

**Guía de selección y dimensionamiento de sistemas de respaldo para Instalaciones Eléctricas
de uso final**

Diego Alejandro Hortua Tamayo

Julián Enrique Orosco Martínez

Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista

Director:

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Doctor en Ciencias con Énfasis en Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Bucaramanga

2019

Dedicatoria

A mis padres Héctor Alcides Hortua Neira y Luz Betty Tamayo Ariza
por haberme brindado su apoyo incondicional
a lo largo de toda la carrera.

A mi hermano Santiago Andrés Hortua Tamayo
por ser un ejemplo a seguir e impulsarme
a ser mejor día a día.

A Dios por darme la sabiduría y el entendimiento
para culminar mis estudios.

Diego Alejandro Hortua Tamayo.

A mis padres Omaira Martínez y Daniel Orosco, por ser el apoyo
incondicional en las situaciones difíciles a lo largo de mi
carrera y ser a su vez el motivo para seguir adelante.

A mis hermanos Jair y Alejo porque sin
su amistad y consejo no sería la
persona que soy hoy en día.

A Dios por guiar cada uno de mis pasos
a lo largo de este camino.

Julián Enrique Orosco Martínez

Tabla de Contenido

Introducción	17
1. Generalidades sobre el uso de los Sistemas de Respaldo	20
1.1 Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas (RETIE 2013)	20
1.2 Norma Técnica Colombiana 2050 (NTC 2050).....	21
1.2.1 Circuitos de emergencia	22
1.2.2 Circuitos de reserva legalmente requeridos.....	23
1.2.3 Circuitos de reserva opcionales	25
1.3 Consideraciones Adicionales	29
1.3.1 Protección contra incendios.....	29
1.3.2 Sistemas de seguridad y soporte vital.....	32
2. Tecnologías usadas para sistemas de respaldo energético	34
2.1 Almacenador Cinético de Energía (Flywheel).....	34
2.2 Grupos Electrónicos	39
2.2.1 Motor	40
2.2.2 Escape de Gases.....	42
2.2.3 Generador	45
2.2.4 Sistema de combustible	46
2.3 Uninterruptible Power Supply (UPS).....	49

2.3.1 Instalación de sistemas de alimentación ininterrumpida	50
2.3.2 Tecnologías y Clasificación de UPS	52
2.3.3 On-Line Doble Conversión	56
2.3.4 Rangos de potencia según la aplicación	57
2.4 Supercondensadores	58
2.4.1 Aplicación de supercondensadores en instalaciones eléctricas	62
2.5 Celdas de Hidrógeno	66
2.5.1 Eficiencia Energética	66
2.5.2 Dependencia Energética	66
2.5.3 Razones Medioambientales	67
2.5.4 Celdas de combustible	67
2.5.5 Tipos de celdas de combustible	68
2.6 Almacenamiento de energía magnética por superconductividad	70
2.6.1 Bobina superconductora	71
2.6.2 Sistemas de enfriamiento	75
2.6.3 Interfaz eléctrica	75
2.7 Estudio de costos en sistemas de alimentación de respaldo	78
2.8 Comparativo de las tecnologías utilizadas como sistemas de respaldo	86
2.9 Circuitos de Suplencia	88
2.10 Dispositivos de Transferencia	89

3. Dimensionamiento de un sistema de respaldo para instalaciones eléctricas de uso final.....	91
3.1 Clasificación de las cargas	91
3.2 Tipos de perturbaciones en instalaciones eléctricas	94
3.3 Proceso de selección de sistema de UPS.....	97
3.3.1 Grado de protección UPS	97
3.3.2 Consumo de la Carga.....	98
3.3.3 UPS Flywheel	99
3.3.4 Autonomía del UPS Convencional.....	105
3.3.5 Proceso de selección.....	106
3.4 Proceso de selección de grupos electrógenos.....	108
3.4.1 Obligatoriedad de una planta de emergencia.....	108
3.4.2 Cargas en una planta de emergencia.....	109
3.4.3 Transferencias de carga	109
3.4.4 Entrada de cargas en plantas de emergencia	110
3.4.5 Disposiciones adicionales.....	110
3.4.6 Instalación.....	111
3.4.7 Conexión de puesta a tierra de la planta de emergencia.....	113
3.4.8 Selección de la planta de emergencia	114
3.4.9 Disposiciones adicionales.....	123
4. Selección y dimensionamiento de un sistema de respaldo	125

4.1 Instalación tipo residencial.....	125
4.2 Instalación Tipo Comercial	128
4.3 Instalación Tipo Industrial	130
5. Aplicativo de selección y dimensionamiento de un sistema de respaldo	133
5.1 Selección UPS	133
5.2 Selección del grupo electrógeno	137
6. Conclusiones	139
Referencias Bibliograficas	142
Apéndices.....	149

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1 <i>Comparación de las capacidades caloríficas de los distintos combustibles</i>	40
Tabla 2 <i>Comparación de las propiedades fisicoquímicas de los distintos materiales de supercondensadores</i>	61
Tabla 3 <i>Datos característicos de celdas de supercondensadores comerciales</i>	62
Tabla 4 <i>Lista de superconductores</i>	71
Tabla 5 <i>Corriente y flujo magnético de los SMES</i>	74
Tabla 6 <i>Logro y plan de desarrollo de grandes bobinas superconductoras</i>	74
Tabla 7 <i>Costos de inversión y operación de las tecnologías usadas como sistemas de respaldo</i>	79
Tabla 8 <i>Canasta energética en Colombia</i>	80
Tabla 9 <i>Precios de equipos electrógenos y sus auxiliares puestos en Bogotá.</i>	83
Tabla 10 <i>Precios de UPS APC según su nivel de potencia</i>	85
Tabla 11 <i>Comparativo tecnologías de sistemas de respaldo</i>	87
Tabla 12 <i>Protección según el tipo de UPS</i>	98
Tabla 13 <i>Comparación Flywheel vs Banco baterías</i>	104
Tabla 14 <i>Características típicas motores monofásicos</i>	118
Tabla 15 <i>Características típicas motores monofásicos de repulsión</i>	119
Tabla 16 <i>Características típicas de motores trifásicos</i>	119
Tabla 17 <i>Códigos NEMA para arranque kVA/hp de motores trifásicos</i>	121
Tabla 18 <i>Tipos de arranque de motores</i>	121
Tabla 19 <i>Valores típicos conjuntos motor-generator</i>	123
Tabla 20 <i>Cuadro de cargas en la instalación</i>	127

Lista de Figuras

	pág.
<i>Figura 1.</i> Conexión del sistema contra incendios.....	31
<i>Figura 2.</i> Topología típica de una instalación hospitalaria.....	33
<i>Figura 3.</i> Volante de inercia en eje de alta velocidad en el metro de Londres.....	35
<i>Figura 4.</i> Volante utilizado para una máquina elevadora.....	35
<i>Figura 5.</i> Elementos constructivos de un almacenador cinético de energía.....	37
<i>Figura 6.</i> Conexión a la carga de un sistema Flywheel.....	38
<i>Figura 7.</i> Grupo electrógeno Cat. Adaptado de Caterpillar.....	39
<i>Figura 8.</i> Sistema de escape	43
<i>Figura 9.</i> Desagüe de condensación	44
<i>Figura 10.</i> Alternador de inducido móvil	45
<i>Figura 11.</i> Alternador de inducido fijo.....	46
<i>Figura 12.</i> UPS modulares, convencionales y <i>line interactive</i>	49
<i>Figura 13.</i> Diagrama unifilar instalación UPS	50
<i>Figura 14.</i> Protecciones en instalación de un UPS.....	51
<i>Figura 15.</i> UPS StandBy. Adaptado de Legrand Group España.....	53
<i>Figura 16.</i> UPS StandBy transferencia de potencia desde la red eléctrica.....	53
<i>Figura 17.</i> UPS StandBy transferencia de potencia desde banco de baterías	54
<i>Figura 18.</i> UPS interactiva	55
<i>Figura 19.</i> UPS On-Line doble conversión	57
<i>Figura 20.</i> Supercondensadores y módulos comerciales Maxwell	59

<i>Figura 21. Clasificación de supercondensadores</i>	<i>60</i>
<i>Figura 22. Sistema híbrido topología 1</i>	<i>63</i>
<i>Figura 23. Sistema híbrido topología 2</i>	<i>64</i>
<i>Figura 24. Sistema híbrido topología 3</i>	<i>65</i>
<i>Figura 25. Sistema híbrido topología 4</i>	<i>65</i>
<i>Figura 26. Pila de combustible de electrolito utilizada en los transbordadores modernos</i>	<i>68</i>
<i>Figura 27. Pila alcalina utilizada en el módulo de mando Apollo</i>	<i>68</i>
<i>Figura 28. Diagrama esquemático de un sistema SMES</i>	<i>71</i>
<i>Figura 29. Configuración toroidal</i>	<i>72</i>
<i>Figura 30. Configuración solenoidal</i>	<i>73</i>
<i>Figura 31. Características y funciones de las tecnologías de almacenamiento de energía</i>	<i>86</i>
<i>Figura 32. Esquema de una instalación con circuito de suplencia</i>	<i>88</i>
<i>Figura 33. Circuito de suplencia acoplado a grupo electrógeno</i>	<i>89</i>
<i>Figura 34. Sobretensiones</i>	<i>95</i>
<i>Figura 35. Corrientes parasitas y armónicas</i>	<i>95</i>
<i>Figura 36. Spike (transitorio de tensión)</i>	<i>96</i>
<i>Figura 37. Apagón eléctrico</i>	<i>96</i>
<i>Figura 38. Ruido EMI/RFI</i>	<i>96</i>
<i>Figura 39. Tensión de salida</i>	<i>97</i>
<i>Figura 40. Partes de UPS Flywheel</i>	<i>100</i>
<i>Figura 41. Sistema de respaldo UPS Flywheel-Generador</i>	<i>101</i>
<i>Figura 42. Sistema de respaldo</i>	<i>106</i>
<i>Figura 43. Conexión de planta de emergencia</i>	<i>111</i>

<i>Figura 44.</i> Conexión de planta de emergencia para múltiples cargas	112
<i>Figura 45.</i> Conexión del sistema de puesta a tierra de la planta de emergencia	114
<i>Figura 46.</i> Selección de la planta de emergencia con base en la potencia aparente de arranque	122
<i>Figura 47.</i> Diagrama unifilar de una instalación industrial	130
<i>Figura 48.</i> Selección del UPS residencial o comercial.....	135
<i>Figura 49.</i> Selección de la autonomía del UPS residencial o comercial	135
<i>Figura 50.</i> Selección del UPS comercial o industrial.....	136
<i>Figura 51.</i> Selección de la autonomía del UPS comercial o industrial.	136
<i>Figura 52.</i> Selección del grupo electrógeno	138

Lista de Apéndices

Apéndice A. Aplicativo de selección y dimensionamiento de un Sistema de emergencia para instalaciones residenciales, comerciales e industriales

**(Ver apéndices adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la
Biblioteca UIS)**

Resumen

Título: GUÍA DE SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS DE RESPALDO PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE USO FINAL*

Autores: Diego Alejandro Hortua Tamayo
Julián Enrique Orosco Martínez**

Palabras clave: Energía de Respaldo, selección, dimensionamiento, capacidad, energía, potencia.

Descripción:

La energía eléctrica es utilizada para el desarrollo de casi todas las actividades y tareas de la vida cotidiana y las exigencias a nivel de confiabilidad del suministro cada vez son mayores. Esto aplica no solo a redes de distribución sino también para instalaciones de uso final como pueden ser las del tipo residencial, el sector industrial o las instalaciones hospitalarias, y los requerimientos a nivel de sistemas de respaldo son también distintos dependiendo del tipo de instalación. Los factores que ponen en riesgo la continuidad del servicio son las fallas que dan lugar a cortes repentinos de energía los cuales pueden ser de corta o larga duración, sin importar cuál sea el caso el sistema debe tener la capacidad de responder y asegurar la continuidad del suministro energético, y existen exigencias reglamentarias y normativas al respecto. Los sistemas de alimentación de respaldo fueron desarrollados para mejorar la confiabilidad de suministro en las instalaciones de uso final y su correcto funcionamiento parte de su adecuada selección y dimensionamiento. Dada la diversidad de tecnologías desarrolladas, la tarea para el diseñador de una instalación suele estar condicionada por lo que ofrecen los proveedores de este tipo de sistemas. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo de grado es dar una guía para la correcta selección y dimensionamiento del sistema de respaldo en función de las tecnologías utilizadas y de los requerimientos de la instalación.

* Proyecto de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.
Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, Doctor en Ciencias con Énfasis en Ingeniería Eléctrica.

Abstract

Title: SELECTION GUIDE AND SIZING OF BACKUP SYSTEMS FOR END-USE ELECTRICAL INSTALLATIONS*

Authors: Diego Alejandro Hortua Tamayo
Julián Enrique Orosco Martínez**

Keywords: Backup Energy, selection, sizing, capacity, energy, power

Description:

Electric power is used for the development of almost all activities and tasks of daily life and the demands on the level of reliability of supply are increasing. This applies not only to electric power distribution but also to end-use facilities such as those of the residential type, the industrial sector or hospital facilities, and the requirements at the level of backup systems are also different depending on the type of installation. The factors that put at risk the continuity of the service are the failures that give rise to sudden power cuts which can be of short or long duration, no matter what the case the system the capacity must have to respond and ensure the continuity of the service energy supply, and there are regulatory and regulatory requirements in this regard. The back-up power systems were developed to improve the reliability of supply in the end-use facilities and their correct operation, based on their proper selection and sizing. Given the diversity of technologies developed, the task for the designer of a facility is usually conditioned by what providers of this type of systems offer. Therefore, the objective of this degree work is to provide a guide for the correct selection and sizing of the backup system based on the technologies used and the requirements of the installation

* Project of grade

** Faculty of Physical-mechanical engineering. School of Electrical Engineering, electronics and telecommunications.
Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, Doctor of Science with Emphasis in Electrical Engineering.

Introducción

Debido a la gran variedad de aplicaciones de la electricidad, un corte en el suministro eléctrico puede poner en riesgo la vida de las personas, ocasionar pérdidas económicas o provocar daños en procesos y equipos. En cualquier caso, el sistema eléctrico debe asegurar la continuidad del suministro a las cargas sensibles o críticas de una instalación y es aquí donde son necesarios los sistemas de respaldo.

El desarrollo tecnológico ha traído consigo fenómenos en los sistemas eléctricos que ponen en riesgo la integridad de los equipos electrónicos. Asegurar una alta calidad de la energía se ha vuelto un desafío debido a que esta es necesaria para poder llevar a cabo labores comerciales, industriales y en resumen tareas en las que se usan equipos con una alta sensibilidad a fallas eléctricas. Equipos usados en sistemas de automatización y control, sistemas de información, y procesamiento de datos, son los más afectados al ocurrir una falla en el sistema. Los cortes o fallas repentinas de energía pueden ser de corta o larga duración, sin importar cuál sea el caso el sistema debe tener la capacidad de responder y asegurar la continuidad del suministro energético. Debido a la sensibilidad de este tipo de equipos se han implementado, medidas para mantener la continuidad de la energía que permita la protección de estos equipos por un tiempo determinado ante posibles fallos de la red eléctrica.

Según cual sea la carga que se desea respaldar, existe una variedad de equipos usados para garantizar la continuidad de la energía, algunas de estas tecnologías pueden mejorar la forma de onda de la señal eléctrica para mejorar el rendimiento de equipos sensibles ante problemas de caídas de tensión, sobretensiones entre otros. Si se requiere que el suministro se mantenga por un tiempo prolongado ante una falla de larga duración, existen equipos adecuados para esta tarea

asegurando que los equipos necesarios para proteger la vida humana permanezcan en funcionamiento continuo sin importar las fallas de la red.

Este documento presenta información enfocada en el dimensionamiento de un sistema de respaldo para distintos tipos de instalaciones eléctricas según sea la prioridad. Además es una forma de ayuda para la correcta selección de la tecnología y expone las regulaciones a las que estos equipos se rigen.

El contenido del trabajo de grado se estructuró de la siguiente manera:

En el capítulo 1, se presentan las exigencias regulatorias correspondientes a los sistemas de respaldo en las instalaciones eléctricas de uso final.

En el capítulo 2, se detallan los tipos de tecnologías usadas para el suministro de respaldo en instalaciones eléctricas de uso final como lo son almacenadores cinéticos de energía, grupos electrógenos, UPS, supercondensadores, baterías, celdas de hidrógeno y almacenamiento de energía magnética por superconductividad resaltando características generales como la composición de estos y su funcionamiento.

En el capítulo 3, se desarrolla el procedimiento para el dimensionamiento del sistema de respaldo realizando una clasificación de las cargas y tipos de falla para con esto poder realizar una correcta selección partiendo de estas características.

En el capítulo 4, se propone una guía para la selección y dimensionamiento del sistema de respaldo, dando al lector aplicaciones para la selección en instalaciones residenciales, comerciales e industriales.

En el capítulo 5, se realiza una descripción de la operación del aplicativo de selección y dimensionamiento del sistema de respaldo compuesto por UPS y/o grupo electrógeno de una instalación residencial, comercial o industrial.

Finalmente se presentan las conclusiones generadas a partir del desarrollo de este proyecto, justificando la importancia y necesidad de los sistemas de respaldo en las distintas aplicaciones que exijan un nivel de confiabilidad mayor que las convencionales.

1. Generalidades sobre el uso de los Sistemas de Respaldo

Las principales exigencias regulatorias que se aplican en las instalaciones eléctricas de uso final en Colombia son: el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y Norma Técnica Colombiana 2050 (NTC 2050).

1.1 Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas (RETIE 2013)

El reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) es un documento de estricto cumplimiento en el cual se establecen los requisitos que deben cumplir los materiales, equipos e instalaciones, así como la obligatoriedad de evaluar los riesgos de origen eléctrico y tomar las medidas necesarias para evitar que tales riesgos se materialicen en incidentes o accidentes. (Ministerio de Minas y Energía, 2013)

El RETIE define a los sistemas de emergencia como “aquellos destinados a suministrar automáticamente energía eléctrica a sistemas de iluminación, de potencia o ambos, para las áreas y los equipos determinados, en caso de falla del suministro normal o falla en componentes de un sistema destinado para suministrar, distribuir o controlar la potencia o alumbrado esenciales para la seguridad de la vida humana”. Estos sistemas de emergencia deberán cumplir los requisitos establecidos en la NTC 2050 en su sección 700.

En lugares con alta concentración de personas se debe minimizar el riesgo hacia la vida humana según las consideraciones hechas por el RETIE. Los sistemas de emergencia deberán suministrar energía de forma automática manteniendo la carga total durante por lo menos dos horas y entrando en funcionamiento pasados no más de 10 segundos de presentarse un corte en el suministro

eléctrico.

El sistema de respaldo de energía deberá alimentar los sistemas de alumbrado y fuerza para áreas y equipos previamente definidos, para que, en caso de falla del suministro eléctrico, se tengan las condiciones mínimas de seguridad para las personas. Estos equipos previamente definidos, alumbrado y de fuerza son aquellos como señales de salida, ventilación, alarmas contra incendio, bombas contra incendio, ascensores, sistemas de comunicación, procesos industriales y demás sistemas en los que la interrupción el suministro eléctrico puede producir serios peligros para la seguridad de la vida humana.

Es importante resaltar que las instalaciones eléctricas deben ser operadas y mantenidas por personal idóneo (profesionales competentes), quienes garantizaran que la instalación en ningún caso presente un peligro inminente hacia las personas y cargas que se encuentran en el lugar.

En cuanto al lugar de instalación de los sistemas de emergencia este debe tener un encerramiento que cumpla los requisitos del numeral 20.23.1.1 “Condiciones de la envolvente o encerramiento (también llamado gabinete o armario)” del RETIE.

1.2 Norma Técnica Colombiana 2050 (NTC 2050)

Los sistemas de emergencia son de carácter legalmente obligatorios y tienen como función suministrar energía automáticamente a los sistemas de alumbrado, fuerza o dependiendo de la aplicación la energización de los dos elementos de la instalación, además de ello debe suministrar energía eléctrica a las áreas y equipos que sean requeridos en caso de falla o emergencia, que sean esenciales para la seguridad de la vida humana. La sección 700 de la NTC 2050 enuncia las consideraciones técnicas de instalación y operación que debe tener un sistema de respaldo para

una instalación eléctrica de uso final.

La capacidad de un sistema de respaldo es un factor muy importante al momento de seleccionar la tecnología, ya que de este dependerá el correcto funcionamiento del sistema de emergencia y la prioridad de las cargas a conectar al sistema de respaldo con el fin de salvaguardar la vida humana está dada de la siguiente manera (Instituto de Normas Técnicas y Certificación, 1998).

- Circuitos de emergencia.
- Circuitos de reserva legalmente requeridos.
- Circuitos de reserva opcionales.

1.2.1 Circuitos de emergencia. Los circuitos de emergencia son todos aquellos circuitos que se aplican a la seguridad eléctrica de la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de emergencia, protegiendo la seguridad de la vida humana bajo una falla del sistema eléctrico. Algunas cargas típicas de un circuito de emergencia son:

- Ventilación.
- Detección y alarma contra incendios.
- Alumbrado de emergencia.
- Ascensores.
- Bombas contra incendios.
- Sistemas de comunicación de seguridad con el público.
- Procesos industriales que puedan producir serios riesgos para la salud.

El alumbrado de emergencia es una de las cargas que más va a entrar en funcionamiento ya que la falla más común es la ausencia del suministro eléctrico, por ello es necesario profundizar un

poco acerca de este. El alumbrado de emergencia consta de todos los medios para la iluminación de las salidas, luces indicadoras de las salidas y todas las demás luces específicas necesarias para conseguir una iluminación adecuada. El cálculo de potencia del alumbrado se realiza aplicando la ecuación de potencia aparente $S=V \cdot I$.

La iluminación de emergencia para fines de evacuación debe activarse automáticamente al perder la iluminación normal, esta debe ser continua durante el tiempo que dure la falla y debe ser un circuito o cuantos sean necesarios exclusivamente para el uso de iluminación de emergencia alimentado por dos fuentes independientes del suministro, una tomada de la acometida del edificio y la otra tomada de una fuente auxiliar. El diseño e instalación de estos sistemas debe ser tal que al ocurrir un daño en una de las bombillas no debe afectar el resto del sistema de iluminación.

Para ampliar un poco más acerca del tema de iluminación se puede recurrir a la NFPA 70-1996, el Código Eléctrico Nacional (NEC), Artículo 700, establece el estándar de práctica para equipos de iluminación de emergencia con respecto a la instalación, operación y mantenimiento y ANSI / NFPA 101-1994, el Código de seguridad de la vida, se refiere a la especificación de los lugares donde la iluminación de emergencia se considera esencial para la seguridad de la vida.

En cuanto a características técnicas, las luminarias deben contar con una hermeticidad no menor a IP20 para exteriores y debe ser capaz de resistir la combustión a 70°C de temperatura ambiente.

1.2.2 Circuitos de reserva legalmente requeridos. Los circuitos de reserva legalmente requeridos son los exigidos por las leyes municipales, distritales, departamentales, nacionales o por cualquier organismo gubernamental competente y hacen referencia a la seguridad, operación y mantenimiento de los equipos destinados a suministrar, distribuir y controlar la electricidad para determinadas instalaciones de alumbrado, fuerza o ambas cuando ocurre una falla en el suministro

eléctrico.

Estos sistemas están destinados a suministrar automáticamente bajo una falla a cargas seleccionadas diferentes a las clasificadas como circuitos de emergencia, las cargas clasificadas en este punto generalmente son:

- Calefacción y refrigeración.
- Comunicaciones.
- Extracción de humo.
- Eliminación de residuos.
- Instalaciones de alumbrado.
- Procesos industriales que al tener ausencia de tensión puedan crear riesgos o dificultades en

procesos de extinción de fuego.

El suministro eléctrico para estos circuitos la fuente de reserva legalmente requerida debe estar disponible dentro del tiempo necesario para la aplicación sin que supere los 60 segundos, y debe permitir el funcionamiento normal de las actividades en la edificación.

La energía de emergencia debe estar disponible para todas las luces de advertencia, como las luces de advertencia de aviones en estructuras altas, las luces de advertencia de barcos en los bordes de los cursos de agua y otras luces de advertencia que actúan para prevenir lesiones o daños a la propiedad. La fuente de alimentación seleccionada debe ser capaz de suministrar energía de emergencia durante la duración de la falla de energía más prolongada prevista

Al seleccionar la fuente de alimentación de reserva, se debe tener en cuenta el tipo de edificación y la aplicación de esta, para con ello suplir las necesidades de la instalación. Considerar esto en el diseño y ubicación de todos los equipos de reserva reducirá al mínimo los riesgos de

fallas debidos a inundaciones, incendios, formación de hielo o vandalismo

1.2.3 Circuitos de reserva opcionales. Los sistemas de reserva opcionales tienen por finalidad suministrar energía eléctrica generada en el sitio a determinadas cargas y se instalan normalmente para ofrecer una fuente alternativa de energía eléctrica a instalaciones en las cuales un corte de energía puede ser crucial para su funcionamiento o producción.

Optar o no por este tipo de sistema de reserva dependerá del estudio económico presentado en la sección 3.1, en donde se realiza el análisis de pérdidas por concepto de un corte en el suministro.

- Comúnmente las instalaciones que utilizan este tipo de sistemas son:
- Edificaciones comerciales.
- Industrias.
- Explotaciones agrícolas.
- Edificios residenciales.

Para el mantenimiento, revisiones o reparaciones importantes al sistema de emergencia, la instalación debe contar con una fuente de respaldo alternativa, portátil o provisional, debido a que si ocurre una falla o emergencia la instalación no quede desprovista de energía eléctrica en los circuitos anteriormente descritos.

El accionamiento del sistema deberá ser de carácter automático, este se diseñará de tal modo que se reduzca al mínimo las fallas técnicas y de manipulación. El diseño deberá contar con un dispositivo que permita puentear y aislar el equipo de transferencia.

La señalización e información adjunta a los sistemas de respaldo deberá indicar cuando se presenten problemas tales como avería de la fuente de emergencia, problemas con las baterías, así

como con su cargador e indicar cuando ocurran fallas a tierra. La información con la que debe contar esta instalación principalmente será un diagrama que indique el tipo y ubicación de las fuentes internas para el suministro de emergencia, además de la información de conexión del sistema de puesta a tierra.

El alambrado para sistemas de respaldo, debe ser una instalación que dé absoluta confiabilidad respecto a fallos por inundaciones, incendios, congelamiento, vandalismo y otras condiciones adversas, además de ello los circuitos deben estar rotulados permanentes que permitan identificarlas fácilmente como pertenecientes a un sistema o circuito de emergencia. La protección contra incendios para el alambrado del circuito alimentador y para los equipos del sistema de respaldo deberán ser instalados en espacios totalmente protegidos por sistemas automáticos aprobados de protección contra incendios o sistemas de protección de circuitos eléctricos certificados con resistencia nominal al fuego de una hora

El suministro de corriente de los sistemas de emergencia debe ser tal que pueda soportar como mínimo la carga del alumbrado y el circuito de fuerza de la instalación y entrar en funcionamiento pasados no más de 10 segundos después de presentarse la falla. Al seleccionar una fuente de alimentación de emergencia es necesario conocer el tipo de actividad al cual el sistema debe suplir la energía en caso de falla.

En cuanto a la reglamentación de las tecnologías a utilizar, en la NTC 2050 en su artículo 700-12, da a conocer las siguientes consideraciones:

1.2.3.1 Baterías. Las baterías que se utilicen como fuentes de alimentación para sistemas de emergencia, deberán estar dimensionadas, de tal forma que se pueda brindar energía eléctrica a las cargas y mantener como mínimo durante 1,5 horas sin que la tensión aplicada a la carga caiga por debajo del 87,5% de la tensión nominal.

Otra consideración importante, es el tipo de batería que se implementará en la instalación (ácido o alcalino), la instalación deberá contar con un medio de carga automática de las baterías.

1.2.3.2 Grupos Electrógenos. Las consideraciones más relevantes para los grupos electrógenos giran en torno al tiempo de operación, tipo de motor, entre otros factores que se ampliarán a continuación:

- Se deben instalar sistemas arrancadores automáticos para el motor del grupo electrógeno durante el periodo de falla y que sean de transferencia automática de energía a los circuitos de emergencia y carga manteniendo en funcionamiento al menos durante 15 minutos luego de haber establecido el servicio de energía eléctrica previendo restablecimientos de corta duración de la fuente normal.
- Si el motor es de tipo combustión interna, deberá instalarse un depósito de combustible en el mismo lugar de la instalación del grupo electrógeno el cual permita que este pueda funcionar como mínimo durante dos horas.
- Los motores del grupo no deben depender de las redes de suministro público de gas (funcionamiento) ni de agua (refrigeración). Si el grupo está diseñado para ser utilizado por dos sistemas de combustible se deberán instalar medios de transferencia automática de un sistema a otro.
- Cuando el grupo electrógeno este dotado de baterías para los circuitos de control o señalización como medios de arranque del motor, deben tener la capacidad de responder a las condiciones de falla e instalar un sistema automático de carga independiente del sistema de respaldo
- Para la utilización de un grupo electrógeno es necesaria la instalación de una fuente auxiliar

la cual energice el sistema hasta que el grupo electrógeno tome la carga, normalmente son aceptables grupos que no tarde más de 10 segundos para generar potencia.

1.2.3.3 Sistemas de Alimentación Ininterrumpida. Los sistemas de alimentación ininterrumpida o UPS que se utilicen para suministro de energía de sistemas de respaldo deberán cumplir las disposiciones aplicables del artículo 700-12 parte a) y b)

1.2.3.4 Acometida Independiente. Consiste en instalar una segunda acometida, la cual debe cumplir las disposiciones de la sección 230 (acometida aérea o subterránea), esta acometida debe ser separada física y eléctricamente de la acometida principal para reducir al mínimo la posibilidad de interrupción simultánea en el suministro.

