



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería Eléctrica

**Análisis de Consumo Eléctrico y Calidad de
Onda del Hospital Nuestra Señora de
Sonsoles de Ávila**

Autor:

Aldea Santamaría, Marta

Tutor:

**Duque Pérez, Óscar
Departamento de Ingeniería
Eléctrica**

Valladolid, Julio 2017

AGRADECIMIENTOS.

El Trabajo de Fin de Grado cierra una etapa muy importante en la vida de cualquier estudiante, que marcará sin duda un antes y un después en nuestra formación y significará crecimiento y prosperidad para la vida que está por venir.

Primeramente me gustaría agradecerle a mi tutor Óscar Duque Pérez toda la dedicación a este TFG y darle las gracias por haberme brindado la oportunidad de conocer el apasionante trabajo de un ingeniero en el Hospital. No puedo olvidar mencionar al Departamento de Ingeniería Eléctrica por facilitarme los aparatos y la formación necesaria para su uso, además de depositar su confianza en mí.

De igual manera, cabe una mención especial a David y Luis Miguel, el personal del Hospital de Electromedicina que me ha formado y me ha tratado como si estuviese en mi propia casa, enseñándome una gran parte del conocimiento que aquí se muestra.

Gracias, de corazón, a mi familia. Los que siempre están para levantarte en el largo y duro camino que han sido estos cinco años. Los que siempre creen en ti y se alegran, incluso, más que uno mismo de los logros y ayudan a ver que cada error o cada derrota es un aprendizaje.

También a mis amigas y amigos de mi pueblo, Papatrigo, y mis amigas de Ávila que han sabido darme apoyo y comprensión en todos los momentos en los que no he podido estar y alegría y felicidad en los días libres.

No podría olvidar a mi gran amigo Carlos Fernández Ramos, compañero de clase y una persona fundamental en esta formación. Buenos consejos y ayuda jamás me han faltado de su parte.

¡Gracias a todos de corazón!

Marta Aldea Santamaría.

RESUMEN.

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como principal objetivo analizar las características del consumo eléctrico y las incidencias en calidad de onda que podamos encontrar en la instalación del Hospital Nuestra Señora de Sonsoles de Ávila. También resaltar la importancia que estas tienen en el entorno hospitalario y describir las peculiaridades, desde el punto de vista eléctrico, que tiene este. De la misma forma se intentan comparar diferentes franjas horarias y días para estimar anomalías y peculiaridades en el consumo.

PALABRAS CLAVES.

Calidad de onda.

Consumo eléctrico.

Hueco de tensión.

Aparato electromédico.

Hospital.

Índice:

1. Introducción y justificación.....	1
2. Calidad de onda.....	3
2.1. Variaciones de frecuencia.....	4
2.2. Variaciones de tensión.....	6
2.2.1. Variaciones lentas de tensión.....	6
2.2.2. Fluctuaciones de tensión o Flicker.....	7
2.2.3. Huecos de tensión y cortes breves.....	9
2.2.4. Impulsos de tensión.....	11
2.2.5. Distorsión armónica.....	12
2.2.6. Desequilibrios de tensión.....	15
3. Calidad de onda en Hospitales.....	17
3.1. Precedentes.....	18
3.2. Sistema eléctrico hospitalario. Peculiaridades.....	19
3.3. Sistema eléctrico del Hospital Nuestra señora de Sonsoles (Ávila).....	22
3.3.1. Alimentación de cargas críticas (Anexo 1).....	22
3.3.2. Quirófanos de la Segunda Planta (Anexo 2)	24
4. Metodología de adquisición de datos.....	27
4.1. Toma de datos.....	27
4.2. Análisis temporal.....	28
4.3. Características de los equipos.....	28
5. Análisis de datos.....	31
5.1. Quirófanos segunda planta. Panel de asilamiento. Esquema IT.....	31
5.2. UCI. Panel de aislamiento. Esquema IT.....	41
5.3. Resonancia magnética. Fuerza.....	47
5.4. Ascensores de personal. Fuerza.....	53
6. Conclusiones.....	63
7. Bibliografía.....	65

Índice de Tablas:

Tabla 1. Localización de las tarjetas de adquisición.....	29
Tabla 2. Periodo de instalación en Quirófanos Segunda Planta.....	31
Tabla 3. Periodo de instalación en UCI.....	42
Tabla 4. Periodo de instalación de las tarjetas de adquisición en Resonancia Magnética.....	48
Tabla 5. Periodo de adquisición de datos en Ascensores de Personal.....	54

Índice de Figuras:

Figura 1. Variaciones rectangulares de tensión. [10]	8
Figura 2. Variación de tensión irregular en amplitud y duración. [10].....	8
Figura 3. Cambios aparejados de la tensión. [10].....	9
Figura 4. Fluctuaciones producidas por cargas aleatorias.[10]	9
Figura 5. Hueco de tensión. [10]	10
Figura 6. Corte breve de tensión. [10].....	10
Figura 7. Impulso de tensión.[2]	12
Figura 8. Frecuencia fundamental y armónico tercero y quinto de una señal a 50Hz.[2]	13
Figura 9. Comportamiento de un circuito lineal.[2].....	13
Figura 10. Comportamiento de un circuito no lineal. [2].....	14
Figura 11. Frecuencia fundamental no sinusoidal y su tercer y quinto armónico [2]	14
Figura 12. Esquema de distribución IT. [7].....	21
Figura 13. Equipo de adquisición de datos.....	27

Índice de Gráficas:

Gráfica 1. Tensión eficaz. Quirófano IT. Día 20/07/16 a 21/07/16.....	32
Gráfica 2. Tensión máxima. Quirófano IT. Día 20/07/16 a 21/07/16	33
Gráfica 3. Intensidad eficaz. Quirófano IT. Día 20/07/16 a 21/07/16.....	33
Gráfica 4. Intensidad máxima. Quirófano IT. Día 20/07/16 a 21/07/16	34
Gráfica 5. Tensión eficaz. Quirófano IT. Día 24/07/16 a 25/07/16.....	35
Gráfica 6. Tensión máxima. Quirófano IT. Día 24/07/16 a 25/07/16	36
Gráfica 7. Intensidad eficaz. Quirófano IT. Día 24/07/16 a 25/07/16.....	36
Gráfica 8. Intensidad máxima. Quirófano IT. Día 24/08/16 a 25/08/16	37
Gráfica 9. Corriente eficaz. Quirófano IT. Día 25/07/16 7:30 a 8:30 horas ..	38
Gráfica 10. Intensidad máxima. Quirófano IT. Día 25/07/16 de 7:30 a 8:30 horas	38
Gráfica 11. Tension eficaz. Quirófano IT. Día 19/07/16 a 20/07/16	40
Gráfica 12. Tensión eficaz. Quirófano IT. Día 19/07/16 a 20/07/16.Hueco de tensión.	40
Gráfica 13. Tensión eficaz. UCI IT. Dia 26/07/16 a 27/07/16	43
Gráfica 14. Tensión máxima. UCI IT. Día 26/07/16 a 27/07/16.....	43
Gráfica 15. Intensidad eficaz. Dia 26/07/16 a 27/06/16	44
Gráfica 16. Intensidad máxima. Día 26/07/16 a 27/07/16.....	44
Gráfica 17. Tensión eficaz. UCI IT. 30/07/16 a 31/07/16.....	45
Gráfica 18. Tensión máxima. UCI IT 30/07/16 a 31/07/16	46
Gráfica 19. Intensidad eficaz. UCI IT. Día 30/07/16 a 31/07/16	46
Gráfica 20. Intensidad máxima. UCI IT. Dia 30/07/16 a 31/07/16.....	47
Gráfica 21. Tensión eficaz. Resonancia Magnética. Día 01/08/2016 a 02/08/2016	49
Gráfica 22. Tensión máxima. Resonancia magnética. Día 01/08/16 a 02/08/16	49
Gráfica 23. Intensidad eficaz. Resonancia magnética. Día 01/07/16 a 02/07/16	50
Gráfica 24. Intensidad máxima. Resonancia magnética. Día 01/08/16 a 02/08/16	50
Gráfica 25. Tensión eficaz resonancia magnética. Día 06/08/16 a 07/08/16	51
Gráfica 26. Tensión máxima. Resonancia magnética. Día 06/08/16 a 07/08/16	52
Gráfica 27. Intensidad eficaz. Resonancia magnética. Día 06/08/16 a 07/08/16	52
Gráfica 28. Intensidad máxima. Resonancia magnética. Día 06/08/16 a 07/08/16	53
Gráfica 29. Tensión máxima. Ascensores de personal. Día 09/08/16 a 10/08/16	55

Gráfica 31. Tensión máxima. Ascensores Personal. Día 09/08/16 a 10/08/16	56
Gráfica 32. Intensidad eficaz. Ascensores de personal. Día 09/08/16 a 10/08/16	56
Gráfica 33. Intensidad máxima. Ascensores de personal. Día 09/08/16 a 10/08/16	57
Gráfica 34. Corriente eficaz. Ascensores de personal. Día 10/08/16 a 11/08/16	58
Gráfica 35. Corriente máxima. Ascensores personal. Día 10/08/16 a 11/08/16	58
Gráfica 36. Tensión eficaz. Ascensores de personal. Día 14/08/16 a 15/08/16	59
Gráfica 37. Tensión eficaz. Ascensores personal. Día 14/08/16 a 15/08/16 ampliación.	59
Gráfica 38. Tensión máxima. Día 14/08/16 a 15/08/16	60
Gráfica 39. Intensidad máxima. Ascensores de personal. Día 14/08/16 a 15/08/16	61
Gráfica 40. Intensidad máxima. Ascensores de personal. Día 14/08/16 a 15/08/16	61

1. Introducción.

Durante los meses de Junio, Julio y Agosto del año 2016 realicé las prácticas en empresa de carácter obligatorio y optativo que se incluyen en el plan de estudios del Grado en Ingeniería Eléctrica. Tuve oportunidad de desarrollarlas en el Hospital Nuestra Señora de Sonsoles de Ávila en el área de Electromedicina e Ingeniería Clínica. Aconsejada por el departamento de Ingeniería Eléctrica y, en especial, por mi tutor Óscar Duque Pérez, paralelamente se tomaron una serie de medidas del suministro eléctrico en el Centro de Transformación del Hospital para que a lo largo de los primeros meses del año 2017 se elaborase un Trabajo de Fin de Grado estudiando no solo las características de consumo tan especiales que presenta una instalación como es un Hospital, si no también, con objeto de evaluar la existencia de perturbaciones en la onda y si se disponía de una buena calidad de onda eléctrica.

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como principales objetivos representar las características propias que tienen las instalaciones asociadas a centros hospitalarios, que hacen que sean lugares donde la Ingeniería Industrial y en especial, la Ingeniería Eléctrica, tomen mucha relevancia. También dejar constancia de lo importante que es una buena planificación de las cargas de las que va a disponer el hospital y el diseño óptimo de la instalación eléctrica, además de estudiar la importancia que tiene la calidad de onda eléctrica en un entorno con innumerables aparatos consumidores, con características especiales y diferentes entre sí.

Además no podemos olvidar la característica fundamental que tiene un Hospital Público: el servicio que presta es la salud y el cuidado integral del paciente, un paciente que en muchas ocasiones va a necesitar de un gran número de aparatos, que se nutren de corriente eléctrica, para poder realizar sus funciones vitales o que durante el proceso de diagnóstico de cualquier patología, van a intervenir numerosos profesionales ayudados de tecnología cada vez más puntera y avanzada, que va a necesitar para poder funcionar correctamente un suministro de potencia eléctrica ininterrumpido y con una buena calidad de onda.

Todas estas razones hacen que el campo de estudio sea amplio, interesante y además muy abierto, ya que aunque la electricidad es un producto utilizado de manera cotidiana tiene innumerables líneas de investigación que a día de hoy se están empezando a explorar. Por

ello, no se pretende ahondar en un aspecto muy concreto de la calidad de onda eléctrica hospitalaria, ni llegar a conclusiones avanzadas que relacionen fallos en suministro con malos diagnósticos, por ejemplo, si no que se intentará mostrar una visión global de la potencia eléctrica consumida en un Hospital y sus aspectos más relevantes.

Comenzaremos, por tanto, repasando todos los posibles fallos que podemos encontrar al analizar una onda eléctrica, ya sea de corriente o de tensión. Posteriormente nos centraremos en conocer algunas líneas de investigación que se han llevado a cabo sobre calidad de onda en Hospitales y también la normativa internacional que existe para este aspecto. Además, comentaremos las características más importantes de las instalaciones hospitalarias, los sistemas auxiliares de alimentación en caso de fallo de suministro y los aspectos destacados de la instalación eléctrica dentro de las salas especiales y de intervención. Una vez hecho este repaso, se profundizará de lleno en la metodología de adquisición de datos, los equipos utilizados y los lugares estudiados. Posteriormente se analizarán los aspectos más relevantes encontrados y se intentarán extraer las conclusiones referentes a posibles defectos en la calidad de onda y también a aspectos de la propia instalación, como la adecuada distribución de cargas y la existencia de algunas anomalías en el consumo, si las hubiese.

2. Calidad de onda eléctrica.

El término calidad de onda hace referencia a las alteraciones que sufre la onda eléctrica o, lo que podríamos denominar “el producto electricidad”, debido a los procesos de generación, transporte y distribución de éste. Estas alteraciones son inevitables aunque cada vez más son fuente de preocupación para ingenieros y técnicos por dos motivos, principalmente. Ha crecido la exigencia en los procesos industriales para todos los productos utilizados en ellos, inclusive en la electricidad, ya que los equipos utilizados son más sensibles a las características técnicas de ésta y una mala calidad de onda podría traducirse en un mal funcionamiento. Además, el nivel de contaminación de la red eléctrica se ha incrementado debido al aumento del número de receptores que extienden, a su vez, las variaciones en la calidad de onda a los receptores que tienen conectados, por tanto es mucho más fácil transmitir defectos.

El análisis, desde el punto de vista eléctrico, ha de comenzar con la tensión. Los parámetros que la caracterizan son: frecuencia, amplitud, forma y simetría. Todos ellos pueden sufrir alteraciones que repercutan en la calidad de onda, alteraciones que están producidas, como se indicó anteriormente, por la generación, el transporte y la distribución.

Sin embargo, desde el punto de vista del cliente, la onda que se genera en una central posee estos cuatro parámetros perfectos. La fuente principal de la variación de la onda eléctrica son el transporte y la distribución. Las alteraciones que en ella se producen se deben: a las instalaciones eléctricas y las averías o maniobras que en ellas suceden o se realizan, a que algunos receptores por su naturaleza producen también variaciones en la forma de onda de la tensión y a fenómenos naturales como las descargas atmosféricas que afectan a la tensión.

Todos los efectos de los fenómenos mencionados con anterioridad no se pueden eliminar por completo. De esta forma, la manera de paliar el problema pasa por estudiar los receptores y adecuarles para el entorno donde tienen que trabajar, además de intentar reducir la emisión de perturbaciones en la medida de lo posible de dichos receptores. Así, para que un elemento funcione de forma adecuada tendremos que estudiar la Compatibilidad Electromagnética o CEM, que se define como *la aptitud de un aparato o sistema para funcionar de manera satisfactoria en su entorno electromagnético y sin producir*

*él mismo perturbaciones electromagnéticas intolerables para todo lo que se encuentre en dicho entorno*¹. [10] [p.8]

2.1. Variaciones de frecuencia.

Consideramos que existen variaciones de frecuencia en corriente eléctrica alterna cuando se produce alteración de equilibrio entre carga y generación.

La frecuencia depende de la velocidad de giro del alternador del que se disponga en la generación. Al ser un parámetro constante en toda la red, todos los generadores tendrán que girar con la misma velocidad angular eléctrica, en el caso de nuestro país a 50 Hz.

En condiciones normales de funcionamiento, la capacidad de generación de un sistema es mucho mayor que la de consumo. Para compensar variaciones de carga importantes, una parte de la capacidad de generación se destinará a reserva rodante y solo se utilizará en esos casos en los que la demanda sea diferente a la generación. Para que esto último ocurra pueden sucederse dos escenarios, que la carga sea superior a la generación, o lo contrario, que la demanda sea inferior a la potencia generada.

Si la potencia que demanda la carga es superior a la energía que se genera se producirá una bajada en la frecuencia de la onda eléctrica. La profundidad de esta bajada y la rapidez dependerán de la reserva de energía rodante y de la constante de inercia de los generadores de la red. El efecto de una mala actuación frente a la bajada de frecuencia en el caso más agudo podría ser el colapso del sistema que se reanudaría desenganchado cargas de manera rápida y selectiva. Técnicamente la bajada de frecuencia produce en los alternadores una bajada de velocidad que se resuelve a través de los reguladores que llevan acoplados y que hacen que se asuma esta bajada de velocidad entre todos los generadores de la red.

Cuando la carga es inferior a la generación sucede lo contrario, la frecuencia aumenta y, aunque la manera de restablecer el valor sea la misma que para el caso anterior, el equilibrio se alcanza de

¹ “Guía sobre la calidad de onda de las redes eléctricas” Comité de distribución-Comisión técnica. UNESA

una manera mucho más sencilla.

Cabe destacar que este fenómeno es mucho más perjudicial en sistemas aislados que en sistemas interconectados, ya que cuanto mayor sea el número y la capacidad de los generadores conectados a una red, menos dependerá la variación de la frecuencia de la variación de la carga.

Como es lógico, para que no se produzcan averías y colapsos en los sistemas eléctricos debidos a la variación de frecuencia existen unos límites establecidos en la norma UNE-EN 50160:

La frecuencia nominal de la tensión suministrada debe ser de 50Hz. En condiciones normales de explotación, el valor medio de la frecuencia fundamental de medida en periodos de 10 segundos debe situarse en los intervalos siguientes:

- para redes acopladas por conexiones síncronas a un sistema interconectado:

<i>50 Hz\pm1%</i>	<i>(49,5Hz a 50,5Hz)</i>	<i>durante 95% de la semana;</i>
<i>50Hz +4%/-6%</i>	<i>(47Hz a 52Hz)</i>	<i>durante 100% del tiempo;</i>

- para redes sin conexión síncrona a un sistema interconectado (por ejemplo redes de alimentación que existen en ciertas islas):

<i>50 Hz\pm2%</i>	<i>(49 Hz a 51 Hz)</i>	<i>durante 95% de la semana;</i>
<i>50Hz\pm15 %</i>	<i>(42,5Hz a 57,5Hz)</i>	<i>durante 100% del tiempo.² [1][p.14]</i>

Si se produce variación de frecuencia dentro de estos márgenes habrá un cambio de velocidad en las máquinas rotativas, lo que provocará una variación en la potencia producida de los motores y algunos fallos en los relojes eléctricos que se sincronicen con la red o en equipos electrónicos que utilicen la frecuencia como referencia temporal. Además, los filtros armónicos sufren un efecto distorsionador y en las turbinas de las centrales eléctricas se producen fuertes vibraciones.

² Norma UNE-EN 50160. AENOR. Año 2011. Apartado 4.2.1

2.2. Variaciones de tensión.

Hay seis tipos destacados de variaciones en la tensión, en todas existe un denominador común, la variación de la amplitud de la onda de voltaje. Es igual de importante que la variación de la amplitud, la duración de ésta y también la magnitud de la diferencia entre el valor en condiciones normales y el valor en caso de defecto. A continuación se estudiarán detenidamente cada una de las diferentes alteraciones que podemos encontrar al analizar este tipo de onda.

2.2.1 Variaciones lentas de tensión.

Consideramos una variación lenta de tensión aquella cuya duración es superior a 10 segundos.

El valor de la tensión en el receptor depende de la tensión del generador que lo alimenta pero también de la impedancia de la red y de la propia carga. El factor más importante de estos tres es la impedancia de la carga que estamos alimentando ya que en determinados casos puede llegar a sufrir variaciones. Lo más común es que el receptor que estemos alimentando pueda demandar energía de manera intermitente o bien que haya diferentes cargas que a su vez tengan características de consumo dispares, como ocurriría en una zona donde hay consumos domésticos y consumos industriales. La variación de consumos queda registrada en la curva de carga que nos dará la suficiente información como para predecir posibles variaciones de tensión. Cabe esperar que la tensión aumente cuando la demanda de energía eléctrica disminuya.

Los valores de referencia para este tipo de defectos en la calidad de onda vienen dictados, de nuevo, en la norma UNE EN 50160:

En condiciones normales de explotación, excluyendo los periodos con interrupciones, las variaciones de tensión no deberían exceder del $\pm 10\%$ de la tensión nominal U_n .

