mayo de 2020). *Trituradora de chatarra*. Obtenido de <https://www.indiamart.com/umashankarengineers/wet-scrubbers.html>
- UNE - EN 50160. (2011). Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. Madrid: AENOR.
- UNE - EN 60868-0. (Julio de 1997). Parte 0: Evaluación de la severidad del *flicker*. En *Medidor de flicker* (págs. 1-29). Madrid: AENOR. Obtenido de <http://www2.elo.utfsm.cl/~ipd411/archivos/apuntes/papers-Capitulo9.pdf>
- UNE - EN 61000-4-15. (2012). *Compatibilidad electromagnética Parte 4-15: Técnicas de ensayo y de medida para un flickermeter*. Madrid: AENOR.
- UNE - EN 61000-4-30. (2015). *Compatibilidad electromagnética Parte 4-30: Técnicas de ensayo y de medida de la calidad de suministro*. Madrid: AENOR.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2010). *Disturbios Eléctricos*. México.
- Universidad Técnica Federico Santa María. (2009). Fluctuaciones de voltaje : *flicker*. En *Armónicos en sistemas industriales con convertidores estáticos* (págs. 173-188). Valparaíso.
- Uriol Paulini, J. (2020). *Estudio de la viabilidad técnica y económica de un sistema de suministro fotovoltaico con respaldo en la red eléctrica en la empresa El Chalán S.A.C*. Piura: Universidad de Piura.
- Usunáriz, I. (1999). *Normativas aplicables a la calidad eléctrica: UNE-EN 50160 / CEI 61000-4-30*. Madrid: *Fluke Power Quality*.
- Valarezo Ortiz, H. (2002). *Mejoras en el sistema de aire comprimido en una planta industrial*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Vallejo, V. (05 de Febrero de 2018). *Sumatec*. Obtenido de <https://sumatec.co/equipo-de-soldadura-por-arco-electrico-tipos-y-caracteristicas/>
- Yarlequé, G. (2019). *Implementación de un sistema de suministro solar fotovoltaico de 30 kWp*. Piura: TESGA S.A.C.

Anexos





Anexo A. Ficha técnica MI2892 Power Master

Analizador de Calidad de Potencia Clase A MI 2892 Power Master

NUEVO



El nuevo MI 2892 Power Master es un analizador de calidad de potencia trifásica portátil con una pantalla de colores gráficos de grandes dimensiones, fácil de leer, que permite al usuario detectar armónicos, fasores y anomalías de las formas de onda en la instalación, con solo conectar el dispositivo. El equipo está diseñado para registros a largo plazo, así como para la resolución de problemas de calidad de potencia en sistemas de distribución de energía monofásicos y trifásicos. Los botones rápidos manuales permiten un uso intuitivo de este equipo y una visión general más rápida de los datos para la resolución de problemas. El paquete de software avanzado para PC PowerView3 permite un análisis detallado de los datos registrados, la lectura directa de la tarjeta de memoria microSD, el análisis de los registros a largo plazo y la creación automática de un informe profesional de pruebas.

FUNCIONES DE MEDICIÓN

- Tensión: TRMS, pico, factor de cresta (4 canales);
- Corriente: TRMS, pico, factor de cresta (4 canales);
- Potencia (activa, reactiva, aparente);
- Mediciones de potencia de cumplen fielmente con IEEE 1459 (activo, no activo, fundamental, armónico, desequilibrio de la carga);
- Desequilibrio, medición de parpadeos;
- Análisis de armónicos e interarmónicos hasta el armónico 50, medición de la THD;
- Energía (activa, reactiva, generada, consumida);
- Captura y registro de eventos en el suministro eléctrico (desconexiones, interrupciones, subidas, caídas);
- Monitorización y registro de corrientes de entrada;
- Visualización de captura de instantáneas de la forma de onda/corrientes de entrada;
- Registro de transitorios;
- Análisis de la calidad de la energía según la normativa EN 50160;
- Registro de hasta 7 alarmas ajustables;
- Medición de la temperatura;
- Factor de Potencia $\cos \phi$.

CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTO

- 4 canales de tensión con una amplia escala de medición: 0 ... 1000 Vrms (CAT III / 1000 V);
- 4 canales de corriente con posibilidad de

- reconocimiento automático de las pinzas y una amplia selección "en el equipo";
- Detección automática de Smart Clamp y amplia selección de Smart Clamp ;
- Frecuencia del muestro de transitorios registrando 49 kMuestras/seg;
- Cumplimiento con la normativa de calidad de la energía IEC 61000-4-30 Clase A;
- Análisis completo de la calidad de la potencia según la normativa EN 50160, incluyendo la señalización y los interarmónicos;
- Soporte para la tarjeta de memoria microSD (el equipo viene con memoria interna de 8-GB) hasta 32GB;
- Terminales de entrada y etiquetas del terminal con de colores codificados apropiados a su región de aplicación;
- Menú principal intuitivo y grandes iconos que hace que sea fácil la navegación y configuración del equipo;
- El potente software informático PowerView3 permite la descarga, visualización y el análisis de los datos registrados, así como la creación de informes profesionales;
- Pinzas flexibles sin alimentación incluidas en el equipo Europeo;
- Comunicación remota vía Ethernet (sincronización horaria GP-opcional).

APLICACIÓN

- Evaluación de la calidad de potencia y resolución de problemas en sistemas eléctricos de tensión media y baja;
- Comprobación del rendimiento del equipamiento de corrección de potencia;
- Análisis a largo plazo;
- Mantenimiento predictivo;
- Verificación de la capacidad del sistema eléctrico antes de añadir cargas.