Equipos Unitarios. Estos equipos deben estar fijos permanentemente y contarán como mínimo de una batería recargable, cargador de batería, instalaciones para iluminación en la zona de instalación del equipo y un relé que energice automáticamente la instalación de iluminación en cuanto se interrumpa el suministro.

El circuito ramal que alimenta estos equipos debe ser el mismo que alimenta al alumbrado de la zona y debe estar conectado antes de cualquier interruptor local, en el panel de distribución se debe identificar claramente cuál es el circuito ramal que alimenta al equipo unitario.

Como se habló anteriormente las cargas que se conectarán al sistema de emergencia principalmente serán las cargas de alumbrado y fuerza de la instalación las cuales tendrán energía automáticamente cuando se presente una ausencia en el suministro eléctrico. Es importante recalcar que a los circuitos de emergencia no deben conectarse ningún otro tipo de cargas diferentes a estas.

El alumbrado de emergencia consta de todos los medios necesarios para la iluminación de las salidas, luces indicadoras de las salidas y todas las demás luces específicas necesarias para conseguir la iluminación adecuada, el sistema de alumbrado debe ser diseñado de tal forma que el fallo de un elemento de este no afecte el funcionamiento de los demás y funcionar hasta que se restablezca totalmente el suministro eléctrico.

1.3 Consideraciones Adicionales

Debido a la alta responsabilidad que se tiene en cualquier tipo instalación con los sistemas de respaldo es necesario abordar temas de gran importancia que garantizaran la seguridad de la vida de las personas y de la instalación.

1.3.1 Protección contra incendios. Varios códigos, normas, leyes, reglas y regulaciones contienen declaraciones obligatorias u obligatorias relacionadas con los sistemas de energía de emergencia y de reserva para la protección contra incendios, pero estos documentos son enfocados a temas de confiabilidad y necesidades del sistema de cableado que sobre la fuente de alimentación eléctrica o la verificación y el mantenimiento de la instalación completa.

El artículo 760 de la NEC enumera algunos requisitos para proteger los circuitos en sistemas de alarma y señal, mientras que el artículo 230-94 del NEC se refiere más a la fuente de alimentación al permitir que un circuito de alarma contra incendios se conecte al lado de la fuente de alimentación de un dispositivo de sobrecorriente de servicio si tiene una protección de sobrecorriente separada.

Es por esto por lo que se debe utilizar un enfoque de sentido común para la protección contra

incendios incluso más allá del estándar mínimo de cumplimiento de la ley y los requisitos de seguro. El objetivo principal es evitar un incendio destructivo o, en el caso de que haya comenzado un incendio, limitarlo a un área local con el mínimo daño a la propiedad y ningún daño al personal.

Las posibles necesidades específicas del usuario en combinación con la necesidad general de los sistemas de energía de emergencia y de reserva para la protección contra incendios incluyen (IEEE Industry Applications Society, 1995):

- Energía, generalmente baterías, para arrancar el motor de una bomba contra incendios accionada por motor
- Sistemas de alarma de flujo por aspersión.
- Energía para las calderas que suministran bombas contra incendio accionadas por vapor.
- Motores que accionan bombas contra incendios, bombas de pozos y bombas de refuerzo.
- Compresores de aire asociados a tanques de agua contra incendios.
- Alarmas de humo y calor.
- Comunicaciones, como sistemas de megafonía para dirigir la evacuación de personal.
- Detectores de incendios y gases peligrosos.

1.3.1.1 Bombas contra incendios. Las bombas contra incendios son una de las cargas más importantes para proteger la seguridad de las personas en un caso de explosión o incendio en la instalación, hay que tomar medidas preventivas, se debe contar con una bomba de agua contra incendios accionada eléctricamente con una accionada mecánicamente por medio de un motor a Diesel o Gasolina. Si se pierde toda la alimentación de CA en una operación de apagado de emergencia, se mantiene la protección contra incendios.

Otra manera es tener una alimentación eléctrica independiente, de manera que se pueda efectuar

un corte de la alimentación del establecimiento sin que afecte el funcionamiento de las bombas. Los conductores dispuestos para energizar estas bombas deben contar con el aislamiento adecuado para soportar altas temperaturas.

Ubicación de los tableros de corte. En caso de incendio, los bomberos deben poder acceder al tablero de corte general eléctrico para suspender la energía de la instalación eléctrica sin interrumpir el funcionamiento de las bombas contra incendio. El tablero de corte general se debe ubicar en el nivel de acceso libre y directo a no más de 5 metros de la entrada. (Technical Committee on Fire Pumps, 2017)

1.3.1.2 Función del tablero de corte. La función es contener un seccionador que posibilite la interrupción del suministro eléctrico a todo el edificio con la excepción de los sistemas de bombeo de agua de reserva contra incendios y de presurización de las escaleras las cuales disponen de un circuito especial con tablero independiente (*Figura 1*).

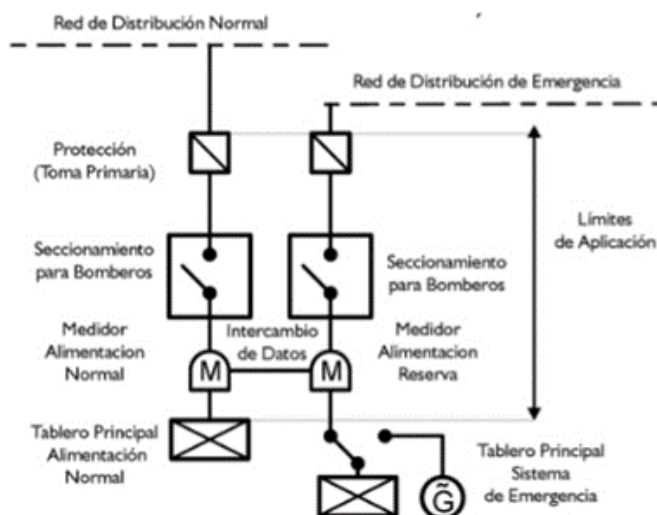


Figura 1. Conexión del sistema contra incendios. Adaptado de Edesur. (2011). Instalación de Tableros de Corte General en Edificios con Suministros en Baja Tensión.

1.3.2 Sistemas de seguridad y soporte vital. Existen ciertas consideraciones en instalaciones destinadas a salvaguardar la vida humana en el momento en que ocurra un fallo en el suministro eléctrico, estos casos específicos se limitan a instalaciones de atención médica, en el artículo 28.3.2 Instalaciones en instituciones de asistencia médica del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctrica (RETIE) se encuentran todos los aspectos legales que son de estricto cumplimiento en Colombia.

Los hospitales dependen en gran parte de aparatos eléctricos para el soporte y tratamiento de la salud del paciente, en casos como monitoreo electrónico para llevar a cabo terapia para pacientes en estado crítico, en la sala de operaciones, durante la cirugía a corazón abierto, una máquina electrónica de corazón-pulmón mantiene la circulación extracorpórea, se necesita iluminación continua para observar a los pacientes en las áreas de atención primaria, y se necesita energía para mantener el almacenamiento refrigerado de suministros vitales, como bancos de sangre y tejidos (IEEE Power & Energy Society, 2009).

Es por esto que se deben proporcionar fuentes alternativas de energía para suministrar seguridad vital y sistemas de soporte vital para proteger a los pacientes que dependen de estos sistemas. En la *Figura 2* se puede observar la topología típica de una instalación hospitalaria, así como los equipos utilizados para brindar la confiabilidad necesaria.

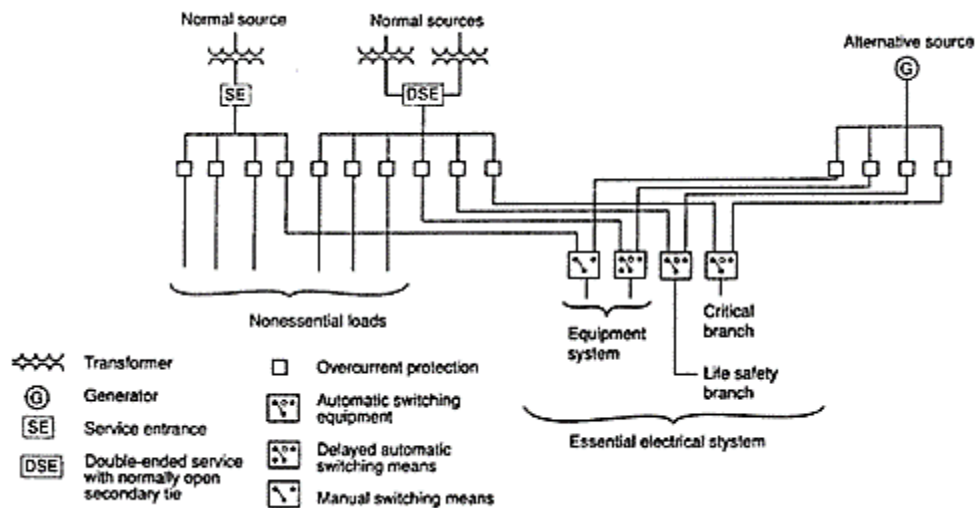


Figura 2. Topología típica de una instalación hospitalaria. Adaptado de Technical Committee on Fire Pumps. (2019). NFPA 20 Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection. Las Vegas: National Fire Protection Association (NFPA).

Dado que los sistemas de energía de emergencia y de reserva son obligatorios en la mayoría de las áreas, el diseñador del sistema eléctrico del hospital debe revisar las leyes y regulaciones de construcción del estado y la ciudad. Estas leyes a menudo hacen referencia al NEC, NFPA 99-1996 y ANSI / NFPA 101-1994, así como a las normas nacionales.

La protección de los sistemas de energía de emergencia y de reserva determina en gran medida la fiabilidad de los sistemas. Si bien el sistema total debe considerarse en el esquema de protección, la protección y confiabilidad general del sistema es tan buena como la de los componentes individuales. Con énfasis en proteger la inversión en el suministro de energía, un diseñador debe asegurarse de que se logre la confiabilidad deseada del sistema. El diseñador debe evaluar cuidadosamente la protección estándar y opcional suministrada con el equipo y aplicar el diseño más adecuado para la protección del equipo y la fiabilidad de la fuente de alimentación.

2. Tecnologías usadas para sistemas de respaldo energético

Un sistema de respaldo es un conjunto de componentes y dispositivos electrónicos que permiten garantizar la continuidad del suministro en el caso de una posible falla, según la NTC 2050 se debe seleccionar la tecnología de respaldo teniendo en cuenta el tipo de actividad realizada en la instalación. Las tecnologías de respaldo utilizadas según las regulaciones colombianas son, grupos electrógenos, UPS y baterías. Actualmente hay una gran cantidad de tecnologías utilizadas como sistemas de emergencia como las celdas de hidrogeno, almacenadores cinéticos de energía (flywheel), almacenamiento de energía magnética por superconductividad y supercondensadores las cuales proporcionan beneficios específicos según los fenómenos que se deseen proteger, estas tecnologías no son mencionadas en la NTC 2050 para uso en sistemas de emergencia, sin embargo con la alta sensibilidad de las cargas actuales y el constante cambio en el sistema eléctrico, se deben ampliar las opciones de respaldo para dar soporte a la gran variedad de fallas que pueden afectar una instalación eléctrica.

Cada uno de los elementos nombrados anteriormente usados como sistemas de respaldo se ampliará a continuación.

2.1 Almacenador Cinético de Energía (Flywheel)

Esta tecnología basa su principio en almacenar energía eléctrica en forma de energía cinética de una masa rotatoria, el cual es instalado de forma sólida al eje mecánico de una maquina eléctrica, esta energía puede ser absorbida o cedida a la red a través de un sistema de electrónica de potencia.

(Figura 3 y Figura 4)

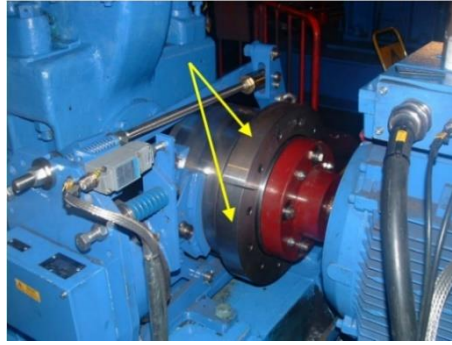


Figura 3. Volante de inercia en eje de alta velocidad en el metro de Londres, Londres, Reino Unido. Adaptado de Al-Sharif, L. (2016). Flywheels: Rationale, Formulae and Applications. University of Jordan, Aman.



Figura 4 . Volante utilizado para una máquina elevadora. Adaptado de Al-Sharif, L. (2016). Flywheels: Rationale, Formulae and Applications. University of Jordan, Aman.

La energía almacenada en un volante de inercia puede calcularse de la siguiente manera (Alvarado Rodriguez & Hoyos Bermudez, 2017):

$$E = \frac{1}{2} * J * (W_{m\acute{a}x}^2 - W_{m\acute{i}n}^2) \quad (1)$$

Donde:

J es el momento de inercia del volante de inercia expresado en Kg * m²

W_{máx} y W_{mín} son las velocidades angulares máxima y mínima de rotación respectivamente.

El momento de inercia de un almacenador cinético de energía depende de la masa y el radio del

volante, los materiales más empleados en la construcción de este tipo de tecnología son el aluminio, acero, vidrio entre otros. El momento de inercia se puede calcular aplicando la ecuación (2):

$$J = \frac{1}{2} * \pi * h * \rho * (r_0^4 - r_i^4) \quad (2)$$

Donde:

h es la altura del cilindro en metros.

ρ es la densidad del material Kg/m^2 .

r_0 y r_i representan el radio externo e interno del cilindro respectivamente.

Por lo tanto, la energía almacenada viene dada por (3):

$$E = \frac{1}{2} * \pi * h * \rho * (r_0^4 - r_i^4) * (W_{m\acute{a}x}^2 - W_{m\acute{i}n}^2) \quad (3)$$

Los sistemas de almacenamiento de energía cinética basados en volantes de inercia se caracterizan por proporcionar picos muy altos de potencia, la cual está limitada por la potencia del convertidor en uso, mientras que la energía almacenada por el módulo depende de la masa y la geometría del volante, se caracterizan además por su durabilidad indefinida en número de ciclos de trabajo (carga-descarga) (Gonçalves de Oliveira, 2011).

Los elementos constructivos de un almacenador cinético de energía son: volante de inercia, rodamientos, contenedor, maquina eléctrica y elementos adicionales como elementos de electrónica de potencia, transformadores, filtros, sistemas de refrigeración entre otros (*Figura 5*).

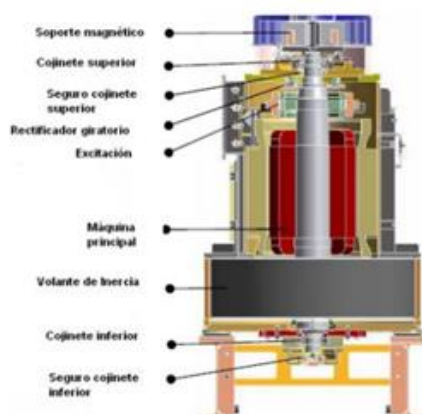


Figura 5. Elementos constructivos de un almacenador cinético de energía. Adaptado de Martín Chicharro, G. J. (2016). Sistemas de almacenamiento de energía. Universidad de Valladolid, Tecnología electrónica, Valladolid.

Volante de inercia: son máquinas síncronas de imanes permanentes operadas a altas frecuencias de rotación las cuales pueden almacenar grandes cantidades de energía. Se clasifican en dos tipos LFESS (Low Flywheel Energy Storage System) teniendo un límite de velocidad siendo utilizados para almacenar energía a corto plazo a bajo costo y los volantes de inercia de tipo HFESS (High Flywheel Energy Storage System) los cuales pueden desarrollar velocidades máximas que rondan decenas de miles de revoluciones por minuto y su uso se extiende en almacenar energía a largo plazo.

Rodamientos: elemento mecánico rotativo que reduce la fricción entre el eje de la máquina y las piezas conectadas a él.

Contenedor: la finalidad de este componente es servir de soporte a todos los elementos del volante y evitar el acceso a los elementos móviles.

Máquina eléctrica: su función es transformar la energía eléctrica en energía cinética y viceversa, se evita usar máquinas de corriente continua debido a que las conexiones al rotor se pueden desgastar debido a las altas velocidades.

En la *Figura 6* se muestran las principales partes de un sistema almacenador cinético de energía, además de la conexión a la carga.

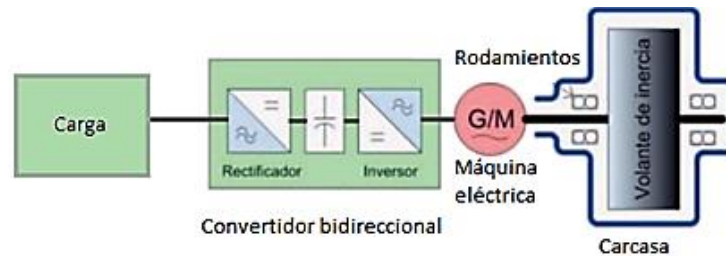


Figura 6. Conexión a la carga de un sistema Flywheel. Adaptado de Martín Chicharro, G. J. (2016). Sistemas de almacenamiento de energía. Universidad de Valladolid, Tecnología electrónica, Valladolid.

Este sistema basa su funcionamiento en almacenar energía cinética en el volante proporcionada por el eje de la máquina. Al ocurrir un corte en el suministro, la máquina eléctrica suspende su funcionamiento dejando el rotor girando libremente debido a la energía cinética almacenada comportándose como una batería dinámica que almacena energía al girar una masa alrededor de un eje, debido a la forma de operación no puede de ninguna manera suministrar tiempos de respaldo prolongados, siendo de forma general el tiempo que puede soportar cargas conectadas a él, de 10 a 30 segundos.

Una de las principales ventajas de este tipo de tecnología es la capacidad de manejar grandes niveles de potencia teniendo rangos desde los 100 kWh hasta 100 MWh. La *Figura 3* muestra un ejemplo de volante que se ha instalado en el eje de alta velocidad de un conjunto de caja de engranajes de un motor que está impulsando una escalera mecánica de servicio pesado en el metro de Londres (Al-Sharif, 2016).

2.2 Grupos Electrógenos

Un grupo electrógeno se compone de un conjunto integrado que contiene un motor eléctrico primario, un generador acoplado al eje de este, elementos auxiliares, sistemas complementarios, tableros de maniobra, tanques, entre otros. Los grupos electrógenos están destinados a una gran variedad de aplicaciones desempeñando la función de proporcionar energía eléctrica en momentos de ausencia del suministro eléctrico. En la *Figura 7* se muestra un grupo electrógeno Cat C18 en el cual se pueden observar ciertos componentes de los ya nombrados.



Figura 7. Grupo electrógeno Cat. Adaptado de Caterpillar. (2013). DIESEL GENERATOR SET C18 (60 HZ) DE 500 KW-600 KW. CAT.

Para una adecuada selección se deben tener en cuenta ciertas exigencias tales como la sensibilidad de las cargas, el tipo de instalación, el sistema de refrigeración, el adecuado espacio, así como el nivel de ruido admisible, la altura sobre el nivel del mar del sitio de la instalación, la temperatura y la humedad del medio ambiente.

La selección del equipo más adecuado debe hacerse no sólo en base a los requerimientos técnicos, sino también en base a consideraciones económicas, teniendo en cuenta el tiempo de utilización esperado en virtud de los períodos de inactividad de los grupos electrógenos. La

seguridad, la prevención, la continuidad de la producción y los requerimientos legales son los elementos para tener en cuenta para justificar económicamente la instalación de un grupo electrógeno.

Con el fin de conocer un poco más los elementos constructivos de los grupos electrógenos se procederá a ampliarla información acerca de ellos:

2.2.1 Motor. El motor es una máquina eléctrica encargada de proveer energía mecánica al alternador, los más utilizados son las turbinas de gas y motores de combustión interna. Es importante seleccionar el combustible con el cual se va a alimentar el motor eléctrico teniendo en cuenta factores claves como la disponibilidad, el costo, precio inicial del equipo, costos de mantenimiento, el uso y preferencias personales. Esta aplicación de los motores en grupos electrógenos puede funcionar con gasolina, gas natural, gases manufacturados, gases licuados del petróleo y gas-oil.

Una de las características principales a observar de cualquier tipo de los combustibles nombrados es la capacidad calorífica del combustible. La capacidad calorífica de los combustibles nombrados se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Comparación de las capacidades caloríficas de los distintos combustibles

Combustible	Capacidad calorífica Normal en kcal
Gas manufacturado (de carbón)	4.000 a 7.100 kcal/m ³
Gas natural	7.600 a 9.800 kcal/m ³
Gas licuado del petróleo (GLP)	22.300 kcal/m ³
Gasolina	7.600 kcal/l
Gas-oil	9.300 kcal/l

Adaptado de Lacoste, J., Colicigno, S., Corti, E., & Yablonski, M. (2011). Grupos electrógenos. Universidad Nacional de la Plata, La Plata.

Seguidamente se profundizará acerca de los combustibles utilizados en los grupos electrógenos, así como sus ventajas y desventajas.

2.2.1.1 Gasolina. La gasolina utilizada en grupos electrógenos debe ser de un octanaje normal, el uso de combustibles diferentes requerirá una mayor frecuencia de mantenimiento al motor.

La gasolina tiene ciertos inconvenientes al ser utilizada como combustible de este tipo de sistemas, ya que, al ser un líquido, una pequeña parte se escurre por las paredes del cilindro y diluye los aceites de lubricación del conjunto, como consecuencia de ello se pierden propiedades lubricantes del aceite, otra de las desventajas es que no se conserva bien luego de largos periodos de tiempo.

La gasolina es un combustible adecuado para usar en grupos electrógenos portátiles y tienen la ventaja de arrancar mejor a temperaturas ambiente dentro de un amplio margen.

2.2.1.2 Combustibles Gaseosos. Un motor eléctrico alimentado con este tipo de combustible debe tener ciertas consideraciones, ya que al ser este combustible de carácter gaseoso no tiene la capacidad de lubricación por lo que su diseño debe ser para combustibles secos.

Entre las ventajas encontramos menos sedimentos y menor consumo diluye el aceite del motor como lo hace la gasolina, proporciona una mayor vida útil del motor y presenta menos puntos calientes en el funcionamiento.

2.2.1.3 Gas Natural. Una de las principales ventajas de utilizar el gas natural como combustible, es que no es necesario un contenedor para el almacenamiento del gas, reduciendo las dimensiones

del grupo electrógeno. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la instalación debe contar con la infraestructura necesaria para asegurar un flujo ininterrumpido de combustible en el caso de una falla del suministro eléctrico.

2.2.1.4 Gases Licuados del Petróleo (GLP). Este combustible es una mezcla de propano y butano, los cuales se almacenan en estado líquido a presiones muy altas, al ser liberados se convierten en gas a temperaturas normales. El costo de estos gases licuados del petróleo es mucho mayor que el correspondiente al gas natural.

2.2.1.5 Gas-oil. Es uno de los combustibles más económicos y presenta una de las mejores relaciones costo-beneficio, ya que presenta un alto poder calorífico. El mantenimiento para los motores alimentados con gas-oil es mucho menor que la de todos los demás, ya que la forma constructiva de estos es mucho más robusta y el combustible no es tan corrosivo como los nombrados anteriormente.

2.2.2 Escape de Gases. Para la instalación de este tipo de tecnología es necesario tener en cuenta que en la combustión el motor genera desechos tales como vapor de agua, carbonilla y gases que pueden llegar a ser tóxicos. Por tanto, es necesario realizar una instalación para el escape de los subproductos de la combustión, de la cual dependerá el correcto funcionamiento y eficiencia del motor. Cabe resaltar que todos los gases que se producen deben ser llevados al exterior de tal forma que no puedan volver a entrar al motor a través de las tomas de aire.

La NTC 2050 no tiene consideraciones especiales referentes al escape de gases de sistemas electrógenos, sin embargo, se deben conocer los principales elementos de un sistema de escape,

además de criterios importantes para instalar correctamente un sistema de este tipo.

Los elementos más comunes de un sistema de escape se muestran en la *Figura 8*.

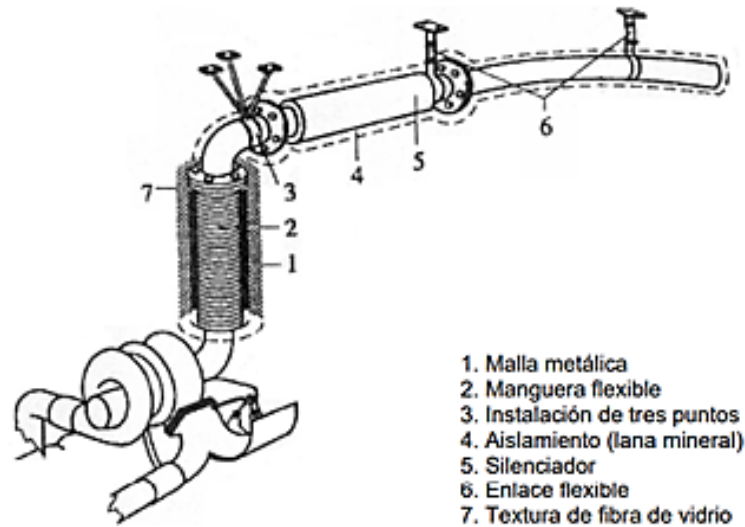


Figura 8. Sistema de escape. Adaptado de P.S.C. S.A. (s.f.). Manual de Instalación de Grupos Electrógenos. Buenos Aires.

El sistema de escape produce cierta resistencia a los gases que circulan por él, esta resistencia o contrapresión debe ser mantenida dentro de los límites específicos, una presión excesiva puede conllevar pérdida de la producción de energía, un gasto excesivo de combustible, altas temperaturas y humo excesivo en el sistema de escape.

El sistema de escape debe siempre estar suspendido eficazmente, evitando el contacto con el grupo electrógeno, a menos que el sistema de escape venga de fábrica unido al sistema electrógeno.

2.2.2.1 Tubería. En lo posible se debe usar tubería sin soldadura, sin embargo, si se utilizan tubos con soldadura, hay que evitar la aparición de barras de soldadura dentro del conducto. Los codos deben tener un radio de curvatura mínimo de $2D$, en lo posible deben ser de una sola pieza.

2.2.2.2 Aislamiento térmico. Según el tipo de instalación, puede ser necesario aislar el calor que se desprende en el local. Una vez efectuado el aislamiento, la temperatura de superficie no debe ser superior a 70 °C, el material utilizado para la instalación puede ser lana de roca con un espesor de 50 mm como mínimo, también puede cubrirse con chapa de aluminio a fin de mejorar la estética de la instalación y la conservación del calor fugado.

2.2.2.3 Silenciador. El paso del gas se debe efectuar por medio de un conducto insonorizado hecho de un material absorbente de alto aislamiento acústico protegido por una chapa protectora.

2.2.2.4 Desagüe de condensación. La entrada de agua al motor ya sea por lluvia o condensación de vapor en el escape de gas puede causar graves daños, por tanto, se instalar un desagüe (*Figura 9*), el cual debe ubicarse lo más cerca posible al motor.

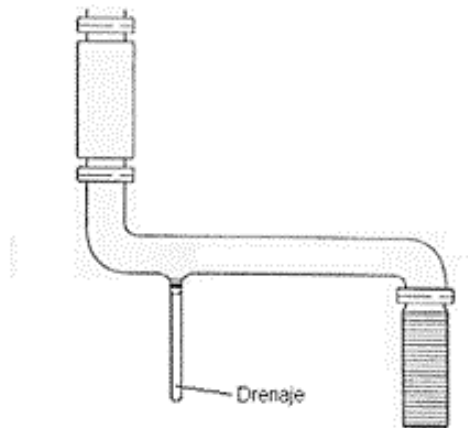


Figura 9. Desagüe de condensación. Adaptado de P.S.C. S.A. (s.f.). Manual de Instalación de Grupos Electrónicos. Buenos Aires

2.2.3 Generador. Un generador es una maquina eléctrica que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Un alternador consta normalmente de un estator y un rotor. El estator es la carcasa donde se monta el paquete de chapas magnéticas y dentro de las ranuras que forman dicho paquete se montan las bobinas de los devanados. El rotor, se monta sobre un eje, este es de polos salientes generalmente y también está constituido por un paquete de chapas magnéticas que forman los polos. En el núcleo del rotor se montan las bobinas inductoras que serán alimentadas desde el rectificador giratorio.

2.2.3.1 Tipos de alternadores. Los generadores se dividen en dos grandes grupos los alternadores del tipo inducido móvil y los del tipo inducido fijo (Álvarez Pulido, 2014).

2.2.3.1.1 Alternador de inducido móvil. El alternador de inducido móvil consta de un devanado inducido, montado sobre un eje que gira a la velocidad de la máquina en motriz. El devanado inducido también conocido como estator genera la corriente eléctrica trifásica que es conducida al exterior (Figura 10).

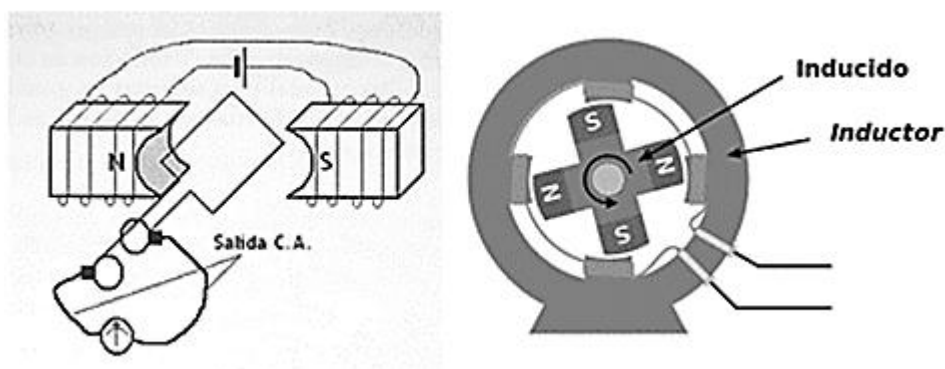


Figura 10. Alternador de inducido móvil. Adaptado de Álvarez Pulido, M. (2014). Alternadores de grupos electrógenos (Vol. Tercera Edición). México DF: Alfaomega.