En los casos de suministro de electricidad en redes no interconectadas con líneas de transporte o para usuarios en zonas remotas especiales, las variaciones de tensión no deberían exceder de $+10\%$ / -15% de U_n . Los usuarios de la red deberían

estar informados de estas condiciones. ³ [1] [p.15]

En esta misma norma, se hace referencia al ensayo que debe realizarse para este tipo de variaciones de tensión:

-para cada periodo de una semana, el 95% de los valores eficaces de la tensión suministrada promediados en 10 minutos deben situarse en un intervalo de $U_n \pm 10\%$; y

-todos los valores eficaces de la tensión suministrada promediados en 10 minutos deben situarse en un intervalo $+10\%$ -15% de U_n . ⁴ [1] [p.15]

El efecto que puede producir una variación lenta de tensión que exceda de los límites mencionados con antelación depende si la tensión se sitúa por debajo de la nominal o si por el contrario, la tensión supera a la nominal. El caso menos perjudicial se produce cuando la tensión es inferior a la nominal, en este caso el receptor puede dejar de funcionar correctamente o simplemente, pasar a no funcionamiento. Sin embargo, cuando la tensión de alimentación excede de la tensión nominal se producirá un efecto de calentamiento en los receptores y, en caso de que se superen los límites térmicos de la máquina, ésta podría averiarse. Este defecto es más difícil de detectar pero los daños causados son mayores. [10]

2.2.2 Fluctuaciones de tensión y Flicker.

Existen *fluctuaciones de tensión cuando se producen variaciones periódicas o series de cambios aleatorios en la tensión de la red eléctrica*⁵. Hay 4 tipos de fluctuaciones que se diferencian por su forma y regularidad en el tiempo y la magnitud.

Como causa directa de las fluctuaciones de tensión encontramos el “flicker”, que es la percepción de la variación de luminosidad de una lámpara ocasionada por esas variaciones de tensión. El flicker puede llegar a ser desagradable, aunque depende mucho de la frecuencia, duración y amplitud del fenómeno.

En cuanto a los límites de emisión, aunque en la norma UNE EN

³ Norma UNE-EN 50160. AENOR. Año 2011. Apartado 4.2.2.1

⁴ Norma UNE-EN 50160. AENOR. Año 2011. Apartado 4.2.2.2

⁵ “Guía sobre la calidad de onda de las redes eléctricas” Comité de distribución-Comisión técnica. UNESA

50160 no existen directrices claras en cuanto al límite de valores de flicker, el documento de UNESA, referenciado en las páginas anteriores, contempla que el nivel admisible para los consumidores de un punto de conexión común de la red debe ser igual o menor que los niveles CEM (este mismo estudio recomienda un 95% de Compatibilidad Electromagnética). [1] [10]

Este fenómeno tiene efecto sobre la iluminación, provocando parpadeos en lámparas incandescentes o de descarga y en monitores o televisores. Puede cansar la vista o impedir realizar actividades precisas.

Según la naturaleza de las cargas que tengamos conectadas, como se indicó anteriormente, existen cuatro variantes del defecto Flicker:

- a. Variaciones rectangulares de tensión de periodo constante, que son producidas por interrupciones de cargas resistivas:

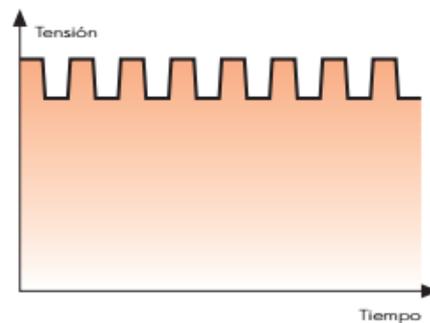


Figura 1. Variaciones rectangulares de tensión. [10]

- b. Variaciones irregulares tanto en amplitud como en duración del defecto:

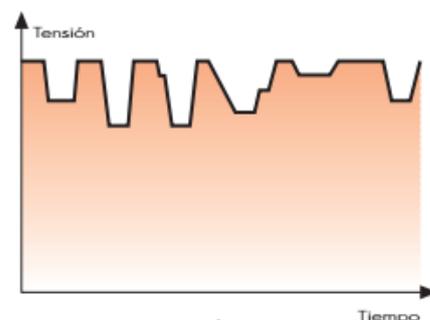


Figura 2. Variación de tensión irregular en amplitud y duración. [10]

- c. Cambios separados en la tensión que no siempre llevan aparejados escalones en la tensión. Están producidos por cargas que no solo son resistivas:

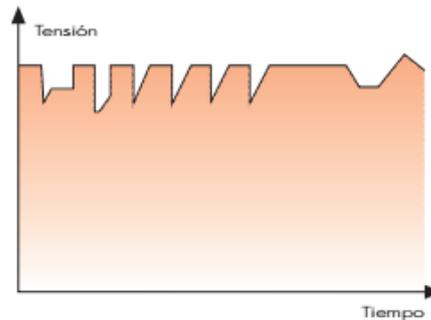


Figura 3. Cambios aparejados de la tensión. [10]

- d. Fluctuaciones repetidas que están producidas por cargas que se conectan aleatoriamente:

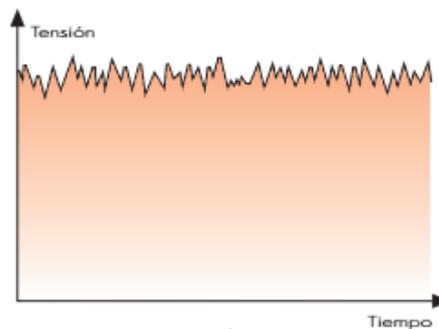


Figura 4. Fluctuaciones producidas por cargas aleatorias.[10]

2.2.3 Huecos de tensión y cortes breves.

Se denomina hueco de tensión, Figura 5, a la caída de una o más fases de manera repentina por debajo del 90% de su valor. Para que consideremos un hueco de tensión, la recuperación de la tensión nominal tiene que producirse entre 10 milisegundos y un segundo. Sin embargo, hablaremos de cortes breves de tensión, Figura 6, cuando la tensión desaparece al 100% en un tiempo de entre 10 milisegundos y un minuto.

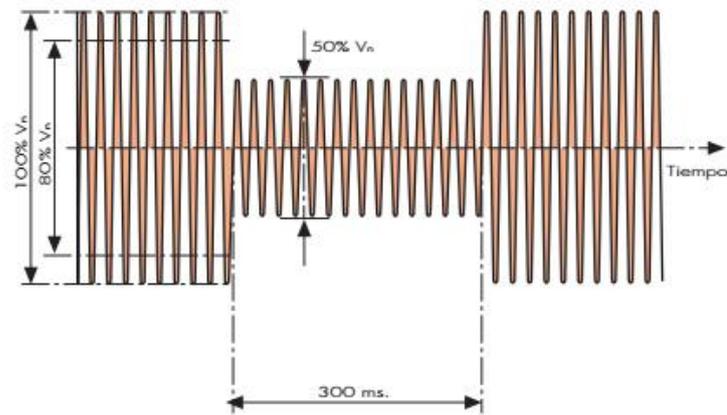


Figura 5. Hueco de tensión. [10]

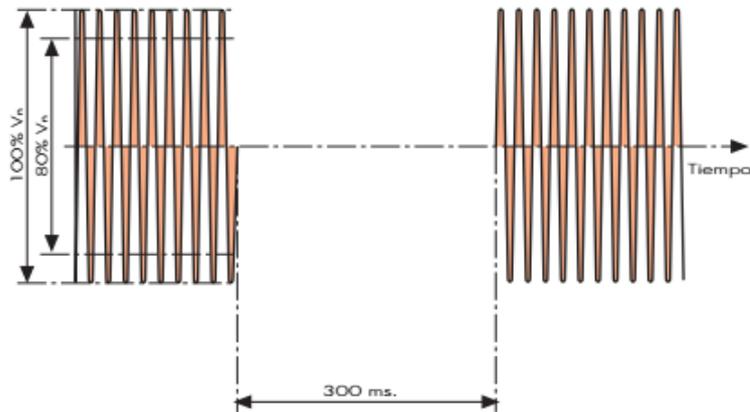


Figura 6. Corte breve de tensión. [10]

Aunque los cortes breves y los huecos de tensión tengan características técnicas diferentes y estén bien diferenciados teóricamente, en la práctica los efectos y las técnicas de inmunización son iguales por ello suelen tratarse de manera conjunta.

Las causas que originan ambos defectos son las faltas en las redes eléctricas o en las instalaciones de clientes, tienen un carácter aleatorio y puede provenir de factores externos al sistema, como una descarga atmosférica, o del sistema, cuando se producen perforaciones en aislamientos o maniobras. Los huecos de tensión suelen estar producidos por faltas más alejadas, teniendo los cortes breves un carácter más próximo a la instalación del cliente.

Este tipo de modificación de la calidad de onda eléctrica supone efectos negativos para casi todos los elementos conectados a una red, motores síncronos y asíncronos, sistemas de control de todo tipo y ordenadores se pueden ver afectados. La mejor forma de prevenir estos efectos negativos es el estudio de la red y la inmunización de acuerdo a ese estudio pormenorizado.

2.2.4 Impulsos de tensión.

El impulso de tensión es una variación brusca y esporádica de la amplitud de la tensión, que puede llegar a multiplicar el valor de ésta. Su duración es corta: algunos microsegundos hasta 10 milisegundos. Aunque la duración es corta, es un fenómeno importante a tener en cuenta ya que puede aparecer en cualquier punto de la red y propagarse por toda ésta.

Existen infinidad de parámetros que pueden caracterizarlas, nos vamos a centrar en el más representativo. El primero es su complejidad, se denominan impulsos simples a aquellos que presentan un frente de subida y otro de bajada volviendo a su valor nominal. Aquellos que son complejos tienen un frente de bajada amortiguado. Cabe mencionar que su frecuencia de oscilación se sitúa por encima de 1 kHz y el valor de pico estará comprendido entre una y cinco veces la tensión nominal.

Las causas que lo originan pueden ser externas o internas al propio sistema eléctrico. Las causas internas son, por ejemplo: conexión y desconexión de interruptores y seccionadores, transformadores o cargas, fusión de fusibles o conmutación de convertidores electrónicos de potencia. En la siguiente imagen podemos observar la diferencia principal de los impulsos originados por causas externas o internas:

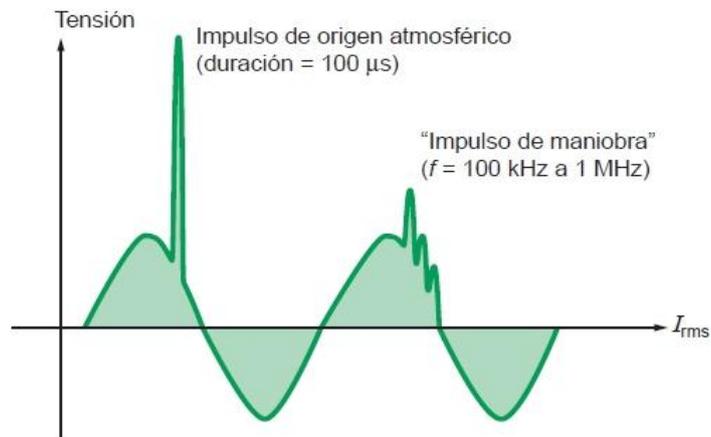


Figura 7. Impulso de tensión.[2]

Los efectos de este tipo de anomalía en la calidad de onda tienen mucho que ver con la coordinación correcta de los niveles de aislamiento. Generalmente pasan por producir averías en los receptores que funcionan con semiconductores de potencia y anomalías de funcionamiento en elementos de control que están acoplados a la red mediante convertidores.

2.2.5 Distorsión armónica.

Hablamos de distorsión armónica para denominar el fenómeno de deformación de la onda sinusoidal de tensión. La tensión se produce en las centrales con una frecuencia de 50 Hz y una forma prácticamente perfecta. Sin embargo, debido a diferentes causas sobre todo derivadas del consumo, la onda acaba sufriendo modificaciones.

La distorsión armónica se estudia a través de la transformada rápida de Fourier, herramienta matemática que permite diferenciar dentro de una onda, la componente fundamental con frecuencia de 50 Hz y todas las componentes armónicas con frecuencias múltiplos de la fundamental. También aparecen interarmónicos que tienen frecuencias no múltiplos de 50 Hz y tienen poca importancia, a grandes rasgos. En la siguiente imagen se ilustran la frecuencia fundamental y sus armónicos tercero (150 Hz) y quinto (250 Hz). [2]

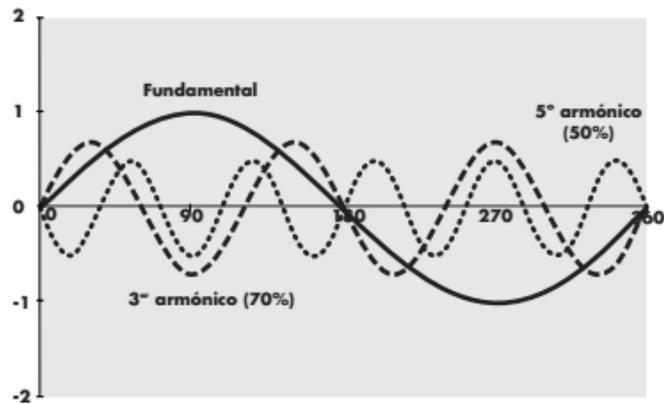


Figura 8. Frecuencia fundamental y armónico tercero y quinto de una señal a 50Hz.[2]

Como ya se ha introducido anteriormente, la distorsión armónica no es producida por los sistemas eléctricos de distribución, si no que su origen se encuentra en los equipos receptores que presentan no linealidades, o lo que es lo mismo, que no demandan una intensidad de onda sinusoidal pura, lo que hace que se acaben emitiendo armónicos a la red general. El comportamiento de una carga lineal o de un circuito simple que solo contenga resistencias, inductancias y capacitancias sería el siguiente:

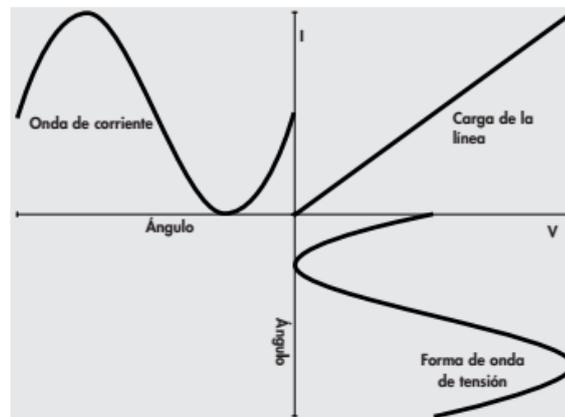


Figura 9. Comportamiento de un circuito lineal.[2]

Generalmente asociada a la aparición de armónicos está la electrónica, tanto industrial como doméstica. Así podemos señalar que son fuente de producción de armónicos rectificadores industriales y los hornos de inducción y de arco o los televisores y ordenadores que encontramos en una vivienda convencional. En contraposición con la Figura 9, la representación del comportamiento de un circuito cuando hay cargas no lineales es la

siguiente:

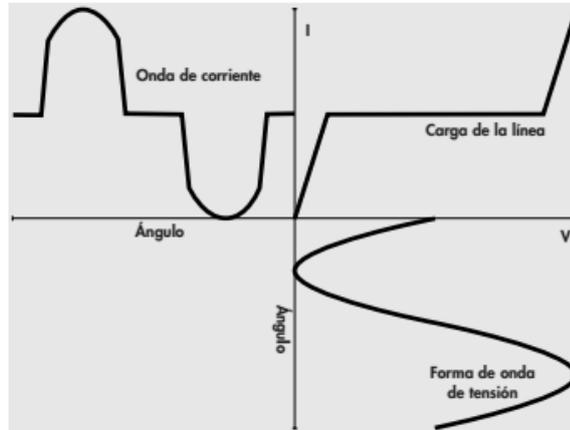


Figura 10. Comportamiento de un circuito no lineal. [2]

Cabe destacar que en la práctica la línea de carga puede ser incluso más compleja que en la Figura 10.

Todos estos aparatos producen que la onda quede deformada y que por lo tanto, los aparatos de medida que usemos para poder cuantificar las variables eléctricas en un determinado punto, como pueden ser los polímetros, tengan errores de medida que nos pueden llevar a diseñar de forma errónea una instalación o a no alimentar equipos de manera adecuada. En la figura siguiente se observa la representación de una frecuencia fundamental, el tercer armónico con amplitud del 70% y el quinto armónico con una amplitud del 50%, como vemos la forma de onda no es sinusoidal perfecta:

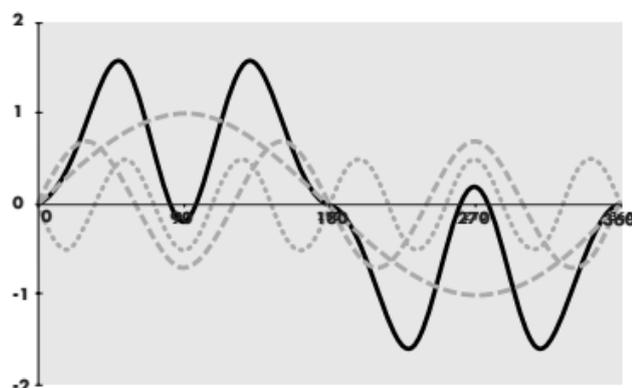


Figura 11. Frecuencia fundamental no sinusoidal y su tercer y quinto armónico [2]

Por ejemplo, en este caso es fácil ver que, aparte de que la onda está deformada, en cada ciclo hay seis puntos de paso por cero en vez de dos, así que si alguno de los equipos que estuviera conectado tomase como referencia este paso por cero funcionaría incorrectamente.

Los efectos que produce este fenómeno dependen de la naturaleza de los receptores: las tasas de componentes armónicos y la sensibilidad a la distorsión armónica del aparato y también de la potencia de cortocircuito, cuanto mayor sea ésta, menor será la influencia de la deformación de la onda. En ocasiones puede llegar a producir fallos de disparo graves en fusibles y en relés de protección, deteriorar condensadores o la toma de medidas erróneas con equipos de medida de inducción. En el caso de un hospital, además de estos problemas puede haber otros derivados de la alta tecnología que se maneja en equipos de diagnóstico o tratamiento, ya que suelen estar diseñados para el funcionamiento con una onda lo más pura posible.

Para proteger a todos estos equipos, tanto las normativas nacionales como las internacionales establecen que la probabilidad de no sobrepasar la distorsión total, teniendo en cuenta todos los niveles de armónicos de tensión existentes, tiene que ser como mínimo del 95%. Este concepto se denomina tasa de distorsión armónica total, que coincide con lo que ya definimos anteriormente como Compatibilidad Electromagnética o CEM. [1]
[2]

2.2.6 Desequilibrios de tensión.

Encontraremos desequilibrios en tensión cuando los tres módulos o los desfases relativos de las tensiones trifásicas, que componen la tensión total, son diferentes.

Estas asimetrías entre las tres tensiones están causadas principalmente por la mala distribución de cargas monofásicas entre fase y neutro o fase y fase. Aunque una carga monofásica no sea relevante por sí sola, cuando conectamos un grupo de éstas y no las distribuimos equitativamente en las fases estaremos provocando ese desequilibrio.

Los efectos que provocan los desequilibrios no son especialmente graves pero sí pueden afectar al rendimiento de equipos eléctricos. Por ejemplo, en un transformador donde las tensiones son asimétricas, nunca podremos obtener un nivel de utilización de más del 60% o en motores síncronos y asíncronos se produce aumento considerable de las temperaturas cuando el desequilibrio es superior al 1% y 2% respectivamente, según la norma 146 del Comité Electrotécnico Internacional. [10]

3. Calidad de onda en Hospitales.

La importancia de la calidad de onda en el entorno hospitalario tiene como principal base el tipo de cliente de este peculiar servicio. Si, como ya comentamos anteriormente, en la industria convencional y en el mercado eléctrico tiene especial relevancia este aspecto para el buen funcionamiento y aprovechamiento de todos los equipos de los que se disponga, dentro de un hospital la importancia es, si cabe, más importante ya que la mayor repercusión de la calidad de onda eléctrica se encontrará en aparatos electromédicos, cada vez más avanzados, que sirven para el tratamiento y diagnóstico de pacientes y también en ordenadores y sistemas de gestión que almacenan información muy valiosa desde el punto de vista de la salud de los usuarios.

De igual modo que la calidad de onda exigida en un hospital es alta por las exigencias de los aparatos electromédicos y de gestión la existencia de mucha electrónica de potencia en todos estos equipos hace que proliferen los problemas debidos a las distorsiones armónicas. Hay una gran cantidad de equipos que consumen gran cantidad de potencia y, que además, provocan que circulen ondas no sinusoidales de corriente. Algunos de estos equipos pueden ser: la resonancia magnética, las máquinas de diagnóstico por ultra sonido o laser, los ordenadores o los controles de iluminación. También son fuente de armónicos, los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida o SAIs que podemos encontrar en áreas del hospital como Quirófanos o Unidades de Cuidados Intensivos, debido a la gran cantidad de componentes electrónicos de los que están formados. No obstante, el grado de dependencia de la distorsión armónica para un correcto funcionamiento depende siempre de las características de blindaje que tengan los aparatos frente a este fenómeno y de la criticidad de la tarea que se esté realizando.