NORMATIVAS

Funcionalidad:

- EN 61010-1

Mediciones:

- IEC/EN 61000-4-30, Clase A;
- IEC/EN 61557-12;
- IEC/EN 61000-4-7, Clase I;
- IEC/EN 61000-4-15;
- EN 50160;
- IEEE 1448;
- IEEE 1459

Compatibilidad electromagnética

(EMC):

- EN 61326

www.metrel.si



Fuente: Metrel (2017)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

| Entradas de tensión | AC+ DC |
|-------------------------------------|--|
| Número de entradas | 5 |
| Rango de la Tensión nominal (L - N) | Fase (L-N): 50 + 1000 VRMS Línea (L-L): 50 + 1730 VRMS |
| Rango de medición | 10% + 150% de tensión nominal |
| Precisión | IEC 61000-4-30 Clase A, ±0.1% de tensión nominal |
| Tasa de muestreo | 7 kMuestras por segundo @ 50/60 Hz, sincronizado con frecuencia de red |
| Rango de frecuencia de red | 42,5 + 69,0 Hz ±10 mHz |

| Entradas de corriente | AC+ DC |
|--|--------------------------------|
| Número de entradas | 4 |
| Rango de medición (Con pinzas flexibles A1227) | 3 + 6000 ARMS ±1.5% de m.v. |
| Rango de medición (Con pinzas rígidas A1281) | 50 m + 1200 ARMS ±0.5% de m.v. |

| Funciones | Rango de medición | Precisión |
|----------------------------------|--|--|
| Potencia (P, Q, S, cos φ, PF...) | Depende de la tensión y las pinzas | IEC 61557-12 Clase 1 |
| Energía | Depende de la tensión y las pinzas seleccionadas | Activo: IEC 62053-21 Clase 1 Reactivo: IEC 62053-23 Clase 2 |
| Armónicos (DC + 50th) | 0 + 20% de tensión nominal | IEC 61000-4-7 Clase 1 |
| Interarmónicos (1 + 50th) | 0 + 20% de tensión nominal | IEC 61000-4-7 Clase 1 |
| Flicker | 0.2 + 10 | IEC 61000-4-15 Clase F3 |
| Señalizaciones de la red | 0 + 15% de tensión nominal | IEC 61000-4-30 Clase A |
| Desequilibrio | Tensión: 0 + 5% Corriente: 0 + 17% | |
| Temperatura | -10 + 85 °C | ±0.5 °C |
| Subidas, caídas de tensión | 10 + 150% de tensión nominal | ±0.2 % de tensión nominal ±1 ciclo |
| Interrupciones | 0 + 10% de tensión nominal | ±1 ciclo |

| Registadores | |
|--------------|-------------------------------------|
| Memoria | Soporta MicroSD de 8 GB hasta 32 GB |

| Registador general | |
|------------------------|--|
| Período de integración | 1s... 2h |
| Señales registradas | >1000 (tensiones, corrientes, armónicos, potencia...) Valor Mínimo, máximo y promedio por intervalo. - Eventos de Tensión - Alarmas personalizadas |
| Duración | > 1 año (depende del tamaño de la tarjeta SD) |

| Registador de formas de onda | |
|------------------------------|---|
| Duración | Hasta 20 segundos de formas de onda de tensión y corriente |
| Disparador | Manual, Eventos de Tensión, Alarmas a medida, Nivel de Tensión o corriente (de entrada), intervalos de tiempo |

| Registro de transitorios | |
|--------------------------|--|
| Tasa de muestreo | > 49 kmuestras/seg |
| Duración | Hasta 50 ciclos de formas de onda de tensión y corriente |
| Disparador | Manual, sobre de tensión o nivel |

| General | |
|---------------------------|---|
| Pantalla | 4.3 pulgadas TFT (480 x 272) a color |
| Comunicación | USB, Ethernet |
| Sincronización hora | Receptor GPS (A 1355) |
| Fuente de alimentación | Baterías recargables 110 + 240 Vac; o 6 x NiMH, tamaño AA |
| Categoría de sobretensión | CAT IV / 600 V o CAT III / 1000 V |
| Peso | 1 kg |
| Dimensiones | 230 x 140 x 80 mm |

METREL D.D.

Measuring and Regulation Equipment Manufacturer
Ljubljanska 77, SI-1354 Horjul, Slovenia
T +386 (0)1 75 58 200, F +386 (0)1 75 49 276
metrel@metrel.si, www.metrel.si

Nota: Las fotografías de este catálogo pueden diferir ligeramente de los equipos en el momento del envío. Sujeto a cambios técnicos sin preaviso.

INFORMACIÓN PARA EL PEDIDO



Conjunto Set Euro MI 2892 EU

- Equipo Power Master
- Pinza flexible monofásica 3000 / 300 / 30 A (A1227), 4 uds.
- Sonda de pruebas (marrón, negro, gris, verde, azul), 5 uds.
- Codoñilo (marrón, negro, gris, verde, azul), 5 uds.
- Cables para medida de tensión (marrón, negro, gris, verde, azul), 5 uds.
- Etiquetas para la codificación del color
- Sonda de Temperatura
- Tarjeta de memoria microSD 8.0GB
- Lector de tarjeta microSD
- Software para PC PowerView3
- Cables de conexión RS232, USB/Ethernet
- Adaptador de corriente
- 1.2 V NiMH baterías recargables, 6 uds.
- Estuche de transporte flexible
- Manual de instrucciones
- Certificado de calibración

Conjunto Set Estándar MI 2892 ST

- Sin las pinzas Flexibles monofásicas A1227 4 uds.