Este tipo de generadores no es muy utilizado en la actualidad, debido a que cuando la instalación a alimentar requiere elevadas cantidades de potencia se requieren montar escobillas más grandes para soportar la demanda de la carga.

2.2.3.2 Alternador de inducido fijo. Este sistema es mucho más empleado que los del tipo inducido móvil ya que presenta grandes ventajas sobre él entre ellas:

- Se emplean dos anillos rozantes.
- La alta tensión generada en el devanado de salida no está sujeta a movimientos mecánicos.
- La corriente de excitación es pequeña comparándola a la generada en el estator, por lo tanto, las escobillas son de menor tamaño que en los del tipo inducido móvil.

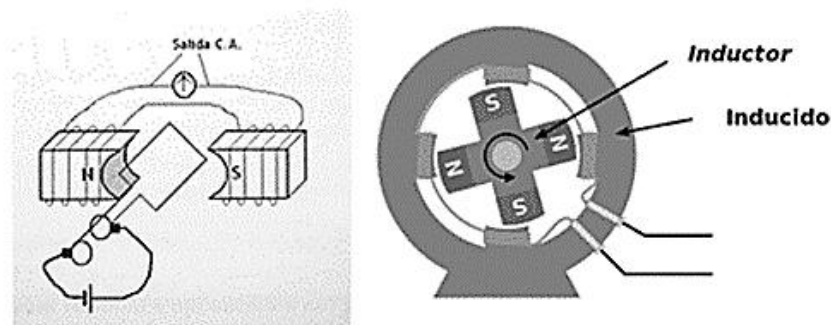


Figura 11. Alternador de inducido fijo. Adaptado de Álvarez Pulido, M. (2014). Alternadores de grupos electrógenos (Vol. Tercera Edición). México DF: Alfaomega.

2.2.4 Sistema de combustible. El sistema de combustible de un sistema electrógeno debe tener la capacidad de entregar un suministro limpio y continuo de combustible al motor. Generalmente para grupos electrógenos, el sistema de combustible está constituido por un depósito pequeño de uso diario y un depósito grande con sus respectivas bombas y sistemas de tuberías además de una capacidad mucho mayor.

- **Depósito de uso diario.** Estos suministran combustible de forma inmediata directamente al grupo electrógeno, por esto deben estar situados dentro de la habitación del generador. El bastidor de acero de algunos grupos electrógenos salvo los más grandes lleva incorporado un depósito para el uso diario, normalmente fabricado en acero o plástico con los conductos de combustible ya conectados al motor. Estos depósitos proporcionan como mínimo 8 horas de funcionamiento a toda carga, pudiéndose aumentar su capacidad si se desea tener una autonomía mayor. Es muy importante evitar que el depósito diario se presurice, esto puede ocurrir si hay un taponamiento en el respiradero.

- **Depósito de mayor capacidad.** Para casos en que se requiera de un funcionamiento más prolongado, se necesitará un depósito grande de almacenaje instalado aparte. Los grupos electrógenos de emergencia deben contar con este sistema para asegurar siempre el flujo constante de combustible.

El depósito grande de almacenaje debe instalarse fuera del edificio en un lugar en el que su llenado se pueda hacer de forma adecuada, además debe permitir una correcta limpieza e inspección de los equipos. Sin embargo, no debe quedar expuesto a cambios de temperatura como heladas ya que el flujo de combustible se vería afectado por un aumento o disminución de viscosidad. El depósito puede instalarse a nivel del suelo o bajo tierra según las preferencias del usuario.

Se debe instalar un respiradero para evitar la presurización del tanque creada al rellenar el depósito o debida a la evaporación o expansión del combustible. El fondo del depósito debe ser redondo y debe tener una inclinación específica para que el agua y los sedimentos se depositen en un solo lugar. Se debe instalar, además, una válvula en el punto más bajo del tanque para permitir la extracción frecuente de agua y sedimentos. En los depósitos instalados bajo tierra se debe

realizar el bombeo de agua y sedimentos frecuentemente.

La diferencia de altura entre el depósito grande de almacenaje y el de uso diario es importante y no debe superar los 4 metros debido a que esta es la capacidad máxima de elevación de una bomba eléctrica de trasvase de combustible. Por esto el fondo del depósito grande de almacenaje no se debe instalar a más de 4 metros por debajo del depósito diario (Tecnicos Carpi-Tecnicos Grupos Electrógenos, 2012).

- **Sistema de control.** Para que el grupo electrógeno proporcione energía de emergencia automática, el sistema debe incluir controles automáticos de arranque del motor, cargador automático de batería y un dispositivo de transferencia automática. En la mayoría de las aplicaciones, la red eléctrica es la fuente principal y el grupo electrógeno proporciona energía de emergencia cuando se interrumpe la energía de la red pública o sus características no son satisfactorias. Se requiere de un sistema que monitoree los niveles de la red y arranque el motor automáticamente una vez ocurra una falla o una severa reducción de voltaje o frecuencia en el suministro normal. La carga se transfiere automáticamente tan pronto como el generador de reserva se estabilice a la tensión y velocidad nominales. Al restablecerse el suministro normal, el dispositivo de transferencia retransfiere automáticamente la carga e inicia el apagado del motor (IEEE Industry Applications Society, 1995).

Método de arranque. La mayoría de los sistemas motor-generador encienden por medio de un motor eléctrico energizado por baterías, en unidades de potencia muy elevada en donde el arranque por medio de baterías se hace poco práctico, se usan sistemas neumáticos o hidráulicos.

Se recomienda el uso de un cargador para mantener la carga de las baterías del arranque en un nivel óptimo para el momento en que se requiera su uso (IEEE Industry Applications Society, 1995).

2.3 Uninterruptible Power Supply (UPS)

Un sistema de potencia ininterrumpida (UPS), es un equipo electrónico cuyo objetivo es garantizar la calidad y continuidad del suministro eléctrico durante un lapso de corte de la energía o cuando la tensión de la red no cumple con las exigencias requeridas por las cargas del sistema (Catalán Cantillo & Escalante Lemus, 2008).

En sus inicios los UPS eran equipos cuya única finalidad era entregar energía eléctrica a las cargas ante un eventual corte en la red, sin embargo, el uso de dispositivos electrónicos que afectan la calidad de la energía eléctrica hizo que los UPS tuvieran grandes cambios, hoy en día son equipos complejos capaces de eliminar las distintas perturbaciones que se presentan en la red. Disminuir estas perturbaciones es de vital importancia ya que estas pueden afectar la seguridad de la vida humana, la seguridad de los bienes y viabilidad económica de procesos de producción que requieran estándares altos de calidad de energía (Catalán Cantillo & Escalante Lemus, 2008).

La diversificación de las cargas ha hecho que los UPS tengan diferentes clasificaciones que dependen de la composición y la sensibilidad de dicha carga (*Figura 12*). Esto hace de los UPS una solución para una gran variedad de problemas, desde variaciones de tensión y frecuencia que sobrepasen los límites permitidos hasta cortes prolongados del suministro eléctrico, manteniendo un nivel de calidad de la energía adecuado.



Figura 12. UPS modulares, convencionales y *line interactive*. Adaptado de Legrand Group España. (2013). Sistema de alimentación ininterrumpida UPS. Torrejon de Ardoz.

2.3.1 Instalación de sistemas de alimentación ininterrumpida. En la instalación de este tipo de sistemas es necesario aplicar el Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas (RETIE) y el Código Eléctrico Colombiano NTC 2050, y en general toda norma que contribuya a lograr óptimos niveles de seguridad y calidad de las instalaciones eléctricas, la adecuación eléctrica debe ser realizada por personal capacitado y entrenado para tal fin.

El conductor de tierra de la entrada de la UPS debe venir directamente del sistema de puesta a tierra general, verificando que el neutro del secundario del transformador de alimentación del sistema general este referenciado a este punto, con esto se da cumplimiento al 27.2 del reglamento técnico colombiano RETIE. El diagrama unifilar de la instalación de un UPS se presenta en la *Figura 13*.

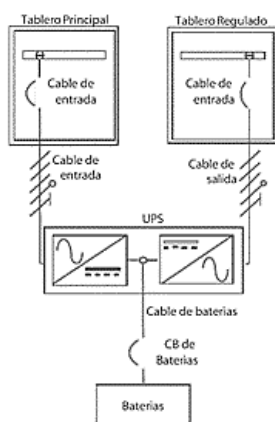


Figura 13. Diagrama unifilar instalación UPS. Adaptado de Martínez, F. (2007). Diagrama Unifilar Gamatronic UPS-SP-100kVA 208V. ENERGEX.

En cuanto a la protección de esta tecnología, es necesario el uso de protecciones diferenciales en la carga, además se debe asegurar que el sistema de alimentación ininterrumpida UPS no altere el régimen de neutro en salida respecto al neutro de entrada, esto está totalmente garantizado debido al neutro pasante en el cual el neutro de entrada coincide con el neutro de salida.

Al utilizar este tipo de protecciones se considera que todos los equipos eléctricos utilizan filtros EMC en su interior, las cuales provocan pequeñas corrientes de dispersión hacia la tierra; estas corrientes de dispersión, sumadas entre sí y sumadas a las del SAI, podrían provocar la intervención de la protección diferencial; a tal fin, para obtener una selectividad mayor en la instalación, se aconseja utilizar diferenciales de 0,03A en salida en el SAI para proteger las cargas contra los contactos indirectos y utilizar diferenciales de 0,3A o superiores aguas arriba del SAI (Legrand Group España, 2013), esto se puede observar en la *Figura 14*.

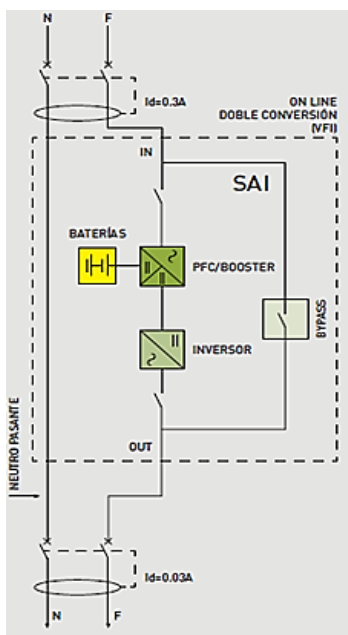


Figura 14. Protecciones en instalación de un UPS. Adaptado de Legrand Group España. (2013). Sistema de alimentación ininterrumpida UPS. Torrejón de Ardoz.

La estructura fundamental de los UPS está compuesta por cuatro etapas, conversión, rectificación, almacenamiento y filtrado, estos componentes pueden variar sus características dependiendo de la tipología del UPS (Catalán Cantillo & Escalante Lemus, 2008).

Una parte fundamental de un UPS es el banco de baterías el cual se comporta como una fuente

de corriente continua cuando ocurre una falla en el sistema, proporcionándole esta corriente al inversor para respaldar las cargas durante el tiempo de falla o el tiempo de autonomía del UPS. El tiempo de autonomía dependerá de la batería y es la cantidad de tiempo que el inversor puede ser alimentado por las baterías; el tiempo especifica el valor de variación de Amperes-hora (Ah) del banco de baterías que se proporciona a la carga, el tiempo de autonomía puede ser mayor o menor de acuerdo con el tamaño de la carga.

En el mercado los bancos de baterías son clasificados según su potencia, esta es medida en Watts. Estos bancos están constituidos por arreglos de baterías o hileras conectadas en serie, y estas hileras conectadas a su vez con más hileras en paralelo. Una batería es un dispositivo almacenador de energía en forma electroquímica y es el más ampliamente usado para almacenar energía en una variedad de aplicaciones. Tres características definen una batería: la cantidad de energía que puede almacenar, la máxima corriente que puede entregar y la profundidad de descarga. En la actualidad, existen baterías compuestas por diferentes materiales químicos, algunas de las baterías utilizadas son las de plomo ácido (VLA y VRLA) (Vaquero Morata, 2015), baterías de ion de litio (Bardo, 2012), (Padrón Jabib, 2013), (Argüelles Pastur, 2015) y baterías con electrodo de níquel entre las cuales se distinguen Níquel-Hierro (NiFe), Níquel-Cadmio (NiCd), Níquel-Hidrógeno (NiH₂), Níquel-Hidruro metálico (NiMH) y Níquel-Zinc (NiZn). (Bardo, 2012).

2.3.2 Tecnologías y Clasificación de UPS. La clasificación de los UPS se da dependiendo de la tecnología, así como la confiabilidad proporcionada por cada una de ellas (Legrand Group España, 2013).

Off-Line StandBy. Una UPS off-line es aquella cuyo inversor solo funciona y transfiere

potencia a la carga cuando se presentan picos de tensión o en un corte de energía eléctrica, estando fuera de servicio y desconectado de los consumos durante la presencia de red eléctrica (*Figura 15*).

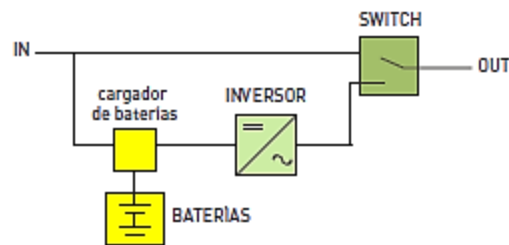


Figura 15. UPS StandBy. Adaptado de Legrand Group España. (2013). Sistema de alimentación ininterrumpida UPS. Torrejón de Ardoz.

El grado de protección contra las perturbaciones de la red eléctrica es muy bajo, y esto se debe a los pocos elementos en su composición: Un inversor, una llave conmutadora automática, un cargador de baterías y un banco de baterías.

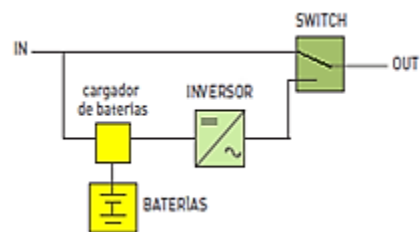


Figura 16. UPS StandBy transferencia de potencia desde la red eléctrica

La *Figura 16* muestra un sistema off-line transfiriendo potencia directamente desde la red eléctrica, y es evidente que, si existiera algún tipo de perturbación en la red, la carga lo vería directamente. Este tipo de sistemas cuenta con protecciones de pico de tensión únicamente y no pueden estabilizar la tensión, estos UPS son también llamados UPS back-up ya que su única

función es brindar un tiempo de autonomía en la operación para salvar los datos frente a un corte de la energía eléctrica.

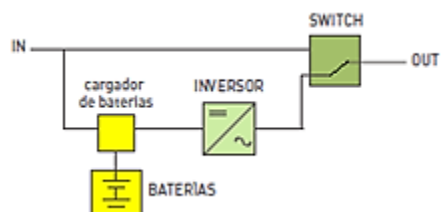


Figura 17. UPS StandBy transferencia de potencia desde banco de baterías

En el momento que ocurre un corte de energía (Figura 17), el inversor empieza a operar convirtiendo la tensión almacenada en las baterías en corriente alterna y la llave conmutadora automática transfiere la potencia a la carga con un tiempo de transferencia de 4 a 8 ms, siendo lo suficientemente rápido para que una carga no crítica no sea afectada por el microcorte. En el momento que el banco de baterías se agota, el UPS se apaga dejando sin alimentación la carga conectada a él en espera que la energía de la red se restablezca. En el instante que se restaura la energía, se alimenta nuevamente la carga de forma directa y al mismo tiempo el cargador de baterías toma la energía necesaria para realizar la recarga de las baterías. Una vez las baterías se han recargado, el cargador toma una pequeña cantidad de energía para mantener las baterías cargadas a la espera de un nuevo corte.

Este tipo de UPS cubre potencias desde 250 VA hasta 1000 VA siendo este tipo de las más económicas, ya que solo es recomendable para aplicaciones simples no sensibles a perturbaciones de la red (Legrand Group España, 2013).

2.3.2.1 Interactivas. La UPS Interactiva, filtra la energía que suministra la empresa de energía.

Cuando hay una falla en el suministro, el inversor entra automáticamente en funcionamiento y la energía la suministra el UPS desde las baterías con el voltaje y frecuencia adecuados. La UPS Interactiva debe ser utilizada en situaciones eléctricas no críticas como en computadores personales, equipos de Small Office/ Home Office y estaciones de trabajo.

2.3.2.1.1 Interactiva Standard. Este tipo de UPS es muy similar al StandBy con una única diferencia cuando la red está presente éste cuenta con una etapa encargada de filtrar algunas perturbaciones eléctricas, comportándose de la misma forma que un dispositivo StandBy frente al corte del suministro eléctrico. Los elementos constitutivos de este tipo de UPS son un cargador de baterías, un AVR (regulador automático de tensión), un inversor y una llave conmutadora automática esto se puede observar en la *Figura 18*.

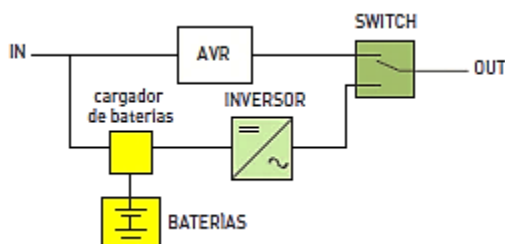


Figura 18. UPS interactiva. Adaptado de Legrand Group España. (2013). Sistema de alimentación ininterrumpida UPS. Torrejón de Ardoz.

La potencia de este tipo de UPS varía desde los 400 VA hasta los 2000 VA, teniendo un tiempo de transferencia de 2 a 4 ms siendo más bajo que las de tipo StandBy.

2.3.2.1.2 Interactiva en Línea. Este UPS cuenta con un inversor bidireccional que convierte en

un sentido corriente alterna a corriente continua y en otro sentido de corriente continua a corriente alterna.

Cuando la red está presente, el AVR se encarga de estabilizar la tensión bajo perturbaciones para que la salida cuente con una señal senoidal estable y libre de perturbaciones, mientras el inversor toma corriente alterna y la convierte en corriente continua para cargar las baterías y mantenerlas cargadas.

En el momento que se presenta un corte de energía o una fluctuación en la tensión que supera el rango de estabilización del AVR, el inversor cambia su funcionamiento convirtiendo la tensión continua en corriente alterna y el AVR regulara la tensión suministrada desde el inversor hasta que las baterías se agoten o se restablezca el suministro eléctrico y vuelva el sistema a su funcionamiento normal. Cuenta con un tiempo de transferencia de 0 a 2 ms con unos rangos de potencia entre 600 y 3000 VA.

2.3.3 On-Line Doble Conversión. En este tipo de UPS, la entrada es primero rectificada y después convertida a alterna con un inversor. La forma de onda de la tensión de salida es completamente independiente de la entrada, todas las posibles interferencias de la red son eliminadas, así como también el tiempo de transferencia, ya que la salida siempre está alimentada por el inversor. En caso de sobrecargas o perturbaciones, este tipo de UPS dispone de bypass automático el cual garantiza la alimentación de la carga conmutándola directamente en la entrada. Este sistema posee un tiempo de transferencia de cero milisegundos, sin generar microcortes en el consumo.

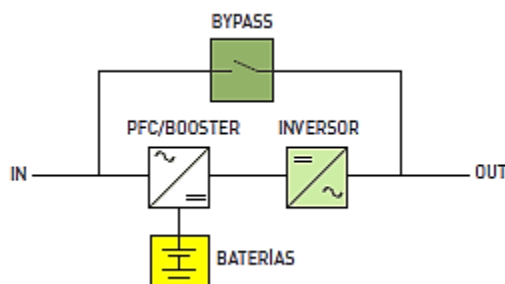


Figura 19. UPS On-Line doble conversión. Adaptado de Legrand Group España. (2013). Sistema de alimentación ininterrumpida UPS. Torrejón de Ardoz.

En caso de un corte de energía, la carga no se ve afectada debido a que el inversor siempre está siendo alimentado en este caso está extrayendo su energía de las baterías (Figura 19). El sistema on-line de doble conversión es uno de los más usados ya que cubre el total de las perturbaciones eléctricas que puedan afectar a las cargas. El rango de potencias de este tipo de UPS varía desde los 600 VA hasta los 800 kVA y son aplicables en cualquier tipo de instalación.

2.3.4 Rangos de potencia según la aplicación. Las aplicaciones de los UPS se presentarán a continuación dependiendo del rango de potencia en el cual este clasificado:

- Potencias de 300VA a 3kVA. Las principales aplicaciones para este rango de potencia son los sistemas de información y comunicación, usualmente se utilizan UPS del tipo Off-Line, esto se debe a que la exigencia de este tipo de cargas no es alta y el tiempo de respuesta del UPS es suficiente para que la carga no se vea afectada por la falla.

Una gran ventaja de utilizar este tipo de UPS en esta aplicación es que presentan un diseño compacto, de bajo peso, ruido y calor.

- Potencias de 3kVA a 80kVA. Los sistemas de telecomunicaciones, redes de internet, datos y voz son las principales aplicaciones para este rango de potencias, adicionalmente estos UPS pueden soportar redes trifásicas con sistemas adicionales que garanticen la mitigación de

armónicos.

Las características de los UPS varían con la necesidad del usuario, por ejemplo, si es utilizado permanentemente, es posible agregar un bypass con el fin de permitir operaciones de mantenimiento durante el trabajo cotidiano sin generar perturbaciones a las cargas.

Las baterías de estos equipos pueden estar distribuidas internamente o externamente en sus respectivos estantes con el fin de ampliar la capacidad o el tiempo al que se quiera obtener, o el sistema puede ser respaldado por una planta eléctrica.

- Potencias de 10kVA a 1100kVA. Un UPS con un nivel de potencia comprendido en este rango es utilizada principalmente a nivel comercial, industrial y a nivel hospitalario. Usualmente, debido al alto nivel de potencia en este tipo de UPS, es necesaria una etapa de transformación, agregándole un gran tamaño a la instalación, menor eficiencia, mayor generación de calor y ruido. Debido a los efectos que trae consigo instalar un UPS con transformador, es necesario instalar filtros de armónicos pasivos.

2.4 Supercondensadores

Los supercondensadores son dispositivos electroquímicos capaces de sustentar una densidad de energía inusualmente alta en comparación con los condensadores normales, presentando una capacitancia miles de veces mayor que la de los condensadores electrolíticos de alta capacidad además de esto almacenan carga físicamente en vez de químicamente, en la *Figura 20* se muestran supercondensadores comerciales de la empresa Maxwell unos con forma cilíndrica (ubicados en la parte central e inferior) y con forma prismática (derecha), además de ello se muestran módulos formados por la asociación de varios supercondensadores cilíndricos aumentando las

características de desempeño de los dispositivos por separado; Los supercondensadores son más efectivos y rápidos en regeneración del almacenamiento de energía y una mayor prestación frente a la competencia de tecnologías basadas en baterías para algunas aplicaciones (Gil Mera, 2010).



Figura 20. Supercondensadores y módulos comerciales Maxwell. Adaptado de Aldama Amado, I. (2015). Electrodo para supercondensadores obtenidos por electrodeposición. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.

Los supercondensadores se caracterizan por la capacidad ser cargados y descargados en períodos de tiempo muy cortos, lo cual los hace especialmente apropiados para responder ante necesidades de picos de potencia o ante interrupciones de suministro de poca duración, pueden proporcionar corrientes de carga altas y por último no presentan en su composición elementos tóxicos.

Existen numerosas clasificaciones de este tipo de almacenadores, pero una de las más aceptadas lo hace en tres grandes grupos: EDLCs (del inglés, Electrochemical Double Layer Capacitors), pseudocondensadores y supercondensadores híbridos (Véliz Noboa, 2014), (*Figura 21*).

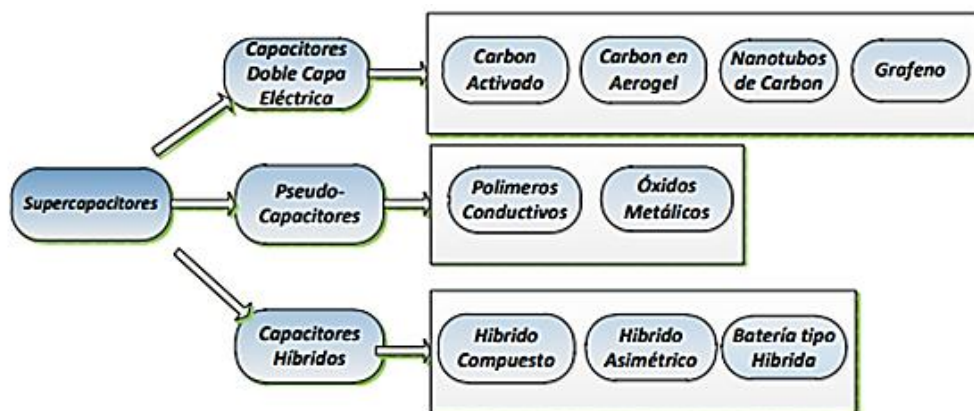


Figura 21. Clasificación de supercondensadores. Adaptado de Véliz Noboa, B. (2014). Diseño y fabricación de dispositivos metal-aislante-metal (MIM) utilizando la técnica electrospray. Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya.

Cada uno de estos supercondensadores presentan características de desempeño únicas entre las cuales se tienen:

- Supercondensadores de doble capa eléctrica, pueden almacenar una gran capacidad de carga debido al área superficial (Véliz Noboa, 2014).
- Pseudocondensadores, existen gracias al efecto de doble capa, pero estos almacenan energía mediante reacciones reversibles de óxido-reducción, haciendo que las capacidades asociadas a un mecanismo pseudocapacitivo pueda llegar a ser de hasta 10 veces superior a los de doble capa (Pérez Lobo, 2016).
- Supercondensadores híbridos, estos supercondensadores aprovechan las ventajas de los supercondensadores de doble capa y pseudocondensadores, con el fin de minimizar las desventajas y con ello obtener mejores rendimientos. Los supercondensadores híbridos se clasifican dependiendo de su carácter constructivo en compuestos, asimétricos e híbridos tipo batería (Vaquero Morata, 2015).

En la Tabla 2 se realiza una comparación de las propiedades fisicoquímicas de los distintos materiales supercondensadores calificados de 1-5 siendo 1 muy bajo y 5 muy alto (Pérez Lobo, 2016).

Tabla 2

Comparación de las propiedades fisicoquímicas de los distintos materiales de supercondensadores

Propiedades Fisicoquímicas	Materiales de Carbono	Óxidos Metálicos	Polímeros Conductores
Capacidad no Farádica (doble capa)	5	3	3
Capacidad Farádica (pseudocapacidad)	1	5	5
Conductividad	5	2	5
Densidad energética	2	4	3
Densidad de Potencia	4	2	3
Coste	3	4	3
Estabilidad Química	5	2	4
Ciclo de Vida	5	3	3
Facilidad de Fabricación	3	2	4
Flexibilidad	3	1	4

Adaptado de Pérez Lobo, E. C. (2016). Estudio de los supercondensadores y su viabilidad como sistema de almacenamiento energético en instalaciones fotovoltaicas. Universidad de Sevilla, Sevilla.

Los principales productores actualmente de supercondensadores son Maxwell, Nippon Chemicon, Batscap, Nesscap, Skeleton Technologies, Ioxus, Yunasko, Elton y JM Energy-JSR Micro y se presentan en la Tabla 3 señalando el tipo de supercondensador comercializado, el voltaje de operación, la capacitancia, la energía específica y la potencia máxima. (Vaquero Morata, 2015).

Tabla 3

Datos característicos de celdas de supercondensadores comerciales

Fabricante (País)	Tipo de SC	V [v]	C [F]	Peso [kg]	E _{max} [Wh*kg- l]	P _{max} [kW*kg- l]
Maxwell (USA)	EDLC	2.7	3000	0.51	4.5	1.8
Nippon Chemicon (Japón)	EDLC	2.5	1100	0.28	2.8	0.7
Batscap (Francia)	EDLC	2.7	2680	0.5	4.2	2.1
Nesscap (Corea)	EDLC	2.7	3640	0.65	4.2	0.93
Nesscap (Corea)	Pseudocondensador	2.3	300	0.025	8.73	----
Skeleton Technologies (Estonia)	EDLC	2.85	350	0.07	4	2.7
Ioxus (USA)	EDLC	2.7	3000	0.51	4.3	1.7
Yunasko (Ucrania)	EDLC	2.75	1275	0.22	4.55	8.7
Yunasko (Ucrania)	Hibrido	2.8	5200	0.068	30	3.4
ELTON (Rusia)	Hibrido asimétrico	1.3	6000	0.7	6.5	----
JM Energy-JSR Micro (Japón- USA)	Hibrido tipo batería	3.8	1100	0.145	10	1.3

Adaptado de Vaquero Morata, S. (2015). Diseño y Caracterización de Supercondensadores de Alta Energía Basados en Materiales Carbonosos. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.

2.4.1 Aplicación de supercondensadores en instalaciones eléctricas. Las aplicaciones más sobresalientes de los supercondensadores son su uso como elevadores de carga en los vehículos híbridos y eléctricos, usos en campo de la tracción, arranque de motores, aplicaciones para la calidad y fiabilidad de las instalaciones de suministro de energía entre otras. La topología de las aplicaciones más comunes de este tipo de sistemas en el campo de la generación conectada a la red (Valizadeh Kiamahalleh, Sharif Zein, Najafpour, ABD Sata, & Buniran, 2012), son presentadas a continuación:

2.4.1.1 Topología 1, batería conectada en paralelo al supercondensador, a través del regulador de potencia. El sistema se basa en el intercambio de potencia de generación alternativa con la red eléctrica (*Figura 22*), teniendo el sistema de almacenamiento de energía como una

solución a las distorsiones que pueden llegar a ocurrir en el proceso. La función de los componentes del sistema es:

Inversor, el control en el inversor hace que el sistema intercambie energía de forma rápida y precisa con la generación alternativa, a fin de mitigar los efectos de energía fluctuante.

El controlador de potencia es el responsable de regular la magnitud y la dirección de la potencia de carga-descarga de la batería.

Supercondensador, la función del supercondensador es compensar la diferencia entre la potencia suministrada por la generación y la de carga-descarga del sistema.