La manera más fácil de identificar estos problemas es realizando un mantenimiento preventivo o estudiando, como será el caso de este Trabajo de Fin de Grado, medidas tomadas de las ondas eléctricas. Ya que la distorsión armónica produce lecturas incorrectas de voltaje en los equipos, esto se traduce, generalmente, en tomas de medidas inexactas o diagnósticos erróneos (como en los medidores de presión o pulsioximetría), en distorsiones en las pantallas de algunos equipos o en el fallo de sistemas de control y alarmas de otros aparatos.

Pero, no solamente podemos decir que en la calidad de onda eléctrica de un hospital es relevante el fenómeno de la distorsión armónica. La

forma de onda de la tensión y todos los defectos asociados a huecos y desequilibrios toman mucha importancia en el entorno hospitalario. Esto se debe a que cada vez las tensiones con las que se trabaja son mucho más pequeñas, la mayoría de los equipos electromédicos llevan asociadas CPUs que no requieren grandes voltajes. Tampoco debemos olvidar los equipos de radiodiagnóstico, como por ejemplo los TACs, que utilizan alta tensión para funcionar y requieren también características de potencia eléctrica específicas. Por otro lado, en los hospitales existen las denominadas “Salas de Intervención y Salas Especiales” a las que se les exige un suministro continuo de tensión y además un blindaje frente a perturbaciones externas que se consigue con los esquemas de instalación IT y el aislamiento galvánico de un transformador, después profundizaremos en este aspecto.

Por tanto, podemos deducir que la calidad de onda eléctrica en un hospital debe ser la consideración más importante cuando se planea la manera de utilizar los aparatos médicos de los que está compuesto. Si la tensión cambia de manera rápida puede influir en la práctica clínica de manera directa.

3.1 Precedentes.

Aunque los estudios de calidad de onda eléctrica están a la orden del día, en el ámbito hospitalario aún no son muy frecuentes. Si queremos encontrar referentes o ponernos en situación de los pasos que se han dado en el estudio de la calidad de suministro eléctrico en hospitales, que como hemos visto tiene gran importancia, debemos fijar nuestra mirada de manera internacional. Encontramos varios ejemplos de estudios a destacar, por ser tan pioneros. Y a su vez, de manera internacional existen normativas sobre este aspecto: IEEE 519 y JIS, una normativa japonesa.

Por ejemplo, podemos hacer referencia al estudio que se llevó a cabo en SDM College of Medical Sciences & Hospital, Dharwar, Karmataka, India donde se estudiaba la Tasa de Distorsión Armónica tomando como referencia la ya mencionada IEEE 519 e intentando dejar constancia sobre la importancia del suministro eléctrico cuando los aparatos son tan sensibles. [3] [8]

Desde otro punto de vista muy diferente, M. I. Buzdugan y H. Bálán en un estudio en el Emergency Country Hospital of Cluj-Napoca (Rumania) intentaba comprobar cómo los estándares de la norma

EN 50160 y EN 60601 no eran válidos en el entorno sanitario. Muchos aparatos no soportaban las variaciones de tensión que la norma EN 50160 admitía como asumibles. Además trata de dejar patente la importancia del suministro eléctrico en la alimentación de aparatos con bio-traductores, por ejemplo los usados para medir señales eléctricas del cuerpo humano como el ECG (electrocardiograma) o el EEG (electroencefalograma), ya que algunos de estos equipos se conectan al paciente para detectar corrientes eléctricas de muy bajo valor, el ECG 1mV o el EEG 100 μ V. [3]

Cabe destacar que, aparte de la normativa mencionada: IEEE 519, EN 50160 o EN 60601 hay países que tienen una normativa específica para el suministro eléctrico en hospitales como por ejemplo Japón. Existe la norma JIS T1022, “Safety standards for hospital electricity installation” desde el año 2005, que intenta definir estándares para que tanto el uso de aparatos electromédicos como las habitaciones medicas sean seguras.

3.2 Sistema eléctrico hospitalario. Peculiaridades.

Existen tres tipos de circuitos diferentes en la instalación eléctrica del hospital: los circuitos de alumbrado, los circuitos de fuerza y, un caso peculiar de alimentación, los circuitos con sistemas de aislamiento y puesta a tierra con el esquema IT. A continuación se realizará una síntesis de los requerimientos del sistema eléctrico de un hospital teniendo como base el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y en especial las normativas: ITC-BT-28 “Instalaciones en locales de pública concurrencia” e ITC-BT-38 “Requisitos particulares para instalación eléctrica de quirófanos y salas de intervención” y otros documentos o estudios técnicos.

Aquellos locales de uso sanitario que tengan una ocupación superior a 50 personas ajenas al edificio se consideran local de pública concurrencia. Por tanto, todos los hospitales, debido al gran número de pacientes y acompañantes que reciben en cada jornada pueden englobarse sin duda en locales de pública concurrencia.

Para este tipo de locales, la norma ITC-BT-28 establece las características de la alimentación de seguridad y del alumbrado de seguridad. En este caso, dictamina que el sistema de puesta a

tierra de la instalación de alimentación de seguridad de un hospital se debe realizar con un *esquema IT con un controlador permanente de aislamiento que al primer defecto emita una señal acústica y visual*⁶. Generalmente los hospitales disponen de dos líneas de alimentación en Media Tensión independientes y uno o varios grupos electrógenos que deberán estar instalados en un emplazamiento apropiado, convenientemente ventilado y al que solo tenga acceso personal cualificado. La puesta en funcionamiento del sistema de alimentación de seguridad se realizará al producirse la falta de tensión o cuando la tensión descienda por debajo del 70% de su valor nominal. Aunque generalmente la capacidad de suministro de estos equipos debe garantizar el funcionamiento del alumbrado de emergencia, los hospitales además deben de disponer de un suministro de reserva que cubra como mínimo el 25% de la potencia contratada.

En cuanto al alumbrado de emergencia, entrará en funcionamiento en las mismas condiciones que lo hace la alimentación de emergencia, ausencia de tensión o valor inferior al 70% de la tensión nominal. En caso de un hospital, estarán señaladas las rutas de evacuación con 1 lux mínimo, en los puntos donde existan cuadros de protección contra incendios o cuadros de distribución de alumbrado la intensidad lumínica será de 5 lux en el peor de los casos y para las zonas de hospitalización y consultas se debe mantener una iluminancia mínima de 5 lux durante 2 horas. Todas estas indicaciones tienen como destinatario los pasillos y zonas comunes o consultas del hospital. Sin embargo, existen las denominadas “salas especiales o de intervención” a las cuales se hace referencia en la ITC-BT-38. En cuanto al sistema de alumbrado de emergencia que estas salas deben llevar instalado, en la ITC-BT-28 se denomina como alumbrado de reemplazamiento y se dictamina que se proporcionará un nivel de iluminancia igual al del alumbrado normal durante 2 horas como mínimo. En caso de las salas especiales o de intervención se cuenta con un sistema de alimentación ininterrumpido por sala (SAI) en cada una de las dependencias, no se suele depender del grupo electrógeno con el que cuenta la instalación del hospital.

En cuanto a las características de la distribución eléctrica y la puesta a tierra en quirófanos o salas especiales, debemos

⁶ “Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. Pablo Alcalde San Miguel. Ed. Paraninfo” ITC-BT-28

destacar las condiciones que se indican en la ITC-BT-38. Pueden existir aparatos que no requieran condiciones especiales de protección, para protegerles se utilizará un diferencial de alta intensidad (<30mA) y de clase A. Sin embargo, la gran mayoría de aparatos que encontremos en un quirófano o una sala especial de intervención no deben protegerse con diferenciales ya que se alimentarán a través de un transformador de aislamiento. Cada uno de los quirófanos o salas, en caso de la UCI o neonatos cada uno de los boxes, tendrán su propio transformador y también su propio cuadro de mando y protección, estarán situados en la propia sala, serán visibles y accesibles. Lo más importante es controlar el nivel de aislamiento con una señal lumínica que indique si hay fallo. Este hecho es crucial ya que la puesta a tierra en este tipo de espacios se realiza con esquemas IT, Figura 12, en este tipo de esquemas el primer defecto se encuentra con una resistencia muy alta para conectar con el transformador y estará en funcionamiento como circuito abierto, pero en el caso de que no diagnostiquemos que se está produciendo un defecto y hubiese otro, las protecciones saltarían y se cortaría el suministro. Aunque sea necesario tener muy vigilado el panel de protección con esa señal lumínica indicada anteriormente, este esquema de puesta a tierra confiere una fiabilidad y una continuidad de suministro excelente, muy necesaria cuando algunas de las maquinas realizan funciones vitales por el paciente critico o que está siendo intervenido quirúrgicamente, es el caso de los respiradores o mesas de anestesia, por ejemplo. [7] [9]

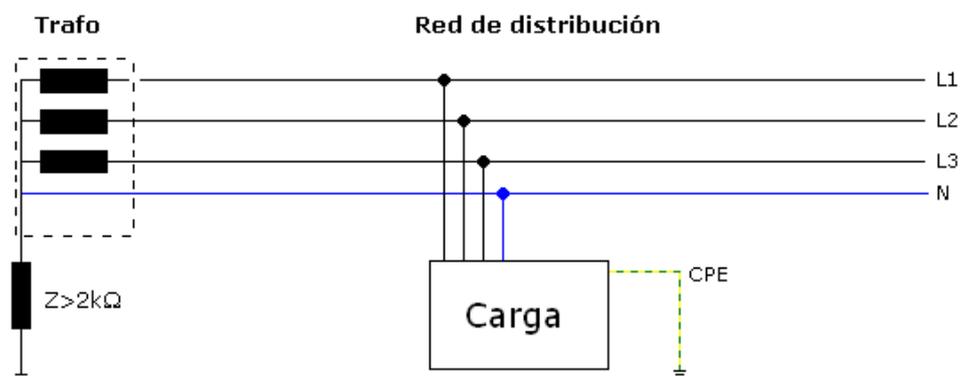


Figura 12. Esquema de distribución IT. [7]

Otro de los aspectos a destacar dentro de estas particulares dependencias es la conexión de equipotencialidad. Todas las partes metálicas accesibles han de estar unidas al embarrado de equipotencialidad con una impedancia menor de 0,1 ohmios entre ellas. El embarrado de equipotencialidad estará unido a la puesta a tierra de protección por un conductor aislado, verde-amarillo y de mínimo 16 mm^2 de cobre. La diferencia de potencial entre las partes accesibles y el embarrado ha de ser como máximo 10 mV eficaces en condiciones normales.

Del mismo modo, algunos aparatos de quirófano hacen que se considere una zona inflamable y con riesgo de explosión, por ejemplo las mesas de anestesia. Por ello, los suelos de aéreas quirúrgicas y también de las salas donde se realicen tratamientos con anestesias como las cardioversiones, que son muy frecuentes, tienen que ser del tipo antielectrostático y su resistencia de aislamiento no deberá exceder de $1 \text{ M}\Omega$.

3.3 Sistema eléctrico del Hospital Nuestra Señora de Sonsoles (Ávila).

A continuación pasamos a describir a grandes rasgos los principales aspectos y la topografía de la instalación eléctrica del Hospital de Ávila, el edificio principal del Complejo Asistencial de Ávila en el que se han tomado las medidas que nos servirán de base para el estudio de calidad de onda.

3.3.1 Alimentación de cargas críticas. (Anexo 1)

Como ya se ha mencionado en varias ocasiones la instalación eléctrica de un hospital tiene aspectos que la confieren de una alta fiabilidad y la hacen muy característica.

El primer aspecto importante que nos encontramos en la instalación eléctrica de cualquier hospital es que tiene dos líneas de alimentación independientes, para dotarle de fiabilidad. En este caso está alimentado por una doble línea en media tensión, a 15 kV. Después de un interruptor, el equipo de medida y un conmutador para cambiar de línea en caso de que fuera necesario encontramos tres transformadores en paralelo. Tienen una potencia de 1000 kVA y transforman directamente a 400 V.

En paralelo con esta rama de alimentación de media tensión y el grupo de transformación, encontramos un grupo electrógeno con una potencia aparente de 800 kVA. Esta alimentación auxiliar solamente entra en funcionamiento si las dos líneas de alimentación caen y alimenta a cargas críticas. Es difícil determinar en un complejo hospitalario la criticidad de las cargas que lo componen, por lo general el grupo electrógeno alimenta alumbrados de emergencia, quirófanos y UCIs, así como unidades neonatales o que tengan asociados aparatos de respiración asistida o diálisis. Este equipo es independiente de los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida, es decir, que es otra medida más que los complementa frente a cortes de suministro.

Tanto después de los tres transformadores en paralelo como después del grupo electrógeno encontramos dos interruptores generales, uno por cada rama.

Aguas abajo de estos dos interruptores generales, que confluyen en el mismo punto, cuelgan seis líneas de alimentación con protecciones de 250 A, 400 A o 630 A dependiendo de las cargas que se alimenten. De estas seis líneas cuelgan los cuadros generales que alimentan cada una de las dependencias del hospital. Justo en este punto se colocan los aparatos de medida para realizar el estudio.

Las líneas que cuelgan de estas seis líneas principales son dispares, es decir, no encontramos un paralelismo técnico entre todas ellas. Hay dos líneas para alimentación de alumbrado, dos para la alimentación de los paneles de aislamiento y otros dos para la alimentación de fuerza. Las diferencias sustanciales se encuentran en las protecciones y el esquema de distribución utilizado. Para la alimentación de alumbrado dispondremos de interruptores de 25 A y 16 A. En las líneas que alimentan los paneles de aislamiento las intensidades son mayores y el esquema de distribución es un esquema IT. Y en las líneas que cuelgan de esos dos cuadros principales de fuerza, también se manejan intensidades mayores, dependiendo de la naturaleza de la carga que se alimente.

3.3.2 Quirófanos de la Segunda planta. (Anexo 2)

De manera general anteriormente se ha descrito las características principales que deben tener las salas de intervención o especiales. A continuación se intentará describir de manera ordenada la instalación del quirófano primero del Hospital Nuestra Señora de Sonsoles, donde podremos ver de forma real las peculiaridades que se dictan en la ITC BT 38 y que anteriormente hemos analizado.

Este hospital cuenta con seis quirófanos en la segunda planta. Los seis quirófanos se alimentan desde el centro de transformación en trifásico. Aguas arriba de las instalaciones de los seis quirófanos, en el punto de alimentación encontramos un S.A.I trifásico en paralelo a la línea de alimentación. Se cuenta con un juego de contactores para la conmutación en el caso de ser necesaria. Justo después parten las seis líneas independientes que alimentan los seis quirófanos.

Después del S.A.I. trifásico y las seis líneas, encontramos el transformador de aislamiento. De este transformador de aislamiento cuelgan trece circuitos, seis para bases de enchufes, tres de ellos para la torre de anestesia y otros dos para la torre de cirugía, uno para la mesa quirúrgica y uno más para el negatoscopio. Dependiendo del tipo de cirugía que se realice las cargas pueden ser algo diferentes.

Además, paralelo a este esquema de alimentación trifásico se dispone de otros nueve interruptores (seis para los quirófanos de segunda planta, dos para los quirófanos de urgencias y uno para el quirófano de urología, estos tres últimos en la primera planta). Describiremos la instalación monofásica del quirófano 1. Aguas abajo de un interruptor de 20 A encontramos un sistema de by pass con un S.A.I. en este caso monofásico que cuenta con un juego de contactores, como el trifásico, para que entre en funcionamiento ante una emergencia, y también 4 circuitos más con interruptores diferenciales de 30 mA e interruptores automáticos de 10 A, lo cual nos indica que ya no contamos con el sistema de distribución IT. De la línea que cuenta con el sistema de by pass con S.A.I. monofásico, cuelga una línea para alumbrado de reemplazamiento y otra línea con transformador de aislamiento de 2 kVA. Este transformador tiene como única función alimentar la lámpara de xenón de la zona de lavado de personal. Las cargas

que no están conectadas a panel de aislamiento son el alumbrado general, los enchufes para máquinas de rayos X, las puertas eléctricas, las luces de emergencia y las de reserva, que están en paralelo.

La distribución de una instalación de quirófano es similar en todos los hospitales. La diferencia, como se ha referido en los párrafos anteriores, puede residir en las cargas conectadas a los paneles de aislamiento. Ingenieros y cirujanos trabajaran de manera conjunta para distribuir los equipos de la manera más adecuada posible y que más se adapte a un hospital o a los tipos de cirugía, siguiendo siempre la normativa vigente.

4. Metodología de adquisición de datos.

Una vez que hemos analizado teóricamente la necesidad de realizar un estudio en un entorno tan importante como es un Hospital y los pormenores de su instalación eléctrica, es hora de plantear el estudio de la calidad de onda para poder diagnosticar posibles fallos en el suministro o defectos que son fruto de la sobrecarga o mala utilización de los recursos del hospital.

4.1. Características de los equipos de adquisición.

Los equipos utilizados están desarrollados por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Valladolid y estudiantes de doctorado de la Universidad de Guanajuato (México).

Estos aparatos traducen las señales de corriente y tensión, que son captadas a través de 4 pinzas amperimétricas, 3 por fase y una para el neutro y 3 pinzas que miden la diferencia de potencial y se conectan directamente a zonas con tensión. Los datos serán almacenados en tarjetas microSD.

Los dispositivos poseen una alta calidad de señal de 16 bits de acuerdo con las normas internacionales IEE e IET y su velocidad de muestreo permite obtener hasta el armónico 50, 8KSps. En el caso que nos concierne, al no realizar un análisis en frecuencia, esto solo afecta a que la calidad de la onda representada es alta y el error que cometemos al medir y sacar conclusiones es mucho menor.

Para realizar el análisis de la calidad de onda del Hospital se utilizaron dos equipos: P-UAQ 03 y P-UAQ 05 similares al que se muestra a continuación:



Figura 13. Equipo de adquisición de datos.

Para poder manipular el dispositivo de la Figura 13 , asociada a este equipo existe una aplicación compatible con el sistema operativo Android que nos permite la puesta a puto del equipo, el encendido, apagado, el control de la toma de datos y la visualización en tiempo real de la forma de onda de las 7 señales tomadas y también, el valor de cada una de ellas.

El dispositivo puede estar recogiendo datos 10 días de manera ininterrumpida sin tener que realizar ninguna tarea de supervisión, una vez que hayamos comprobado que está conectado correctamente.

4.2. Toma de datos.

Para poder obtener unos resultados fiables debemos planear una toma de datos consecuentemente.

Lo primero que debemos hacer es reunirnos con técnicos o ingenieros del lugar donde vamos a obtener datos para dejarnos aconsejar sobre los puntos de toma más interesante por las cargas conectadas, los picos de trabajo y también sobre los puntos más accesibles dentro del centro de transformación para poder colocar los equipos. Una vez tenemos hecho un planning de los lugares más importantes dentro del hospital, planificamos las fechas de instalación e intentamos que haya también una variedad y una lógica a la hora de elegir el tipo de circuito.

Después de realizar este análisis previo, se instalarán los equipos de medida de dos en dos durante seis u ocho días dependiendo de la disponibilidad del personal del Hospital para montarlo, ya que esta toma de datos no se realizaba ajena a los trabajadores, si no siempre de manera conjunta. Obtendremos unos 128 GB de datos en este tiempo para cada una de las localizaciones.

4.3. Localización y organización temporal.

Como ya he indicado anteriormente los datos quedan registrados en una tarjeta microSD. El gran volumen de datos del que se dispone hace que debamos realizar un análisis ordenado y siguiendo el mismo criterio para todas las dependencias.

Se ha considerado como más conveniente realizar un análisis en el que comencemos de manera generalizada a estudiar los datos generados en una semana, para posteriormente poder comparar diferencias notables, centrarnos en la parte de la semana que creamos puede ser más interesante. De la misma manera, analizaremos esos días o ese día más interesante para encontrar las diferencias de consumo o picos o defectos entre franjas horarias y finalmente elegiremos las horas en las que nos centraremos para poder comentar los posibles fallos que se observen.

Los lugares elegidos para recoger datos son los siguientes se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Localización de las tarjetas de adquisición.

Área Hospitalaria	Circuito
Quirófanos segunda planta	Instalación aislamiento IT
UCI	Instalación aislamiento IT
Resonancia magnética	Fuerza
Ascensores de personal	Fuerza

Debemos tener en cuenta que las gráficas en las que se van a presentar los datos tienen como referencia temporal el momento en el que fueron instaladas. En todas ellas en el eje X habrá una referencia temporal de horas o minutos, pero hay que tener en cuenta que la hora 0 de los datos presentados corresponde a la que se indique como hora de instalación del equipo de medida.

5. Análisis de resultados.

A continuación se procede a analizar las señales eléctricas obtenidas.

5.1. Quirófanos segunda planta. Panel de aislamiento IT.

En los quirófanos situados en la segunda planta encontramos las siguientes dependencias y distribuciones. Hay seis quirófanos dotados cada uno de un circuito con distribución IT y como se comentó, en el capítulo anterior, otro circuito sin panel de aislamiento para conectar algunas cargas adicionales que no están en contacto con el paciente de forma directa, no son indispensables en cada operación o no podemos permitirnos que por un defecto en el panel de aislamiento se queden sin suministro.