ACCESORIOS OPCIONALES

| Foto | Número | Descripción detallada |
|------|--------|--|
| | A 1020 | Pequeño estuche de transporte flexible |
| | A 1033 | Pinza de corriente 1000 A/1 V |
| | A 1037 | Transformador de corriente 5 A/1 V |
| | A 1561 | Cable conexión para la pinza de corriente (A 1069, A 1122) |
| | A 1069 | Mini pinza de corriente 100A/1V |
| | A 1122 | Mini pinza de corriente 5A/1V |
| | A 1179 | Pinza flexible trifásica 2000 / 200 / 20 A/1V |
| | A 1257 | Pinza flexible trifásica 3000 / 300 / 30 A/1V |
| | A 1281 | Current clamp 1000 / 100 / 5 A / 1 V |
| | A 1287 | Pinza flexib. monofásica 3000 / 300 / 30 A / 1 V |
| | A 1458 | Lector de tarjeta microSD |
| | A 1355 | Receptor GPS |
| | S 2014 | Adaptador fusible seguridad, 3 uds. |
| | S 2015 | Pinza plana de seguridad, 4 uds |
| | A 1391 | Pinza corriente AC/DC 300 / 40 A / 1 V |
| | A 1475 | WiFi / modem 3G |
| | S 2072 | Disp. almacenamiento USB (backup datos) |



Anexo B. Ficha técnica de los paneles solares JINKO SOLAR

www.jinkosolar.com



Cheetah 72M

380-400 Watt

MONO PERC MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001 certified factory

IEC61215, IEC61730, UL1703 certified product

PERC

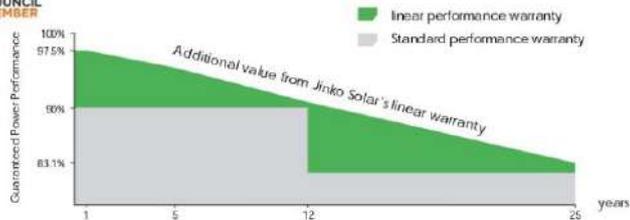
KEY FEATURES



- 5 Busbar Solar Cell**
 5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.
- High Efficiency**
 Higher module conversion efficiency (up to 20.17%) benefit from Passivated Emmitter Rear Contact (PERC) technology.
- PID Resistance**
 Excellent Anti-PID performance guarantee limited power degradation for mass production.
- Low-light Performance:**
 Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low-light environment.
- Severe Weather Resilience**
 Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).
- Durability Against Extreme Environmental Conditions**
 High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

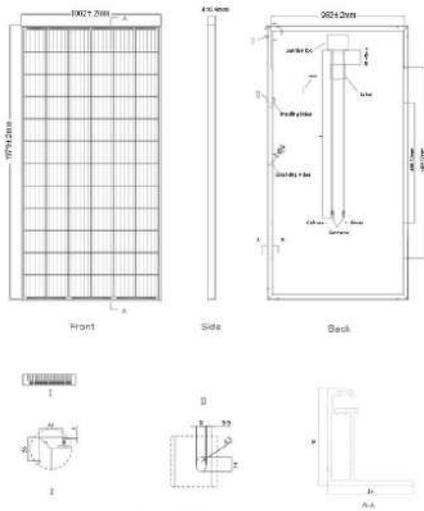
LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty

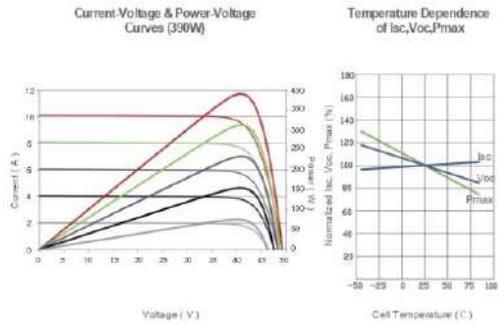


Fuente: Uriol Paulini (2020)

Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

| | |
|---------------|---|
| Cell Type | Mono PERC 158.75×158.75mm |
| No. of cells | 72 (6×12) |
| Dimensions | 1979×1002×40mm (77.91×39.45×1.57 inch) |
| Weight | 22.5 kg (49.6 lbs) |
| Front Glass | 3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass |
| Frame | Anodized Aluminium Alloy |
| Junction Box | IP67 Rated |
| Output Cables | TUV 1×4.0mm ² , Length 1200mm or Customized Length |

Packaging Configuration

(Two pallets= One stack)
 27pcs/pallet, 54pcs/stack, 594pcs/40'HQ Container

SPECIFICATIONS

| Module Type | JKM380M-72 | | JKM385M-72 | | JKM390M-72 | | JKM395M-72 | | JKM400M-72 | |
|---|------------|-------|------------|-------|---------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT |
| Maximum Power (Pmax) | 380Wp | 286Wp | 385Wp | 290Wp | 390Wp | 294Wp | 395Wp | 298Wp | 400Wp | 302Wp |
| Maximum Power Voltage (Vmp) | 40.5V | 38.6V | 40.6V | 38.8V | 41.1V | 39.1V | 41.4V | 39.3V | 41.7V | 39.6V |
| Maximum Power Current (Imp) | 9.39A | 7.42A | 9.44A | 7.48A | 9.49A | 7.54A | 9.55A | 7.60A | 9.60A | 7.66A |
| Open-circuit Voltage (Voc) | 48.9V | 47.5V | 49.1V | 47.7V | 49.3V | 48.0V | 49.5V | 48.2V | 49.8V | 48.5V |
| Short-circuit Current (Isc) | 9.75A | 7.85A | 9.92A | 7.95A | 10.12A | 8.02A | 10.23A | 8.09A | 10.36A | 8.16A |
| Module Efficiency STC (%) | 19.16% | | 19.42% | | 19.67% | | 19.92% | | 20.17% | |
| Operating Temperature (°C) | | | | | -40°C~+85°C | | | | | |
| Maximum System Voltage | | | | | 1000VDC (IEC) | | | | | |
| Maximum Series Fuse Rating | | | | | 20A | | | | | |
| Power Tolerance | | | | | 0~+3% | | | | | |
| Temperature Coefficients of Pmax | | | | | -0.37%/°C | | | | | |
| Temperature Coefficients of Voc | | | | | -0.28%/°C | | | | | |
| Temperature Coefficients of Isc | | | | | 0.048%/°C | | | | | |
| Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) | | | | | 45±2°C | | | | | |

STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📦 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📦 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JKM380-400M-72-A2-EN

Fuente: Uriol Paulini (2020)

Anexo C. Ficha técnica del inversor trifásico FRONIUS SYMO

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



FRONIUS SYMO

Máxima flexibilidad para las aplicaciones de mañana



PC Board
Proceso de
reemplazo



Tecnología
SnapInverter



Comunicación
de datos
integrados



Diseño
Superflex



Smart Grid &
Certificación
NEC 2014



Dynamic Peak
Manager



AFCI
Integrado

Con categorías de potencia del 10 al 24 kW, el inversor trifásico sin transformador Fronius Symo es una perfecta solución compacta para aplicaciones comerciales. Su doble seguimiento del punto de máxima potencia, alta tensión máxima del sistema, amplio rango de voltaje de entrada y el uso sin restricciones en interiores y exteriores garantiza la máxima flexibilidad en el diseño del sistema fotovoltaico. Como miembro de la nueva familia SnapInverter, el Fronius Symo cuenta con el sistema de montaje SnapInverter, lo que permite instalaciones y servicios de campo seguros y convenientes. Las características líderes en la industria ahora vienen de serie con el Fronius Symo, incluyendo: protección de arco, monitorización inalámbrica integrada e interfaces SunSpec Modbus para el seguimiento y registro de datos a través de la plataforma móvil o en línea Fronius, Solar.web. Esto hace al Fronius Symo uno de los inversores con mayor conectividad, eficiencia y de fácil uso en el mercado. La versión SYMO Light no incluye la tarjeta de monitoreo integrada.

DATOS TÉCNICOS

| DATOS GENERALES | | ESTANDAR PARA TODOS LOS MODELOS SYMO | | DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ESTÁNDAR PARA TODOS LOS MODELOS SYMO | | |
|--|--|---|--|--|--|--|
| Dimensiones (ancho x alto x largo) | | 72,5 x 51,0 x 22,5 cm | | AFCI & Conformidad NEC 2014 | | |
| Envoltorio | | NEMA 4X | | Interrupción de falla a tierra por monitorización de aislamiento | | |
| Consumo nocturno | | < 1 W | | Desconexión de CD | | |
| Tecnología del inversor | | Sin transformador | | Polaridad inversa CD | | |
| Enfriamiento | | Ventilador de velocidad variable | | | | |
| Instalación | | Interior y Exterior | | | | |
| Temperatura ambiente admisible | | -40 a 60°C | | | | |
| Humedad relativa admisible | | 0 - 100 % (sin condensación) | | | | |
| Terminales de conexión CD | | 6x CD+ y 6x CD- terminales de tornillo para cobre (sólido / trenzado / trenzado fino) o aluminio (sólido / trenzado) | | | | |
| Terminales de conexión GA | | Terminales de tornillo 14-6 AWG | | | | |
| Certificaciones y cumplimiento de estándares (Excepto Symo 15.0 208) | | UL 1741-2010, UL 1998 (para funciones: AFCI, RCMU y monitorización de aislamiento), IEEE 1547.1-2008, IEEE 1547.1-2008, ANSI/IEEE C62.41, FCC Parte 15 A y B, NEC 2014 Artículo 690, C22.2 No. 107.1-01 (Septiembre 2001), UL1699B Issue 2-2013, CSA T11.07 Issue 1-2013 | | Registro de datos y actualización de firmware via USB | | |
| Certificaciones y cumplimiento de estándares Fronius Symo 15.0 205 | | UL 1741-2015, UL 1998 (para funciones: AFCI, RCMU y monitorización de aislamiento), IEEE 1547-2003, 1547-2003, IEEE 1547.1-2008, ANSI/IEEE C62.41, FCC Parte 15 A y B, NEC 2014 Artículo 690, C22.2 No. 107.1-01 (Septiembre 2001), UL1699B Issue 2-2013, CSA T11.07 Issue 1-2013 | | Fronius Solar.Web, SunSpec Modbus TCP, JSON, SunSpec Modbus RTU | | |
| | | | | Gestión de cargas eléctricas, encendido de señales, E/S multipropósito | | |