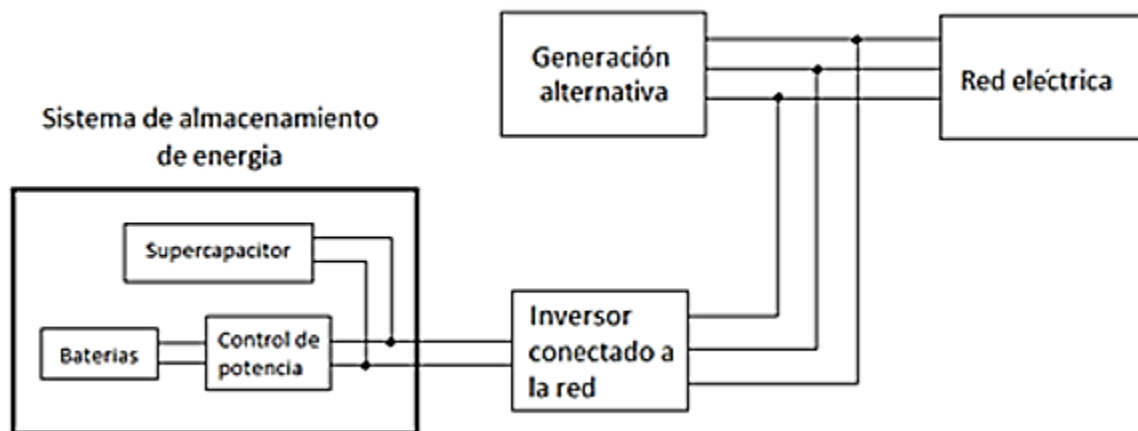


Figura 22. Sistema híbrido topología 1. Adaptado de Yu , P., Sun, S., Li , G., Zhang, Y., Cheng, Y., Zhao, P., Zhao , S. (2014). A Review on the Energy Storage Technique for Real-time Wind Power. Faisalabad: Asian Network for Scientific Information.

2.4.1.2 Topología 2, batería aguas arriba del controlador, con supercondensador conectado en paralelo. El regulador controla la carga-descarga del supercondensador, la batería en este caso compensa la diferencia de potencia de la carga-descarga que ocurre en el sistema híbrido y la que es suministrada al supercondensador (Figura 23). Esta topología es muy utilizada en el campo de

los vehículos eléctricos y para equilibrar fluctuaciones de la potencia de un generador eólico (Hongxin, Yang, Yu, & Weiguo, 2010).

La tensión del inversor en este caso se mantiene estable en comparación con la topología 1, ya que la batería mejora su estabilidad al estar conectada en paralelo, pero al igual que la topología 1 toda la potencia del sistema es controlada por el inversor.

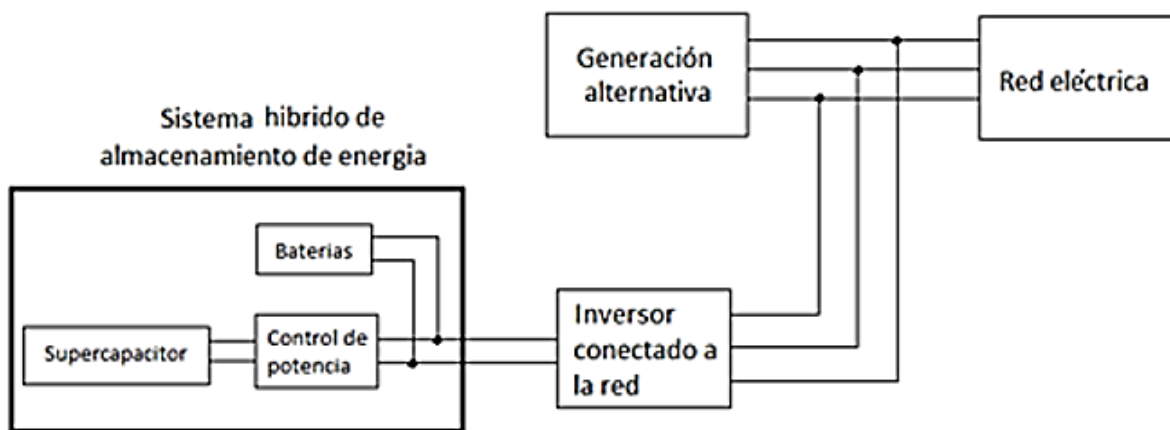


Figura 23. Sistema híbrido topología 2. Adaptado de Yu , P., Sun, S., Li , G., Zhang, Y., Cheng, Y., Zhao, P., Zhao , S. (2014). A Review on the Energy Storage Technique for Real-time Wind Power. Faisalabad: Asian Network for Scientific Information.

2.4.1.3 Topología 3, batería y supercondensador conectados al inversor a través de controladores de potencia. En este caso, se tienen dos controladores de potencia en su composición (Figura 24), los cuales se encargan de regular la carga-descarga del sistema de almacenamiento de forma independiente, haciendo que el ciclo de vida del sistema aumente. Esta combinación hace que el sistema de control de potencia que le llega a todo el sistema se puede manejar de forma activa (Abbey, Strunz, & Joos, 2019) (Antonishen, y otros, 2012).

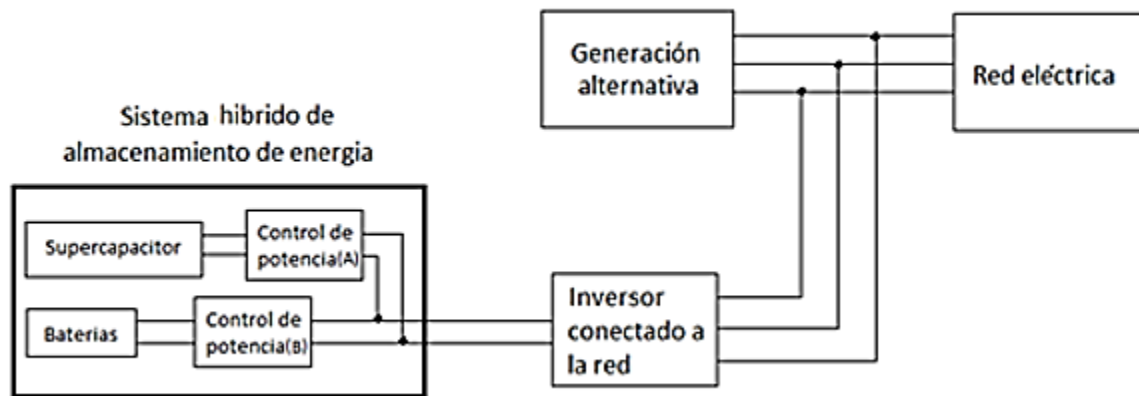


Figura 24. Sistema híbrido topología 3. Adaptado de Yu , P., Sun, S., Li , G., Zhang, Y., Cheng, Y., Zhao, P., Zhao , S. (2014). A Review on the Energy Storage Technique for Real-time Wind Power. Faisalabad: Asian Network for Scientific Information.

2.4.1.4 Topología 4, controladores conectados en serie. En este sistema el regulador (A) controla la carga-descarga de la batería, mientras el regulador (B) controla la potencia que ingresa a todo el sistema híbrido por parte de la generación, esta combinación alarga considerablemente la vida del sistema híbrido de almacenamiento de energía. (Figura 25)

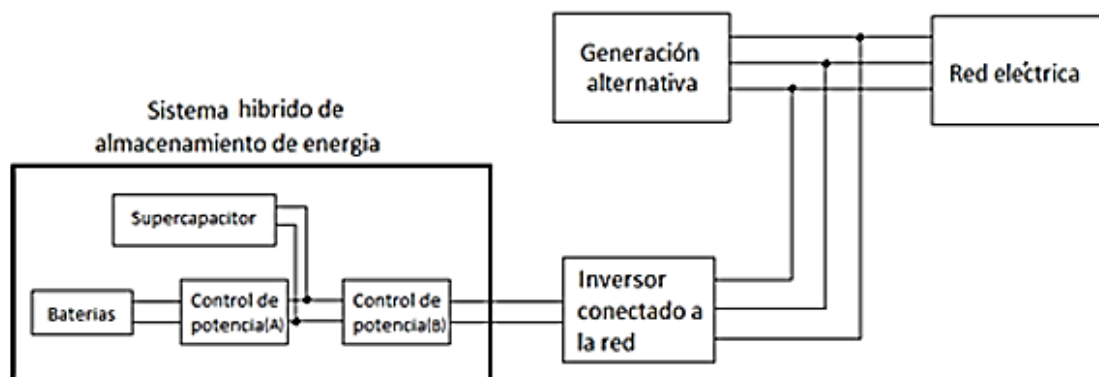


Figura 25. Sistema híbrido topología 4. Adaptado de Yu , P., Sun, S., Li , G., Zhang, Y., Cheng, Y., Zhao, P., Zhao , S. (2014). A Review on the Energy Storage Technique for Real-time Wind Power. Faisalabad: Asian Network for Scientific Information.

2.5 Celdas de Hidrógeno

El hidrógeno es un combustible en el que se están depositando muchas esperanzas y al que se está dedicando un gran esfuerzo investigado, y todos estos estudios han conllevado a descubrir ciertas propiedades tanto físicas como químicas muy diferentes a los demás materiales, ya que el hidrogeno no es un recurso sino un portador de energía. La producción de hidrógeno requiere de materia prima y energía. La cantidad de energía necesaria para producir el hidrógeno es siempre superior a la energía que puede ser liberada por la utilización de hidrógeno, actualmente el hidrógeno en su mayoría se produce a partir de combustibles fósiles tales como gas natural, petróleo y carbón.

Las principales razones de que el hidrogeno sea utilizado tan ampliamente en el ámbito eléctrico son la eficiencia energética, dependencia energética y claramente por razones medioambientales (Linares Hurtado & Moratilla Soria, 2007).

2.5.1 Eficiencia Energética. La energía química del hidrogeno puede ser convertida de forma directa en energía eléctrica sin necesidad de un paso intermedio del accionamiento térmico de un ciclo de potencia. Esta suspensión del paso intermedio del accionamiento térmico permite superar los límites alcanzando así mayores rendimientos energéticos.

2.5.2 Dependencia Energética. El hidrógeno no es una fuente energética, pero este facilita el transporte y almacenamiento de ellas, y puede ser producido a partir de fuentes renovables y nucleares, por lo que puede jugar un papel importante en la reducción de la dependencia energética, que también se ve favorecida por el elevado rendimiento en la conversión.

2.5.3 Razones Medioambientales. Es un elemento amigable con el medio ambiente, este al ser utilizado con fines energéticos en su combustión solo libera vapor de agua libre de CO_2 , sin embargo, la ventaja de producir hidrógeno a partir de energía renovable es que permite regularizar la frecuente aleatoriedad de la producción eléctrica con renovables, pudiendo además destinar la energía eléctrica a aplicaciones de transporte y portátiles.

2.5.4 Celdas de combustible. Una celda de combustible opera de forma similar a una batería. Genera electricidad combinando de forma electroquímica hidrógeno y oxígeno sin generar combustión. Las celdas de combustible no se descargan como las baterías por lo tanto no requieren de un proceso de recarga, la celda producirá energía en forma de calor y electricidad mientras que tenga combustible. El único residuo generado es agua pura. (Doñán Velasco & Sermeño Mena, 2008).

Una celda de combustible contiene dos electrodos separados por un electrólito. El oxígeno pasa sobre un electrodo y el hidrógeno sobre el otro. Cuando el hidrógeno se ioniza cede un electrón, al ocurrir esto, el hidrógeno y el electrón toman diferentes caminos hacia el segundo electrodo. El hidrógeno migra hacia el otro electrodo a través del electrólito mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor. Este proceso produce agua, corriente eléctrica y calor útil. Para generar cantidades utilizables de corriente las celdas de combustibles son ensambladas en varias capas.

En la *Figura 26* se muestra una pila de combustible, compuesta por 32 celdas conectadas en serie, mientras que el resto son los sistemas auxiliares (control electrónico y bombas de presión), mientras en la *Figura 27* se muestra la pila utilizada en el Apollo la cual podía generar una potencia

de hasta 12KW, pesaba 120Kg y media 36x38x14cm.



Figura 26. Pila de combustible de electrolito utilizada en los transbordadores modernos. Adaptado de Aguirre Guevara, O. A. (2013). Celdas de hidrogeno y su potencial de aplicación. Universidad Veracruzana, Xalapa.

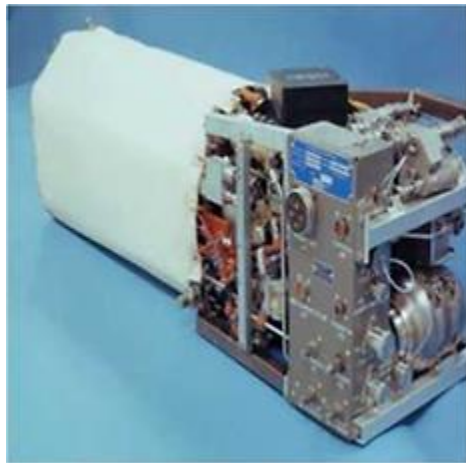


Figura 27. Pila alcalina utilizada en el módulo de mando Apollo. Adaptado de Aguirre Guevara, O. A. (2013). Celdas de hidrogeno y su potencial de aplicación. Universidad Veracruzana, Xalapa.

2.5.5 Tipos de celdas de combustible

- **Ácido fosfórico (PAFCs).** Es la celda más desarrollada comercialmente y su uso es muy diverso, desde clínicas y hospitales, hasta plantas eléctricas y aeropuertos han adoptado esta

tecnología. Las celdas de combustible de ácido fosfórico generan electricidad con una eficiencia entre el 40 al 85 %, si el vapor que ésta produce es empleado en cogeneración, si comparamos la máquina de combustión interna más eficiente con un 30%, podemos ver que el nivel de eficiencia es significativamente mayor. Las temperaturas de operación de esta celda se encuentran en el rango de los 400F.

- **Polímero Sólido o Membrana de Intercambio Protónico (PEM).** Estas celdas se caracterizan por operar a temperaturas relativamente bajas (unos 200F), su densidad de potencia es alta, además pueden regular su valor de salida rápidamente para satisfacer cambios en la demanda de potencia. Las aplicaciones en donde se requiere una demanda inicial rápida son las más adecuadas para el uso de esta celda, tal como en el caso de los automóviles. De acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos, "son los principales candidatos para vehículos ligeros, edificios, y para otras aplicaciones mucho más pequeñas como el reemplazamiento de baterías recargables en video cámaras"

- **Óxido Sólido (SOFCs).** Es una tecnología aun en desarrollo, pretende ser usada en aplicaciones de alta potencia incluyendo la generación de energía eléctrica a gran escala. Esta celda también tiene un potencial alto para su uso en vehículos motores. Una prueba de 100kW está siendo terminada en Europa mientras que dos pequeñas unidades de 25kW se encuentran ya en línea en Japón. Normalmente utiliza un material duro cerámico en lugar de un electrolito líquido permitiendo que la temperatura de operación alcance temperaturas de hasta 1,800 °F. Las eficiencias de generación de potencia pueden alcanzar un 60%.

- **Celdas alcalinas.** La NASA fue la primera en usar esta tecnología en misiones espaciales, cuentan con una eficiencia de generación eléctrica de hasta 70%. Estas celdas utilizan hidróxido de potasio como electrolito. Su mayor desventaja es que son demasiado costosas para aplicaciones

comerciales.

2.6 Almacenamiento de energía magnética por superconductividad

La superconductividad es una propiedad de algunos compuestos que no oponen resistencia al paso de corriente ya que los electrones se desplazan sin colisionarse y en zigzag a través de los cristales del átomo. Un material superconductor tiene las características de poseer resistividad eléctrica cero y el campo dentro del material es cero.

Esta tecnología almacena energía en la misma forma que lo haría un inductor convencional, en un campo magnético creado por las corrientes que fluyen a través de un alambre bobinado, con la gran diferencia que el SMES hace fluir esa corriente por un alambre superconductor evitando que haya disipación térmica por ende las pérdidas resistivas son despreciables debido a la condición de operación fija (temperatura criogénica) (Hassenzahl, 1975), cuando la bobina superconductora se carga, la corriente ya no disminuye y la energía magnética puede almacenarse indefinidamente, por ende, la energía almacenada puede ser entregada a la red descargando esta bobina. La energía almacenada en el dispositivo es proporcional al cuadrado del campo magnético producido.

Dado que el proceso de conversión de energía en el sistema SMES es solo de CA a CC, entonces ninguna de las pérdidas termodinámicas inherentes asociadas con la conversión de una forma de energía a otra. La pérdida del entorno de SMES hace que el dispositivo sea altamente eficiente (Chen, y otros, 2006).

Los elementos constructivos de los SMES de una unidad típica se pueden observar en la *Figura 28* son una bobina superconductora, sistema de refrigeración y la interfaz eléctrica (González, 2013):

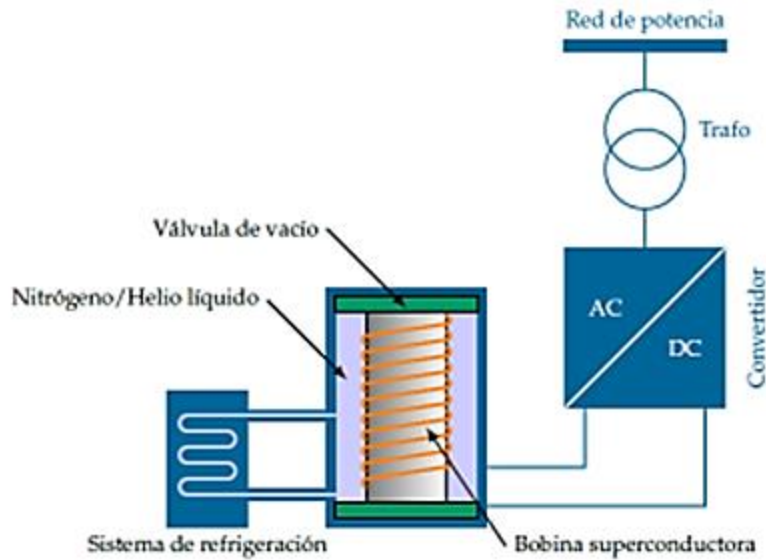


Figura 28. Diagrama esquemático de un sistema SMES. Adaptado de Pacheco Cano, W. A. (2016). Uso del convertidor modular multinivel para la integración de sistemas de almacenamiento de energía magnética por superconducción al sistema de potencia. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.

2.6.1 Bobina superconductora. Es la encargada de transportar altos niveles de corriente en presencia de altos niveles de campos eléctricos. En la Tabla 4 se muestra una lista de los principales superconductores usados para este fin, así como las características de los materiales. Para obtener altos niveles de energía con una corriente limitada es necesario incrementar la inductancia y esto se puede hacer variando la configuración de la bobina pudiendo ser solenoide sencillo con forma circular, conexión en serie de solenoides o toroide de forma circular, ovalada o de tipo D.

Tabla 4

Lista de superconductores

Superconductor	T _c [K]	B _c [T]	W _m [J/m ³]
Niobidio (Nb)	9.26	0.82	2.69E+05
Tántalo (Ta)	4.48	0.30	3.58E+04
Vanadio (V)	5.03	1	3.98E+05
C6Ca	11.5	0.95	3.59E+05
Diamante: B	11.4	4	6.37E+06
In ₂ O ₃	3.30	3	3.58E+06

Si: B	0.40	0.40	6.37E+04
MgB2	39	74	2.18E+09
Nb3Ge	23.2	37	5.45E+08
Nb3Sn	18.3	30	3.58E+08
NbTi	10	15	8.95E+07

Nota. Dónde: T_c es la temperatura crítica, B_c densidad de flujo magnético e I_c Intensidad de corriente. Adaptado de Gonzáles, G. G. (2013). Almacenamiento de energía magnética por superconductividad. PRISMA Tecnológico, 4(1), 29-32.

Existen dos tipos básicos de bobinas para sistemas de almacenamiento de energía magnética por superconductividad: toroidal y solenoidal. Dependiendo el tipo de bobina, se tienen diferentes características de almacenamiento.

2.6.1.1 Bobina toroidal. Las bobinas toroidales se pueden observar en la *Figura 29*, las cuales alcanzan mayor potencia nominal por lo cual pueden ser utilizados en sistemas de transmisión, debido a esto este tipo de bobina presenta una menor densidad de corriente o menor corriente crítica (Pacheco Cano, 2016) lo cual es una condición adecuada ya que la mayor cantidad de energía es almacenada en el campo magnético aumentando la concentración de este y disminuyendo el flujo de dispersión.



Figura 29. Configuración toroidal. Adaptado de Zhu, J., Zhang, H., Yuan, W., Zhang, M., & Lai, X. (2013). Design and cost estimation of superconducting magnetic energy storage (SMES) systems for power grids. Vancouver: IEEE.

2.6.1.2 Bobina solenoidal. Las bobinas senoidales, requieren menos cantidad de material superconductor el cual se instala en forma de cinta en la bobina que se apila de forma vertical (Figura 30). Tiene la característica de tener un mayor campo de distorsión que la configuración toroidal. Esta configuración puede ser aplicar a sistemas de distribución. Una bobina del tipo solenoide es aplicable a sistemas de pequeña escala debido a que almacena mayor energía que un toroide con la misma cantidad de conductores, pero a un gran costo que son los campos magnéticos de fuga o dispersión los cuales alteran el medio ambiente y la salud humana.



Figura 30. Configuración solenoidal. Adaptado de Zhu, J., Zhang, H., Yuan, W., Zhang, M., & Lai, X. (2013). Design and cost estimation of superconducting magnetic energy storage (SMES) systems for power grids. Vancouver: IEEE.

La relación del costo por superconductor y los beneficios que trae la configuración toroidal o solenoidal se observa que el costo unitario por energía disminuye a medida que la cantidad de energía almacenada aumenta. En la Tabla 5 se observa que para configuraciones solenoidales se presenta una mayor densidad de corriente y por ende se tiene una mayor corriente crítica respecto a la toroidal.

Tabla 5

Corriente y flujo magnético de los SMES

Parámetro	1.2 kJ (Solenoid)	1.6 MJ (Toroidal)	1.3 MJ (Toroidal)	1 GJ
Densidad de corriente	2.5E8	2.05E8	1.0E8	5.3E7
Corriente extrema	300	250	120	64
Campo máximo	1.91	2.9	7.6	14.3
Temperatura de operación	65K	65K	65K	65K

Adaptado de Nomura , S., Tanaka , N., Tsuboi, K., Tsutsui, H., Tsuji-lio, S., & Shimada, R. (2009). Design considerations for SMES systems applied to HVDC links. Barcelona: IEEE.

Las grandes bobinas superconductoras han sido desarrolladas y utilizadas en diversas aplicaciones, los valores de almacenamiento de energía van desde los 7.5 hasta los 41 GJ y con corrientes de bobina que oscilan entre los 5.7 a 68 kA (Nomura, y otros, 2009). Estas aplicaciones se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6

Logro y plan de desarrollo de grandes bobinas superconductoras

Proyecto	Forma de la bobina	Almacenamiento de energía (GJ)	Corriente (kA)	Construcción	Aplicación
BEBC	Solenoid	0.8	5700	1972	Detector de partículas
LCT	Toroidal	0.944	10200-17760	1985	Fusión
LHD	Helicoidal	0.9	13	1997	Fusión
CSMC	Solenoid	0.64	46	2000	Fusión
ATLAS	Toroidal	1.08	20.5	2007	Detector de partículas
CMS	Solenoid	2.6	19.1	2007	Detector de partículas
LHC	Silla	8.8	11850-11870	2008	Acelerador de partículas
JT-60SA	Toroidal	1.5	25.3	2014	Fusión
ITER	Toroidal	41	68	2014	Fusión

Adaptado de Nomura , S., Tanaka , N., Tsuboi, K., Tsutsui, H., Tsuji-lio, S., & Shimada, R. (2009). Design considerations for SMES systems applied to HVDC links. Barcelona: IEEE.

2.6.2 Sistemas de enfriamiento. El sistema de enfriamiento está compuesto por un refrigerador donde se encuentra el refrigerante (normalmente helio) y el contenedor donde reposa la bobina superconductora. La función de este sistema es remover todo el calor que entra al contenedor asegurando que la temperatura del superconductor no exceda la temperatura crítica. El refrigerador al ser un sistema eléctrico consume energía disminuyendo la eficiencia del SMES.

2.6.3 Interfaz eléctrica. La interfaz eléctrica entre el inductor superconductor y el sistema de potencia es un convertidor rectificador/inversor encargado de cargar el inductor y de transferir energía eléctrica al sistema de potencia.

El sistema SMES es un dispositivo de corriente continua que almacena energía en el campo magnético, este campo magnético se establece mediante el uso de superconductores. En general, los conductores o bobinas comunes consisten en pequeñas porciones de resistencia, por lo tanto, el principal objetivo es la eliminación de la propiedad resistiva del conductor y superconductor, este proceso se realiza mediante refrigerantes (Aware & Sutanto, 2003). El proceso se realiza dentro de un criostato el cual contiene helio o nitrógeno líquido, el cual disminuye la temperatura del conductor haciendo que a cierta temperatura (criogénica) la resistencia de los conductores se vuelve cero y el conductor común se comporta como un superconductor (Kang, Kim, Sung, & Park, 2012).

La elevada eficiencia de los imanes superconductores es su mayor ventaja, así como el almacenamiento directo que se logra de la energía eléctrica. El coste por kilovatio de este tipo de sistemas decrece conforme se aumenta su capacidad de almacenamiento, lo cual significa tener que irse a grandes instalaciones para conseguir costes competitivos.

El concepto de los SMES aparece en los años 70, con el surgimiento de los materiales Low

Temperature Superconductor y posteriormente en 1986 con la aparición de los materiales High Temperature Superconductor (Pacheco Cano, 2016). A escala comercial, el primer sistema de energía magnética por superconductividad (SMES) fue desarrollado en 1997 y se utilizó en Alemania. Los dispositivos SMES de microescala en el rango de 1-10 MW están disponibles comercialmente en el mercado. Para el mejoramiento de la calidad de la energía, aproximadamente 50 MW de capacidad total se instalan en diferentes partes de los Estados Unidos y actualmente funcionan con éxito (Kanamaru & Amemiya, 1991).

En la actualidad el objetivo sigue siendo conseguir materiales que se comporten como superconductores a temperatura ambiente, lo que haría posible ampliar enormemente su uso. Esta tecnología aún se encuentra en desarrollo, siendo estudio de fabricantes como ABB en conjunto con diversas entidades académicas, como la Universidad de Houston, han indagado en la utilización de esta tecnología en redes de distribución eléctrica proveniente de centrales eólicas (Carmona Fortuna, 2014).

Debido a la energía absorbida por el sistema de refrigeración y a los costes de los materiales superconductores, los SMES se utilizan para el almacenamiento de energía de corta duración, siendo su aplicación más común el nivelamiento de la carga, la estabilidad dinámica, la estabilidad transitoria, la estabilidad de voltaje, y la calidad de la energía en redes públicas de distribución de energía.

Al utilizar el SMES puede mejorar la confiabilidad general del sistema de energía. Esta tecnología aplicada a los sistemas de potencia, es útil para nivelación de carga, estabilidad y soporte de voltaje dinámico; con FACTS mejora la calidad de la energía y aumenta la capacidad de la línea de transmisión y el soporte de frecuencia durante la pérdida de generación (Tripathy & Juengst, 1997).

Se han realizado estudios en sistemas del orden de 1 a 100 MW (Chen, y otros, 2006), los cuales son adecuados para compensar oscilaciones de potencia en sistemas de generación alternativa, sin embargo, los costos asociados a estos dispositivos son aún muy altos para ser integrados en sistemas de potencia reales. Además de ello se ha verificado que el SMES presenta un tiempo de respuesta menor a 10 ms, este tiempo es más que suficiente para responder de forma adecuada y confiable a oscilaciones de potencia presentadas en el sistema. (Song, y otros, 2015), (Steurer, Ribeiro, & Noe, 2003), (Magro, Mariscotti, Picco, & Pinceti, 2004), (IEEE Power & Energy Society, 2009).

Los costos de la tecnología SMES para kJ, MJ (solenoides y configuración toroidal) y GJ son 14 000 USD, 1'020.000 USD, 425 MUSD y 450 MUSD, respectivamente (Zhu, Zhang, Yuan, Zhang, & Lai, 2013). Con el aumento de la energía, el precio unitario de los sistemas SMES disminuye significativamente. Un análisis económico completo incluirá la estimación del costo del ciclo de vida, que consiste en el costo de capital, el costo de operación y el costo de mantenimiento. Para el costo de capital, se deben considerar dos partes principales (Zhu, Zhang, Yuan, Zhang, & Lai, 2013):

- Costo relacionado con la capacidad de energía, el cual consiste en costos de capital y construcción de superconductores, componentes de la estructura del imán, recipientes criogénicos, refrigeración, protección y circuitos de control.
- Costo relacionado con la conversión de energía, es el costo de un circuito de electrónica de potencia requerida. Para diferentes situaciones prácticas, se requieren diferentes circuitos de electrónica de potencia. Por lo tanto, los costos varían en diferentes casos.

Según el Laboratorio Nacional Los Álamos, el costo de construcción de un sistema de almacenamiento por superconducción se distribuye de la siguiente manera (González, 2013):

- Bobina superconductora, 45%.
- Estructura, 30%.
- Mano de obra, 12%.
- Convertidor, 8%.
- Sistema de enfriamiento, 5%.

2.7 Estudio de costos en sistemas de alimentación de respaldo

Al momento de seleccionar un sistema de alimentación de respaldo, uno de los aspectos más importantes luego de las características de operación y desempeño, es el costo relacionado al tipo de tecnología, ya que esta puede definir la selección de uno u otro equipo.