El quirófano 1 es el quirófano de otorrinolaringología en el que se encuentran potentes equipos con lentes y lupas, el 2 y 3 son quirófanos de cirugía general dónde encontramos instalados, de manera fija, grandes equipos que le dotan de la técnica de laparoscopia, reproducción de imagen y recopilación de todo tipo de datos. El quirófano que sigue se utiliza para oftalmología y los dos últimos, el cinco y el seis se utilizan para intervenciones traumatológicas, en este espacio no encontramos una aparamenta fija ya que las herramientas utilizadas dependen mucho de la operación, lo que si podemos afirmar es que estas herramientas llevan consigo potentes motores eléctricos que tienen un gran consumo.

Como hemos indicado en los párrafos anteriores y también en el capítulo que nos precede no todos los aparatos están conectados al panel de aislamiento. Podemos descartar equipos móviles de rayos. Pero todas las grandes cargas se alimentan del sistema de distribución IT.

Las mediciones se llevaron a cabo en este periodo de tiempo:

Tabla 2. Periodo de instalación en Quirófanos Segunda Planta.

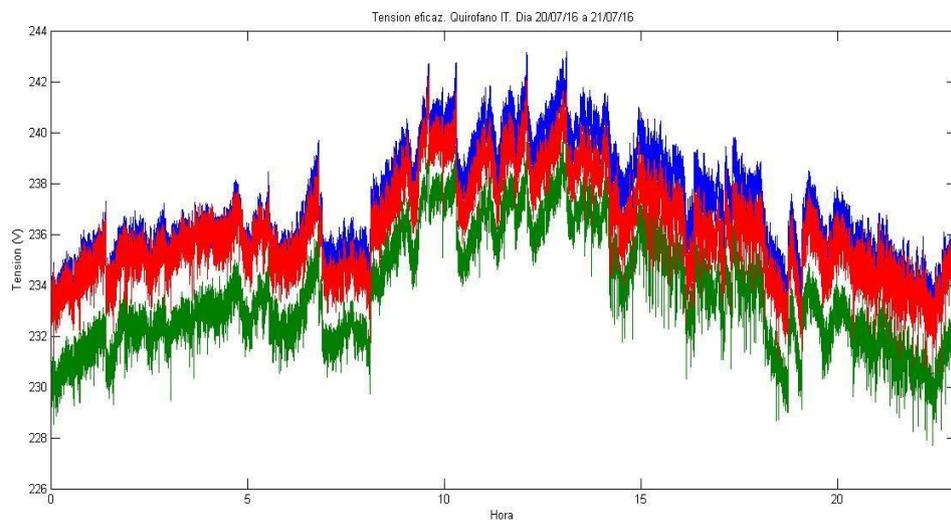
Día de la Instalación	Hora de la instalación	Día de la retirada	Hora de la retirada
18/07/2016	12:45h	25/08/2016	11:45

Como hemos indicado anteriormente, no solo se realizará un análisis de la calidad de onda sino también las diferencias notables que existen en franjas horarias de un mismo día en consumo y también en periodos de tiempo como el fin de semana y un día laborable.

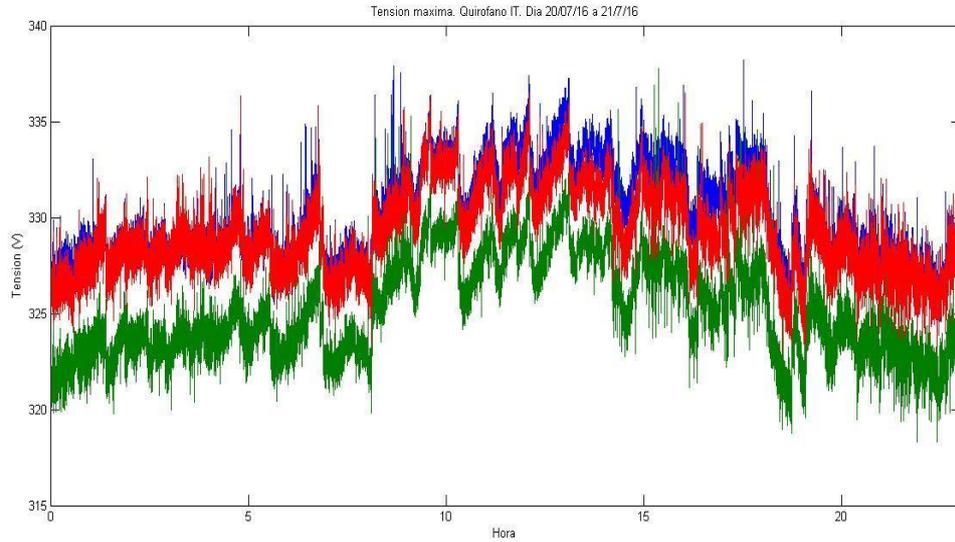
Primeramente haremos una comparación del consumo diario, comparando los datos tomados el día 20 y 21 de Julio de 2017, miércoles y jueves y los datos tomados el día 24 y 25 de Julio de 2017, domingo y lunes de la misma semana y la semana siguiente, respectivamente.

Las variables que se han obtenido de las medidas, son la variable “Vrms” que representa el valor eficaz de la tensión, “maxV” que representa el valor máximo y “Irms” y “maxi” que representan sendas magnitudes para la intensidad, todas ellas en las tres fases.

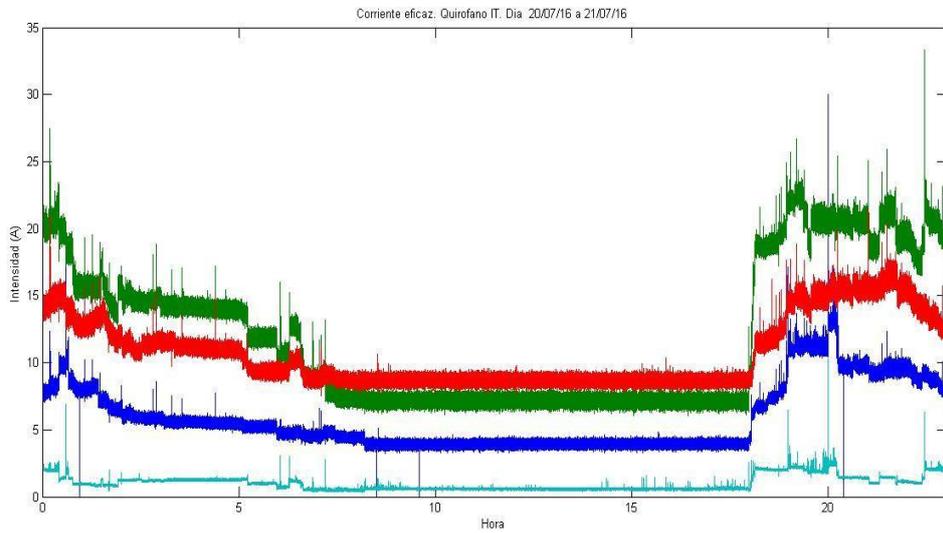
Comenzamos representando los datos del día 20/07/16 que corresponde con un día laborable:



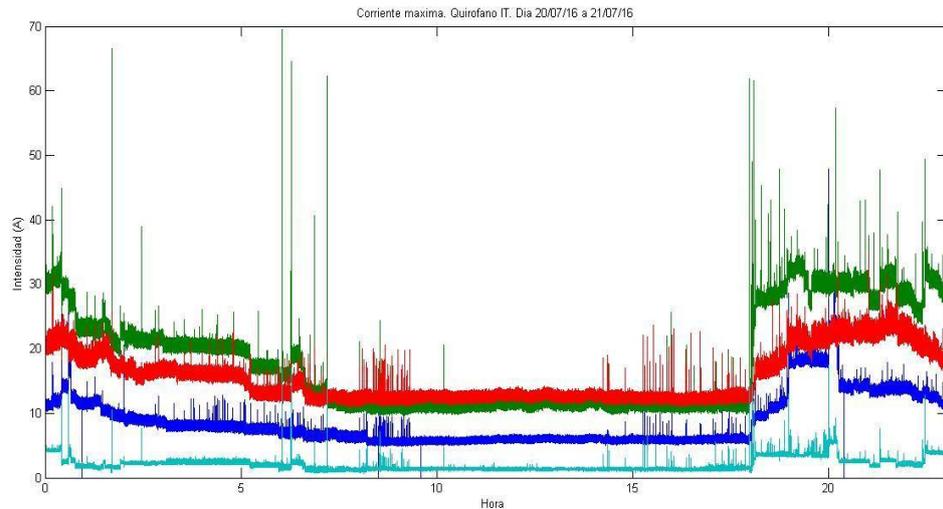
Gráfica 1. Tensión eficaz. Quirófano IT. Día 20/07/16 a 21/07/16



Gráfica 2. Tensión máxima. Quirófano IT. Día 20/07/16 a 21/07/16



Gráfica 3. Intensidad eficaz. Quirófano IT. Día 20/07/16 a 21/07/16



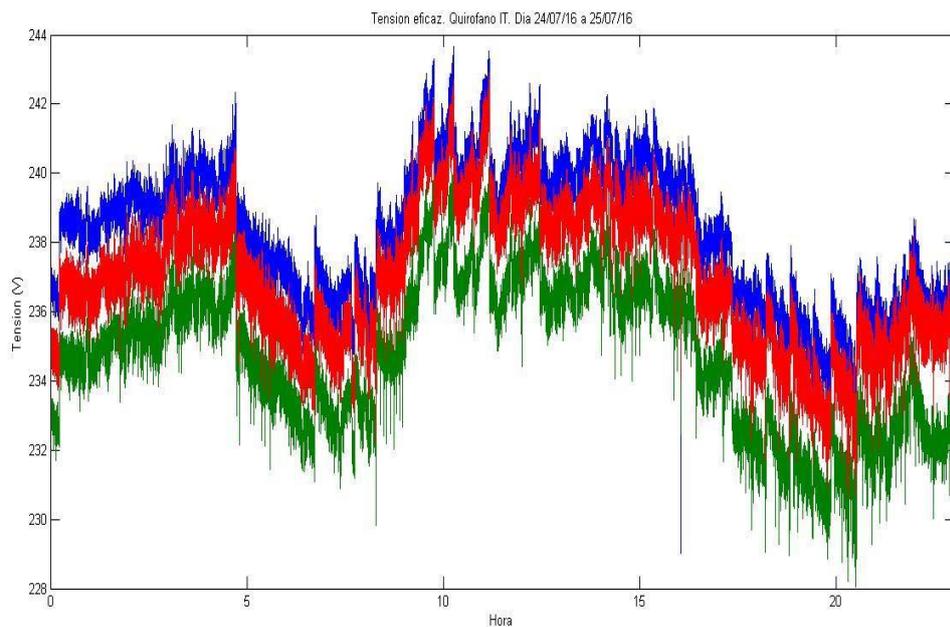
Gráfica 4. Intensidad máxima. Quirófano IT. Día 20/07/16 a 21/07/16

En las dos gráficas primeras, la Gráfica 1 y la Gráfica 2, observamos la forma de la onda de la tensión. No podemos afirmar que encontremos defectos de calidad de onda a simple vista ya que en ningún caso se excede el límite de $\pm 10\%$ que establece la normativa para poder considerarlo como tal. La tensión se mantiene constante o casi constante durante todo el día, el cambio de valor es algo más acusado en la zona central de ambas gráficas. Como ya hemos explicado anteriormente las gráficas tienen su cero en lo que corresponde a las 12:45h, por lo que la zona central corresponde a las horas de tarde y noche donde la mayoría de las dependencias hospitalarias y por tanto el quirófano, tienen una utilización mucho menor. Entre las horas 7 y 8 y 17 y 18 de todas las Gráficas, que corresponden a las 21:00-22:00 horas y las 7:00-8:00 horas, respectivamente se observa un pequeño escalón de bajada en la tensión. Alrededor de estas horas se producen los cambios de turno y por lo tanto, la variación de la actividad dentro de los quirófanos. Se conectan y desconectan gran número de aparatos de manera protocolaria para realizarles chequeos y pruebas de cara a las nuevas intervenciones y esto queda reflejado con bajadas de tensión y pequeñas subidas y bajadas de corriente, como se puede ver en las Gráfica 1 y Gráfica 2, hasta que el valor se puede quedar más o menos acotado.

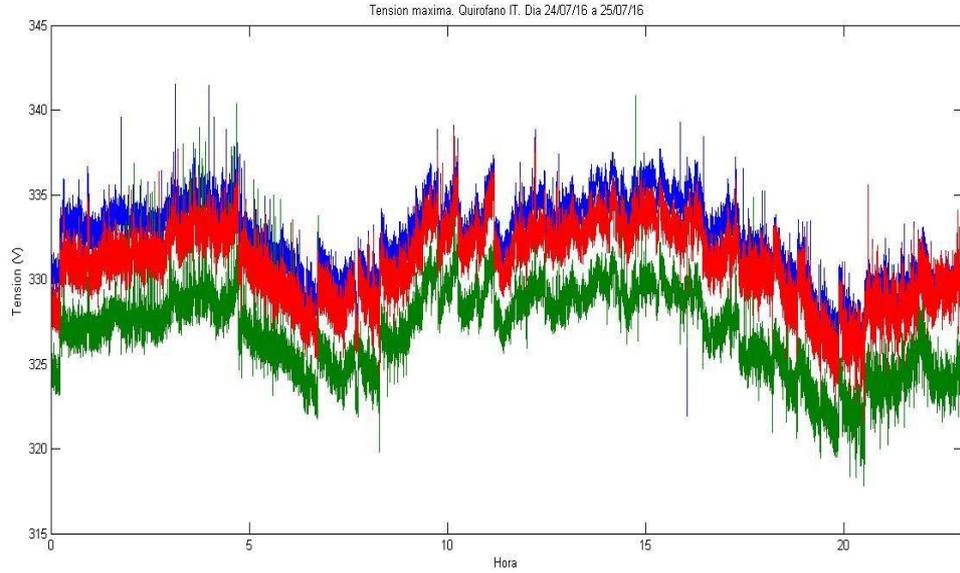
Este mismo hecho se ve reflejado en las Gráfica 3 y Gráfica 4, que corresponden a la intensidad tanto eficaz como máxima, en las tres fases y el neutro, podemos observar cómo se diferencian

claramente el periodo nocturno y el diurno. En el caso de la Gráfica 3 llama la atención el elevado número de instantes en el que se detectan sobreintensidades. Si bien, la corriente tiene un valor que oscila entre los 10 A y los 30 A, hay momentos puntuales en los que esta magnitud puede alcanzar aproximadamente los 70 A. Otro de los análisis interesantes que plantean estas dos Figuras es la corriente que circula por el neutro (gráfica color cyan), no es significativamente elevada, aproximadamente es el 10% de la máxima corriente que circula en cada uno de los instantes.

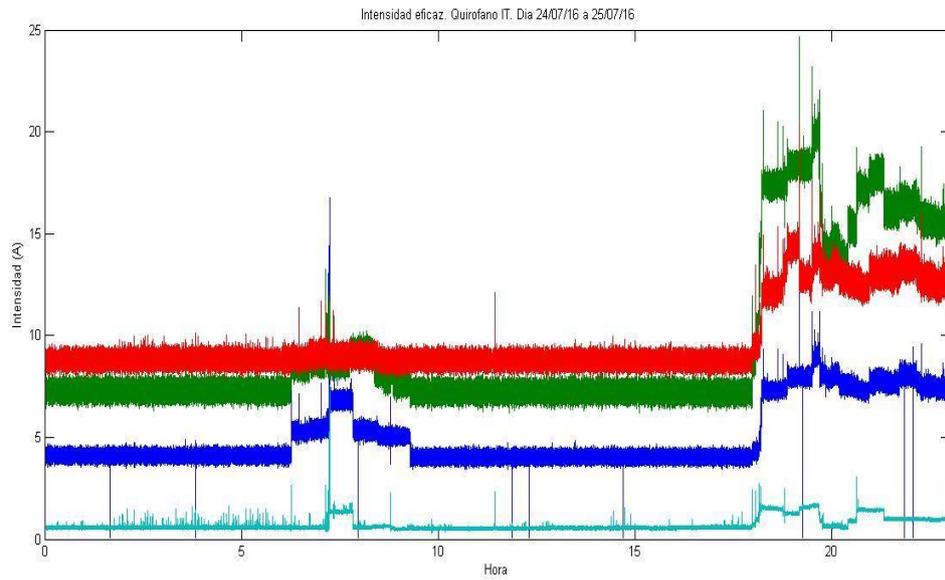
Por otro lado y como ya se indicó anteriormente, se representa a continuación la forma de onda y el consumo, de las instalaciones de quirófano alimentadas a través de aislamiento, durante el domingo 24 de Julio de 2017:



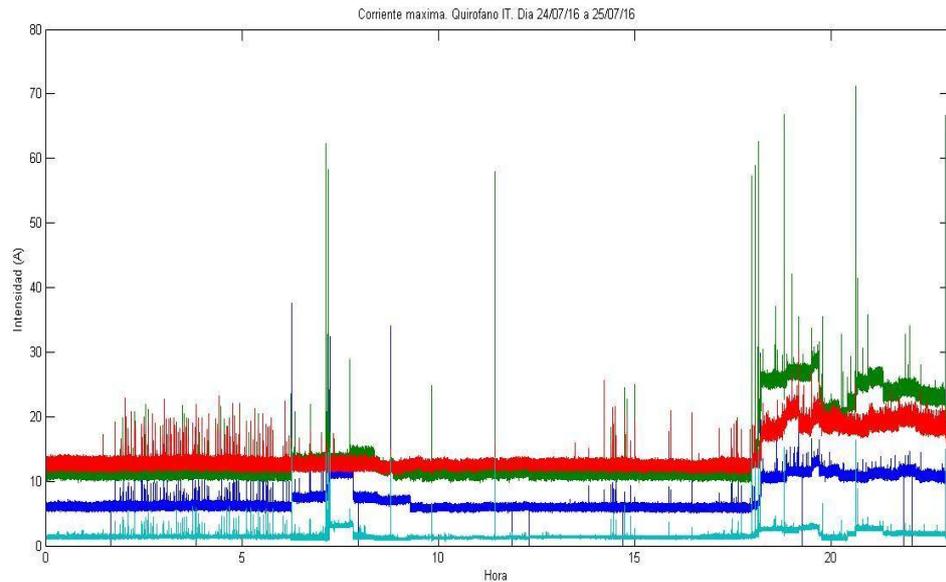
Gráfica 5. Tensión eficaz. Quirófano IT. Día 24/07/16 a 25/07/16



Gráfica 6. Tensión máxima. Quirófano IT. Día 24/07/16 a 25/07/16



Gráfica 7. Intensidad eficaz. Quirófano IT. Día 24/07/16 a 25/07/16



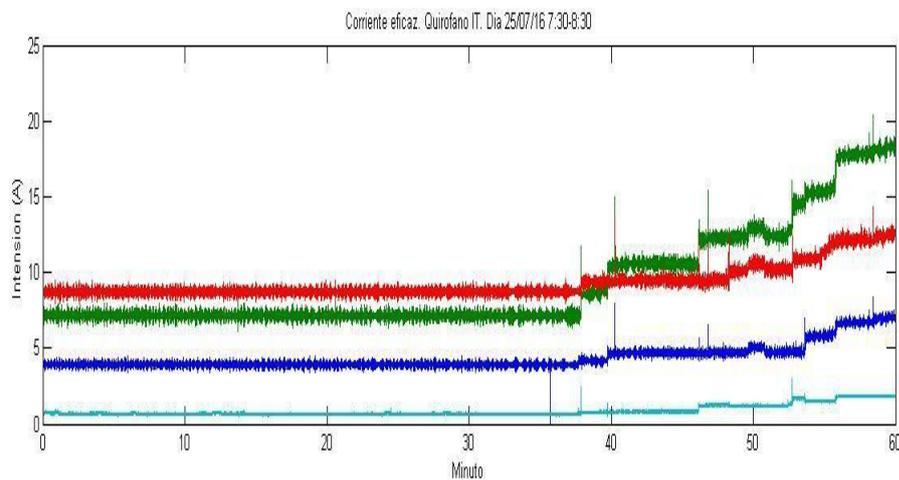
Gráfica 8. Intensidad máxima. Quirófano IT. Día 24/08/16 a 25/08/16

Las gráficas que se adjuntan miden las mismas magnitudes que en el caso anterior y están colocadas en el mismo orden. En este caso como los datos corresponden a un domingo, esperábamos que el consumo fuese menor y que sí pudiéramos encontrar unas diferencias notables respecto a lo que ocurría un jueves. Así observamos que en la Gráfica 7, el valor de la intensidad en las tres fases se mantiene prácticamente constante, siendo un poco mayor entre las horas 5 y 10 de datos, que corresponden a las 17:45 y 22:45 del domingo 24 de Julio. Esto guardará relación con alguna posible intervención de urgencia. Encontramos un cambio muy brusco en la parte final de la gráfica, que ya corresponde a la mañana del lunes 25 de Julio, día laborable durante el cual hay una actividad alta e ininterrumpida dentro del área quirúrgica y por lo que la corriente que se demanda desde las dependencias sube considerablemente. Apuntar también que en la Gráfica 8, que representa el valor de la corriente máxima, podemos observar un gran número de picos de intensidad a pesar de que el valor eficaz representado en la Gráfica 7 sea prácticamente constante.