| DATOS DE ENTRADA CD | SYMO 10.0-3 208/240 | SYMO 12.0-3 208/240 | SYMO 10.0-3 480 | SYMO 12.5-3 480 | SYMO 15.0-3 208 |
|---|--|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Peso (kg) | 41,7 | 41,7 | 34,8 | 35,8 | 35,8 |
| Potencia TV Recomendada (kWp) | 8,0 - 13,0 | 9,5 - 15,5 | 8,0 - 13,0 | 10,0 - 16,0 | 12,0 - 19,5 |
| Máxima corriente de entrada nominal (MPPT1/MPPT2) | | 25,0 A / 16,5 A | | | 50,0 A |
| Máxima corriente (MPPT1 + MPPT2) | | 41,5 A | | | 50,0 A |
| Máxima corriente de entrada admisible (MPPT1/MPPT2) | | 37,5 A / 24,8 A | | | 75,0 A |
| Rango de tensión de operación | | 300 - 500 V | 300 - 800 V | 350 - 800 V | 325 - 850 V |
| Máxima tensión de entrada | | 600 V | | 1000 V | |
| Tensión nominal de entrada | 208 | 350V | 350V | - | - |
| | 240 | 370 V | 370 V | - | 325 V |
| | 480 | - | 675 V | 685 V | - |
| Tamaño de conductor admisible de CD | AWG 14 - AWG 6 Cobre directo, AWG 6 Aluminio directo, AWG 4 Cobre o Aluminio con combinator de entrada | | | | |
| Rango de tensión MPP | 200 V - 450 V | | 240 V - 480 V | 250 V - 480 V | 270 V - 460 V |
| Número de MPPT | | 2 | | | 1 |

Fuente: Uriol Paulini (2020)

DATOS TÉCNICOS

| DATOS DE SALIDA CA | | SYMO 10.0-3 208/240 | SYMO 12.0-3 208/240 | SYMO 10.0-3 480 | SYMO 12.5-3 480 | SYMO 15.0-3 208 |
|--|-------------------------------------|---|---------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------|
| Potencia máxima de salida | 208 V | 9995 VA | 11995 VA | - | - | 15000 VA |
| | 240 V | 9995 VA | 11995 VA | - | - | - |
| | 480 V | - | - | 9995 VA | 12495 VA | - |
| Máxima corriente de salida | 208 V | 277 A | 53.3 A | - | - | 41.6 A |
| | 220 V | 26.1 A | 31.5 A | - | - | 39.4 A |
| | 240 V | 24.0 A | 28.9 A | - | - | - |
| | 440 V | - | - | 13.1 A | 16.4 A | - |
| | 480 V | - | - | 12.0 A | 15.0 A | - |
| OCPD/Breaker CA recomendado | 208 V | 35 A | 45 A | - | - | 60 A |
| | 240 V | 30 A | 40 A | - | - | - |
| | 480 V | - | - | 15 A | 20 A | - |
| Eficiencia máxima | | 97.0 % | | 98.1 % | | 97.3 % |
| Eficiencia CED | 208 V | 96.5 % | - | - | - | 96.5 % |
| | 240 V | 96.5 % | - | - | - | - |
| | 480 V | - | - | 96.5 % | 97.0 % | - |
| Tamaño de conductor de CA admisible | AWG 14 - AWG 6 | | | | | |
| Tensión de red | 208 / 220 / 240 V Delta | | | 480V Delta - N** | | 208 / 220 V Delta |
| Frecuencia nominal | 60 Hz | | | | | |
| Distorsión armónica Total | < 1.5 % | | < 1.75 % | | < 1.5 % | |
| Factor de potencia (cos φ _u) | 1 (ajustable - 0.85 ind./0.85 cap.) | | | | | |
| DATOS DE ENTRADA CD | | SYMO 15.0-3 480 | SYMO 17.5-3 480 | SYMO 20.0-3 480 | SYMO 22.7-3 480 | SYMO 24.0-3 480 |
| Potencia FV recomendada (LWp) | | 12.0 - 19.5 | 14.0 - 23.0 | 16.0 - 26.0 | 18.0 - 29.5 | 19.0 - 31.0 |
| Máxima corriente de entrada nominal (MPPT1/MPPT2) | | | | 33.0 A / 25.0 A | | |
| Máxima corriente total MPPT1 + MPPT2 (Usando kit de conector CD) | | | | 51 A | | |
| Máxima corriente de entrada admisible (MPPT1/MPPT2) | | | | 49.5 A / 37.5 A | | |
| Portafusibles incluidos CD | | | | 6- y 6+ incluidos (4,251,006) | | |
| Rango de voltaje MPP | | 350 - 800 V | 400 - 800 V | 450 - 800 V | 500 - 800 V | |
| Tensión de operación | | 200 - 1000 V | | | | |
| Máxima tensión de entrada | | 1000 V | | | | |
| Tensión nominal de entrada | | 480 V | 685 V | 695 V | 710 V | 720 V |
| Tamaño de conductor admisible de CD | | AWG 14 - AWG 6 cobre directo, AWG 6 aluminio directo, AWG 4 - AWG 2 cobre o aluminio con combinador de entradas | | | | |
| Número de MPPT | | 2 | | | | |
| DATOS DE SALIDA CA | | SYMO 15.0-3 480 | SYMO 17.5-3 480 | SYMO 20.0-3 480 | SYMO 22.7-3 480 | SYMO 24.0-3 480 |
| Máxima potencia de salida | | | | | | |
| 480 V | | 14995 VA | 17195 VA | 19995 VA | 22717 VA | 23995 VA |
| Máxima corriente de salida | | | | | | |
| 480 V | | 18.0 A | 21.0 A | 24.0 A | 27.3 A | 28.9 A |
| OCPD/Breaker CA recomendado | | | | | | |
| 480 V | | 25 A | 30 A | 35 A | 40 A | |
| Máxima eficiencia | | 98 % | | | | |
| Eficiencia CED | | | | | | |
| 480 V | | 97.0 % | | | 97.5 % | |
| Tamaño de conductor de CA admisible | | AWG 14 - AWG 6 | | | | |
| Tensión de red | | 480V Delta - N** | | | | |
| Frecuencia nominal | | 60 Hz | | | | |
| Distorsión armónica Total | | < 1.5 % | < 1.25 % | < 1.0 % | 1.25 % | < 1.0 % |
| Factor de potencia (cos φ _u) | | 1 (ajustable - 0.85 ind./0.85 cap.) | | | | |

* El término Wi-Fi es una marca registrada de la alianza Wi-Fi

** Neutro indispensable para su correcto funcionamiento.

Nota: Información válida para México, Belize, Guatemala, Nicaragua, Honduras, El Salvador, Costa Rica y Panamá

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

SOMOS TRES UNIDADES DE NEGOCIO CON UN MISMO OBJETIVO: ESTABLECER LOS ESTÁNDARES MEDIANTE EL AVANCE TECNOLÓGICO.