El costo del sistema de alimentación de respaldo dependerá de gastos adicionales como costos de operación, por lo tanto, calcular monetariamente los beneficios que pueden aportar los sistemas de energía de respaldo puede ser una tarea que requiera cierto nivel de detalle ya que los beneficios varían mucho dependiendo las necesidades del consumidor. Como ejemplo de ello, tenemos el costo del combustible de un grupo electrógeno que funcionan con Diesel, gas natural y propano, estos equipos son más eficientes y tienen una autonomía mucho mayor que los generadores de gasolina aunque resultan siendo más costosos en cuestiones de mantenimiento.

En la Tabla 7 se presenta información recolectada acerca de los costos de inversión y operación de las tecnologías usadas como sistemas de respaldo basado en una operación de 2 horas constantes por 365 días.

Tabla 7

Costos de inversión y operación de las tecnologías usadas como sistemas de respaldo

Tecnología		Costo de Inversión [USD/kW]	Costo de Operación [USD/kW]
Flywheel	Alta potencia	250-650	5.000-9.000
	Larga duración	4.000-10.000	1.000-6.000
Grupos electrógenos	Larga duración	200-1.300	-
	Plomo-Ácido	400-900	400-1.000
UPS	Níquel-Cadmio	800-1.400	500-1.000
	Azufre	1.000-2.900	420-1.000
	Ion-Litio	1.200-5.000	800-5.000
Supercondensadores	Alta potencia	0-600	9.000-10.000
	Larga duración	200-700	100-500
Celdas de hidrogeno		3.200-3.500	-
Almacenamiento de energía magnética por superconductividad			
	Alta potencia	7.000-14.000	500-900

Adaptado de Pontificia Universidad Católica de Chile. Tecnologías de Almacenamiento de Energía y Factibilidad en Chile. Escuela de Ingeniería y Comisión de Regulación de Energía y Gas (2013). Determinación De Inversiones Y Gastos De Administración, Operación Y Mantenimiento Para La Actividad De Generación En Zonas No Interconectadas Con Plantas Térmicas.

Es difícil proporcionar un costo exacto para los sistemas de celdas de hidrogeno, ya que para generar energía a través de estos sistemas se debe utilizar un sistema adicional para producir hidrolisis, pudiéndose utilizar energía nuclear o gas natural siendo necesarios como mínimo 35 kWh para producir 1 kg de hidrogeno gaseoso (Ellena & Chauveau).

Utilizando los datos máximos de costos de la Tabla 7, se realizará un análisis de costos respecto a costos de inversión y operación de todas las tecnologías tratadas en la sección 2. Tecnologías usadas para sistemas de respaldo energético, donde se tomará como referencia una potencia de 10 kVA:

- **Flywheel**

Alta potencia

$$\text{Costo de inversión} = P * \left(\frac{USD}{P} \right) = 10 * 10.000 = 100.000 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de operación} = P * \left(\frac{USD}{P} \right) = 10 * 0.000 = 90.000 \text{ USD}$$

Larga duración

$$\text{Costo de inversión} = P * \left(\frac{USD}{P} \right) = 10 * 10.000 = 100.000 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de operación} = P * \left(\frac{USD}{P} \right) = 10 * 6.000 = 60.000 \text{ USD}$$

- **Grupo Electrógeno**

$$\text{Costo de inversión} = P * \left(\frac{USD}{P} \right) = 10 * 1.300 = 13.000 \text{ USD}$$

El costo de operación dependerá de factores como el combustible por lo tanto es necesario calcular cuántos litros de combustible para este caso Diésel se necesitan para producir un kW de potencia.

Como primera medida, se debe extraer el poder calorífico del combustible de la Tabla 8 como se nombró anteriormente para el caso de estudio es el Diésel donde tenemos un poder calorífico de 138.000 BTU/GALON.

Tabla 8
Canasta energética en Colombia

Nombre	Und	Precio (COP)	Poder Calorifico	Precio Mbtu (COP)
CARBON MINERAL	\$/Kg	\$ 210	BTU/Kg (5) 24200	\$ 8.678
CRUDO DE CASTILLA (6)	\$/GALON	\$ 3.807	BTU/GALON 152000	\$ 25.046
CRUDO DE RUBIALES (6)	\$/GALON	\$ 3.428	BTU/GALON 152492	\$ 22.478
FUEL OIL CIB (6)	\$/GALON	\$ 4.070	BTU/GALON 150000	\$ 27.132
QUEROSENO	\$/GALON	\$ 6.157	BTU/GALON 134000	\$ 45.944
DIESEL (ACPM)	\$/GALON	\$ 8.115	BTU/GALON 138000	\$ 58.804
GASOLINA 87-93 OCT.	\$/GALON	\$ 8.834	BTU/GALON 115400	\$ 76.551

GAS NATURAL (4)	\$/M3	\$ 1.194	BTU/M3	35315	\$ 33.810
G.L.P.	\$/GALON	\$ 5.200	BTU/GALON	92000	\$ 56.522
ENERGIA ELECTRICA (3)	\$/KWh	\$ 370	BTU/KWh	3412	\$ 108.441

Adaptado de Gas y Energía SA

Teniendo el poder calorífico del Diesel, se procede a realizar la conversión donde 1 BTU equivale a 0.00029 kWh, por tanto la potencia que generan 138.000 BTU/GALON son 40.02 kWh/GALON, esto quiere decir que con un galón de Diesel se generan 40.02 kW, siendo necesario el costo de 1 kW se realiza una regla de 3 donde se obtiene que para generar 1 kW se necesitan 0.025 GALONES siendo el costo de este 203 pesos Colombianos multiplicándolo por las horas de funcionamiento y convirtiéndolo a dólares con la tasa representativa del mercado (TRM) tenemos aproximadamente:

$$\text{Costo de operación} = P * \left(\frac{USD}{kWh} \right) * \text{Horas de funcionamiento}$$

$$\text{Costo de operación} = 10 * 0.0603 * 730 = 440.2 \text{ USD}$$

- **UPS**

Baterías Plomo-Ácido

$$\text{Costo de inversión} = P * \left(\frac{USD}{P} \right) = 10 * 900 = 9.000 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de operación} = P * \left(\frac{USD}{P} \right) = 10 * 1.000 = 10.000 \text{ USD}$$

Baterías Níquel-Cadmio

$$\text{Costo de inversión} = P * \left(\frac{USD}{P} \right) = 10 * 1.400 = 14.000 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de operación} = P * \left(\frac{USD}{P} \right) = 10 * 1.000 = 10.000 \text{ USD}$$

Baterías Azufre

$$\text{Costo de inversión} = P * \left(\frac{USD}{P} \right) = 10 * 2.900 = 29.000 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de operación} = P * \left(\frac{USD}{P} \right) = 10 * 1.000 = 10.000 \text{ USD}$$

Baterías Ion-Litio

$$\text{Costo de inversión} = P * \left(\frac{USD}{P}\right) = 10 * 5.000 = 50.000 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de operación} = P * \left(\frac{USD}{P}\right) = 10 * 5.000 = 50.000 \text{ USD}$$

- **Supercondensadores**

Alta potencia

$$\text{Costo de inversión} = P * \left(\frac{USD}{P}\right) = 10 * 600 = 6.000 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de operación} = P * \left(\frac{USD}{P}\right) = 10 * 10.000 = 100.000 \text{ USD}$$

Larga duración

$$\text{Costo de inversión} = P * \left(\frac{USD}{P}\right) = 10 * 700 = 7.000 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de operación} = P * \left(\frac{USD}{P}\right) = 10 * 500 = 5.000 \text{ USD}$$

- **Celdas de hidrogeno**

$$\text{Costo de inversión} = P * \left(\frac{USD}{P}\right) = 10 * 3.500 = 35.000 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de operación} = P * \left(\frac{USD}{P}\right) = 10 * \text{Costo de produccion de hidrógeno}$$

- **Almacenamiento de energía magnética por superconductividad**

$$\text{Costo de inversión} = P * \left(\frac{USD}{P}\right) = 10 * 14.000 = 140.000 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de operación} = P * \left(\frac{USD}{P}\right) = 10 * 900 = 9.000 \text{ USD}$$

Es importante resaltar de la Tabla 7, Tabla 11 y el análisis de costos realizado, que las tecnologías más convenientes a la hora de respaldar largas interrupciones del suministro eléctrico son los grupos electrógenos y el UPS convencional en cuestiones operacionales, costos de inversión y mantenimiento. Los sistemas de alimentación ininterrumpida o UPS nos dan la

posibilidad de controlar la calidad de la energía que es suministrada a las cargas para así evitar daños en cargas que presenten una sensibilidad alta, los grupos electrógenos por su parte son la única tecnología de las anteriormente mencionadas que no requiere de un proceso de recarga, por lo tanto, ante una perturbación de larga duración son la opción más recomendable. Sin embargo, las demás tecnologías como los supercondensadores y volantes de inercia pueden ser una opción viable para el almacenamiento de energía en un UPS como remplazo al clásico banco de baterías, o tecnologías como el SMES mejorando la calidad de la energía en la instalación (IEEE Industry Applications Society, 1995).

El costo de operación de los grupos electrógenos dependerá de varios factores como el costo de combustible, el sistema de enfriamiento y evacuación de gases siendo esto gastos adicionales al costo de inversión de la máquina, en la Tabla 9 se muestra información acerca de grupos electrógenos de potencias entre 5 kW hasta los 2500 kW, cabina insonorizada (limita la cantidad de ruido producido por el grupo eléctrico), tanques de combustible y transformadores asociados a instalación y operación de este tipo de sistemas.

Tabla 9
Precios de equipos electrógenos y sus auxiliares puestos en Bogotá

Capacidad kW	Precio Equipos Bogotá (COP)		
	Grupo Eléctrico	Cabina Insonorizadora	Tanques de combustible
5	\$8.454.088	\$2.893.338	\$4.252.500
10	\$9.771.462	\$3.731.446	\$4.252.500
20	\$12.406.210	\$4.812.327	\$4.252.500
25	\$13.723.583	\$5.223.014	\$4.252.500
30	\$15.040.957	\$5.584.453	\$4.252.500
40	\$17.675.705	\$6.206.306	\$4.252.500
50	\$20.310.453	\$6.735.955	\$4.252.500
60	\$22.945.201	\$7.202.092	\$4.252.500
70	\$25.579.949	\$7.621.284	\$4.252.500

80	\$28.214.696	\$8.004.076	\$4.252.500
100	\$33.484.192	\$8.687.147	\$21.262.500
125	\$40.071.062	\$9.428.512	\$21.262.500
150	\$46.657.931	\$10.080.978	\$21.262.500
200	\$59.831.670	\$11.203.538	\$21.262.500
250	\$73.005.409	\$12.159.652	\$21.262.500
300	\$86.179.148	\$13.001.117	\$21.262.500
350	\$99.352.887	\$13.757.836	\$21.262.500
400	\$112.526.626	\$14.448.847	\$21.262.500
450	\$125.700.365	\$15.087.114	\$21.262.500
500	\$138.874.104	\$15.681.917	\$21.262.500
600	\$165.221.582	\$16.767.128	\$21.262.500
700	\$191.569.060	\$17.743.045	\$21.262.500
750	\$204.742.799	\$18.198.041	\$21.262.500
800	\$217.916.538	\$18.634.219	\$21.262.500
900	\$244.264.016	\$19.457.371	\$21.262.500
1000	\$270.611.494	\$20.224.471	\$42.525.000
1250	\$336.480.189	\$21.950.435	\$42.525.000
1500	\$402.348.884	\$23.469.436	\$42.525.000
1600	\$428.696.363	\$24.031.960	\$42.525.000
2000	\$534.086.275	\$26.082.858	\$42.525.000
2500	\$665.823.665	\$28.308.780	\$42.525.000

Adaptado de Comisión de Regulación de Energía y Gas (2013). Determinación De Inversiones Y Gastos De Administración, Operación Y Mantenimiento Para La Actividad De Generación En Zonas No Interconectadas Con Plantas Térmicas.

Por otro lado, el costo de mantenimiento preventivo de los sistemas UPS y su instalación varían desde los 300.000 hasta los 20'000.000 millones de pesos aproximadamente (Procuraduría general de la nación , 2016), sin importar cuál sea el costo en la mayoría de los casos resulta más económico el servicio de prevención de posibles fallas que los costos incurridos por la ausencia de tensión.

Los costos de inversión de un sistema de UPS se muestran en la Tabla 10 donde se brinda información de potencia, precio del equipo y el tipo de UPS bien sea interactiva u on-line.

Tabla 10

Precios de UPS APC según su nivel de potencia

UPS					
Potencia kVA	Costo Equipo (COP)	Tipo UPS	Potencia kVA	Costo Equipo (COP)	Tipo UPS
0.5	287.167	Interactiva	10	6.829.758	On-Line
	101.000			15.855.267	
	119.000			53.942.200	
0.5	88.437	On-Line	12	29.969.000	On-Line
	287.167			20.200.000	
	119.000			29.529.500	
0.65	109.500	Interactiva	15	16.611.295	On-Line
	129.900			31.392.000	
	109.980			29.081.000	
0.75	129.000	Interactiva	20	17.535.042	On-Line
	116.262			33.826.422	
	403.000			50.490.000	
0.85	115.000	Interactiva	30	22.530.249	On-Line
	211.000			44.915.850	
	1.119.258			16.094.000	
1	1.472.562	On-Line	40	30.110.409	On-Line
	1.229.880			71.225.100	
	1.799.523			114.000.000	
2	3.386.000	On-Line	50	36.085.707	On-Line
	1.460.000			33.417.000	
	1.015.952			41.265.483	
3	3.017.800	On-Line	60	39.009.201	On-Line
	2.336.000			83.892.067	
	3.891.600			50.337.000	
4	1.645.470	On-Line	80	58.106.664	On-Line
	10.305.200			69.681.213	
	11.670.00			60.912.000	
5	4.268.070	On-Line	100	93.565.626	On-Line
	7.892.855			80.370.000	
	12.040.000				
6	11.670.000	On-Line	120		

Adaptado de APC by Schneider Electric. Catálogos UPS

2.8 Comparativo de las tecnologías utilizadas como sistemas de respaldo

Con el fin de dar una mirada más general de cada uno de los sistemas de almacenamiento utilizados como respaldo, en la *Figura 31* se muestra en el eje Y los tiempos de descarga de las diferentes tecnologías mientras que en el eje X se representan las diferentes funciones que tendrían las distintas tecnologías en la red eléctrica y en la parte inferior del eje cuál es la potencia de los distintos sistemas de almacenamiento.

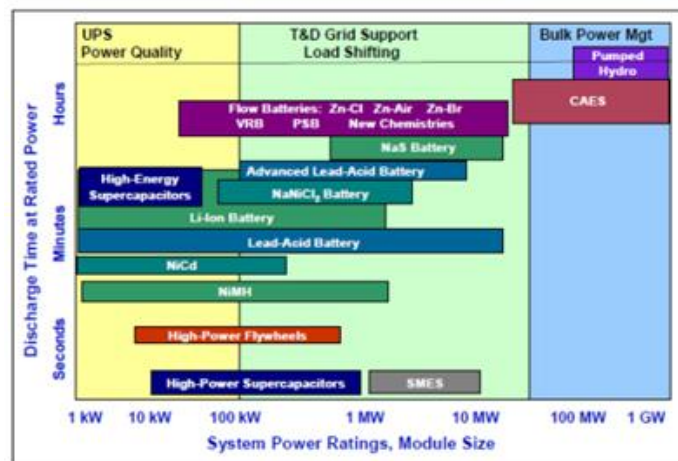


Figura 31. Características y funciones de las tecnologías de almacenamiento de energía. Adaptado de Zhu, J., Zhang, H., Yuan, W., Zhang, M., & Lai, X. (2013). Design and cost estimation of superconducting magnetic energy storage (SMES) systems for power grids. Vancouver: IEEE.

En base de los conceptos básicos necesarios para la correcta selección y dimensionamiento de un sistema de respaldo, se presenta la Tabla 11 en la cual se realiza un comparativo de las tecnologías ya nombradas, teniendo en cuenta la potencia de almacenamiento, vida útil del equipo.

Tabla 11

Comparativo tecnologías de sistemas de respaldo

Tipo de tecnología	Rango de potencia [kW]	Tiempo de respaldo	Vida útil [Años]	Costo [1-5]	Ventajas	Inconvenientes
Almacenador cinético de energía flywheel	100-100.000	Segundos	20	2	Elevada potencia	Baja capacidad, baja densidad de energía
Grupos electrógenos*	2-20.000	Horas	10-30	4	Elevada potencia, alta densidad de energía, larga duración	Costo elevado, nivel de contaminación elevado
UPS Convencional	0.6-800	Horas	4-5	3	Capacidad media, alta densidad de energía, alto rendimiento	Costo medio, corta vida útil, nivel de contaminación elevado
UPS flywheel	80-900	Segundos	20	2	Elevada potencia	Costo medio, tiempo de respaldo reducido
Supercondensadores	1-1.000	Minutos	15-20	3	Larga duración, alto rendimiento	Baja densidad de energía
Celdas de hidrogeno	0.005-100	-	6-10	2	Potencia media, alta capacidad, alta eficiencia	Baja densidad de energía, desafíos en la producción
Almacenamiento de energía magnética por superconductividad	10.000 - 100.000	Segundos	-	5	Alto rendimiento, alta densidad de energía	Coste elevado

Nota. * Tomando como referencia los grupos electrógenos de la marca Cat que tienen como combustible el Diesel. ** El nivel de contaminación varía dependiendo de la composición de la batería.

2.9 Circuitos de Suplencia

Una opción muy utilizada para respaldar una instalación es tener 2 circuitos de alimentación para las cargas, el segundo circuito entra en funcionamiento si hay una falla en la red principal, estos están conectados entre sí por un interruptor de transferencia automática, El uso de servicios de utilidad múltiple es económicamente viable cuando el operador de red local puede proporcionar dos o más conexiones de servicio a través de líneas separadas y de puntos de suministro separados que no se afecten conjuntamente por fallas del sistema, tormentas u otros peligros. Tiene la ventaja de una transferencia relativamente rápida, ya que no hay un retraso de 5 a 10 segundos, como ocurre al iniciar un grupo electrógeno. (Figura 32)

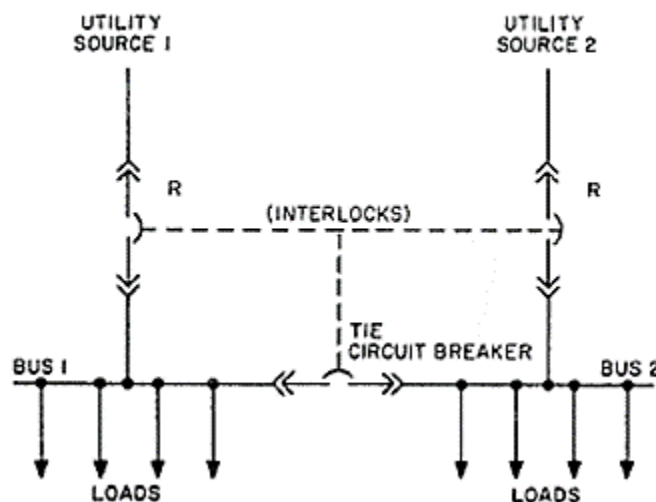


Figura 32. Esquema de una instalación con circuito de suplencia. Adaptado de IEEE Industry Applications Society. (1995). IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications.

Es conveniente ubicar los dispositivos de transferencia cerca de la carga y tener el

funcionamiento de estos independientes de la protección contra sobrecorriente. Se pueden usar múltiples dispositivos de transferencia de menor capacidad de corriente en varios puntos lugar de un dispositivo de transferencia único para toda la carga.

La confiabilidad de estos sistemas puede mejorarse agregando un grupo electrógeno en Stand-By capaz de suministrar la carga más crítica. El esquema de esta configuración es mostrado en la *Figura 33*:

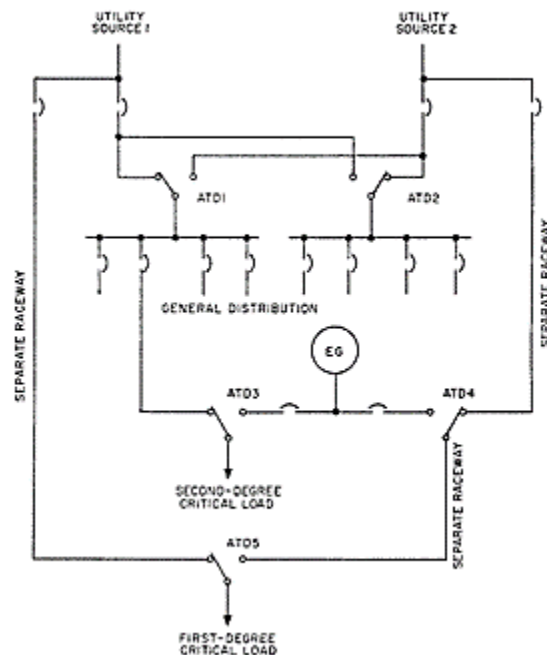


Figura 33. Circuito de suplencia acoplado a grupo electrógeno. Adaptado de IEEE Industry Applications Society. (1995). IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications.

2.10 Dispositivos de Transferencia

Los interruptores automáticos de transferencia son componentes críticos de cualquier sistema de energía de emergencia o de reserva. Los interruptores de transferencia son conjuntos confiables,

resistentes, versátiles y compactos para transferir cargas esenciales y sistemas de distribución eléctrica de una fuente de energía a otra.

Los interruptores de transferencia se diferencian de otros equipos de emergencia en que monitorean continuamente la red y aseguran el suministro ininterrumpido de energía a las cargas críticas. Generalmente los interruptores de transferencia están calificados para la transferencia total del sistema y, por lo tanto, son adecuados para control de servicio de motores, lámparas de descarga eléctrica, lámparas de filamento de tungsteno y calefacción eléctrica. Existen casos en los que los interruptores de transferencia están limitados a cargas específicas, como cargas resistivas. Por estas razones, se debe realizar la clasificación de las cargas antes seleccionar los interruptores de transferencia. Los dispositivos de transferencia usualmente se presentan de la siguiente forma:

- Interruptores de transferencia automática: están disponibles en clasificaciones de 30 a 4000 A, a 600 V.
- Disyuntores automáticos: normalmente se encuentran en presentaciones de dos o más disyuntores que están Interbloqueados mecánica o eléctricamente, o ambos, con una clasificación de 600 a 3000 A, a 15 kV.
- Interruptores de transferencia manual: disponibles en clasificaciones actuales de 30 a 200 A. a 600 V.

Los dispositivos de transferencia cuentan con características y accesorios que dependen de la forma del dispositivo y pueden incluir monitores de voltaje, interruptores de prueba para simular una falla de energía y proporcionar una prueba periódica de mantenimiento.

Los dispositivos de transferencia automática deben incluir un circuito para iniciar el arranque y

la parada de los conjuntos motor-generator dependiendo de la disponibilidad de la red eléctrica, este está compuesto por un relé de retardo de tiempo, generalmente ajustable de 0 a 6 s, que se usa para anular interrupciones momentáneas e iniciar el arranque del motor y la transferencia de potencia si se produce la interrupción del servicio o la tensión (IEEE Industry Applications Society, 1995).

3. Dimensionamiento de un sistema de respaldo para instalaciones eléctricas de uso final

En Colombia, el dimensionamiento de un sistema de respaldo se realiza considerando los criterios establecidos en el RETIE versión 2013 y la NTC 2050 tal como se mencionó en las secciones 1.1 y 1.2. Los principales elementos a considerar se resaltan a continuación:

3.1 Clasificación de las cargas

Los sistemas de respaldo deberán alimentar como mínimo a las cargas presentadas en el artículo 28.3.3 b) del RETIE en su versión 2013. A elección del usuario, la planta podrá alimentar otras cargas que no requieran respaldo eléctrico siendo este caso una planta de emergencia no obligatoria.

Las cargas a las que alimenta un sistema de respaldo de energía eléctrica además de las cargas obligatorias se pueden clasificar en dos grandes grupos, siendo el primero cargas sensibles y el segundo cargas críticas.

- Cargas Sensibles, este tipo de carga, requiere un suministro eléctrico de alta calidad, libre de variaciones de tensión o frecuencia.

- Cargas Críticas, son cargas que al dejar de funcionar ponen en peligro la vida humana, seguridad, mal funcionamiento y ocasionar grandes pérdidas económicas.

Esta clasificación de cargas está ligado al tipo de instalación al cual se quiera aplicar, ya que una instalación de tipo residencial o comercial se tendrá en cuenta las cargas de alumbrado, fuerza y cargas adicionales dependiendo del proyecto, pero si se tiene en cuenta una instalación del tipo industrial es muy importante el equilibrio que se deba tener en el costo de inversión, el costo de rendimiento y los problemas que puedan ocurrir en las cargas al tener un fallo o perturbación en la red que las alimenta. Por esto es necesario preguntarse ¿Existe una cláusula salarial garantizada en el contrato laboral?, ¿Quién está esperando el producto?, ¿Cuál es el costo del producto estropeado en proceso?, ¿Cuál es el costo de los daños consecuentes?, razón por la cual, para la instalación de tipo industrial se debe realizar un análisis de pérdidas por concepto de un corte en el suministro eléctrico.

Una estimación aproximada del costo directo de una falla de energía desde un punto de vista de flujo de efectivo se puede calcular con la aplicación de las ecuaciones (4), (5), (6) y (7) (IEEE Industry Applications Society, 1995):

$$\text{Total de pérdidas en un tiempo de falta de suministro} = E + H + I \quad (4)$$

$$E = A \times D (1.5B + C) \quad (5)$$

$$H = F \times G \quad (6)$$

$$I = J \times K (B + C) + L \times G \quad (7)$$

Donde:

A= Número de empleados productivos afectados.

B= Tasa base por hora de empleados afectados (en dólares).

C= Costo horario adicional y por hora por empleado afectado (en dólares)

D= Duración de la interrupción en la alimentación (en horas)

E = Costo de la mano de obra para los empleados afectados (en dólares)

F= Unidades de material de desecho debido a un corte de energía

G= Costo por unidad de material de desecho debido a una falla eléctrica (en dólares)

H= Material estropeado debido a un corte de energía (en dólares).

I= Costos de arranque en frio (en dólares).

J= Tiempo de inicio (en horas)

K= Número de empleados en jornada.

L= Unidades de pedazos de material debido al arranque.

Al aplicar este caso de análisis, se podrá tener un estimativo el cual justificará o no la inversión para un tipo de sistema de respaldo dentro de una instalación del tipo industrial.

Desde el punto de vista eléctrico, las cargas se clasifican dependiendo del comportamiento de la corriente en el tiempo, y estas se clasifican como cargas lineales o no lineales y se distribuyen así:

Inductiva, carga en la cual la forma de onda de la corriente se encuentra atrasada con respecto a la forma de onda de la tensión, presentan una corriente de arranque elevada.

Capacitiva, carga en la cual la forma de onda de la corriente se encuentra adelantada con respecto a la forma de onda de la tensión, presentan una corriente de arranque elevada.

Resistiva, carga que no presenta ningún desfase.

3.2 Tipos de perturbaciones en instalaciones eléctricas

Las perturbaciones en un sistema eléctrico pueden ser perjudiciales para un proceso o función dependiendo del tipo y la duración de esta (IEEE Industry Applications Society, 1995):

- Transitorios.
- Hundimientos de tensión (sags)
- Variaciones de corta duración.
- Variaciones rms de larga duración.
- Desequilibrio.
- Distorsión de la forma de onda.
- Fluctuaciones de voltaje.
- Variaciones de frecuencia de potencia.

En cuanto a las perturbaciones más comunes presentadas en las instalaciones eléctricas y que se deben tener especial cuidado en su tratamiento son (IEEE Power & Energy Society, 2009):

- Caídas de tensión: son disminuciones de breve duración en los niveles de tensión, producidas normalmente por arranques y paradas de equipos de alto consumo, causando cierres anormales en el software de control o mantenimiento de datos.

- Hundimientos de tensión (sags): un hueco de tensión se produce por una reducción repentina en un punto del sistema eléctrico, se producen principalmente por cortocircuitos y la influencia en esta perturbación radican en factores como impedancia, localización de la falla entre otras (Ariaz

Guzman, y otros, 2017).

- **Sobretensiones:** son fluctuaciones de tensión típicamente de 1/120 de segundo, producidas por conexión y desconexión de grandes cargas de la red de alimentación local (*Figura 34*). Las consecuencias por este tipo de falla son la destrucción total o parcial de los equipos.

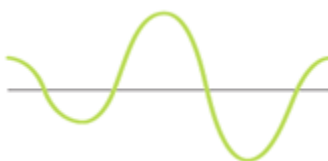


Figura 34. Sobretensiones. Adaptado de Legrand Group España. (2013). Sistema de alimentación ininterrumpida UPS. Torrejón de Ardoz.

- **Picos:** son fallas de duración menor a 1 milisegundo y consisten en valores de tensión que superan varias veces el valor nominal, al superar este umbral se pueden presentar daños en los equipos.

- **Transitorios:** son generadas por las perturbaciones o variaciones atmosféricas, variaciones de la carga, generadores de corriente, emisiones electromagnéticas e instalaciones industriales las formas de onda más comunes de estos fenómenos se presentan en la *Figura 35* y *Figura 36*.

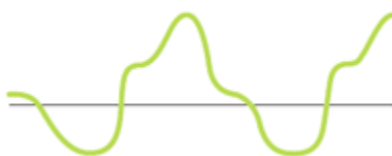


Figura 35. Corrientes parasitas y armónicas. Adaptado de Legrand Group España. (2013). Sistema de alimentación ininterrumpida UPS. Torrejón de Ardoz.

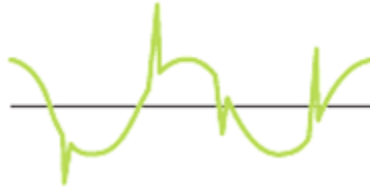


Figura 36. Spike (transitorio de tensión). Adaptado de Legrand Group España. (2013). Sistema de alimentación ininterrumpida UPS. Torrejón de Ardoz.

- Interrupciones (cortes de red): Son de las fallas más comunes que pueden presentarse en la red comercial, suelen considerarse como cortes de red si el fallo supera más de 10 milisegundos, el corte de red se puede observar en la *Figura 37*. Puede ser ocasionado por una demanda excesiva de la energía eléctrica.