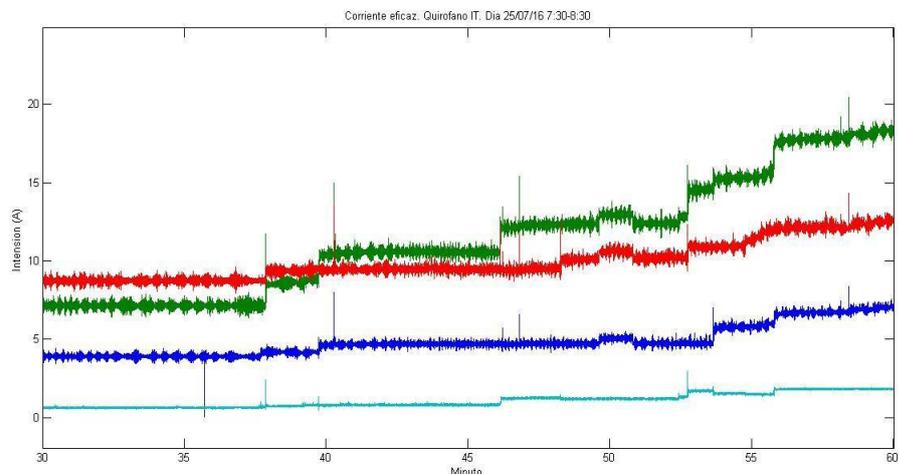
Es muy significativo que en las Gráficas 4 y 8, ambas correspondientes a la intensidad máxima, en el mismo instante de tiempo se produzcan sobreintensidades casi de la misma amplitud sin que se produzca ninguna alteración de la tensión.

De igual manera que hemos comparado el consumo entre días laborables y días en los que el hospital tiene un volumen de pacientes considerablemente menor, como son fines de semana o festivos, es interesante comparar franjas horarias y visualizar de una manera más ampliada los transitorios de corrientes en momentos de cambio de turnos, como podría ser los ya citados cambios de turno noche-mañana, que en caso de quirófano son tremendamente interesantes ya que el grueso de la actividad es de 8:00h a 15:00h como se comentó anteriormente también.

Los datos elegidos para comprobar esta subida de consumo son los de la mañana del día 22 de Julio de 2016, en este caso era viernes. La hora es la correspondiente a la hora 19 de ese mismo día, que correspondería aproximadamente a los 60 minutos desde las 7:30-8:30 de la mañana:



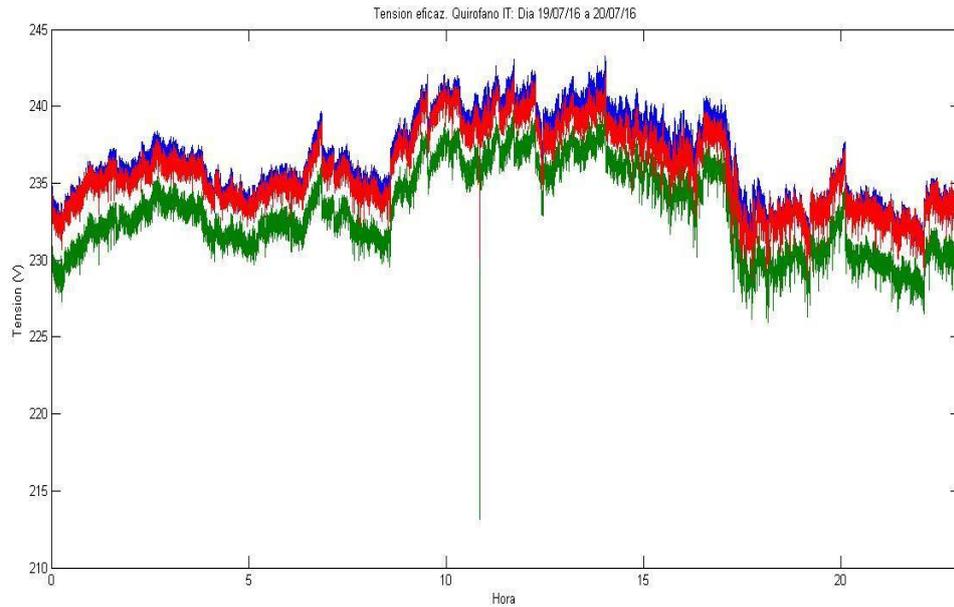
Gráfica 9. Corriente eficaz. Quirófano IT. Día 25/07/16 7:30 a 8:30 horas



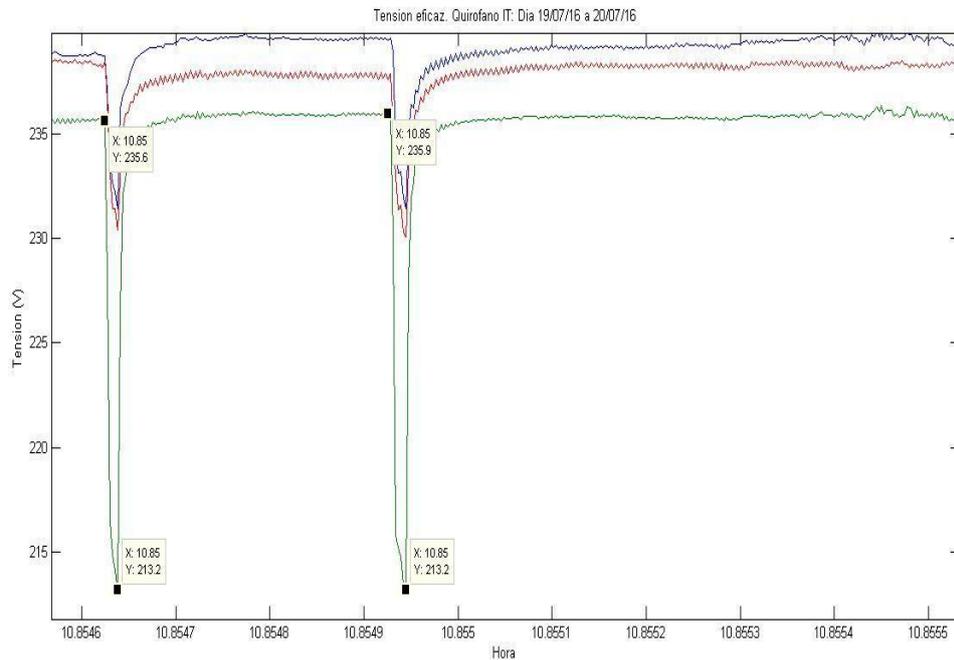
Gráfica 10. Intensidad máxima. Quirófano IT. Día 25/07/16 de 7:30 a 8:30 horas

En las dos Gráficas anteriores, la Gráfica 9 y 10, podemos observar la representación del consumo en una sola hora, además en la Gráfica 10 se han representado los últimos 30 minutos donde se puede observar claramente el transitorio de la corriente. Varía en menos de 30 minutos aproximadamente 10 amperios en la fase más cargada. Analizando esta gráfica destacamos también el desequilibrio que existe entre fases, la primera fase sufre una carga mayor y también fluctuaciones más amplias y bruscas, sin embargo, las otras dos fases prácticamente aumentan unos 2 amperios el valor estacionario de la noche. Estos desequilibrios tan notables pueden ocasionar pérdidas por efecto del calentamiento. Además los desequilibrios son peligrosos porque pueden afectar a la integridad del propio cable de alimentación, aunque en este caso la diferencia de intensidades no es muy grande hay que tener en cuenta que la sección está diseñada para una corriente concreta. Sobrecargar una línea tiene poca justificación eléctricamente si además tenemos otras dos que pueden asumir, junto a esta, un aumento del consumo.

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es analizar, además del consumo del hospital y hacer comparativas interesantes de este, la calidad de onda eléctrica y encontrar defectos que puedan afectar al paciente directamente o al funcionamiento del hospital en sí mismo. Si la instalación está bien diseñada, en principio, es difícil que este tipo de defectos ocurran. Sin embargo, podemos puntualmente tener algunos. Un ejemplo lo encontramos en la noche del día 19 de Julio de 2016 al 20 de Julio de 2016, entre las 23:30 horas y las 00:30 horas del día siguiente.



Gráfica 11. Tensión eficaz. Quirófano IT. Día 19/07/16 a 20/07/16



Gráfica 12. Tensión eficaz. Quirófano IT. Día 19/07/16 a 20/07/16. Hueco de tensión.

Como podemos observar en las dos figuras anteriores, la Gráfica 11 y Gráfica 12, existe un hueco de tensión. Se presentan las tres de manera secuencial para que podamos situar el defecto de manera correcta en su contexto, en la Gráfica 11 vemos la representación de la tensión eficaz desde las 23:30 horas a las

00:30 horas, posteriormente ampliamos alrededor del defecto encontrado, en la Gráfica 11, donde vemos que podría corresponder a las 23:50 horas aproximadamente del 19 de Julio de 2016 y en la última figura, la más interesante, la Gráfica 12, una ampliación de las dos anteriores focalizada en el defecto, comprobamos que se producen dos huecos de tensión ya que una de las fases cae por debajo del 90% de su valor en dos ocasiones. Podemos comprobar en esta gráfica los cursores en ambos se marca el valor máximo en el defecto, 235.6 V y 235.9 V por orden temporal, y el valor que alcanza al caer, 213.2 V en los dos casos. Como comentamos en el capítulo 1 las causas de este defecto son los cortes o defectos alejados al punto en el que en este caso se está consumiendo energía y las principales consecuencias están asociadas a equipos electrónicos como ordenadores o todos los sistemas de control que componen todos los aparatos utilizados en las intervenciones. Dos ejemplos pueden ser la mesa de anestesia, que cuenta con una CPU, o el sistema de laparoscopia, que cuenta con varias CPUs y unidades de procesamiento de datos e imágenes tremendamente útiles para el buen desarrollo de una operación y también para el postoperatorio y el tratamiento del paciente durante toda su vida, en el caso de operaciones muy invasivas.

5.2. UCI. Panel de aislamiento IT.

En la Unidad de Cuidados Intensivos de este Hospital se dispone de 10 boxes que están compuestos por una cama y un panel de tomas de corriente del que se alimentan diferentes aparatos según las necesidades del paciente. Cada uno de estos boxes está conectado a un transformador de aislamiento diferente que cumple la misma función que en el caso del quirófano, dotar al sistema de una mayor fiabilidad y protegerlo de perturbaciones externas.

Este circuito ha sido elegido porque tiene un consumo ininterrumpido durante prácticamente todo el año, solamente depende de la cantidad de pacientes que haya en estado crítico en ese momento, pero no existen horas punta lógicas ni previsibles. Además encontramos conectados equipos vitales, cada uno de los boxes tiene un respirador, para realizar respiración asistida o mecánica en el caso que fuera necesario y también aparatos que monitorizan las variables cardiacas y toman otro tipo de señales del cuerpo humano, de manera invasiva incluso, sin olvidarnos de

bombas y equipos de medicación. Sin embargo el consumo que se prevé es mucho menor que en el área quirúrgica ya que los aparatos que se manejan no son grandes cargas, muchos incluso tienen baterías que les apoyan en el funcionamiento.

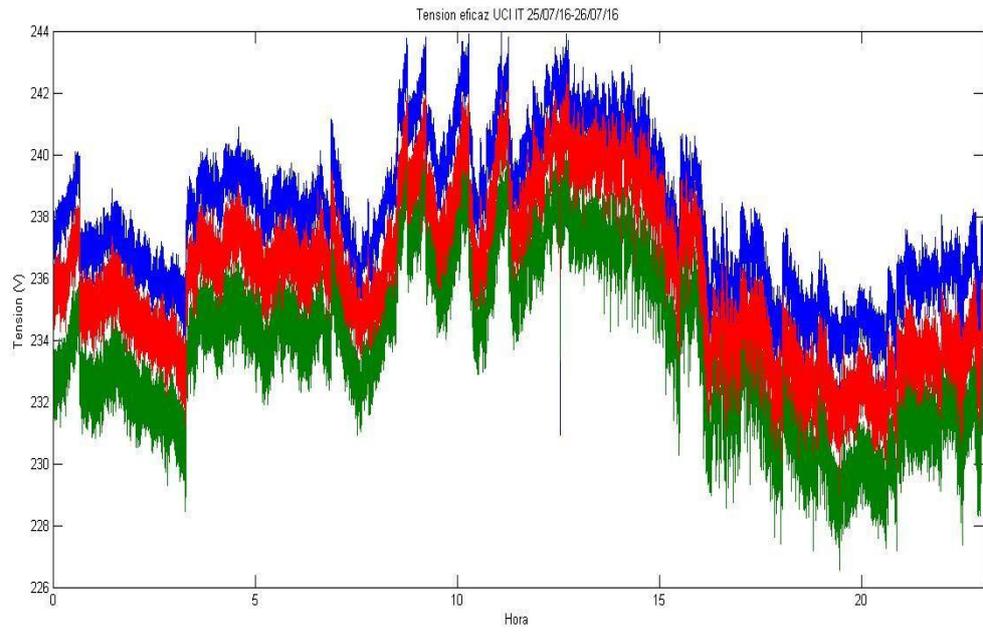
Los datos relativos a las fechas y horas de instalación y retirada son los siguientes:

Tabla 3. Periodo de instalación en UCI.

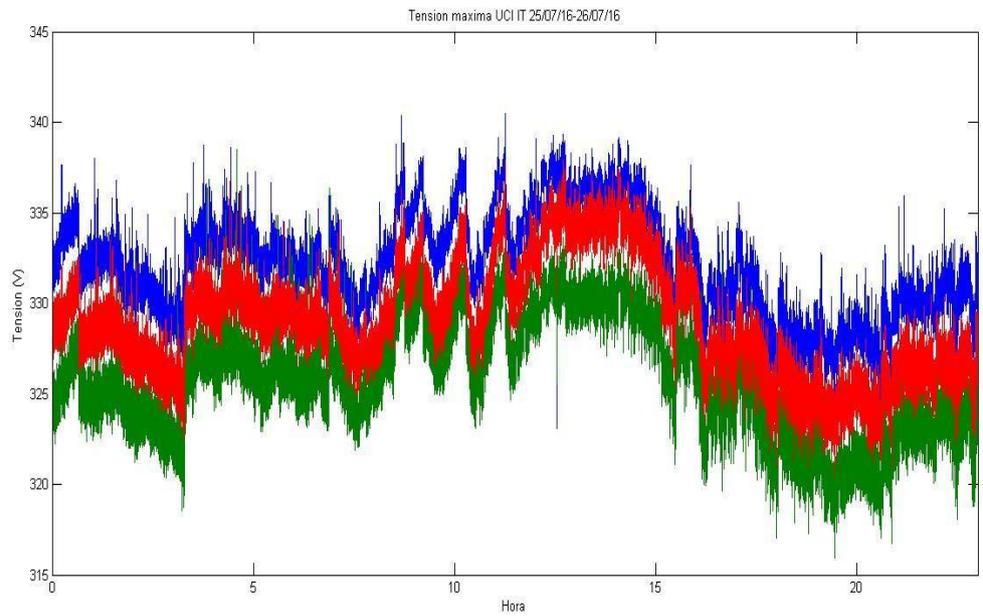
Día de la Instalación	Hora de la instalación	Día de la retirada	Hora de la retirada
25/07/2016	14:20h	01/08/2016	11:45

A continuación se mostrará una representación gráfica de los datos tomados. Se utilizarán siempre las mismas variables y en el mismo orden que ya se expusieron en el caso de la instalación IT de Quirófano, la tensión eficaz, la tensión máxima y la corriente eficaz y máxima también.

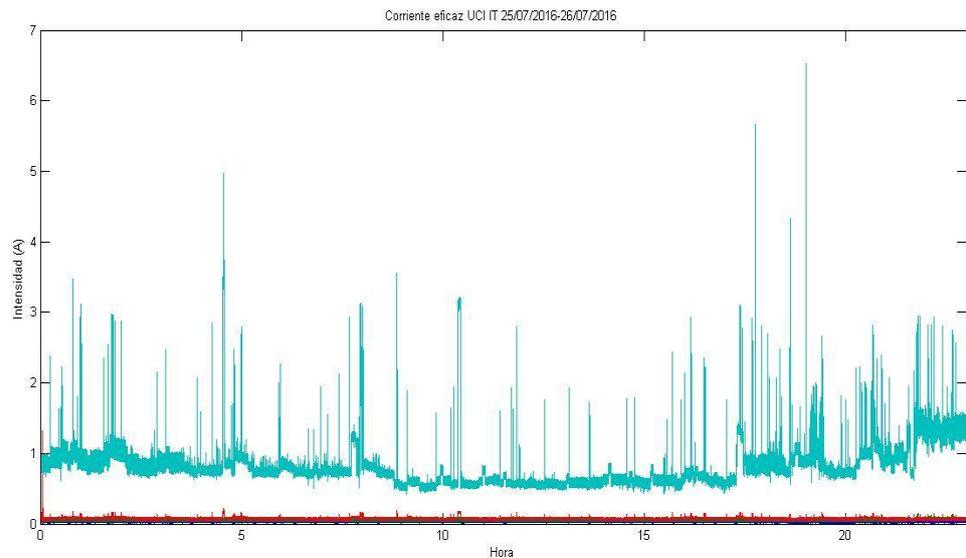
Los datos representados corresponden al lunes 25 de Julio y martes 26 de Julio, ya que se comienza a medir a las 14:20 h. Como se explicó anteriormente la hora 0 de las gráficas corresponde a las 14:20 h.



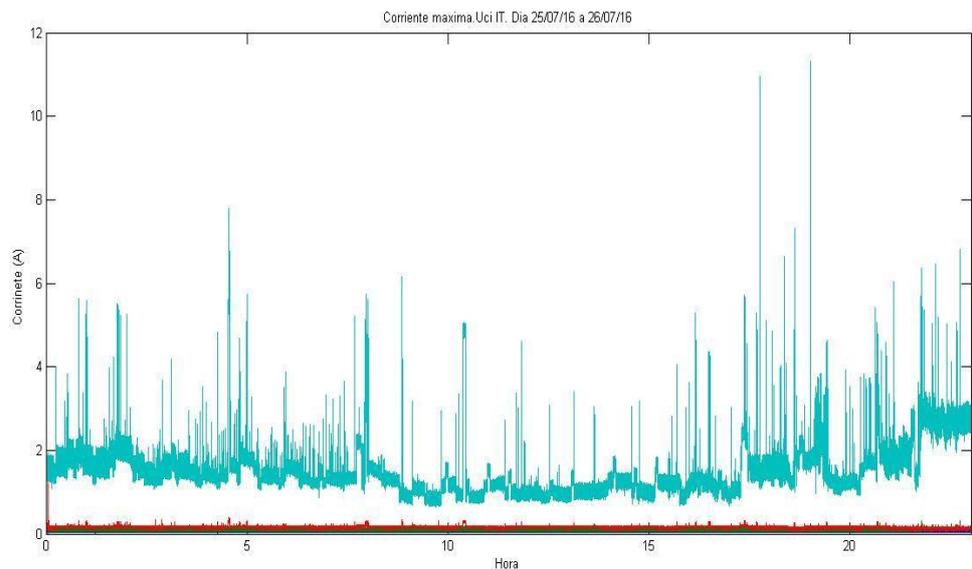
Gráfica 13. Tensión eficaz. UCI IT. Día 26/07/16 a 27/07/16



Gráfica 14. Tensión máxima. UCI IT. Día 26/07/16 a 27/07/16



Gráfica 15. Intensidad eficaz. Día 26/07/16 a 27/06/16



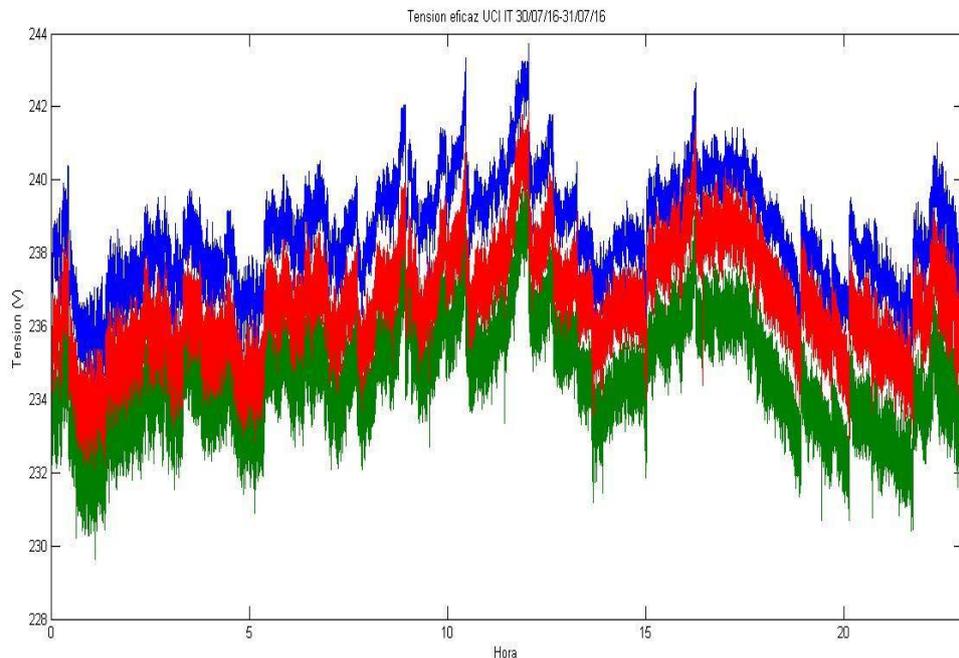
Gráfica 16. Intensidad máxima. Día 26/07/16 a 27/07/16

El hecho más llamativo de estas cuatro Gráficas es que a pesar de no existir ningún defecto ni ninguna variación apreciable en el consumo a lo largo de un día, ya que las gráficas se mantienen estables en las 14 horas, es que la corriente que circula es muy pequeña y gran parte de ella circula a través del neutro.