/ Lo que comenzó en 1945 como una operación unipersonal ahora establece estándares tecnológicos en los campos de tecnología de soldadura, energía fotovoltaica y carga de baterías. Hoy la compañía tiene alrededor de 3.800 empleados en todo el mundo y 1.242 patentes para el desarrollo de productos muestran el espíritu innovador dentro de la empresa. El desarrollo sostenible significa para nosotros implementar aspectos ambientales relevantes y sociales por igual con los factores económicos. Nuestro objetivo se ha mantenido constante durante todo el tiempo para ser el líder de innovación.

Para obtener información más detallada sobre todos los productos de Fronius y nuestros distribuidores y representantes en todo el mundo visite www.fronius.mx

Fronius México S.A. de C.V.
Fronius Monterrey
Carretera Monterrey Saltillo 3279
Privadas de Santa Catarina
66367 Santa Catarina, N.L.
México
Teléfono +52 81 8882 8200
pv-sales-mexico@fronius.com
www.fronius.mx

Anexo D. Ficha técnica del medidor bidireccional FRONIUS SMART METER

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



FRONIUS SMART METER

Medidor de energía bidireccional y monitoreo del consumo de energía



¿Le gustaría controlar el consumo en su hogar? Fronius tiene la solución mediante el Fronius Smart Meter, un contador de energía bidireccional. Gracias a la medición de consumo y la rápida comunicación a través de la interfaz Modbus RTU, el medidor es adecuado para aplicaciones como el Control Dinámico de Potencia en Sistemas de gestión y/o Autoabastecimiento de energía. Fronius Solar.Web, junto con el sistema Fronius Smart Meter, ofrecen un resumen detallado del consumo de energía de una casa o negocio. El Fronius Smart Meter es compatible con los inversores Fronius SnapInverter como el Galvo, Symo y Primo, así como con las próximas generaciones de inversores Fronius.

| DATOS TÉCNICOS | FRONIUS SMART METER 240 V-3 UL | BFRONIUS SMART METER 480 V- 3UL |
|---|--|---------------------------------|
| Tensión nominal | 166V-276V | 384V-552V |
| Frecuencia | 50Hz a 60Hz | |
| Conectores | Bloques de terminales tipo Euroblock (12AWG) | |
| Potencia de autoconsumo | 1,2W(60Hz)/1,5W(50Hz) | 1,2W(60Hz)/1,6W(50Hz) |
| Potencia e corriente máxima | 4VA | 3VA |
| Exactitud | ±0,5% (ver detalles en el manual) | |
| Montaje | Dentro: Montaje sobre la pared | |
| | Fuera: Si está montado dentro de una carcasa eléctrica NEMA 3R o 4 / IP 66 | |
| Rango de temperatura | -30°C a +55°C | |
| Peso | 306 gr | |
| Dimensiones (Alto x Ancho x Profundidad) cm | 3.8 x 14.3 x 8.5 | |
| Interfaz a Inversor | Modbus RTU (RS 485) | |
| Certificaciones/Listados | UL 61010-1, CAN/CSA-C22.2 No 610 10-1-04, en 61326; 2002, EN 61000-2, EN 61000-3, EN 61000-4, EN 61000-5, EN 61000-6, EN 61000-11, FCC Part 15 Class B, EN 55022, 1994 Class B | |
| Transformadores de corriente | Primario: 1 - 3000A / secundario: Usar solo CT's con voltaje de salida de 333mV | |
| Tipos de redes | 2 Fases - 3 hilos (N), 2 Fases - 2 hilos, e Fases - 4 hilos WYE (N), 3 Fases - 3 hilos | |
| Alimentación | Se auto suministra, No necesita una fuente externa de alimentación | |

Nota: Los transformadores de corriente no están incluidos. Si gusta que se le incluyan pregunte por el Paquete de análisis de consumo o consulte www.fronius.mx