Figura 37. Apagón eléctrico. Adaptado de Legrand Group España. (2013). Sistema de alimentación ininterrumpida UPS. Torrejón de Ardoz.

- Ruido EMI/RFI: el ruido de interferencia electromagnética y radiofrecuencia altera la onda senoidal, suministrada por la red de alimentación (*Figura 38*). Este tipo de falla se presenta generalmente a causa de fenómenos atmosféricos, variación de cargas, los generadores, transmisiones de radio y aparatos industriales.

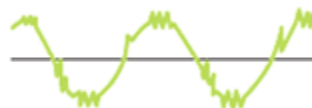


Figura 38. Ruido EMI/RFI. Adaptado de Legrand Group España. (2013). Sistema de alimentación ininterrumpida UPS. Torrejón de Ardoz.

3.3 Proceso de selección de sistema de UPS

Actualmente existen un gran número de tecnologías de UPS, por lo tanto, es de vital importancia que este se seleccione de forma adecuada. La selección debe tener en cuenta aspectos tales como el tipo y potencia de las cargas, además de la protección escogida para estas. La selección específica de un tipo de UPS dependerá del entorno, el tiempo de respaldo y la respuesta de la UPS al tipo de falla (*Figura 39*).

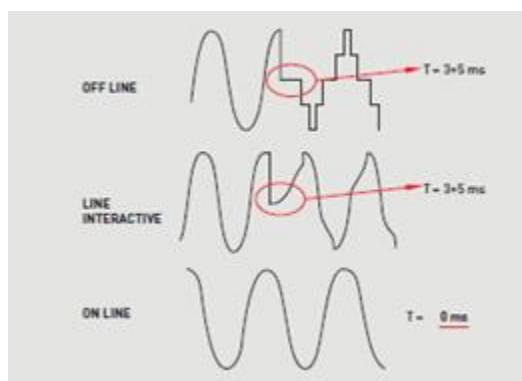


Figura 39. Tensión de salida. Adaptado de Legrand Group España. (2013). Sistema de alimentación ininterrumpida UPS. Torrejón de Ardoz.

Es importante conocer el grado de protección que se le va a brindar a las cargas de la instalación, para con ello seleccionar el tipo de UPS que se acomode mejor a las necesidades del usuario.

3.3.1 Grado de protección UPS. Esta selección partirá de analizar el ambiente de trabajo en el cual se va a instalar, luego realizar un estudio de los tipos de falla más típicos que se presentan en la zona de la instalación y dependiendo de ello realizar un análisis tanto económico como eléctrico del nivel de protección que se le quiere dar a la instalación. En la Tabla 12 se presenta el nivel de protección según el tipo de tecnología del UPS.

Tabla 12
Protección según el tipo de UPS

Nivel Protección UPS	Off-Line	Line Interactive	On-Line
Básico	☐	☐	☐
Medio	-	☐	☐
Alto	-	-	☐

Adaptado de Catalán Cantillo, C. A., & Escalante Lemus, F. L. (2008). Equipos para soporte de energía (UPS y banco de baterías) de la sede principal Universidad Industrial de Santander, inventario, caracterización, selección y protocolo de mantenimiento preventivo y correctivo. Universidad Industrial de Santander, Ingenierías Físico-Mecánicas, Bucaramanga.

3.3.2 Consumo de la Carga. Uno de los principales parámetros a conocer es el consumo de la carga, ya que de este dependerá la potencia de dimensionamiento de la UPS a utilizar, la cual debe ser capaz de alimentar y mantener la energía en la carga. La forma más común de determinar la potencia de la carga es a través de catálogos de los productos a proporcionar energía, si estos productos no tuvieran ningún tipo de información se deberían realizar pruebas que permitan obtener la potencia aparente de la carga.

Ejemplo 1. Se desea implementar una UPS para una instalación del tipo comercial con la cual se quiere alimentar una central telefónica con la siguiente información:

3 unidades de computadores, 120 [V], 2 [A], 720 [VA]

1 modem, 120 [V], 0.2 [A], 24 [VA]

1 central telefónica, 120 [V], 3 [A], 360 [VA]

Con estos datos se calcula la potencia aparente de las cargas de la siguiente manera:

$$S_{\text{Computadores}} = V * I = 120 * 2 = 240 \text{ VA}$$

$$S_{\text{Módem}} = V * I = 120 * 0.2 = 24 \text{ VA}$$

$$S_{\text{central telefónica}} = V * I = 120 * 3 = 360 \text{ VA}$$

Conociendo los valores de las potencias aparentes se procede a sumar $S_{\text{Computadores}}$ con $S_{\text{Módem}}$ y $S_{\text{Central telefónica}}$ con el fin de obtener la potencia aparente de la instalación a realizar para luego multiplicarlo por el 70% que sería el valor de operación a condiciones normales ya que esta suma correspondería a los equipos trabajando a máxima potencia.

$$S = S_{\text{Computadores}} + S_{\text{Módem}} + S_{\text{Central telefónica}} = 1104 \text{ [VA]}$$

$$S = 1104 \text{ [VA]} * 0,7 = 772,8$$

Luego se procede a aplicar un margen del crecimiento futuro correspondiente al 25% del valor total obteniendo el consumo global.

$$S_{\text{total}} = S * 1,25 = 966 \text{ [VA]}$$

La potencia aparente total es de 966 [VA] ahora hay que llevar este resultado al valor comercial de la UPS siendo este de 1 [kVA], y teniendo en cuenta el tipo de instalación, debería considerarse la adquisición de una UPS de doble conversión.

En la actualidad el desarrollo de las tecnologías UPS se ha visto afectado debido a que las cargas instaladas día a día son más grandes y las regulaciones más exigentes, por lo tanto, estas tecnologías han evolucionado para suplir estas necesidades en las instalaciones actuales, teniendo que conformar nuevos UPS con tecnologías más avanzadas siendo el caso de los UPS Flywheel el cual se puede combinar con una UPS convencional dando mucha mayor confiabilidad al usuario.

3.3.3 UPS Flywheel. Como ya se habló anteriormente se basa en el principio de

almacenamiento de energía cinética en forma de masa rotatoria la cual funciona como una batería dinámica que almacena energía al girar una masa alrededor de un eje. Este tipo de tecnología basa su composición en un motor de alta velocidad, alta densidad de potencia y funcionamiento a alta temperatura, cojinetes magnéticos activos que se utilizan para sostener el rotor y reducir el rozamiento durante la operación y un sistema de monitoreo inteligente para datos en tiempo real, sistema de advertencias avanzado y comunicaciones remotas (*Figura 40*). Su funcionamiento brinda una importante característica para este tipo de tecnologías, siendo esta su alta capacidad de carga y descarga a altas velocidades durante innumerables ciclos, proporcionando un funcionamiento muy superior al uso de baterías.

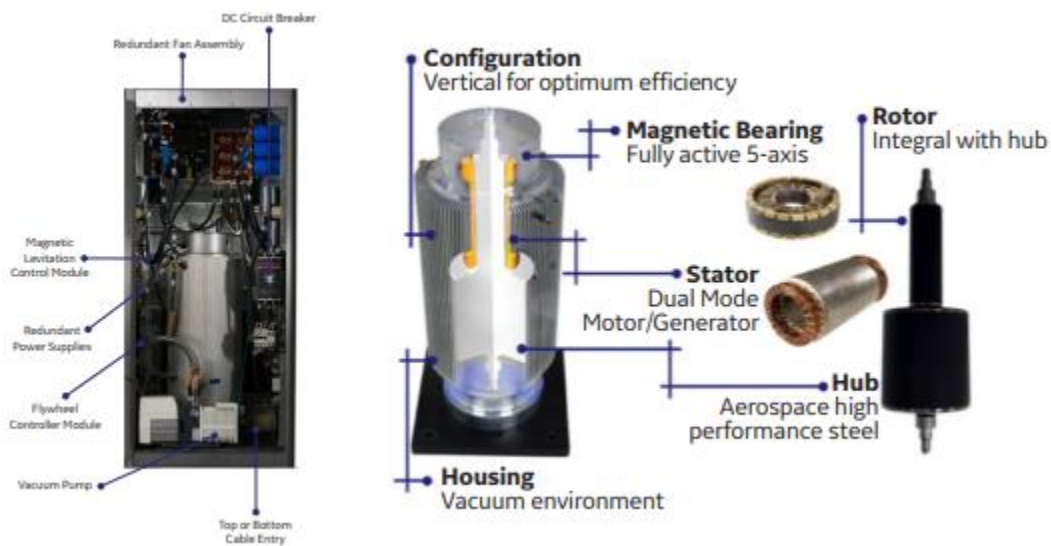


Figura 40. Partes de UPS Flywheel. Adaptado de GE Industrial Solutions. (2016). Flywheel UPS systems, 50-1000kVA using TLE or SG series UPS. Plano.

La energía producida por el volante de inercia es proporcional a su masa y velocidad al cuadrado, por lo tanto, al duplicar la masa la capacidad de energía se duplicará, pero si se duplica la velocidad de rotación la capacidad de energía se cuadruplicará, dando importantes ventajas frente a otras tecnologías.

Debido a la dependencia del movimiento (rotación) las UPS flywheel, no puede de ninguna manera suministrar tiempos de respaldo prolongados, siendo de forma general el tiempo que puede soportar cargas conectadas a el de 10 a 30 segundos, siendo este tiempo suficiente según el RETIE para que la unidad generadora entre en funcionamiento.

Un sistema de respaldo con UPS Flywheel está compuesto principalmente de una unidad generadora de energía (grupo electrógeno), UPS que consta de un rectificador y un inversor y un sistema de generación flywheel el cual puede ser del tipo sin batería o con batería de respaldo (Figura 41).

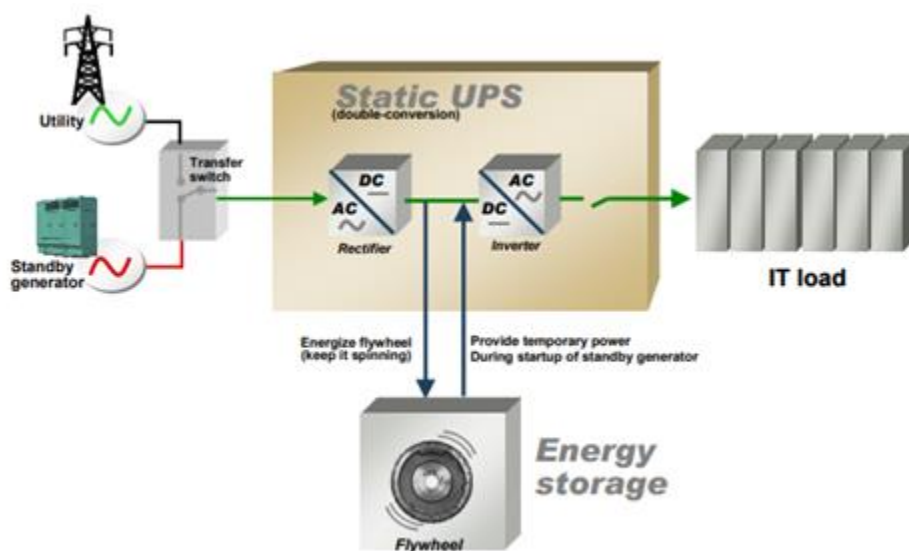


Figura 41. Sistema de respaldo UPS Flywheel-Generador. Adaptado de Schneider Electric. (2011). Comparison of static and rotary UPS. Data center science center.

3.3.3.1 Funcionamiento. El funcionamiento del sistema de respaldo Generador-UPS Flywheel viene dado por:

- En una operación sin fallas se suministra energía de la red al sistema a través del interruptor de transferencia, el cual proporciona energía al rectificador que a su vez pone en movimiento el

motor del sistema al cual está conectado el volante de inercia y deja pasar energía a la carga a través del inversor.

- Al estar alimentado el motor, este empieza a almacenar energía a través de la inercia del volante estando disponible en el momento de la falla.
- En el instante que ocurra una anomalía en el suministro de red, el rectificador se desenergiza momentáneamente mientras el grupo electrógeno entra en funcionamiento, mientras esto sucede el volante de inercia suplir la energía que se suministraba la empresa prestadora del servicio, alimentando la carga conectada al sistema de respaldo.
- La autonomía del sistema dependerá si es del tipo UPS Flywheel sin batería o UPS Flywheel con batería:
 - UPS Flywheel sin batería. El tiempo de autonomía de este tipo de UPS dependerá de la energía cinética que se almaceno en el volante de inercia siendo comúnmente de 10 a 30 segundos.
 - UPS Flywheel con batería. La autonomía dependerá de la misma manera que del tipo sin batería, pero adicionalmente se podrá extender este tiempo con un banco de baterías que funcionará en conjunto con el sistema flywheel, aumentando el tiempo de respaldo de la falla.
 - El UPS Flywheel suplirá las cargas para fallas de corta duración mientras el grupo electrógeno entra en funcionamiento en el tiempo estandarizado supliendo cualquier tipo de falla de media y larga duración.
 - Cuando se restablece la energía, se sacará de funcionamiento el grupo electrógeno cambiando de posición el interruptor volviendo a su operación normal.

Ventajas. Son muchas las ventajas de los sistemas UPS Flywheel, las cuales hacen que sean muy atractivos al momento de realizar una inversión en un sistema de respaldo, entre las más

importantes tenemos:

- Bajo costo total de la propiedad.
- Alta eficiencia.
- Funcionan a temperaturas elevadas.
- Costos de mantenimiento mínimos.
- Fácil instalación.

Aplicaciones. Al ser una tecnología que presenta una vida útil muy amplia, poco mantenimiento, así como sus rápidos ciclos de carga/descarga, es una gran opción al momento de elegir un sistema de respaldo, la mayor cantidad de aplicaciones de los UPS Flywheel son en:

- Centros de datos.
- Centros médicos.
- Sistemas de transmisión.
- Transporte.
- Procesos industriales.
- 20 años de vida útil.

UPS Flywheel vs UPS convencional. Desde el punto de vista económico, una UPS convencional puede ser mucho más económica su adquisición, pero adicionalmente esta tendrá costos suplementarios y continuos además de ello costos relacionados con:

- Sala de temperatura controlada.
- Sistemas de contención de derrames.
- Sistemas de monitoreo independiente.

- Costos de eliminación de residuos peligrosos.
- Remplazo ocasional de baterías.

Siendo bajo el costo de adquisición el de una UPS convencional pero poco a poco aumentara el valor de la inversión debido a costos adicionales de mantenimiento, un sistema UPS Flywheel tiene muchas ventajas respecto a todo esto, debido a que si se cuenta con un UPS Flywheel sin batería no tendrá costos adicionales aparte de la inversión del sistema, mientras que si es de una UPS Flywheel con batería prolongara la vida útil de las baterías ya que cierta cantidad de energía la suplirá el volante de inercia y luego de agotarse esta energía almacenada entraran en funcionamiento las baterías limitando su uso, en la Tabla 13 se presenta una comparación de ciertas características generales de un UPS convencional vs UPS flywheel.

Tabla 13
Comparación Flywheel vs Banco baterías

Categoría	Flywheel	Bancos de baterías
Mantenimiento	Mínimo (Anual)	Frecuente (Trimestral)
Costos de climatización	Ninguno	Alto
MTBF	>50.000 Hrs	>2.000 Hrs
Vida útil	20 años	4-5 años (VRLA)
Costo de instalación	Bajo	Medio-Alto
Materiales peligrosos	Ninguno	Dependiendo el tipo
Emisiones toxicas	Ninguna	Hidrogeno
Diagnóstico y monitoreo	Preciso	Especulativo
Requisitos de eliminación	Ninguno	Si
Riesgos de incendio	Ninguno	Frecuente

Adaptado de GE Industrial Solutions. (2016). Flywheel UPS systems, 50-1000kVA using TLE or SG series UPS. Plano.

3.3.4 Autonomía del UPS Convencional. El tiempo de autonomía se refiere a la cantidad de tiempo durante el cual la unidad de UPS va a poder alimentar los equipos conectados ante una falla en el suministro. Un parámetro de gran importancia al elegir un tipo de UPS es la autonomía de este, la cual dependerá directamente de la cantidad de equipos conectados como del banco de baterías, Amperes/hora suministrados por las baterías los cuales determinaran el tiempo de respaldo, el cual debe ser suficiente para mantener el suministro constante permitiendo el correcto funcionamiento de las cargas conectadas a él, cuanto mayor sea la cantidad de equipos conectados al sistema UPS menor será la autonomía de este.

Una forma de calcular este tiempo de autonomía de una UPS con baterías se presenta a continuación en la ecuación (8):

$$tiempo_{UPS} = \frac{N*V*Ah*Eff}{S} * 60 \quad (8)$$

Donde:

N = Número de baterías en el SAI.

V = Voltaje de las baterías.

Ah = Amperios-hora de las baterías.

Eff = Eficiencia del SAI.

S = Potencia aparente del SAI.

Ejemplo 2. Calcular el tiempo de autonomía del SAI con los siguientes datos:

N = 2, V = 12, Ah = 12, Eff = 0.96 y S = 1500

$$tiempo_{UPS} = \frac{2*12*12*0.96}{1500} * 60 = 11.06 \text{ minutos}$$

Para obtener un sistema de respaldo de alimentación continua, y por lo tanto correctamente dimensionada para la carga a proteger, es necesario conocer y tener bien claros los diferentes aspectos, en la *Figura 42* se muestra un sistema de respaldo en el cual se utiliza en conjunto un generador y las UPS siendo esta la responsable de suplir las cargas de corta duración mientras que el generador respalda las cargas bajo fallas de larga duración.

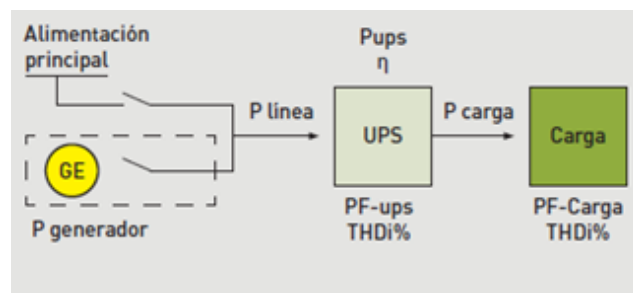


Figura 42. Sistema de respaldo. Adaptado de Legrand Group España. (2013). Sistema de alimentación ininterrumpida UPS. Torrejón de Ardoz.

3.3.5 Proceso de selección. De acuerdo con lo ya analizado se procederá a realizar el procedimiento de la selección del UPS, tomando como base la aplicación, capacidad, grado de protección, consumo de la carga y la autonomía de esta.

a) Revisar el tipo de aplicación dependiendo del rango de potencia.

- Sistemas de información y comunicación, 300VA a 3kVA.
- Sistemas de telecomunicaciones, redes de internet, de datos y voz 3kVA a 80kVA, adicionalmente pueden soportar redes trifásicas con sistemas adicionales que garanticen la mitigación de armónicos.
- Comercial, industrial y en el campo de la medicina 10kVA a 800kVA.

En este primer paso se realiza una estimación del tipo de UPS según la capacidad y aplicación, pero sería muy precipitado sacar conclusiones.

b) Reconocer los parámetros de alimentación de la instalación tales como numero de fases, valores de tensión y frecuencia de la red eléctrica, así como los parámetros de alimentación de salida correspondiente con el número de fases, valores de tensión y frecuencia de la línea de salida del UPS los cuales deben ser compatibles con las cargas que se deben alimentar y proteger.

c) Realizar un estudio de los tipos de fallas que se presentan en el sector de la instalación tales como caídas de tensión, sobretensiones, picos, parásitos y transitorios, cortes de red, ruido EMI/RFI además de ello la frecuencia con la que se manifiestan este tipo de fallos. Realizado el estudio se determina el grado de protección que se desee según la Tabla 12.

d) Seguidamente se calculará el consumo de la carga de la siguiente manera:

- Obtener los datos de potencia aparente de los datos de placa del equipo al 70%, en caso de no tenerlos, se medirá el consumo de corriente de cada equipo a una tensión de entrada determinado para con ello calcular la potencia aparente.

$$S = V[V_{rms}] * I[A_{rms}] \quad (9)$$

- Se realiza la suma de potencia aparente de los equipos a conectar en el UPS para tener el total de la potencia requerida.

$$S_{total} = (S_{equipo1} + S_{equipo2} + \dots + S_{equipo n}) * 70\% \quad (10)$$

- Considerando la ampliación futura de las instalaciones o los equipos conectados al UPS se sobredimensiona un 25% del valor total.

$$S = S_{total} * 0.25\% + S_{total} \quad (11)$$

- Realizado este procedimiento se obtendrá el valor de potencia necesaria para alimentar la carga.

e) El último paso, pero no menos importante es seleccionar la autonomía del UPS, del cual dependerá el tiempo de respaldo que tendrá el sistema de alimentación ininterrumpido (SAI) en

ausencia del suministro eléctrico. Este se calcula con la ecuación (8).

En caso de no conocer esta información de las baterías que conforman el UPS se procederá a seleccionarlo de los catálogos de fabricantes.

3.4 Proceso de selección de grupos electrógenos

Para seleccionar e instalar un sistema electrógeno según la normativa colombiana, se deben tener en cuenta una serie de aspectos, estos serán nombrados a continuación.

3.4.1 Obligatoriedad de una planta de emergencia. Las plantas de emergencia o grupos electrógenos deben ser instalados en lugares donde sea necesaria iluminación artificial para el correcto uso de vías de escape seguras ante emergencias o para controlar situaciones de pánico en instalaciones que alberguen una cantidad grande de personas.

En la sección 700, numeral 1.12.4 de la NTC 2050, se definen las instalaciones en las que es obligatorio el uso de plantas de emergencia, y son los que contengan cualquiera de las siguientes cargas:

- Bombas de desagüe
- Ascensores
- Comunicación y alarmas de seguridad.
- Equipos hospitalarios y clínicas
- Sistemas de detección y bombas de incendio
- Iluminación de zonas de evacuación en edificaciones
- Sistemas de ventilación y extracción de humo

- Aquella cuya interrupción puede producir serios riesgos de salud y seguridad personal o pueden ocasionar peligro o dificultar operaciones de extinción de incendios y de rescate

3.4.2 Cargas en una planta de emergencia. Todas las cargas consideradas obligatorias nombradas anteriormente, deben alimentarse desde una planta de emergencia, luego de cubrir estas cargas por regla establecidas, el usuario está en la libertad o no, de incluir otro tipo de carga: calefacción, refrigeración, procesamiento de datos, procesos industriales, almacenamiento de datos, etc.

Si la instalación no cuenta con ninguna carga obligatoria, a elección del usuario se puede dimensionar una planta de emergencia, en cuyo caso la carga de esta planta no sería obligatoria.

3.4.3 Transferencias de carga. Si hay por lo menos una carga obligatoria, el sistema de emergencia debe contar con un conmutador de transferencia automática, con enclavamiento mecánico y eléctrico, cuyo tiempo máximo de acción debe ser de 10 segundos (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

Únicamente en el caso en que la carga eléctrica de la planta no sea obligatoria, es posible el uso de un conmutador de transferencia manual, este también debe contar con enclavamiento eléctrico y mecánico. Si la carga no es obligatoria, se puede instalar a elección del interesado, un conmutador de transferencia automática en cuyo caso el tiempo de transferencia es definido por el usuario.

Según la NTC 2050 sección 700-6, 701-7, se debe diseñar el equipo de transferencia para prevenir la interconexión accidental entre la fuente de emergencia y la red eléctrica, en cualquier operación que este equipo de transferencia realice.

3.4.4 Entrada de cargas en plantas de emergencia. Como se ha mencionado anteriormente, las cargas obligatorias deben entrar en servicio simultáneamente y en un tiempo máximo de 10 segundos. El interesado está en la libertad de incluir más cargas en el arranque si este lo considera necesario.

Pueden existir cargas que entren pasados los 10 segundos del arranque de la planta de emergencia, en este caso en el diseño de la planta se debe incluir el dispositivo que realizara esta función y el tiempo de retardo mínimo entre las cargas obligatorias y las cargas adicionales.

3.4.5 Disposiciones adicionales. Luego de instalado el sistema de emergencia y cualquiera sea la configuración escogida, este será suministrado, operado y mantenido por parte del usuario, este a su vez tiene el deber de informar al operador de red sobre la instalación de la planta para su revisión y aprobación reglamentaria.

Como objetivo principal al hacer uso de una planta de emergencia, se debe garantizar una operación segura tanto para la red de distribución del operador de red como para la instalación eléctrica del usuario, por este motivo los equipos de transferencia deben ser diseñados para prevenir la interconexión simultánea accidental de la red eléctrica y la planta de emergencia. El usuario será responsable ante el operador de red y la ley colombiana por cualquier daño causado por este motivo.

Las condiciones inusuales de altitud, temperatura ambiente o ventilación pueden requerir un generador más grande para mantener bajas las temperaturas del bobinado o un aislamiento especial para soportar temperaturas más altas. Los generadores que operan en los trópicos son propensos a encontrar humedad excesiva, alta temperatura, hongos, parásitos, etc., y pueden requerir

aislamiento tropical especial y calefactores para mantener los bobinados secos y el aislamiento se deteriore (IEEE Industry Applications Society, 1995).

Todas las plantas de emergencia deben satisfacer las condiciones de contaminación y bajo ruido exigidos por la secretaria de salud.

3.4.6 Instalación. La instalación de la planta de emergencia se puede realizar en el lado de media o baja tensión, esto dependerá de la necesidad del usuario. La transferencia siempre debe ubicarse después del punto de conexión y el equipo de medida del usuario.

Las acometidas de la instalación deben ser independientes de la acometida al sistema de emergencia, esta se deriva desde el totalizador de la fuente de alimentación y no del barraje principal, la forma correcta de instalar la acometida se observa en la *Figura 43*.

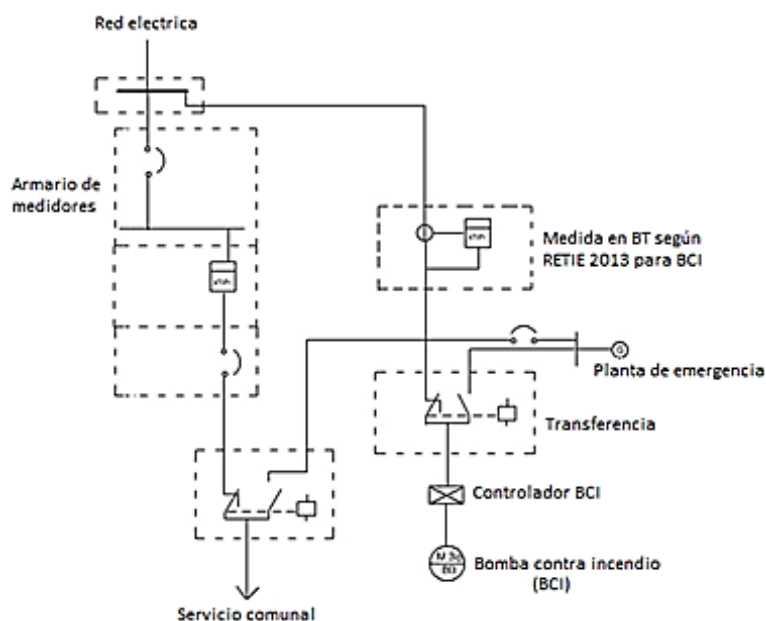


Figura 43. Conexión de planta de emergencia. Adaptado de enel Codensa. DDRN. (2019). Norma Técnica AE607 Bomba contra incendios.

Para el caso en el cual una planta de emergencia suple múltiples usuarios: centros comerciales, edificios, conjuntos residenciales, se debe garantizar una transferencia automática para las cargas obligatorias. Para cada usuario se debe instalar una transferencia automática o manual con su mecanismo de enclavamiento para prever la alimentación de uno de los sistemas cuando el otro está en operación. La conexión del sistema de transferencia debe estar después del medidor de energía del usuario, se debe instalar un barraje de conexión de transferencias independiente del barraje principal (*Figura 44*).

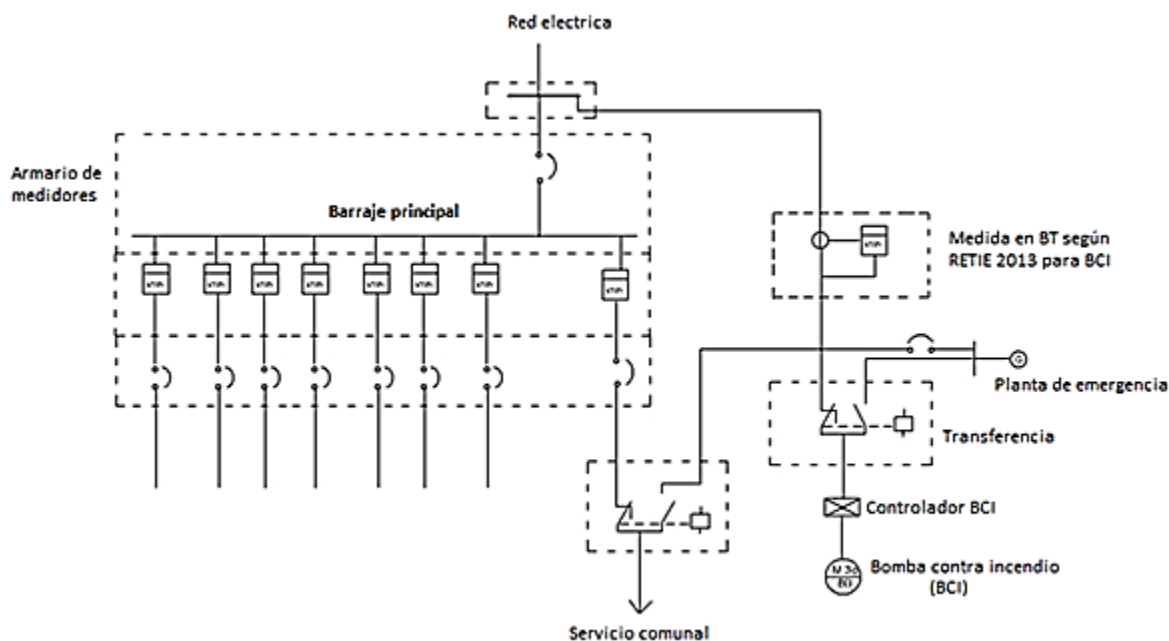


Figura 44. Conexión de planta de emergencia para múltiples cargas. Adaptado de en el Codensa. DDRN. (2019). Norma Técnica AE607 Bomba contra incendios.