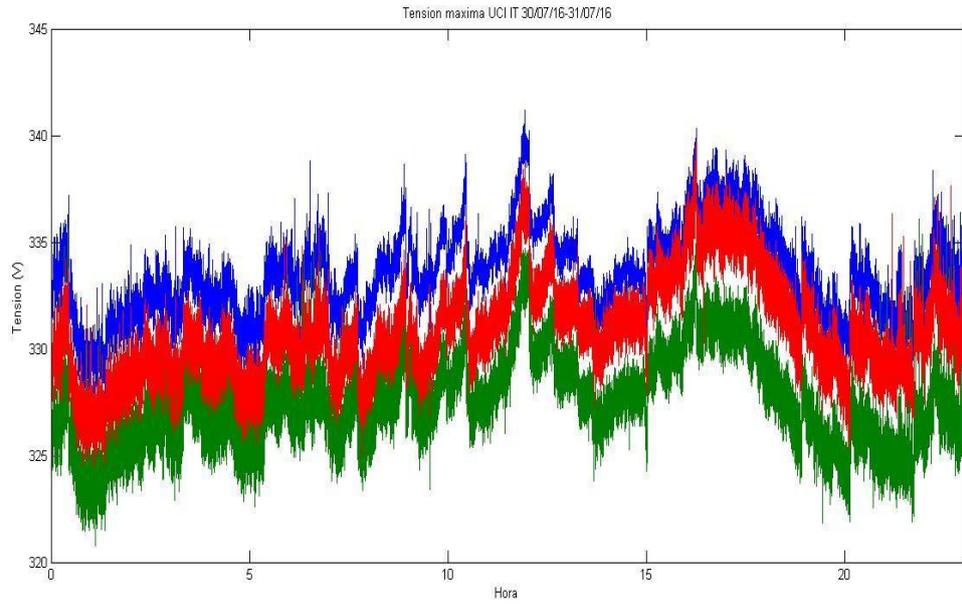
Que la intensidad demandada por esta dependencia del hospital sea mucho más pequeña que en el caso analizado anteriormente, los quirófanos, no es sorprendente. Como ya he comentado en la Unidad de Cuidados Intensivos hay solo 10 camas de las que

raramente están ocupadas más del 50%. Las estancias de los pacientes no suelen ser prolongadas y los equipos que se utilizan no son grandes consumidores de potencia, como también se indicó en la introducción. Además muchos de los pacientes que se encuentran en la UCI sufren cardiopatías y solamente requieren una vigilancia las 24 horas del día de su electrocardiograma, están plenamente conscientes y no necesitan de respiradores ni bombas de medicación o humidificadores, que son los equipos más comunes en pacientes críticos en una UCI de un hospital secundario como es el de Ávila, este es otro de los hechos por los que la UCI tiene un consumo más bajo.

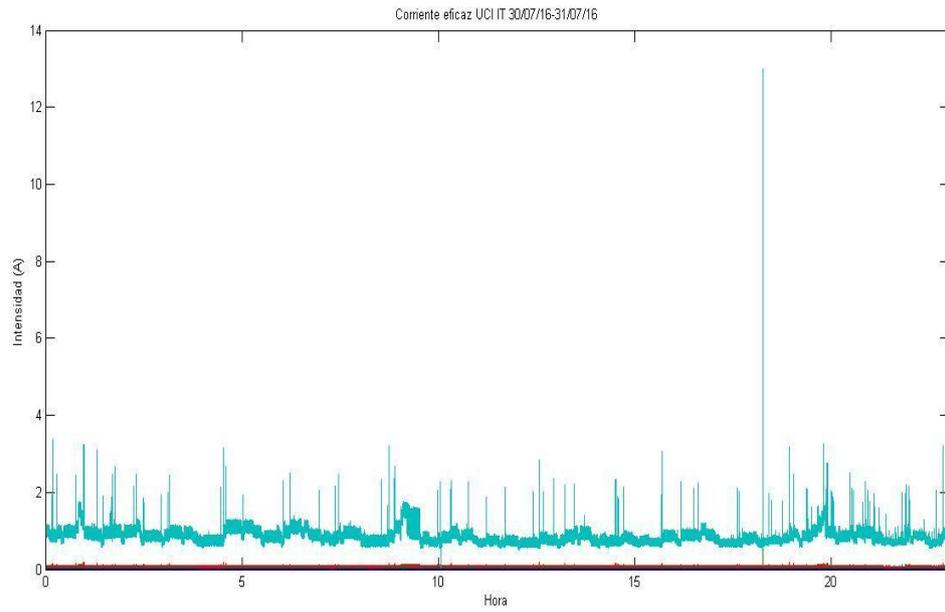
Para comprobar cómo hemos hecho anteriormente el consumo de un fin de semana con el que encontraríamos en un día laborable analizaremos la tensión y la intensidad que circulaban por los paneles de aislamiento el sábado 30 de Julio y el domingo 31, al igual que antes la hora 0, corresponde a las 14:20 horas del día 30 de Julio de 2016.



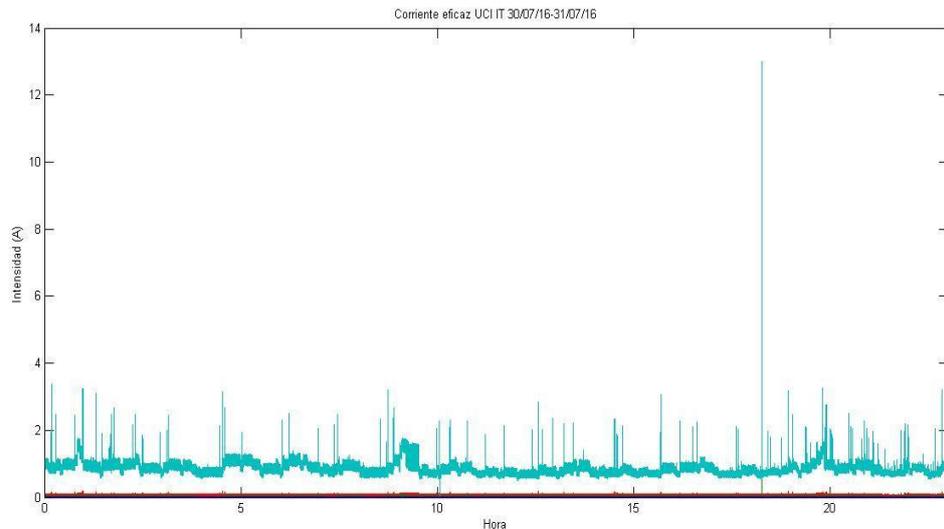
Gráfica 17. Tensión eficaz. UCI IT. 30/07/16 a 31/07/16



Gráfica 18. Tensión máxima. UCI IT 30/07/16 a 31/07/16



Gráfica 19. Intensidad eficaz. UCI IT. Día 30/07/16 a 31/07/16



Gráfica 20. Intensidad máxima. UCI IT. Día 30/07/16 a 31/07/16

Prácticamente el análisis que hemos realizado para el día laborable se puede extrapolar en este caso, excepto por una sobreintensidad en la hora 18 aproximadamente. La intensidad que circula ronda los 0.5 A en las tres fases y por el neutro circula también una corriente similar al caso anterior. Como hemos dicho no hay una gran diferencia en cuanto a la atención de pacientes críticos en fin de semana o en días laborables, se preveía por ello un consumo similar. En estas dependencias el volumen de trabajo y las cargas que se alimentan son prácticamente invariables, solo dependen del número de pacientes críticos y el máximo que puede admitir, no es muy elevado tampoco. Aunque si se aprecia que hay una diferencia significativa en las fluctuaciones de la corriente del neutro, en el caso de la intensidad que se observa en el día laborable elegido hay muchas más subidas de intensidad en el neutro y la forma de onda del sábado es mucho más plana.

5.3. Resonancia magnética. Fuerza.

La resonancia magnética consta de un solo equipo de diagnóstico. Aun así, creímos conveniente tomar medidas de la forma de onda de este espacio del Hospital porque tiene un consumo muy alto. Si bien, tiene picos de trabajo y generalmente encontraremos un consumo localizado las mañanas de los días laborables, al ser un equipo tan potente la toma de datos está totalmente justificada.

El equipo de resonancia magnética lleva a cabo una técnica de diagnóstico no invasivo por el cual se pueden detectar en pacientes tejidos anómalos, tumores u otro tipo de patologías a través de imágenes. Para poder conseguir la imagen del cuerpo humano del paciente se aplica un campo magnético. El Hospital Nuestra Señora de Sonsoles cuenta con un equipo de Resonancia Magnética que puede crear un campo magnético de 1,5 Teslas. Además este equipo lleva asociado una instalación para disipar el calor de Helio.

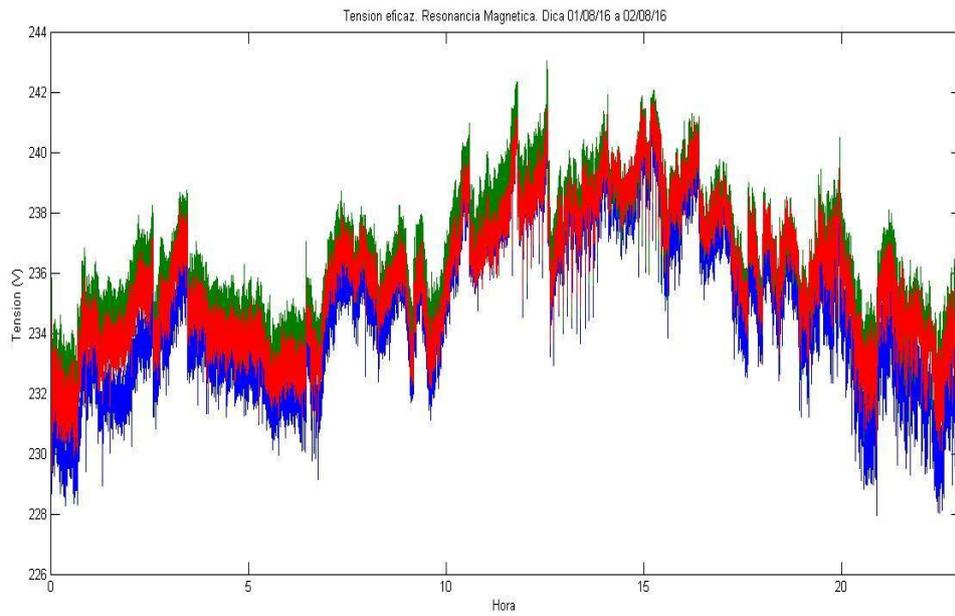
Los datos cronológicos relativos a las fechas de instalación son los siguientes:

Tabla 4. Periodo de instalación de las tarjetas de adquisición en Resonancia Magnética.

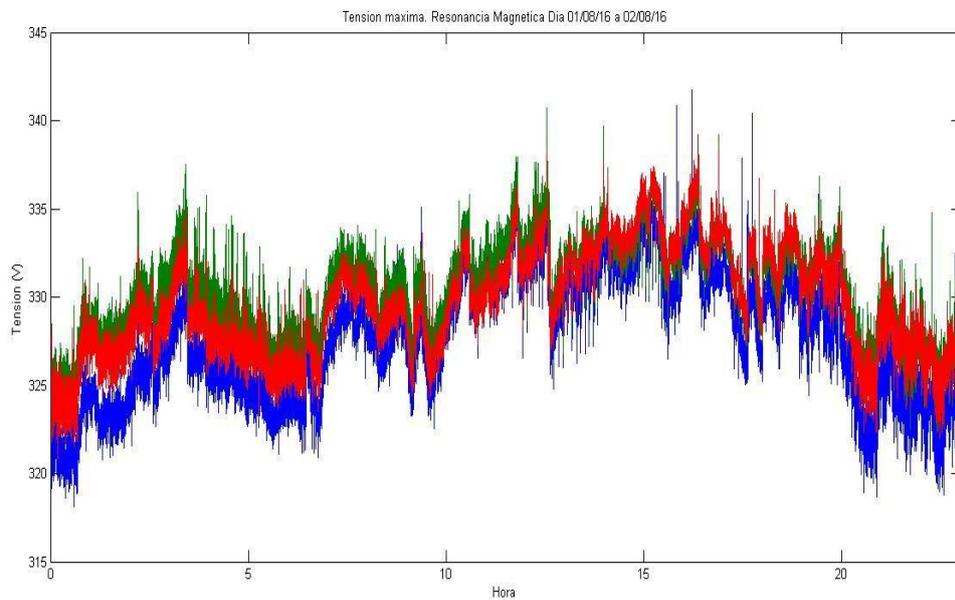
Día de la Instalación	Hora de la instalación	Día de la retirada	Hora de la retirada
01/08/2016	12:15h	09/08/2016	14:15

Como hemos apuntado anteriormente las características de consumo de esta dependencia son especiales. Solo es usa en horario de mañana y hay un solo equipo. Al igual que hemos hecho con otras dependencias, analizaremos el consumo en día laborable y en fin de semana e intentaremos localizar defectos en la onda y comentar las características eléctricas en el consumo, más destacables, que nos arrojan las gráficas.

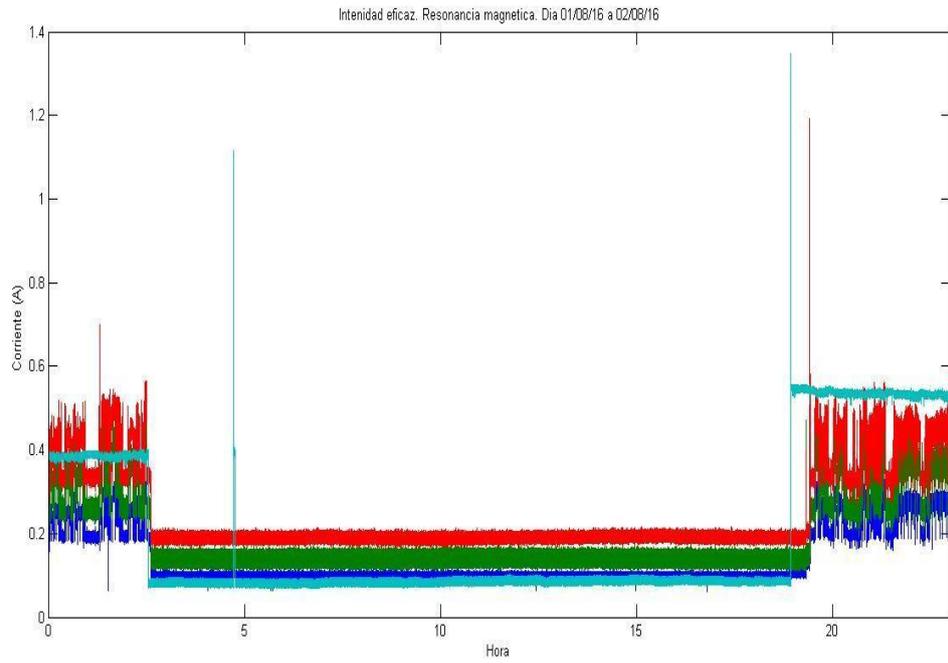
Primeramente analizaremos el periodo que comprende al día 1 de Agosto de 2016 y 2 de Agosto de 2016.



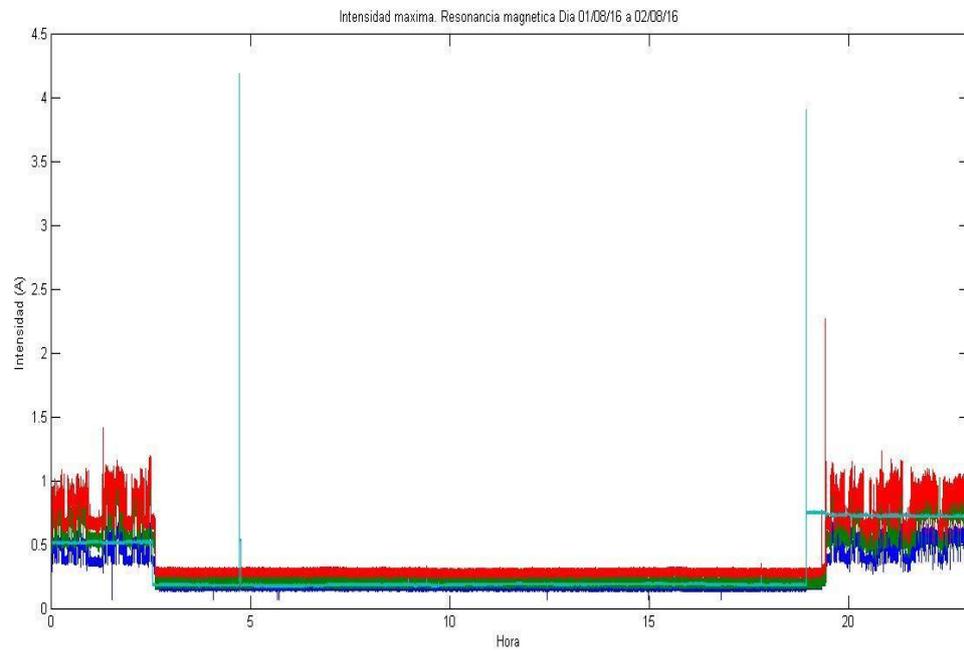
Gráfica 21. Tensión eficaz. Resonancia Magnética. Día 01/08/2016 a 02/08/2016



Gráfica 22. Tensión máxima. Resonancia magnética. Día 01/08/16 a 02/08/16



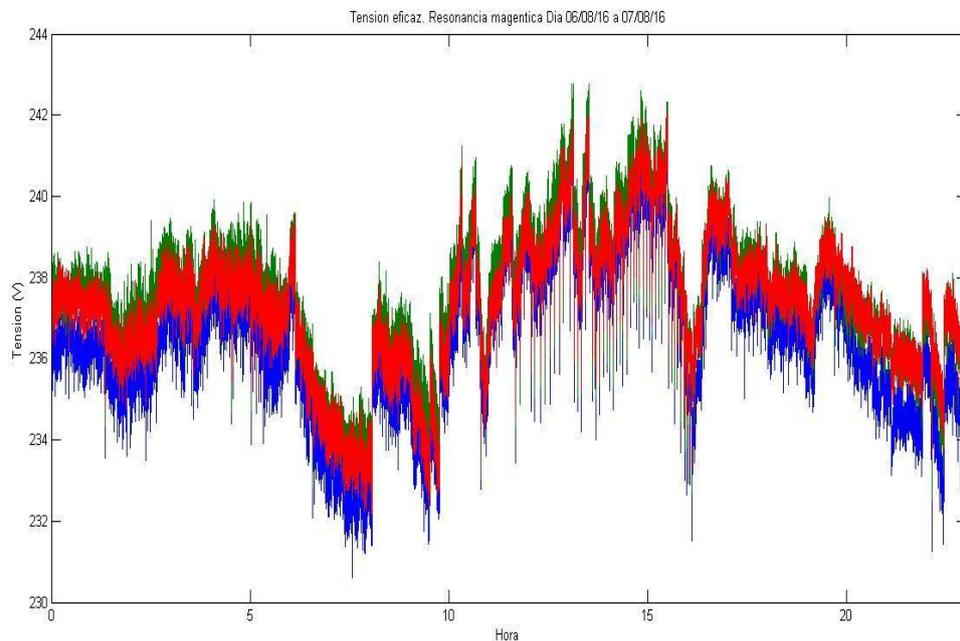
Gráfica 23. Intensidad eficaz. Resonancia magnética. Día 01/07/16 a 02/07/16



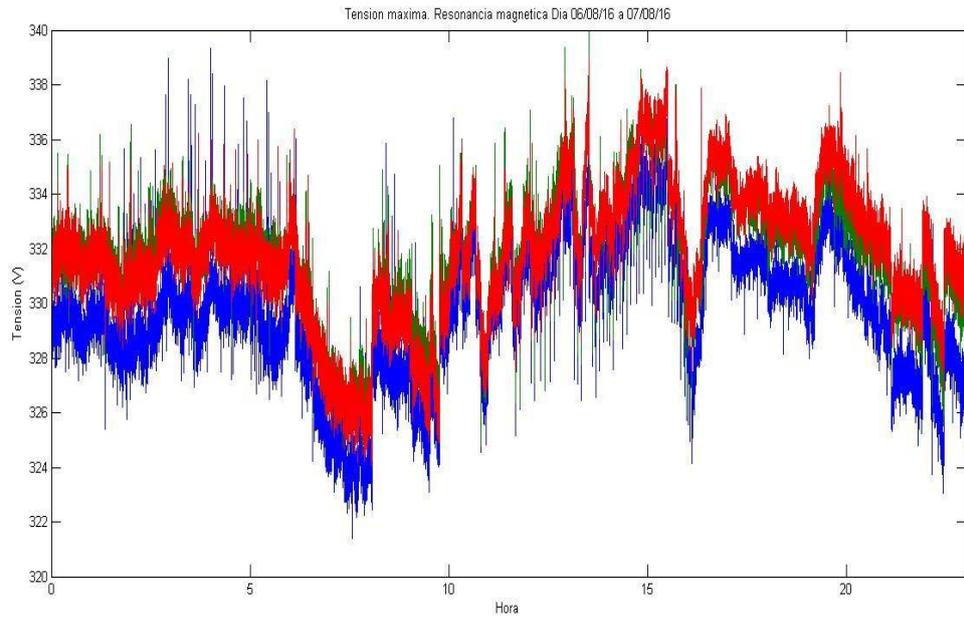
Gráfica 24. Intensidad máxima. Resonancia magnética. Día 01/08/16 a 02/08/16

Las cuatro Gráficas anteriores muestran la tensión y la corriente en esas 24 horas. El día 1 y 2 de Agosto eran lunes y martes, respectivamente, por lo que se espera un consumo únicamente diurno y prácticamente constante desde las 8 de la mañana a las 3 de la tarde. Como vemos en las Gráfica 23 y 24, la corriente en la parte central, que corresponde al periodo de tarde y noche, es prácticamente cero. Cabe destacar que la corriente del neutro en el día 2 de Agosto sufre una subida considerable antes que el resto de fases, lo cual se podría deber al encendido del equipo y el circuito de refrigeración de Helio que se ha mencionado anteriormente, para el posterior recibimiento de los pacientes. Vemos que los datos son consecuentes con la realidad del hospital.