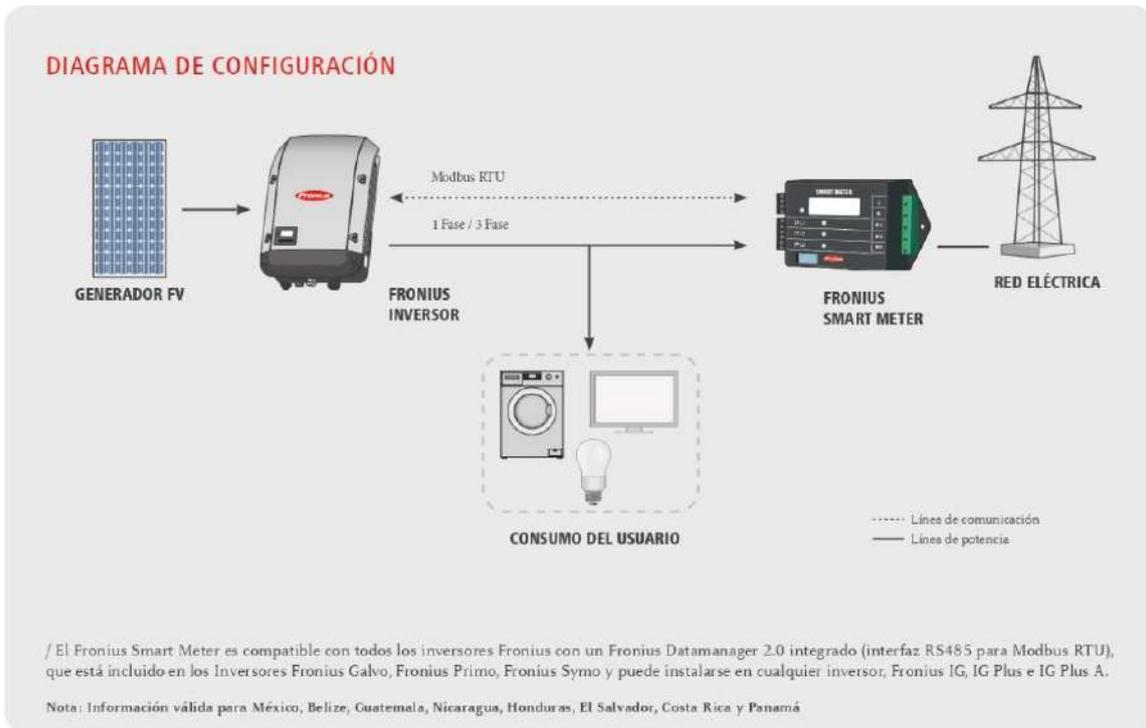
LAS VENTAJAS

- / Configuración para cero inyección de energía a la red
- / Control dinámico de potencia con el Datamanager 2.0
- / Sistema de autoabastecimiento* y autoconsumo
- / Visualización del consumo de energía en Fronius Solar.web
- / Administración de energía optimizada con la solución de almacenamiento de Fronius*

*Detalles del lanzamiento de esta solución pueden encontrarse en www.fronius.mx



Fuente: Uriol Paulini (2020)



/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

SOMOS TRES UNIDADES DE NEGOCIO CON UN MISMO OBJETIVO: ESTABLECER LOS ESTÁNDARES MEDIANTE EL AVANCE TECNOLÓGICO.

/ No importa si se trata de tecnología de soldadura, energía fotovoltaica o tecnología de carga de baterías, nuestra exigencia está claramente definida: ser líder en innovación. Con nuestros más de 3,000 empleados en todo el mundo y nuestras más de 1,000 patentes concebidas son la mejor prueba. Otros se desarrollan paso a paso. Nosotros siempre damos saltos de gigante. Siempre ha sido así. El uso responsable de nuestros recursos constituye la base de nuestra actitud empresarial.

Para obtener información más detallada sobre todos los productos de Fronius y nuestros distribuidores y representantes en todo el mundo, visite www.fronius.mx

Texto e imágenes según el estado técnico en el momento de la impresión. Sujeto a modificaciones. No podemos garantizar la exactitud de todos los datos a pesar de su cuidadosa selección, declinamos por ello cualquier responsabilidad. Copyright © 2019 Fronius™. Todos los derechos reservados.

ES-01 JUN 2019



www.24hoursofsun.com

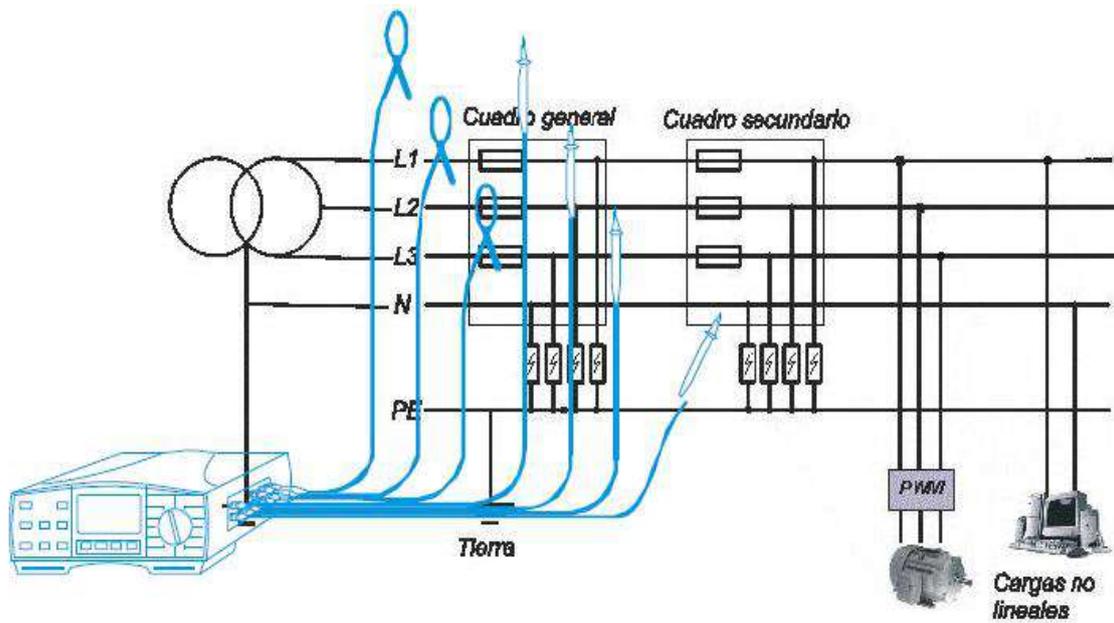
Fronius Puebla
Calle 4 Pte. 2904,
Col. Amor
72140 Puebla, Puebla
México
Teléfono +52 222 268 7664
pv-sales-mexico@fronius.com

Fronius Valle de México
Av. Jesús Reyes Heróles 188,
Col. Valle Ceylán
54150 Tlalnepantla, Edo. de México
México
Teléfono +52 55 5388 4065
pv-sales-mexico@fronius.com

Fronius México S.A. de C.V.