Se debe permitir la instalación de sellos propios del operador de red en las celdas o espacios asociados a el operador de red: celda de medida, barraje, totalizador, medidores de energía y totalizadores del usuario.

El usuario no puede hacer uso de los transformadores del operador de red para elevar su nivel de tensión nominal, se prohíbe también la energización de transformadores, así como líneas o redes propiedad del operador de red sin haber cumplido con los requerimientos de ley (Ministerio de Minas y Energía).

Es importante mencionar que las plantas de emergencia no pueden ser instaladas sobre el nivel del suelo, se debe diseñar una estructura especial que soporte los equipos, dicha estructura debe cumplir con los requerimientos de vibración e impacto de los equipos, esto debe ser certificado por un ingeniero civil con matrícula profesional vigente. El sitio de instalación de la planta debe tener un espacio de acceso amplio que permita el retiro del equipo en caso de emergencia. Se debe garantizar además que los gases de combustión producidos por la planta sean evacuados de tal manera que no afecten el bienestar de los transeúntes y ocupantes de la instalación, como medida final es importante recordar que la planta de emergencia no puede superar los niveles de ruido admisibles por las entidades ambientales locales, de ser necesario se deben realizar adecuaciones de aislamiento acústico para acogerse a estos requerimientos.

3.4.7 Conexión de puesta a tierra de la planta de emergencia. Las partes metálicas expuestas además de la carcasa de la planta de emergencia se deben conectar al sistema de puesta a tierra de la instalación. No está permitido construir sistemas individuales de puesta a tierra para la planta de emergencia, se debe prever una cola para la planta de emergencia en el diseño del sistema de puesta a tierra de la instalación.

El punto neutro del generador de la planta se debe conectar al barraje de neutro de la instalación, en ninguna circunstancia se debe conectar al sistema de puesta a tierra o la carcasa. La conexión correcta al sistema de puesta a tierra se observa en la *Figura 45*.

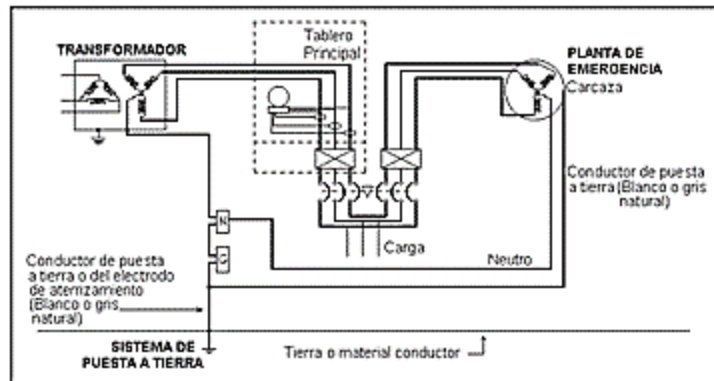


Figura 45. Conexión del sistema de puesta a tierra de la planta de emergencia. Adaptado de EMCALI EICE-ESP. (2006). Plantas de emergencia.

3.4.8 Selección de la planta de emergencia. Como se ha mencionado anteriormente una planta de emergencia está compuesta básicamente por un conjunto motor-generator acoplados en sus ejes.

Para seleccionar correctamente la planta de emergencia de acuerdo con las necesidades de la instalación se deben analizar correctamente las cargas del sistema.

3.4.8.1 Motores. Conocer las características del motor es necesario para la correcta selección de la planta de emergencia, los principales aspectos para tener en cuenta son:

- Cantidad de motores
- Potencia (HP o kVA).
- Número de fases.
- Revoluciones por minuto (rpm).
- Método de arranque.
- Factor de potencia.

En arranque de un motor produce una caída de tensión en el generador de la planta, que luego se regula a su valor nominal, este es el instante de mayor exigencia para el generador.

3.4.8.2 Otras cargas. Los aspectos más importantes para tener en cuenta en cargas no motorizadas son los siguientes.

- Tensión nominal
- Potencia (kW)
- Factor de potencia
- Número de fases

Limitar la caída de tensión a los valores permitidos por las normas colombianas es el aspecto principal a tener en cuenta a la hora de seleccionar una planta de emergencia, la caída de tensión admisible en motores está en el rango del 15 al 30 %, además se deben prever las cargas futuras en el proceso de selección para evitar que esto haga que se superen los valores permitidos.

3.4.8.3 Cálculo de la potencia de las máquinas motoras. A continuación, sume el valor total de las cargas que serán atendidos por la planta en kW:

$$P_{tot} = \sum(P_{cargas}) \quad (12)$$

Para determinar los kW totales de los motores según su tipo (se deben utilizar los datos mostrados en la Tabla 14, Tabla 15 o Tabla 16), si dicho motor no aparece en estas tablas se asumen los kW como:

$$P = HP * 746 * 0.9 \quad (13)$$

Cabe resaltar que se debe separar la carga de los motores trifásicos, estas cargas no deben entrar simultáneamente a la planta. Se debe asegurar que la caída de tensión en el generador no exceda el 30% para la potencia calculada en el arranque.

3.4.8.4 Cálculo de la potencia aparente de arranque. Con base en los valores encontrados en las Tabla 16 y Tabla 17 correspondientes a la carga de arranque de los motores:

Calcule la potencia aparente del motor partiendo de la potencia nominal y el tipo de arranque

$$S_{Tipo\ de\ Arranque} = S_{Arranque} * F \quad (14)$$

Siendo $S_{Tipo\ de\ Arranque}$ la potencia aparente en el arranque la cual está dada por el producto entre un valor base de potencia hallado de acuerdo a su potencia nominal (se encuentra en las Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17 ecuación (16), y un factor que depende directamente del tipo de arranque del motor (Tabla 18).

Calcule la potencia aparente de arranque total según la ecuación (15).

$$S_{total} = \sum (S_{Tipo\ de\ Arranque}) \quad (15)$$

3.4.8.5 Selección de la capacidad del generador. La selección del generador para una planta de emergencia debe realizarse siguiendo una serie de pasos, el primero, es seleccionar las cargas que serán alimentadas por el sistema de emergencia, separando las cargas obligatorias que entraran en el arranque (Instituto de Normas Técnicas y Certificación, 1998), de las cargas adicionales que entraran después de un tiempo determinado.

Teniendo en cuenta la potencia aparente de arranque se debe seleccionar la capacidad del generador en kW (*Figura 46*), esta selección tiene que asegurar que se cumpla el criterio de no superar en ningún momento el 30% en la caída de tensión.

Si el fabricante del motor proporciona una curva para seleccionar la capacidad del generador, se debe dividir la potencia de arranque total entre la carga total estimada de la carga ($S_{kVA_{total}}/kW_{tot}$), después de calcular esta relación identifique la caída de tensión correspondiente al valor obtenido y verifique si se cumple el criterio del 30%.

Si este valor es superado, se debe hallar de nuevo la potencia total en el arranque, utilizando un motor con una capacidad nominal mayor.

Luego de comprobar que el criterio de la caída de tensión se cumple, sume las cargas nominales no obligatorias (kW), que serán atendidas por la planta de emergencia ($kW_{no\ oblig} = \sum(kW_{cargas})$), luego adicione este valor al obtenido anteriormente para las cargas obligatorias (kW_{tot}).

Si existen cargas retardadas de motores trifásicos y estas superan la carga inicial de arranque, estas se deben incluir al seleccionar la capacidad del generador para que este cumpla con los criterios establecidos.

3.4.8.6 Selección del conductor para la planta de emergencia. El conductor se selecciona con base en la capacidad nominal de la planta de emergencia aplicando los criterios usados anteriormente para no superar el límite permitido en la regulación de tensión.

3.4.8.7 Selección del equipo de maniobra y protección. Este sistema se constituye por interruptores termomagnéticos, estos son usados para la protección contra cortocircuitos, y relés térmicos los cuales ofrecen protección contra sobrecargas, también son usados en la transferencia propia de la planta.

La capacidad de cortocircuito de los interruptores debe ser igual o superior al nivel de corto circuito calculado para la planta de emergencia.

Los elementos de transferencia deben soportar la corriente nominal del sistema, además deben poder soportar niveles de corriente de corto circuito de corta duración sin que sus contactos se suelden o sufran deterioros que comprometan su correcto funcionamiento.

El equipo de transferencia debe contar con mecanismos de enclavamiento suficientes para evitar la retroalimentación de uno de los sistemas cuando el otro se encuentre en funcionamiento.

El barraje de cargas obligatorias o reglamentarias se debe diferenciar del barraje de cargas no esenciales o adicionales. Además, los elementos no esenciales en el sistema que serán atendidos por la planta pueden ser conectados por medio de temporizadores luego de que las cargas esenciales hayan sido atendidas.

Tabla 14

Características típicas motores monofásicos

HP	kW	kVA de arranque			
		kVA	Fase partida	Capacidad de arranque (carrera Inductiva)	Capacidad de arranque (carrera Capacitiva)
1/6	0.30	0.45	3.70	2.50	3.00
1/4	0.40	0.60	5.00	3.40	4.00
1/3	0.50	0.70	6.00	4.00	4.70
1/2	0.65	0.90	7.00	5.20	6.00
3/4	0.95	1.25		7.20	8.30
1	1.20	1.60		9.20	10.50

Adaptado de EMCALI EICE-ESP. (2006). Plantas de emergencia.

En la Tabla 15 se observan datos característicos de motores monofásicos para facilitar la selección del sistema de respaldo.

Tabla 15

Características típicas motores monofásicos de repulsión

HP	kW	kVA	kVA de arranque
0.5	0.53	0.75	3.00
0.75	0.80	1.10	4.30
1	1.00	1.40	5.50
1.5	1.50	2.00	7.80
2	1.95	2.60	10.00
3	2.70	3.60	13.50
5	4.40	5.80	22.00
7.5	6.10	7.90	29.00
10	8.00	10.30	37.00

Adaptado de EMCALI EICE-ESP. (2006). Plantas de emergencia.

Seguidamente en la Tabla 16 se muestran datos característicos de motores trifásicos como lo son la velocidad, potencia activa de operación, potencia aparente de operación y de arranque.

Tabla 16

Características típicas de motores trifásicos

HP	rpm	kW de operación	kVA de operación	kVA de arranque
1	3600	1.05	1.3	13
	1800	1.06	1.4	12
	1200	1.02	1.5	12
2	3600	1.9	2.2	19
	1800	1.9	2.3	13
	1200	2	2.7	18
3	3600	2.9	3.2	25
	1800	2.8	3.4	24
	1200	2.8	3.7	24
5	3600	4.6	5.2	35
	1800	4.6	5.4	34
	1200	4.5	5.8	34
7.5	900	4.5	6.3	33
	3600	6.7	7.5	48

HP	rpm	kW de operación	kVA de operación	kVA de arranque
10	1800	6.9	7.9	46
	1200	6.8	8.2	45
	900	7	9.3	44
	3600	8.8	9.8	62
	1800	8.8	10.1	60
	1200	8.7	10.5	58
	900	9.4	12.3	56
	3600	13.2	14.7	88
15	1800	13	14.7	84
	1200	12.9	15.2	82
	900	13.7	17.4	81
	3600	16.7	18.6	112
20	1800	17.2	19.4	112
	1200	17.4	20.3	112
	900	17.4	21.6	110
	3600	20.5	22.8	139
25	1800	21.6	24.3	138
	1200	22	25.5	138
	900	22	26.2	136
	3600	25.2	28	166
30	1800	25.5	28.6	165
	1200	25	28.6	165
	900	25.5	31.1	161

Adaptado de EMCALI EICE-ESP. (2006). Plantas de emergencia.

En la Tabla 17 se proporciona información acerca del código NEMA correspondiente al motor, la cual puede ser de gran ayuda para dar predecir y suponer las características de dicho motor si no se conocen, esta potencia se calculará siguiendo la ecuación (16) .

$$S_{Arranqe} = HP * kVA/_{HP} \quad (16)$$

Tabla 17

Códigos NEMA para arranque kVA/hp de motores trifásicos

Código	KVA/hp	Valores típicos
A	0 - 3.15	
B	3.15 - 3.55	
C	3.55 - 4.0	
D	4.0 - 4.5	
E	4.5 - 5.0	
F	5.0 - 5.6	15 hp y > 10 hp
G	5.6 - 6.3	
H	6.3 - 7.1	7.5 y 5 hp
J	7.1 - 8.0	3 hp
K	8.0 - 9.0	2 y 1 1/2 hp
L	9.0 - 10.0	1 hp
M	10.0 - 11.2	< 1 hp
N	11.2 - 12.5	
P	12.5 - 14.0	
R	14.0 - 16.0	
S	16.0 - 18.0	
T	18.0 - 20.0	
U	20.0 - 22.4	
V	>22.4	

Adaptado de EMCALI EICE-ESP. (2006). Plantas de emergencia.

La Tabla 18 proporciona información acerca del arranque de los motores, así como los factores que implica elegir uno u otro.

Tabla 18

Tipos de arranque de motores

Tipo de arranque	kVA al arranque [%]	Torque al arranque	Tipo
Directo	100	100	A
Auto transformador			
50% TAP	30	25	B1
65% TAP	46	42	B2

80% TAP	68	64	B3
Resistencia o reactancia 80% TAP	80	64	C
Estrella-Delta	33	33	D
Devanado partido	70	45	E

Adaptado de EMCALI EICE-ESP. (2006). Plantas de emergencia.

Después de haber realizado el procedimiento descrito, se procede a utilizar la *Figura 46* en la cual se corrobora que la selección realizada cumpla con el criterio de caída de tensión menor al 30%.

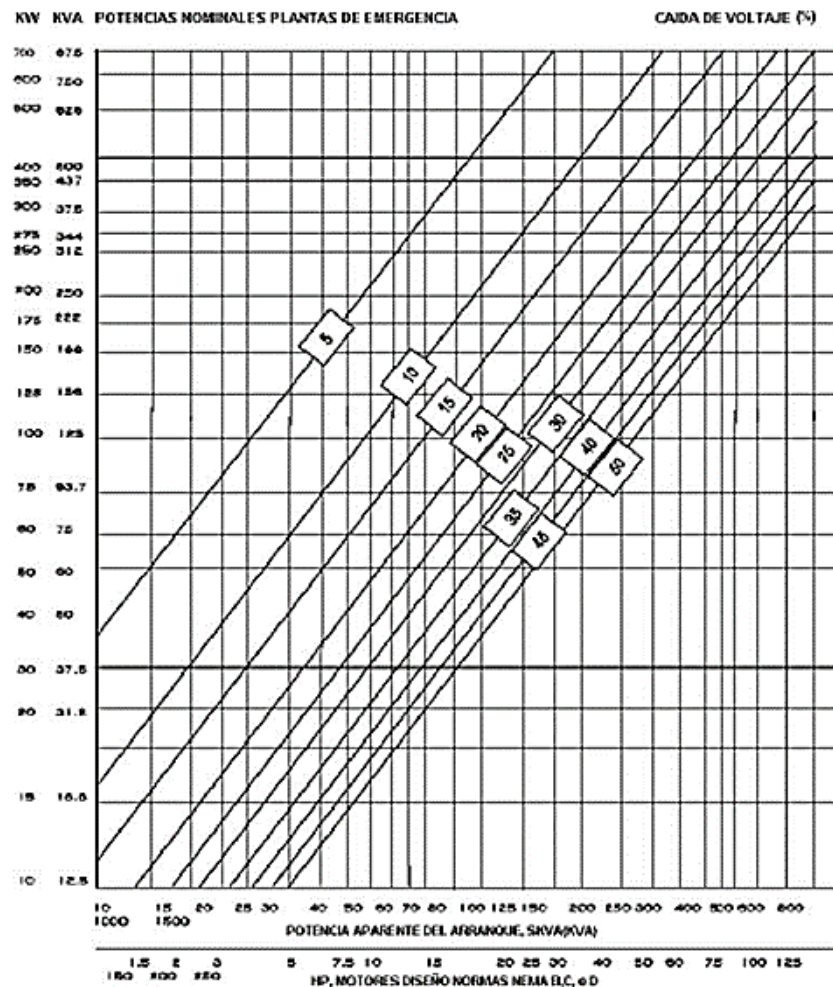


Figura 46. Selección de la planta de emergencia con base en la potencia aparente de arranque. Adaptado de EMCALI EICE-ESP. (2006). Plantas de emergencia.

3.4.9 Disposiciones adicionales. Luego de instalado el sistema de emergencia y cualquiera sea la configuración escogida, este será suministrado, operado y mantenido por parte del usuario, este a su vez tiene el deber de informar al operador de red sobre la instalación de la planta para su revisión y aprobación reglamentaria.

Como objetivo principal al hacer uso de una planta de emergencia, se debe garantizar una operación segura tanto para la red de distribución del operador de red como para la instalación eléctrica del usuario, por este motivo los equipos de transferencia deben ser diseñados para prevenir la interconexión simultánea accidental de la red eléctrica y la planta de emergencia. El usuario será responsable ante el operador de red y la ley colombiana por cualquier daño causado por este motivo.

Todas las plantas de emergencia deben satisfacer las condiciones de contaminación y bajo ruido exigidos por la secretaría de salud.

En la Tabla 19, se exponen valores típicos acerca de conjuntos motor-generator:

Tabla 19
Valores típicos conjuntos motor-generator

Potencia nominal (kW)	Potencia útil (kW)	Potencia de reserva (kW)	Factor de potencia	Combustible			Velocidad (r/min)
				Gasolina	Diesel	Gas natural	
5				X	X	X	3600
10	10	10	1	X	X	X	1800
25	25	30	0.8	X	X	X	1800
100	90	100	0.8	X	X	X	1800
250	225	250	0.8	X	X	X	1800
750	665	750	0.8	X	X	X	1800
1000	875	1000	0.8	X	X	X	1800

Adaptado de IEEE Industry Applications Society. (1995). IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications.

Como se puede observar se puede usar cualquiera de estos combustibles para todos los rangos de potencia, la selección del motor se hará de acuerdo con aspectos como:

3.4.9.1 Nivel costo beneficio. El uso de un combustible en particular puede traer ventajas respecto a otros. En instalaciones superiores a 100 kW se recomienda el uso de un conjunto motor-generador impulsado por gasolina, debido a que tienen un inicio rápido y su costo de encendido es inferior al costo de iniciar un motor Diesel, sin embargo, ante una falla de larga duración la gasolina se torna ineficiente debido a que almacenar este combustible requiere de mucho espacio y su volatilidad hace que parte de este se evapore o pierda.

Los conjuntos motor-generador impulsados por gas son la opción más viable para instalaciones superiores a 600 kW, gracias al flujo constante de combustible brindan un corto tiempo de arranque después de estar fuera de funcionamiento prolongadamente. La duración de estos motores es superior debido a que la combustión del gas es limpia y no afecta la composición interna del motor, esto también reduce los costos de mantenimiento. Se debe tener en cuenta que un motor operado a gas reduce su potencia un 15% aproximadamente respecto a un motor de las mismas características operado a gasolina.

3.4.9.2 Espacio disponible. El espacio disponible en la instalación es un factor clave a la hora de seleccionar que tipo de conjunto motor-generador se desea utilizar. Un motor Diesel por lo general ocupa mucho más espacio que otro tipo de motor, sin embargo, el espacio utilizado para almacenar el combustible es inferior respecto al de un motor a gasolina, además el riesgo de incendio disminuye considerablemente al usar un motor Diesel.

Si se cuenta con el espacio suficiente se puede implementar un conjunto de pequeñas unidades

de potencia que cubran la totalidad de la potencia deseada, es decir en vez de usar un motor de 500 kW se pueden usar 5 motores de 100 kW o 10 de 50 kW, esta opción conlleva costos adicionales, pero ofrece beneficios como la posibilidad de realizar mantenimiento a una unidad y que las demás continúen en funcionamiento. Además, ofrece un tiempo de arranque inferior respecto al arranque de una sola unidad (IEEE Industry Applications Society, 1995).

4. Selección y dimensionamiento de un sistema de respaldo

Para una correcta selección y dimensionamiento de un sistema de respaldo es necesario conocer el tipo de instalación, así como los tipos de carga que se van a utilizar para con ello clasificarlos según la criticidad de ella.

Se realizará el estudio para tres tipos de instalaciones en el cual se darán cargas típicas de cada una y con ello se calculará la capacidad necesaria para suplir dichas cargas, así como la mejor opción del sistema de respaldo, entre los cuales se tendrán en cuenta los más utilizados en la actualidad como lo son el sistema de UPS convencional, UPS Flywheel y grupos electrógenos.

4.1 Instalación tipo residencial

Este tipo de instalación se dimensiona para suplir las necesidades básicas y dar confort en una zona residencial. Para seleccionar el sistema de respaldo adecuado para la instalación se debe:

a) **Clasificar las cargas.** Seleccionar las cargas obligatorias establecidas en la sección 3.4.1, a su vez seleccionar las cargas adicionales que se desean proteger.

Para ilustrar este proceso realizaremos un ejemplo con cargas que se encuentran generalmente

en una instalación residencial y que su protección es de carácter obligatorio.

- Circuito de iluminación de rutas de emergencia
- Circuito de iluminación pasillos comunes

Además de estas cargas, tendremos motores los cuales tendrán un factor de acuerdo con su corriente de arranque. Por tanto, dependiendo del tipo de arranque se tendrán factores de arranque desde 2.5 hasta 6 veces la corriente nominal

- Ascensor.
- Bomba para caldera
- Bombas de agua
- Motor para portón de acceso a vehículos

b) Seleccionar la tecnología adecuada para el sistema de respaldo teniendo en cuenta las cargas anteriormente clasificadas, debido a que este tipo de instalación por lo general no cuenta con cargas sensibles a caídas pequeñas de tensión, se recomienda el uso de un grupo electrógeno para el sistema de alimentación de respaldo.

c) Teniendo seleccionadas las cargas obligatorias que serán respaldadas por el sistema y la tecnología que se usara, calculamos la potencia de arranque de la carga como se menciona en la sección 3.4.8.4.

Se recomienda la utilización de una tabla o cuadro de cargas para facilitar este proceso. Tabla 20, se presenta un modelo con la información para especificar los equipos además de su tipo y factor de arranque.

Tabla 20

Tabla de cargas en la instalación

Tabla de cargas					
Equipo	Potencial nominal (kW)	Tensión (V)	Tipo de arranque	Factor de arranque	Potencia de arranque (kW)
Ascensor					
Bomba de agua					
Bomba caldera					
Motor portón					

Debido a que hay por lo menos una carga obligatoria se debe contar con un sistema de transferencia automático que actúe en un plazo no mayor a 10 segundos según lo establecido en la sección 3.4.3.

d) Habiendo calculado la potencia de arranque en el numeral c), verificar que la caída de tensión no supere el 30% en ese momento.

e) Luego de que se cumpla el criterio de la caída de tensión podemos seleccionar la capacidad del generador de la planta utilizando lo dicho en la sección 3.4.8.5.

f) Debemos seleccionar el conductor para la planta de emergencia con base a la capacidad del generador, este proceso se puede evidenciar en la sección 310-15 tablas 310-16 y 310-17 de la NTC 2050.

g) Como paso final se seleccionan las protecciones en base al conductor seleccionado para la planta de emergencia esto se puede observar en la sección 700-25 y 700-26 de la NTC 2050.

4.2 Instalación Tipo Comercial

Una instalación de tipo comercial requiere especial cuidado, por lo general estas instalaciones cuentan con cargas sensibles como servidores de datos, equipos electrónicos, entre otros. Además, es común que en estos lugares se concentre un gran número de personas por este motivo es de vital importancia asegurar que no haya riesgo para la vida humana al momento de una falla eléctrica.

Para dimensionar correctamente un sistema de respaldo para una instalación de este tipo se debe:

a) Clasificar correctamente las cargas según su nivel de sensibilidad, a continuación, se señalarán cargas típicas obligatorias en una instalación comercial.

- Ascensores
- Bombas contra incendio
- Sistemas de comunicación
- Sistemas de ventilación
- Alarmas contra incendios
- Servidores electrónicos destinados al almacenamiento de datos.
- Alumbrado general y de emergencia.

Según la sección 28.3.3 numeral b del RETIE, para instalaciones en donde se puedan reunir una cantidad igual o superior a 50 personas en un momento específico, se debe proveer un sistema de emergencia que actúe dentro de los 10 segundos siguientes a un corte de energía, este debe proveer una autonomía de 60 minutos a plena carga como mínimo sin que la tensión baje del 87,5% de su valor nominal.

b) Selección de la tecnología a utilizar. Debido a las regulaciones que se deben cumplir en este tipo de instalaciones y la sensibilidad de las cargas que se presenta en estas mismas, la tecnología más adecuada para cubrir estas necesidades es el acople de un UPS y un grupo electrógeno, esta tecnología es recomendada para estos espacios debido a que garantiza una gran autonomía gracias al grupo electrógeno y asegura una buena regulación en la tensión gracias al uso del UPS, limitando la caída de tensión a valores admisibles.

c) A continuación, se calcula la potencia de arranque que tendrá el sistema de emergencia, según esto se seleccionará el UPS y el grupo electrógeno, en la sección 3.4.8.4 se detalla este procedimiento.

d) Luego de encontrar la potencia requerida del grupo electrógeno debemos calcular la potencia consumida por las cargas según lo dicho en la sección 3.3.5 numeral d).

e) Selección del banco de baterías. Debido a que por norma en este tipo de instalaciones la autonomía del sistema del respaldo debe ser de mínimo 60 minutos, teniendo en cuenta esto se realiza el procedimiento expuesto en la 3.3.5 numeral e) donde podemos encontrar la autonomía del UPS o la capacidad del banco de baterías necesario, sin embargo, al ser un sistema acoplado a un grupo electrógeno es recomendable dimensionar el banco de baterías para que soporte la carga mientras el grupo electrógeno entra en funcionamiento, dicho esto la autonomía de las baterías debería soportar la carga total por un tiempo entre 5 a 10 minutos por máximo.

f) Selección del conductor y protecciones necesarias. El calibre del conductor se selecciona de acuerdo con la capacidad nominal de la planta que sea escogida, para esta selección se puede remitir a la sección 310-15, tablas 310-16 y 310-17 de la NTC 2050.

Las protecciones correspondientes para el grupo electrógeno serán seleccionadas de acuerdo

con lo dicho en la sección 700-25 y 700-26 de la norma NTC 2050.

4.3 Instalación Tipo Industrial

La selección y dimensionamiento del sistema de respaldo de estas instalaciones deben tener especial cuidado, ya que sus actividades involucran altos precios de adquisición y producción, por tanto, deben ser seleccionados aquellos con mejores características para funcionar en la industria según su ocupación.

Las necesidades de energía de respaldo parecen estar creciendo a medida que los equipos, procesos complejidades y los costos aumentan. Desarrollar el costo histórico objetivo de los cortes de energía puede ser difícil, y la proyección de costos puede ser más difícil, los datos sobre las interrupciones del sistema de alimentación están disponibles en IEEE Std 493-1980, pero las condiciones locales del clima o del servicio de utilidades pueden dar lugar a un rendimiento con una varianza considerable con los datos estándar. (Figura 47)

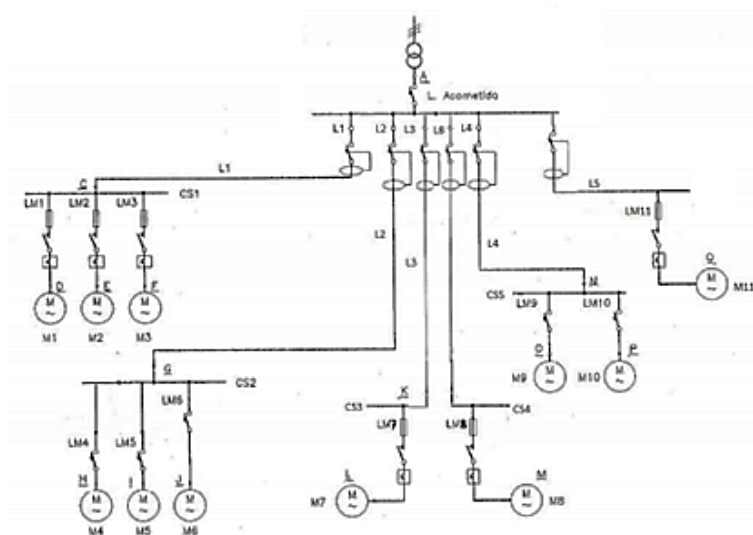


Figura 47. Diagrama unifilar de una instalación industrial. Adaptado de enel codensa. DDRN. (2019). Norma Técnica AE607 Bomba contra incendios.

Para seleccionar correctamente un sistema de respaldo para una instalación industrial se deben seguir los siguientes pasos:

a) Clasificación de las cargas y procesos. Como punto inicial se realizará un análisis de los procesos críticos en la producción y que involucren elementos eléctricos, adicional a estas serán las cargas obligatorias expuestas en las secciones 1.2.1 y 1.2.2 respectivamente.

Las tablas 9-1 a 9-10 de la IEEE 0449 detallan las necesidades de energía de emergencia y de reserva las cuales son específicas de la industria designada. Puede haber necesidades que son comunes a muchas industrias. Por ejemplo, la mayoría de las industrias tienen oficinas u ocupaciones a las que se aplicarían los elementos de la tabla 9-3 (edificios comerciales). La mayoría de las industrias tienen algún tipo de procesamiento de datos, generalmente con algunas necesidades de suministro de energía. Para instalaciones de procesamiento de datos más grandes, consulte la tabla 9-5 (procesamiento de datos financieros).