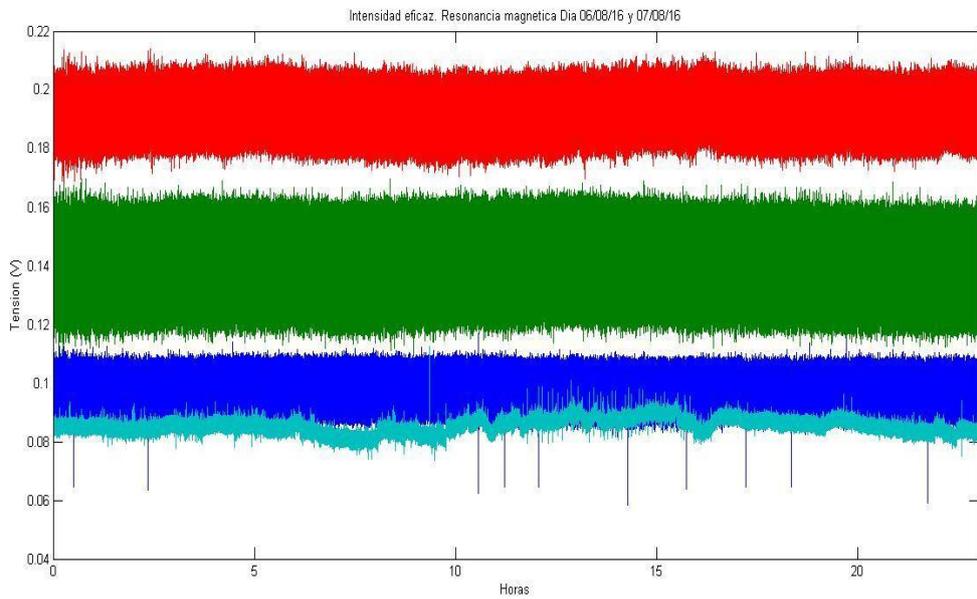
En contraste tendremos el consumo que se espera del fin de semana, para ello analizamos los datos del día 6 y 7 de Agosto de 2016, sábado y domingo respectivamente.



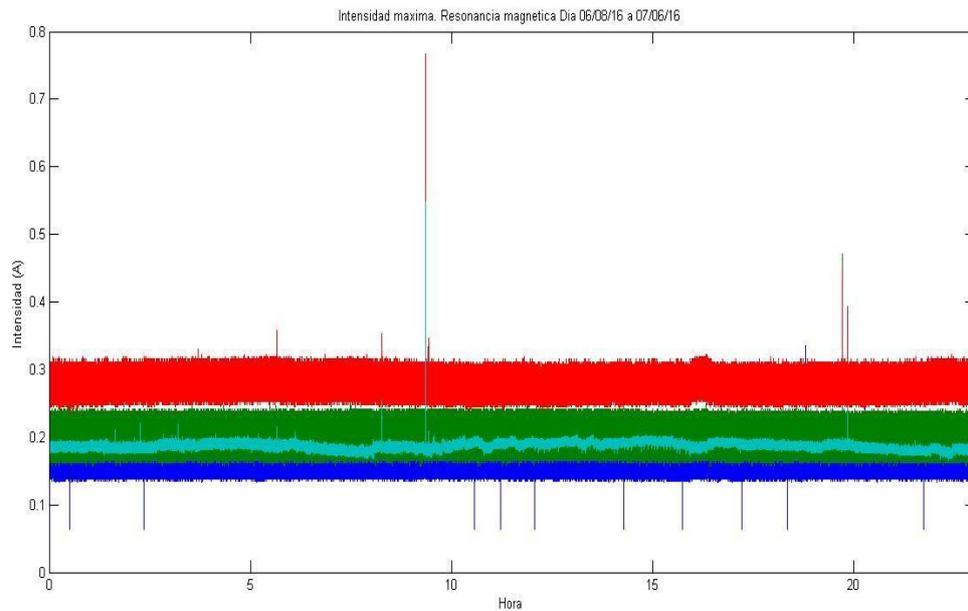
Gráfica 25. Tensión eficaz resonancia magnética. Día 06/08/16 a 07/08/16



Gráfica 26. Tensión máxima. Resonancia magnética. Día 06/08/16 a 07/08/16



Gráfica 27. Intensidad eficaz. Resonancia magnética. Día 06/08/16 a 07/08/16



Gráfica 28. Intensidad máxima. Resonancia magnética. Día 06/08/16 a 07/08/16

Como ya habíamos predicho al tratarse de un periodo no laborable en este servicio, como es la resonancia magnética el consumo es prácticamente nulo. La Gráfica 27, correspondiente al valor de la corriente eficaz, es la que nos muestra este hecho de una manera más fiel. Los consumos rondan a lo sumo los 0,2 A y en el caso del neutro y una fase bajan de 0,1 A. Este hecho es completamente lógico. En cuanto a la forma de onda de la tensión aunque sí que podemos encontrar variaciones que no la hacen constante en su forma a simple vista, numéricamente esta variación no es nada significativa y se deberá a la propia tensión de alimentación que en determinados momentos sea algo más baja, porque no hay una variación en la corriente que se pueda relacionar con este cambio en la forma de onda de la tensión, al no haber consumo.

5.4. Ascensores de personal. Fuerza.

Una fuente de consumo menos crítica pero si con un uso muy elevado y prácticamente ininterrumpido son los ascensores de personal, que también son utilizados para el transporte de pacientes. Es justamente por este motivo y también por la buena accesibilidad que teníamos para tomar los datos, por lo que elegimos este punto y lo incluimos en el estudio. Aunque parezca un elemento muy común del que se dispone en todos los edificios, en este caso tienen una criticidad más elevada. No nos podemos

permitir que estos ascensores se colapsen o queden bloqueados ya que a través de ellos se transportan pacientes críticos para que ingresen en la UCI, pacientes que necesitan pruebas, más o menos urgentes, en diferentes aéreas del hospital y también aquellos que van a ser intervenidos quirúrgicamente. Los ascensores están perfectamente coordinados y hay personal específico para realizar todas estas tareas.

En este caso se analizarán los datos tomados de todos los días en los que estuvo instalado el equipo y si observamos diferencias notables de consumo en fin de semana y día laborable, quedará reflejado en los casos anteriores. Si no, se estudiarán los fenómenos más significativos que se encuentren o el día más interesante a efectos de consumo.

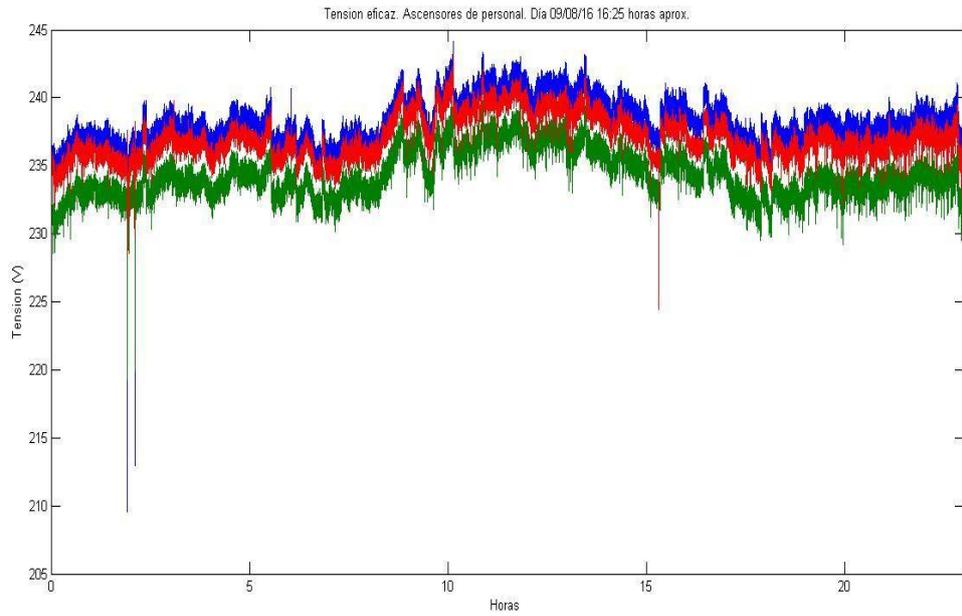
El periodo de muestreo fue el siguiente:

Tabla 5. Periodo de adquisición de datos en Ascensores de Personal.

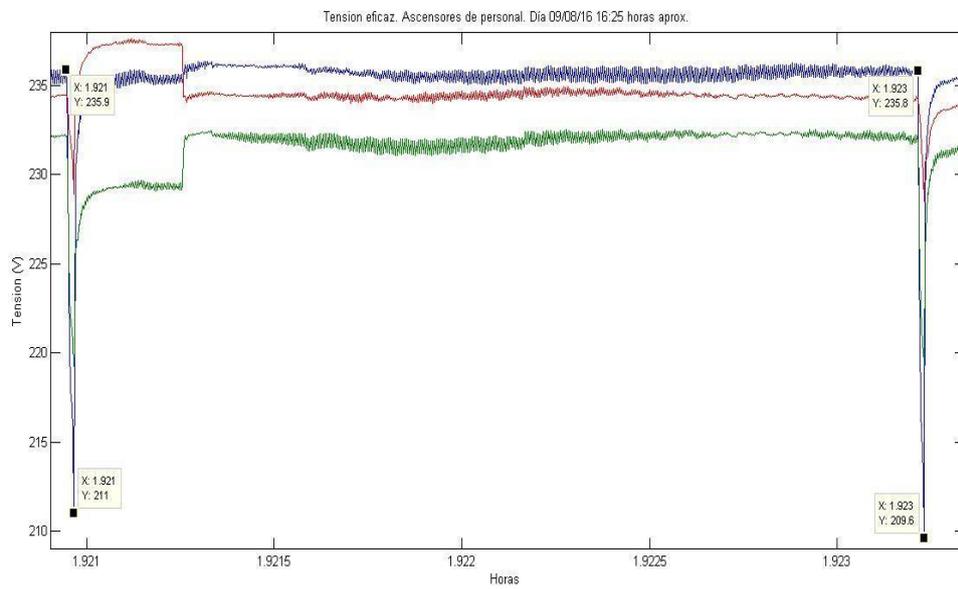
Día de la Instalación	Hora de la instalación	Día de la retirada	Hora de la retirada
09/08/2016	14:24h	17/08/2016	12:20

El primer día que pasamos a analizar es el día 9 de Agosto de 2016, que corresponde a un martes y también la parte correspondiente al día 10 de Agosto ya que la medida comenzó a las 14:24 horas como se ve reflejado en la Tabla 5.

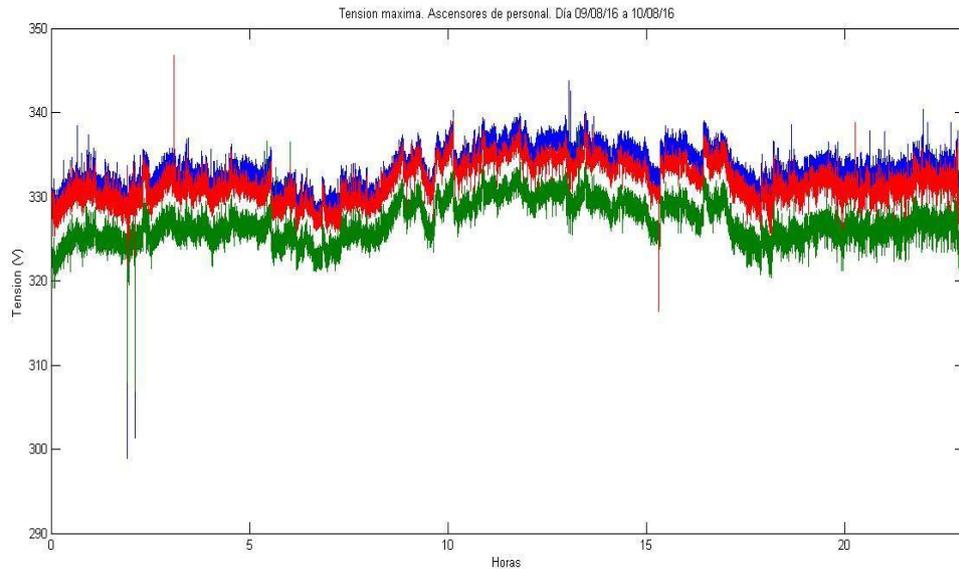
Al igual que en los casos anteriores se analizan las variables tensión e intensidad con sus correspondientes valores máximos y mínimos.



Gráfica 29. Tensión máxima. Ascensores de personal. Día 09/08/16 a 10/08/16



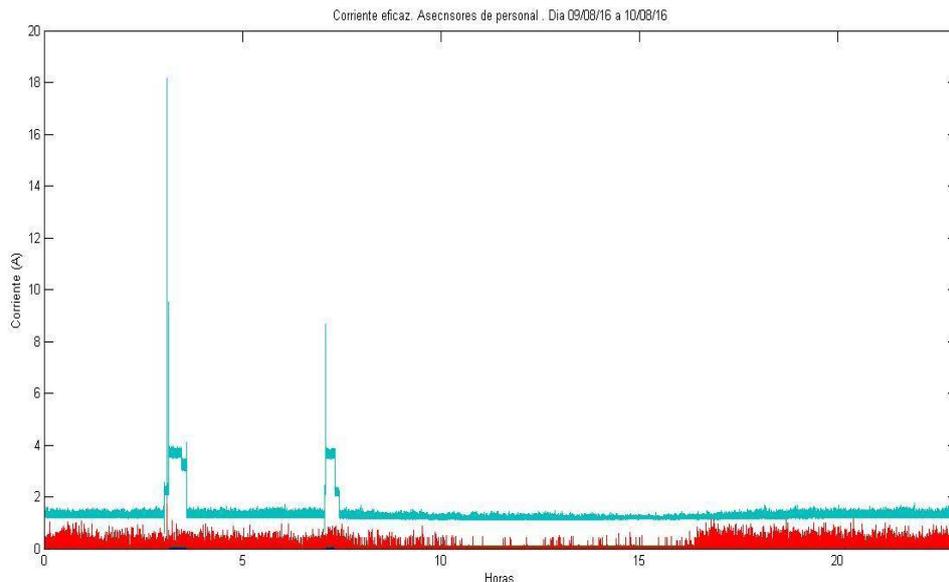
Gráfica 30. Tensión máxima. Ascensores de personal. Día 09/08/16 a 10/08/16



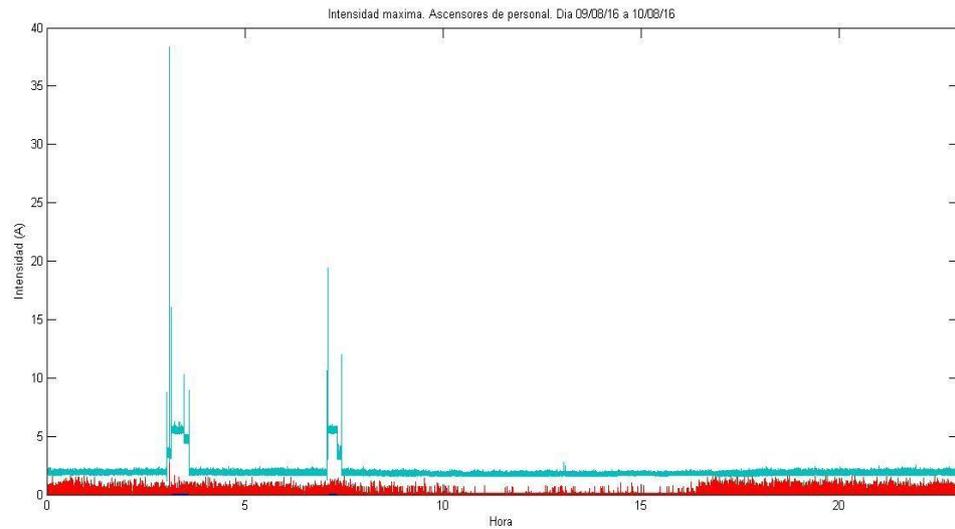
Gráfica 31. Tensión máxima. Ascensores Personal. Día 09/08/16 a 10/08/16

Observamos en la tensión un hecho particular que se muestra en las tres figuras. Sobre las 16:24 horas del día 9 de Agosto se producen dos episodios de bajadas de tensión mayores del 10% que también se ve reflejado en la Gráfica 31 , que corresponde a la representación de la tensión máxima aunque el análisis de magnitud, que se observa en la Gráfica 30, se ha realizado sobre la representación de la tensión eficaz.

A continuación veremos las dos representaciones de la corriente eléctrica en este mismo periodo de 24 horas.