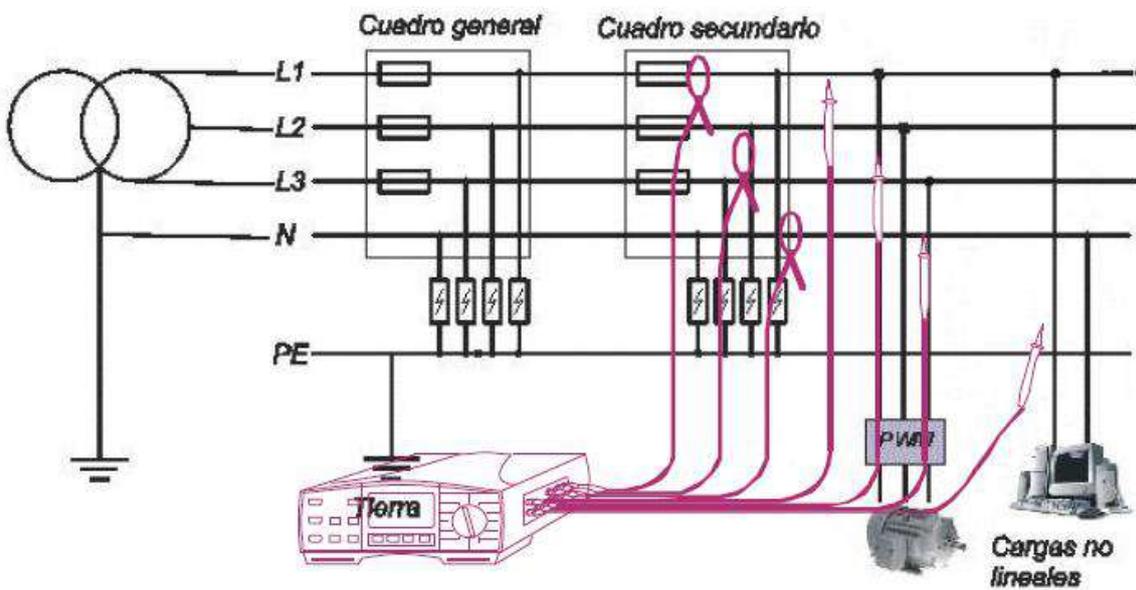
Fronius Monterrey
Carretera Monterrey Saltillo 3279E
66367 Santa Catarina, N.L.
México
Teléfono +52 81 8882 8200
pv-sales-mexico@fronius.com
www.fronius.mx

Anexo E-1. Instalación en cuadro general

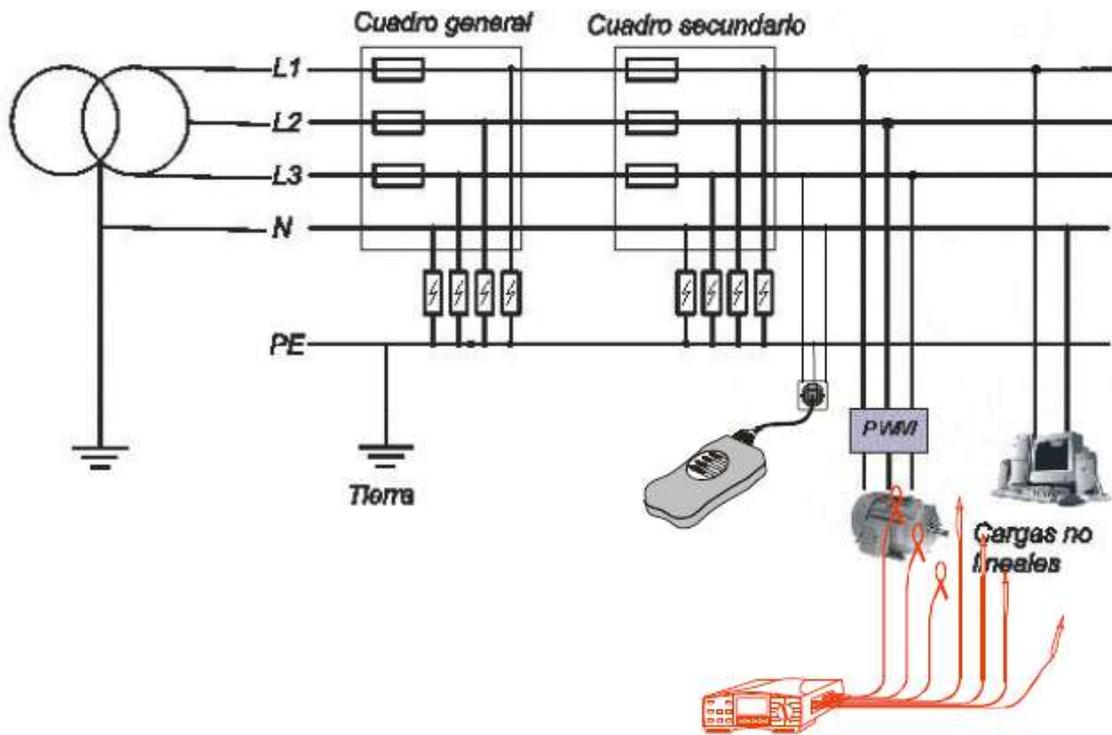


Fuente: Metrel (2017)

Anexo E-2. Instalación en cuadro secundario



Fuente: Metrel (2017)

Anexo E-3. Instalación en cargas y tomas de corriente industriales

Fuente: Metrel (2017)