Teniendo en cuenta la clasificación, se realiza un estudio de costos presentados en la sección 3.1 para observar que tan factible será la instalación de un sistema de respaldo de energía, en caso de ser favorable se continuará con los pasos seguidos en la presente guía.

b) Potencia de cargas obligatorias y legalmente requeridas. La potencia de las cargas obligatorias corresponde a las secciones 1.2.1 y 1.2.2. En el caso de las maquinas rotativas, se procede a calcular la potencia como sigue en la sección 3.4.8.3 para luego calcular la potencia de arranque del motor 3.4.8.4.

c) Potencia de las cargas no obligatorias. Corresponden a las cargas que el usuario desee incluir para el respaldo de energía, en este tipo de aplicación las cargas habituales son máquinas rotativas de las cuales se deben conocer parámetros básicos sección 3.4.8.1. El cálculo de la potencia de

estas cargas se realiza de acuerdo con la sección 3.4.8.3 y 3.4.8.4. Cabe resaltar que el sistema de control y automatización de las maquinas se debe calcular adicional al ya realizado.

d) Seleccionar la tecnología a utilizar. Este tipo de instalaciones deben contar con un sistema de respaldo combinado UPS y grupo electrógeno, ya que pueden existir cargas críticas que necesiten un especial cuidado y cargas obligatorias que deben entrar en funcionamiento en el momento que ocurra la falla.

- **Selección de UPS.** Este sistema suplirá los circuitos de emergencia sección 1.2.1, las cargas legalmente requeridas sección 1.2.2 y adicional a ellas sistemas de control y automatización de las maquinas o procesos.

Teniendo ya la potencia de las cargas, se continúa con la sección 3.3.5 numeral 2 correspondiente al reconocimiento de los parámetros de instalación.

Habiendo realizado lo anteriormente nombrado, se seleccionará la potencia del UPS de acuerdo al fabricante de preferencia y con ello remitirnos a la sección 3.3.5 numeral e) donde se calcula la autonomía del UPS, la cual debe ser de al menos 1.5 horas como se expresa en la sección 1.2.3.1 garantizando la continuidad del servicio para fallas cortas y brindando el tiempo necesario de arranque y estabilización del grupo electrógeno.

- **Selección del grupo electrógeno.** Las cargas conectadas a este sistema serán las cargas no obligatorias y maquinas rotativas de cargas obligatorias y legalmente requeridas, la selección del grupo electrógeno se apegará a la sección 3.4.8.5.

e) Habiendo ya seleccionado el sistema de respaldo, se procede a realizar la selección del conductor para la planta de emergencia remitiéndose a la sección 310-15 tablas 310-16 y 310-17 de la NTC 2050.

f) Por último, se selecciona el equipo de maniobra y protección de acuerdo a la NTC 2050 en

sus secciones 700-25 y 700-26.

5. Aplicativo de selección y dimensionamiento de un sistema de respaldo

En el

(Ver **apéndices adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS**)

Apéndice A se desarrolló una interfaz gráfica en Excel a partir de Visual Basic y macros en cual se suministra una facilidad en la elección del sistema de respaldo compuesto por un UPS y un grupo electrógeno.

5.1 Selección UPS

El proceso de selección realizado en este aplicativo se toma como base las características técnicas de modelos de UPS APC by Schneider Electric, como recomendación para ingresar correctamente los datos en el programa, se sugiere tener en cuenta:

Seleccionar el tipo de instalación, con el fin de no incurrir en gastos innecesarios se ingresará el tipo de instalación a la cual se va a respaldar, ya que dependiendo la referencia de UPS tendrá ciertas características de desempeño.

Ingresar la potencia a respaldar de luminarias de emergencia, sistemas de ventilación, extracción de humo, sistemas de control, detección y alarma contra incendio y por último aplicaciones adicionales de la instalación, de estos valores de potencia dependerá directamente la

capacidad del UPS, así como la autonomía de este.

Seleccionar la tensión de operación, ya que esta será la que suministrará el equipo a una carga cuando ocurra una alteración en el suministro a la carga

Al haber ingresado estos datos se debe dar clic en el botón agregar datos y luego de seleccionar la tensión de operación pulsar calcular para que el programa cargue los datos en la hoja de cálculo, realice la operación y muestre la potencia necesaria del UPS llevando a cabo el procedimiento mostrado en la sección 3.3.5 numeral 4, en el cual se considera la ampliación futura de las instalaciones o los equipos conectados al UPS.

Según el tipo de instalación ingresada y la potencia mostrada en la casilla “potencia del UPS”, se procederá a realizar la selección de la autonomía del UPS de la siguiente manera:

Instalación residencial o comercial, si realizando los primeros pasos, se seleccionó la instalación residencial o comercial se procederá a abrir el cuadro combinado de lista 1 mostrado en la *Figura 48* donde se mostrarán todas las referencias de UPS del fabricante APC aplicables a este tipo de instalaciones en donde se muestra la potencia nominal de cada uno y la autonomía a dos condiciones de carga como se puede observar en la *Figura 49*.

Seleccionado ya el UPS, se pulsa el botón cargar datos con el fin que este se visualice en el cuadro de datos 2 de la *Figura 48*, en caso de que llegase a necesitarse mayor información acerca de los equipos buscare el UPS del fabricante de preferencia.

Instalación comercial o industrial, en este caso si se selecciona la instalación comercial o industrial se procede a abrir el cuadro combinado de lista 3 mostrado en la *Figura 50*, donde al igual que la instalación residencial o comercial se muestran las referencias de UPS del fabricante APC, mostrando datos como potencia nominal y autonomía como se ve en la *Figura 51*.

El procedimiento por realizar es el mismo de las instalación residencial o comercial con la

diferencia que los datos se visualizaran en el cuadro de datos identificado como 4 de la *Figura 50*.

Seleccione el tipo de instalación

Ingrese la potencia de los siguientes elementos

Número de luminarias de emergencia

Luminaria de emergencia (unidad) [VA]

Sistemas de ventilación [VA]

Extracción de humo [VA]

Sistemas de control [VA]

Detección y alarma contraincendios [VA]

Aplicaciones adicionales (sin incluir cargas motoras) [VA]

Agregar Datos

Potencia a respaldar [VA]

Ingrese la tensión de operación [V]

Calcular

Potencia del UPS [VA]

Tensión del UPS [V]

Autonomía para instalaciones residenciales y comerciales

1

2

Autonomía para instalaciones comerciales e industriales

Cargar Datos

Salir

Figura 48. Selección del UPS residencial o comercial

Seleccione el tipo de instalación Instalacion residencial

Ingrese la potencia de los siguientes elementos

Número de luminarias de emergencia 3

Luminaria de emergencia (unidad) 60 [VA]

Sistemas de ventilación 2000 [VA]

Extracción de humo 200 [VA]

Sistemas de control 2000 [VA]

Detección y alarma contraincendios 200 [VA]

Aplicaciones adicionales (sin incluir cargas motoras) 5000 [VA]

Agregar Datos

Potencia a respaldar 7 [VA]

Ingrese la tensión de operación 400 3PH [V]

Calcular

Potencia del UPS 10475 [VA]

Tensión del UPS 400 3PH [V]

Autonomía para instalaciones residenciales y comerciales

SYA36K162DR, 16kVA, 24.7 min (11200 vatios) y 55.4 min (5600 vatios)
 SYA36K162DR + (22SYAIR96ST, 16kVA, 31.9 min (11200 vatios) y 1 hrs 10 min (5600 vatios)
 SYA36K162DR + (4SYAIR96ST, 16kVA, 39.0 min (11200 vatios) y 1 hrs 24 min (5600 vatios)
 SYA36K162DR + (1SYAIR96ST, 16kVA, 57.6 min (11200 vatios) y 2 hrs 3 min (5600 vatios)
 SYA36K162DR + (2SYAIR96ST, 16kVA, 1 hrs 32 min (11200 vatios) y 3 hrs 13 min (5600 vatios)
 SYA36K162DR + (1SYAIR96ST, 16kVA, 2 hrs 2 min (11200 vatios) y 4 hrs 27 min (5600 vatios)
 SYA36K162DR + (4SYAIR96ST, 16kVA, 3 hrs 43 min (11200 vatios) y 5 hrs 41 min (5600 vatios)
 SYA36K162DR + (22SYAIR96ST, 16kVA, 3 hrs 21 min (11200 vatios) y 6 hrs 57 min (5600 vatios)

Cargar Datos

Salir

Figura 49. Selección de la autonomía del UPS residencial o comercial

Seleccione el tipo de instalación

Ingrese la potencia de los siguientes elementos

Número de luminarias de emergencia

Luminaria de emergencia (unidad)

[VA]

Sistemas de ventilación

[VA]

Extracción de humo

[VA]

Sistemas de control

[VA]

Detección y alarma contra incendios

[VA]

Aplicaciones adicionales (sin incluir cargas motoras)

[VA]

Agregar Datos

Potencia a respaldar

[VA]

Ingrese la tensión de operación

[V]

Calcular



Potencia del UPS

[VA]

Tensión del UPS

[V]

Autonomía para instalaciones residenciales y comerciales

Autonomía para instalaciones comerciales e industriales

3

4

Cargar Datos

Salir

Figura 50. Selección del UPS comercial o industrial.

Seleccione el tipo de instalación

Instalacion comercial

Ingrese la potencia de los siguientes elementos

Número de luminarias de emergencia

45

Luminaria de emergencia (unidad)

60

[VA]

Sistemas de ventilación

1000

[VA]

Extracción de humo

200

[VA]

Sistemas de control

2000

[VA]

Detección y alarma contra incendios

200

[VA]

Aplicaciones adicionales (sin incluir cargas motoras)

8000

[VA]

Agregar Datos

Potencia a respaldar

8380

[VA]

Ingrese la tensión de operación

480 3PH Solo industrial y comercial

[V]

Calcular



Potencia del UPS

17375

[VA]

Tensión del UPS

480 3PH Solo industrial y comercial

[V]

Autonomía para instalaciones residenciales y comerciales

Autonomía para instalaciones comerciales e industriales

1

SY32K48H-40 + (4)SYCPXR-48-9, 32kVA, 7 hrs 21 mins (16000 Vatios) y 16 hrs 41 mins (8000 Vatios)

SY32K48H-40-48, 32kVA, 0.0 min (16000 Vatios) y 0.0 min (8000 Vatios)

SY32K360H, 32kVA, 5.5 min (32000 Vatios) y 16.8 min (16000 Vatios)

SY32K360H + (1)SYBT9-64, 32kVA, 17.1 min (32000 Vatios) y 42.3 min (16000 Vatios)

SY32K360H + (6)SYBT9-64, 32kVA, 29.5 min (32000 Vatios) y 1 hrs 20 mins (16000 Vatios)

SY32K360H + (1)SYCPXR-9, 32kVA, 1 hrs 11 mins (32000 Vatios) y 2 hrs 46 mins (16000 Vatios)

SY32K360H + (2)SYCPXR-9, 32kVA, 1 hrs 58 mins (32000 Vatios) y 4 hrs 31 mins (16000 Vatios)

SY32K360H + (7)SYCPXR-9, 32kVA, 2 hrs 48 mins (32000 Vatios) y 6 hrs 25 mins (16000 Vatios)

Salir

Figura 51. Selección de la autonomía del UPS comercial o industrial.

5.2 Selección del grupo electrógeno

La selección del grupo electrógeno se basa en las características técnicas tomadas de catálogos del fabricante Caterpillar, generalmente los fabricantes manejan programas de este tipo para ayudar a sus posibles clientes en la selección de un grupo electrógeno que se acomode a sus necesidades como recomendación para ingresar correctamente los datos en el programa, se sugiere tener en cuenta:

- Ingresar la potencia a respaldar de las cargas obligatorias, opcionales y sistemas motores.
- Al ingresar los datos de los sistemas motores se deberá indicar el tipo de arranque de cada uno, el programa realizará los procedimientos realizados en la sección 3.4.8.3 y 3.4.8.4.
- Indicar e ingresar la potencia del UPS si el sistema de respaldo contiene en su instalación esta tecnología, ya que el grupo electrógeno alimentara a este en caso de quedar fuera de servicio.
- Luego de haber ingresado la información ya nombrada, se procede a pulsar el botón “agregar datos” con el fin de que el programa cargue los datos y entregue al usuario información del equipo como potencia a respaldar, potencia nominal del grupo, potencia de arranque de las máquinas rotativas y referencia esto se puede observar en la *Figura 52*.

Ingrese la potencia de los siguientes elementos

Número de luminarias de emergencia

5

Luminaria de emergencia (unidad)

0,06

[kVA]

Sistemas de ventilación

1

[kVA]

Extracción de humo

3

[kVA]

Detección y alarma contra incendios

2

[kVA]



RESULTADOS

Potencia a respaldar

56,3

[kVA]

Potencia del grupo

125

[kVA]

Potencia de arranque

107,2308

[kVA]

Referencia del equipo

C 4, 4a

[kVA]

Regulación de tensión

Aplicaciones adicionales

Sistemas Motores

	Potencia Nominal		Tipo de Arranque
Bomba contra incendios	4	[kVA]	Auto TRF (55% TAP)
Ascensor	2	[kVA]	Estrella-Delta
Motor 1	3	[kVA]	Auto TRF (55% TAP)
Motor 2	30	[kVA]	Estrella-Delta
Motor 3	0	[kVA]	
Motor 4	0	[kVA]	
Motor 5	4	[kVA]	Estrella-Delta
Motor 6	2	[kVA]	Directo

Sistemas de reserva opcionales

Carga 1

2

[kVA]

Carga 2

3

[kVA]

Carga 3

1

[kVA]

Características especiales

Instalación con UPS o sin UPS

Con UPS

Si es con UPS ingrese la potencia

4

[kVA]

Agregar Datos

Salir

Figura 52. Selección del grupo electrógeno

6. Conclusiones

Los sistemas de emergencia son de carácter legalmente obligatorio y tienen como función suministrar energía eléctrica en caso de falla o emergencia a las áreas y equipos que sean esenciales para la seguridad de la vida humana. La sección 700 de la NTC 2050 enuncia las consideraciones técnicas de instalación y operación que debe tener un sistema de respaldo para una instalación eléctrica de uso final. Después de definir detalladamente cada tecnología utilizada para respaldar instalaciones eléctricas en caso de falla, además de resaltar sus ventajas y desventajas y su posible uso según el tipo de instalación, se puede concluir que a pesar de la amplia variedad de tecnologías destinadas al almacenamiento de energía, como volantes de inercia, celdas de combustible o supercondensadores, la falta de desarrollo y uso de estas en el país hace que su implementación en sistemas de respaldo sea poco viable, debido a su elevado costo y cortos tiempos de autonomía, por lo que en la actualidad la mejor opción para dimensionar un sistema de respaldo sigue siendo los sistemas electrógenos y los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI), respecto a la normativa colombiana se evidencia que es necesaria una actualización que integre estas nuevas tecnologías de almacenamiento de energía para que sean una opción válida en el momento de seleccionar un sistema de emergencia.

Para una correcta selección y dimensionamiento de un sistema de respaldo se requiere conocer el tipo de instalación que se desea respaldar. En instalaciones residenciales se debe clasificar las cargas según su criticidad, se debe dar prioridad al respaldo de circuitos de iluminación de emergencia, bombas contra incendios, ascensores, bombas de agua, en conclusión, cargas de carácter obligatorio para minimizar el riesgo que corren las personas en el momento de una falla, a partir de esto se selecciona la tecnología más adecuada para satisfacer las necesidades que se

tienen en la instalación. En instalaciones comerciales, por lo general se encuentran cargas sensibles a cambios o perturbaciones en la señal de tensión, esto puede ocasionar daños en sistemas de información y almacenamiento de datos o dispositivos electrónicos sensibles, en estas instalaciones se debe contar con un sistema de transferencia automático acoplado a un UPS que suministre una señal de tensión libre de ruido y otro tipo de fenómenos que pueda afectar las cargas. Este sistema debe tener una autonomía de entre 10 y 60 minutos si la falla se prolonga en el tiempo. Además de esto al igual que en las instalaciones residenciales se debe asegurar la energización de las cargas de carácter obligatorio. En instalaciones industriales hay generalmente procesos que no se pueden interrumpir debido a que esto produciría elevadas pérdidas económicas, en estos casos la mejor forma de respaldar la instalación es el uso de un circuito de alimentación secundario o circuito de suplencia conectado al circuito primario por un dispositivo de transferencia automático, la principal ventaja del uso de este circuito respecto a los sistemas electrógenos es que no hay tiempo de espera entre la transferencia del circuito principal al secundario y las cargas no se verán afectadas si ocurre una falla en la red. En conclusión, se encuentra que dimensionar un sistema de alimentación de respaldo depende de una amplia variedad de aspectos como son, el tipo de instalación, la sensibilidad de las cargas que se quieren respaldar, entre otros. Sin embargo, la prioridad principal cuando se dimensiona este tipo de sistemas deben ser los circuitos de emergencia, las personas pueden correr riesgos en el momento de una falla, por esto el sistema de alimentación de respaldo debe actuar en un tiempo no mayor a 10 segundos y a su vez debe tener la capacidad de soportar la carga por el tiempo que sea necesario si la falla en la red persiste por un tiempo prolongado.

Después de elaborar la guía paso a paso para la selección de sistemas de alimentación de respaldo, podemos concluir que cuando se dimensiona un grupo electrógeno se debe tener especial

cuidado con la caída de tensión en el arranque, se debe cumplir estrictamente que esta no supere el límite establecido del 30%, debido a que esto puede generar riesgos graves para los equipos al punto de alterar en gran medida su funcionamiento e integridad. En el aplicativo realizado en este proyecto se facilita la selección del grupo electrógeno además de una forma interactiva de verificar que el equipo seleccionado cumpla el límite de caída de tensión según las curvas típicas dadas por los fabricantes. Respecto a los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI), son necesarios para mantener en funcionamiento cargas sensibles, debido a la amplia variedad de características de funcionamiento que presentan estos equipos, debe seleccionarse la más adecuada para las necesidades de la instalación. El software elaborado en el capítulo 5 reúne una amplia variedad de equipos (UPS) de un fabricante específico, se puede encontrar la potencia total del UPS según las cargas que se tengan en la instalación, además de esto se muestra la referencia de un posible equipo que cumpla con las necesidades específicas del usuario.

Como punto final se encuentra que el dimensionamiento y selección de un sistema de respaldo es un trabajo que requiere un conocimiento amplio de instalaciones y equipos de almacenamiento y generación de energía eléctrica, para cumplir con las normas establecidas, es por esto que el personal encargado del dimensionamiento de dichos sistemas deben ser profesionales capacitados que conozcan del tema y realicen esta selección de forma correcta.

Por último este proyecto queda como base para futuras investigaciones por parte de los estudiantes de la universidad, los sistemas de respaldo son sistemas de vital importancia hoy en día su utilización es cada vez mayor es por esto que la actualización tecnológica y la optimización económico-energética de estos sistemas son temas de estudio interesantes para proyectos de grado venideros.

Referencias Bibliográficas

- Abbey, C., Strunz, K., & Joos, G. (2019). A Knowledge-Based Approach for Control of Two-Level Energy Storage for Wind Energy Systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 24(2), 539 - 547.
- Aguirre Guevara, O. A. (s.f.). *Celdas de hidrogeno y su potencial de aplicación*. Universidad Veracruzana, Xalapa.
- Aldama Amado, I. (2015). *Electrodos para supercondensadores obtenidos por electrodeposición*. Universidad Autonoma de Madrid, Madrid.
- Al-Sharif, L. (2016). *Flywheels: Rationale, Formulae and Applications*. University of Jordan, Aman.
- Alvarado Rodriguez, W. R., & Hoyos Bermudez, J. J. (2017). *Control de potencia activa de un sistema de almacenamiento de energia "Flywheel" aplicado a generacion no convencional*. Universidad de la Salle, Bogota DC.
- Álvarez Pulido, M. (2014). *Alternadores de grupos electrógenos* (Vol. Tercera Edicion). Mexico DF: Alfaomega.
- AMVAR WORLD. (s.f.). *Catálogos UPS*. Pereira: APC by Schneider Electric.
- Antonishen, M. P., Han, H.-Y., A. Brekken, T. K., von Jouanne, A., Yokochi, A., Halamay, D. A., . . . Bistrika, A. (2012). *A methodology to enable wind farm participation in automatic generation control using energy storage devices*. IEEE: San Diego.
- Añon Alonso, A., Roger Folch, J., & Sapena Bañó, Á. (2014). *Instalacion electrica en BT de una instalacion industrial tipo*. Universitat Politècnica de València, Valencia.
- Argüelles Pastur, M. (2015). *Analisis de sistemas eléctricos en microsatelites*. Desarrollo de

- módulos para una concurrent design facility (CDF) para el desarrollo y análisis de misiones espaciales. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Ariaz Guzman, S., Ustariz Farfán, A. J., Cano Plata, E. A., Rojas Montano, C. D., Orozco Clavijo, J. D., Guerrero Guerrero, A. F., & Ruiz Guzman, O. A. (2017). *Hundimientos de tensión: diseño y construcción de un prototipo virtual para su medición*.
- Aware, M. V., & Sutanto, D. (March de 2003). Improved Controller for Power Conditioner Using High -Temperature Superconducting Magnetic Energy Storage (HTS -SMES). *IEEE Trans. On Applied Superconductivity*, 13(1).
- Bardo, S. (2012). *Manual de baterías BOSCH*. BOSCH, Basilea.
- Carmona Fortuna, J. (2014). *Análisis del Coste de los Desvíos de las Energías Renovables y su Mitigación en una Planta Eólica Mediante Sistema de Almacenamiento Eléctrico*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Catalán Cantillo, C. A., & Escalante Lemus, F. L. (2008). *Equipos para soporte de energía (UPS y banco de baterías) de la sede principal Universidad Industrial de Santander, inventario, caracterización, selección y protocolo de mantenimiento preventivo y correctivo*. Universidad Industrial de Santander, Ingenierías Físico-Mecánicas, Bucaramanga.
- Caterpillar. (2013). *DIESEL GENERATOR SET C18 (60 HZ) DE 500 KW-600 KW*. CAT.
- Chen, L., Liu, Y., Arsoy, A. B., Ribeiro, P. F., Steurer, M., & Iravani, M. R. (April de 2006). Detailed modeling of superconducting magnetic energy storage (SMES) system. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 21(2), 699 - 710.
- Chen, X. Y., Jian, X. J., Xin, Y., Shu, B., Tang, C. L., Zhu, Y. P., & Sun, R. M. (2014). Integrated SMES Technology for Modern Power System and Future Smart Grid. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 24(5).

- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2013). *DETERMINACIÓN DE INVERSIONES Y GASTOS DE ADMINISTRACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LA ACTIVIDAD DE GENERACIÓN EN ZONAS NO INTERCONECTADAS CON PLANTAS TÉRMICAS*. Bogotá.
- Doñán Velasco, O. E., & Sermeño Mena, S. J. (2008). *Diseño de una pila de combustible de hidrogeno para producir una diferencia de potencial de 12 voltios*. Universidad Don Bosco, El Salvador.
- Edesur. (2011). *Instalación de Tableros de Corte General en Edificios con Suministros en Baja Tensión*.
- Ellena, S., & Chauveau, P. (s.f.). *Tecnologías de Almacenamiento de Energía y Factibilidad en Chile*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- EMCALI EICE-ESP. (2006). *Plantas de emergencia*.
- enel codensa. (2019). *Norma Técnica AE607 Bomba contra incendios*. DDRN.
- Gas y Energía SA. (s.f.). *Canasta Energética*. Cali: ACIEM.
- GE Industrial Solutions. (2016). *Flywheel UPS systems, 50-1000kVA using TLE or SG series UPS*. Plano.
- Gil Mera, I. (2010). *Diseño de un sistema de almacenamiento de energia hibrido basado en baterias y supercondensadores para su integracion en microrredes electricas*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Sevilla.
- Gonçalves de Oliveira, J. (2011). *Power control systems in a flywheel based all-electrical driveline*. Uppsala Universitet, Uppsala.
- Gonzáles, G. G. (2013). Almacenamiento de energia magnetica por superconductividad. *PRISMA Tecnológico*, 4(1), 29-32.

- Hassenzahl, W. V. (1975). Will superconducting magnetic energy storage be used on electric utility systems? *IEEE Transactions on Magnetics*, 11(2), 482 - 488.
- Hongxin, J., Yang, F., Yu, Z., & Weiguo, H. (2010). *Design of Hybrid Energy Storage Control System for Wind Farms Based on Flow Battery and Electric Double-Layer Capacitor*. Chengdu: IEEE.
- IEEE Industry Applications Society. (1995). *IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications*.
- IEEE Power & Energy Society. (2009). *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Instituto de Normas Técnicas y Certificación. (1998). *Norma Técnica Colombiana NTC-2050, Código Eléctrico Colombiano*. Bogotá: ICONTEC.
- Kanamaru, Y., & Amemiya, Y. (1991). Numerical analysis of magnetic field in superconducting magnetic energy storage. *IEEE Transactions on Magnetics*, 27(5), 3935 - 3938.
- Kang, B.-K., Kim, S.-T., Sung, B.-C., & Park, J.-W. (2012). A Study on Optimal Sizing of Superconducting Magnetic Energy Storage in Distribution Power System. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 22(3).
- Lacoste, J., Colicigno, S., Corti, E., & Yablonski, M. (2011). *Grupos electrogenos*. Universidad Nacional de la Plata.
- Legrand Group España. (2013). *Sistema de alimentación ininterrumpida UPS*. Torrejón de Ardoz.
- Linares Hurtado, J. I., & Moratilla Soria, B. Y. (2007). *El hidrogeno y la energia*. Madrid: Universidad pontificia Comillas.
- Magro, M. C., Mariscotti, A., Picco, E., & Pinceti, P. (2004). Detection of voltage transients to select and trigger control rules of SMES for power quality applications. *IMrC 2004-*

- Insfmmntaliw and Mcasurcrnnt, Technology Conference, 3, 2010-2014.*
- Martín Chicharro, G. J. (2016). *Sistemas de almacenamiento de energia*. Universidad de Valladolid, Tecnología electrónica, Valladolid.
- Matínez, F. (2007). *Diagrama Unifilar Gamatronic UPS-SP-100kVA 208V*. ENERGEX.
- Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)*. Bogotá, D.C.
- Ministerio de Minas y Energía. (s.f.). *Resolución No. 070 de 1998*. 1998.
- Nomura, S., Tanaka, N., Tsuboi, K., Tsutsui, H., Tsuji-lio, S., & Shimada, R. (2009). *Design considerations for SMES systems applied to HVDC links*. Barcelona: IEEE.
- P.S.C. S.A. (s.f.). *Manual de Instalacion de Grupos Electrogenos*. Buenos Aires.
- Pacheco Cano, W. A. (2016). *Uso del covertidor modular multinivel para la integración de sistemas de almacenamiento de energia magnética por superconducción al sistema de potencia*. Universidad tecnológica de pereira, Pereira.
- Padrón Jabib, F. A. (2013). *Manual de baterias y acumuladores*. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Pérez Lobo, E. C. (2016). *Estudio de los supercondensadores y su viabilidad como sistema de almacenamiento energetico en instalaciones fotovoltaicas*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Procuraduría general de la nación . (2016). *OBJETO: SELECCIONAR AL OFERENTE, AUTORIZADO POR EL FABRICANTE, QUE PRESTE EL SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO ON SITE INCLUYENDO REPUESTOS Y MANO DE OBRA, Y EL SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE BATERIAS PARA DOS UPS DE 225 KVA, MARCA MGE*.
- Rodríguez Rodríguez, D., Arguedas Guzmán, M., & Granados Fernández, V. H. (2012). *Sistema*

- de respaldo electrico residencial*. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Jose.
- Schneider Electric. (2011). *Comparison of static and rotary UPS*. Data center science center.
- Song, M., Shi, J., Liu, Y., Xu, Y., Hu, N., Tang, Y., . . . Li, J. (2015). 100 kJ/50 kW HTS SMES for Micro-Grid. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 25(3).
- Steurer, M., Ribeiro, P. F., & Noe, M. (2003). *Superconducting magnetic energy storage and fault current limiters-projects, considerations, and outlook*. Dallas: IEEE.
- Technical Committee on Fire Pumps. (2017). *NFPA 70 National Electrical Code*. Quincy.
- Technical Committee on Fire Pumps. (2019). *NFPA 20 Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection*. Las Vegas: National Fire Protection Association (NFPA).
- Tecnics Carpi-Tecnics Grupos Electrógenos. (2012). *Sistema de combustible para alimentar al grupo electrógeno diesel*. Valencia.
- Tripathy, S. C., & Juengst, K. P. (1997). Sampled data automatic generation control with superconducting magnetic energy storage in power systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 12(2), 187 - 192.
- Valizadeh Kiamahalleh, M., Sharif Zein, S. H., Najafpour, G., ABD Sata, S., & Buniran, S. (2012). Multiwalled carbon nanotubes based nanocomposites for supercapacitors: a review of electrode materials. *Nano brief reports and reviews*, 7(2), 27.
- Vaquero Morata, S. (2015). *Diseño y Caracterización de Supercondensadores de Alta Energia Basados en Materiales Carbonosos*. Univesidad Autonoma de Madrid, Madrid.
- Vazquez, S., Lukic, S. M., Galvan, E., Franquelo, L. G., & Carrasco, J. M. (2010). Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(12), 3881 - 3895.
- Véliz Noboa, B. M. (2014). *Diseño y fabricacion de dispositivos metal-aislante-metal (MIM)*

utilizando la tecnica electrospray. Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya.

Yu, P., Sun, S., Li, G., Zhang, Y., Cheng, Y., Zhao, P., . . . Zhao, S. (2014). *A Review on the Energy Storage Technique for Real-time Wind Power.* Faisalabad: Asian Network for Scientific Information.

Zhu, J., Zhang, H., Yuan, W., Zhang, M., & Lai, X. (2013). *Design and cost estimation of superconducting magnetic energy storage (SMES) systems for power grids.* Vancouver: IEEE.

Apéndices

**(Ver apéndices adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la
Biblioteca UIS)**

**Apéndice A. Aplicativo de selección y dimensionamiento de un sistema de emergencia para
instalaciones residenciales, comerciales e industriales**