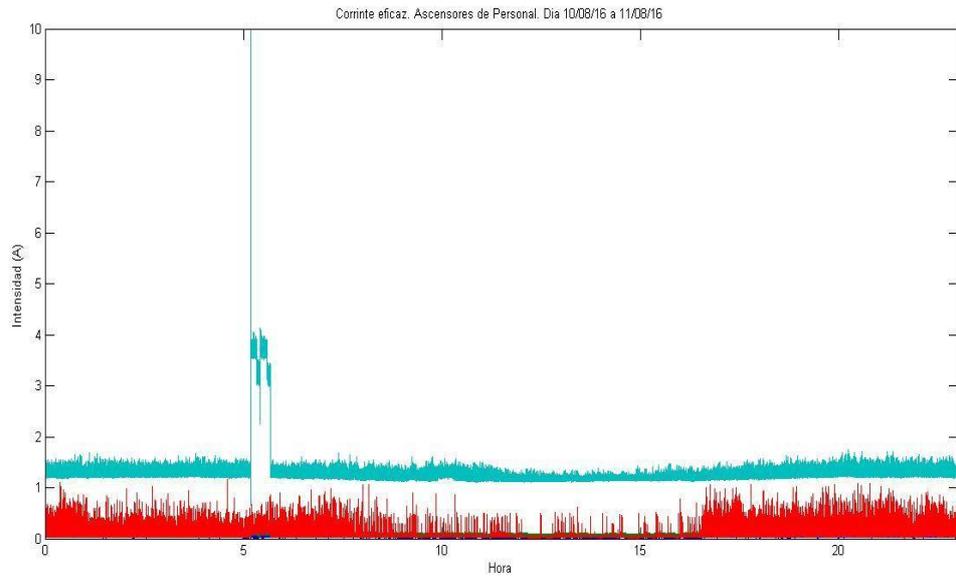
Gráfica 32. Intensidad eficaz. Ascensores de personal. Día 09/08/16 a 10/08/16



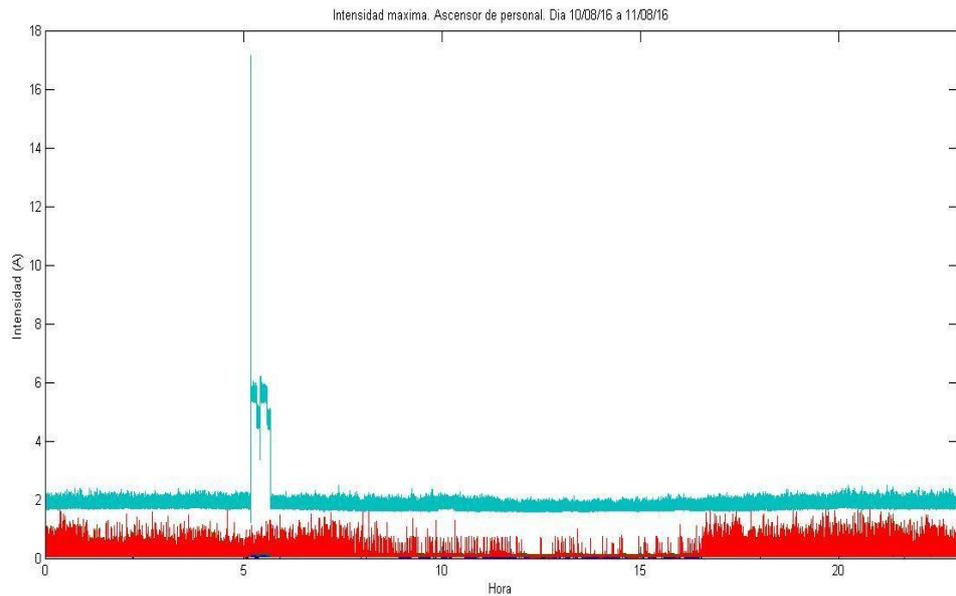
Gráfica 33. Intensidad máxima. Ascensores de personal. Día 09/08/16 a 10/08/16

En las Gráficas 32 y 33, se puede observar claramente un fenómeno llamativo y que desde un punto de vista de planificación de cualquier instalación eléctrica es imprescindible tener en cuenta. La mayor parte de la corriente eléctrica circula por el neutro siendo las corrientes de las tres fases prácticamente cero y observamos que en el neutro (fase representada en color cian) se producen dos sobreintensidades de una duración bastante grande, alrededor de una hora y media hora respectivamente. Es tremendamente importante tener en cuenta este hecho porque podrían producirse pérdidas por calentamiento y el disparo de algunas protecciones, lo que dejaría sin suministro, en caso de que se produjese un corte, a los ascensores de personal. Este hecho podría haberse evitado si la carga se repartiese de forma adecuada en las tres fases.

La sobrecarga del neutro y las sobreintensidades de, más o menos, larga duración no son un caso aislado del día 9 de Agosto.



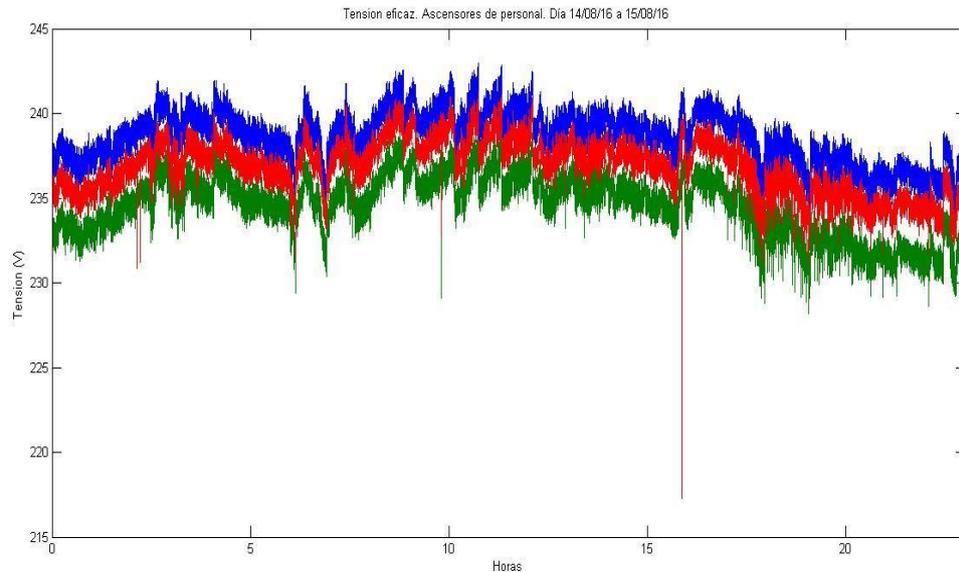
Gráfica 34. Corriente eficaz. Ascensores de personal. Día 10/08/16 a 11/08/16



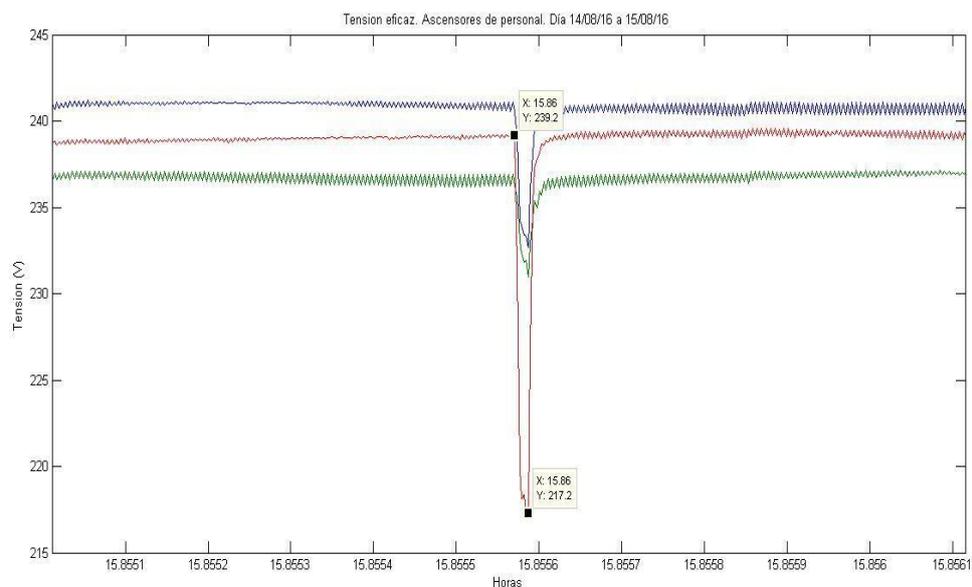
Gráfica 35. Corriente máxima. Ascensor personal. Día 10/08/16 a 11/08/16

Como se observa en la Gráfica 34 y en la Gráfica 35, corriente eficaz y máxima respectivamente, vuelve a ocurrir un fenómeno de sobreintensidad con la misma forma de onda, también de una duración de una hora aproximadamente y en la misma franja horaria. Es un hecho importante y a tener en cuenta por lo que se comentó anteriormente y más al comprobarse que no es un hecho aislado.

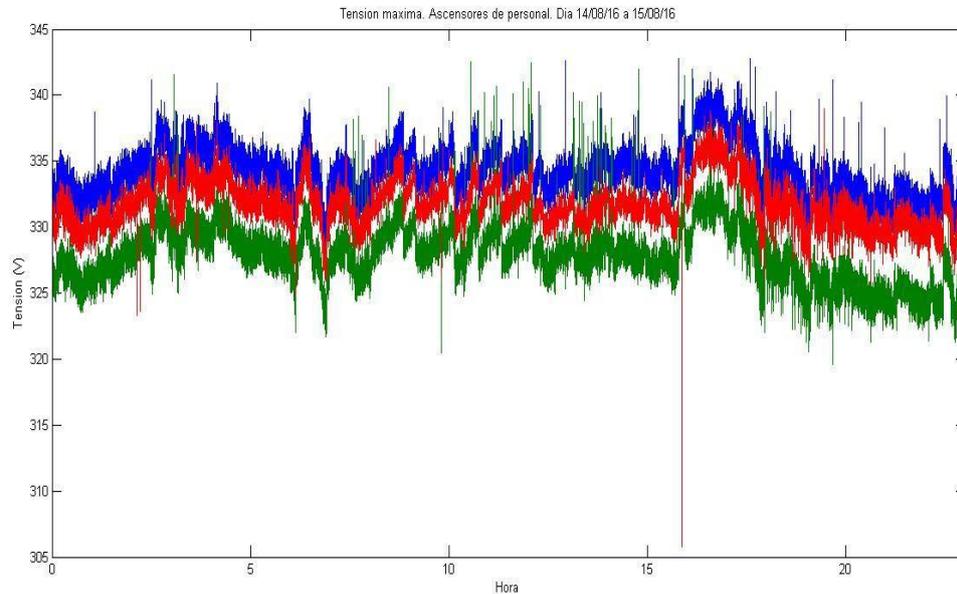
Al igual que se ha comprobado en las demás dependencias de la instalación del Hospital Nuestra Señora de Sonsoles de Ávila se quiere comprobar si hay alguna diferencia entre el consumo de fin de semana y de un día laborable. Para comprobar este hecho se ha elegido el día 14 de Agosto y el día 15 de Agosto, que son domingo y lunes, pero en este caso día no laborable, respectivamente.



Gráfica 36. Tensión eficaz. Ascensores de personal. Día 14/08/16 a 15/08/16



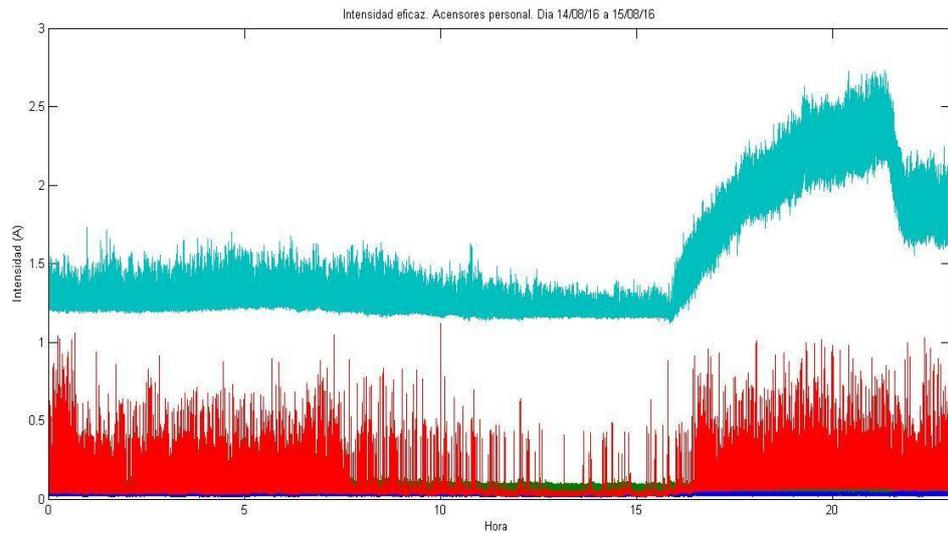
Gráfica 37. Tensión eficaz. Ascensores personal. Día 14/08/16 a 15/08/16 ampliación.



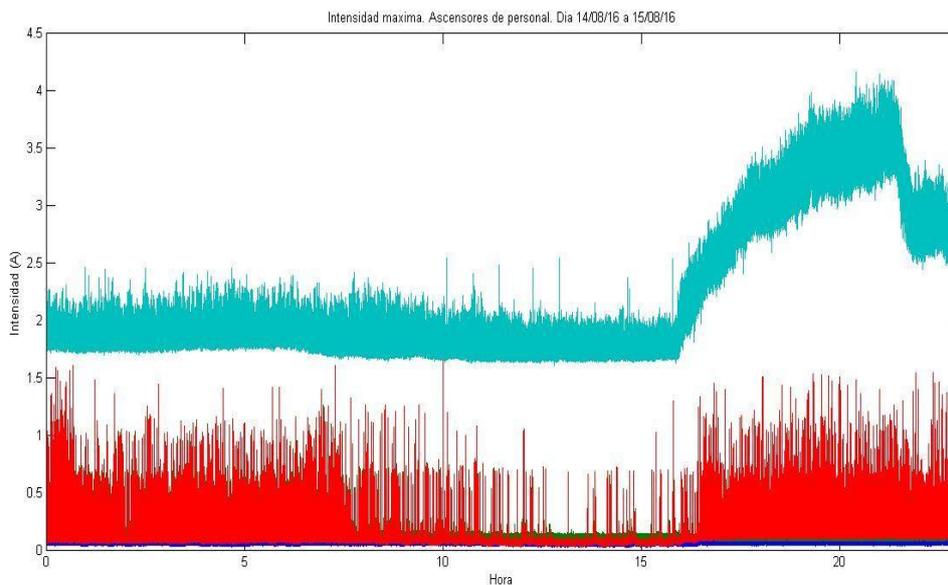
Gráfica 38. Tensión máxima. Día 14/08/16 a 15/08/16

Al analizar las Gráficas 36, 37 y 38 que corresponden a la tensión eficaz, una ampliación de ésta y a la tensión máxima encontramos una forma de onda con ruido como viene siendo habitual durante todo este análisis y sobre la hora 16, es decir aproximadamente a las 06:24 horas de la madrugada del día 15 de Agosto se observa una bajada de tensión de más del 10 % como ya se observó en el día 9 de Agosto. Como hemos comentado anteriormente las bajadas de tensión de más del 10% con una duración de 10 milisegundos son una de las perturbaciones más comunes en la calidad de onda denominados huecos de tensión.

Además se procede también a analizar la corriente eficaz y máxima de este periodo de 24 horas en la Gráfica 39 y 40.



Gráfica 39. Intensidad máxima. Ascensores de personal. Día 14/08/16 a 15/08/16



Gráfica 40. Intensidad máxima. Ascensores de personal. Día 14/08/16 a 15/08/16

Observamos que las intensidades que circulan por dos de las fases son prácticamente cero y la tercera (representada en color rojo) si tiene un consumo bastante más elevado aunque como es lógico debido a la carga que está conectada, ascensores de uso intenso pero intermitente, fluctúa mucho. Como en los casos anteriores se ve claramente como la corriente que circula por el neutro es muy elevada y además como en el momento en el que se produce el hueco de tensión que hemos mencionado anteriormente, en la hora 16 de análisis se produce una subida de la corriente que circula por el neutro muy grande, casi de 2

amperios que se mantiene a lo largo del día sin que ninguna de las tres fases se vean afectadas ni sometidas a ningún cambio.

6. Conclusiones.

Una vez analizados los datos obtenidos en el Centro de Transformación del Hospital Nuestra señora de Sonsoles podemos concluir este Trabajo de Fin de Grado obteniendo algunas ideas y también algunas líneas de investigación interesantes que pueden surgir después de este acercamiento a la calidad de onda eléctrica hospitalaria.

Primeramente podemos concluir con una idea fundamental, a pesar de que existen muchas fluctuaciones en la intensidad y la tensión consumida dentro del hospital y como nosotros nos hemos centrado en los defectos de tensión, no hemos observado problemas claros asociados a estos. Si bien es cierto que en cuatro ocasiones hemos encontrado huecos de tensión, todos ellos tenían una amplitud próxima al 10% que es justo el límite en el que la norma UNE-EN 50160 y la duración ha sido muy corta. Afirmamos, por tanto, que no hemos encontrado defectos graves en la calidad de onda del Hospital Nuestra Señora de Sonsoles. Pueden afectar muchos factores a este hecho, ya que nos consta que en otros periodos de tiempo sí se han producido defectos en la tensión más significativos. La diferencia principal puede ser que el periodo estival, en el que se desarrolló este programa de prácticas, las incidencias son menores, el consumo del hospital es menor y, además, los defectos en la onda de tensión no solamente los producen factores propios de la instalación si no que tiene mucho que ver la acometida y la tensión de alimentación. Al ser verano es posible que la red esté mucho menos saturada que durante periodos en los que la actividad laboral es mucho mayor, esta es otra de las razones posibles para no haber encontrado más defectos en la onda de tensión.

Dos de los casos analizados son dependencias muy críticas del área hospitalaria, la UCI y Quirófano y su instalación de fuerza con transformador de aislamiento y esquema de distribución IT. En estas dependencias observamos que el transformador de aislamiento del circuito cumple su función perfectamente ya que solamente encontramos un hueco de tensión de una amplitud poco significativa.

En el caso del circuito de la resonancia magnética, no podemos abstraer conclusiones especialmente significativas ya que lo que suponíamos en cuanto al consumo eléctrico es exactamente lo que vimos en las diferentes Gráficas que se han presentado en el Apartado 5.3.

Y por último, en los ascensores de personal se han observado intensidades bruscas que pueden suponer un problema grave en cuanto al dimensionado de protecciones y de las secciones de los conductores, ya que puede suponer un problema grave para el aislamiento de estos e incluso para conservar las características materiales del propio cable.

Un aspecto que sí podemos considerar grave desde el punto de vista de planificación y de diseño de la instalación eléctrica son los desequilibrios entre las fases y la circulación de corrientes elevadas por el neutro. Este hecho no es muy relevante en caso del circuito IT de Quirófano ya que la relación de la corriente que circula por el neutro y la que circula por las tres fases es muy pequeña, al ser estas tres últimas muy elevadas. Sin embargo, en la Resonancia Magnética y los Ascensores de Personal la corriente que circula por el neutro es muy elevada, llegando en algunos casos en los Ascensores de Personal a superar ésta a la corriente que circula por las fases. Este aspecto es algo a resaltar y debería tenerse en cuenta en la distribución de cargas futuras e incluso plantearse realizar una redistribución para corregirlo, aunque en la práctica sea un hecho complicado. El desaprovechamiento de los recursos de distribución eléctrica del hospital tiene costes económicos, ya no solo porque probablemente si se distribuyese de una manera adecuada la sección de los cables sería menor y podríamos abaratar los costes de toda la instalación sino que también se producen pérdidas por el calentamiento de los cables por los que circulan corrientes mucho mayores de las que deberían.

Para concluir me gustaría resaltar la importancia que tiene realizar este estudio en este tipo de instalaciones y también en instalaciones de tipo industrial. Sirven para poder planificar de manera adecuada el diseño de cualquier dependencia nueva que se vaya a realizar en el hospital. Además sirve también para conocer de manera adecuada la instalación, planificar posibles cortes, dimensionarla adecuadamente, distribuir las cargas de una manera adecuada y realizar un mantenimiento predictivo de la instalación.

Como futuras líneas de investigación o variables que podrían ser adecuadas para otros Trabajos de Fin de Grado similares, podemos resaltar este mismo análisis pero aplicado a las corrientes a través de análisis FFT, realizar estos seguimientos pero para aparatos concretos o realizar este análisis durante periodos de tiempo mucho más largos con seguimiento de las actuaciones que se realizan en el hospital.

7. Bibliografía.

- [1] AENOR. “Características de la tensión suministrada por las redes eléctricas.” EN-UNE 50160. Marzo 2011
- [2] David Chapman. “Guía de calidad de la Energía Eléctrica. Armónicos, causas y efectos” Copper Development Association UK, Marzo 2001.
- [3] Eisuke Handa, Shuuya Itoga, Kyoko Takano, Takato Kudou. “Investigations of the Quality of Hospital Electric Power Supply and the Tolerance of Medical Electric Devices to Voltage Dips”, 2012
- [4] F. Immovilli, A. Bellini, R. Rubini, and C. Tassoni, “Diagnosis of bearing faults in induction machines by vibration or current signals: A critical comparison,” IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 46, no. 4, pp. 1350–1359, Jul./Aug. 2010.
- [5] H. Henao et al., “Trends in fault diagnosis for electrical machines,” IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 8, no. 2, pp. 31–42, Jun. 2014.
- [6] Ibrahim, M. El Badaoui, F. Guillet, and F. Bonnardot, “A New Bearing Fault Detection Method in Induction Machines Based on Instantaneous Power Factor,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, Issue: 12, Dec. 2008.
- [7] Pablo Alcalde San Miguel. “Reglamento electrotécnico de baja tensión”. Ed. Paraninfo., pp. 398-414, pp. 508-514, 2015
- [8] Rusdy Hartungi, Liben Jiang “Investigation of Power Quality In Health Care Facility.”, 2007
- [9] Sacyl Infraestructuras. Proyecto Detelsa. “Guía de esquemas de suministro y sistemas de distribución de sistemas hospitalarios”, 2010

- [10] UNESA. “Guía sobre la calidad de onda en las redes eléctricas”, pp. 1-49.

