



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado

GENERADORES ELÉCTRICOS CON FUNCIONAMIENTO A VELOCIDAD VARIABLE EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA Y SU USO EN OPERACIONES

Autor

Luis de Felipe Ormeño

Directores

Miguel Ángel García García

Luis Carrero-Blanco Martínez

Centro Universitario de la Defensa- Academia General Militar

Marzo/2016



Universidad
Zaragoza



Centro Universitario
de la Defensa Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

GENERADORES ELÉCTRICOS CON FUNCIONAMIENTO A VELOCIDAD VARIABLE EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA Y SU USO EN OPERACIONES

Autor

Luis de Felipe Ormeño

Directores

Miguel Ángel García García

Luis Carrero-Blanco Martínez

Marzo - 2016

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer al Regimiento de Ingenieros nº 11 y a todos sus componentes por poner a mi disposición todos sus medios y recursos para poder realizar mi Trabajo de Fin de Grado.

Del mismo modo quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi tutor académico, el Dr. Miguel Ángel García García por su paciencia, tiempo y dedicación. He podido comprobar en todo momento su magnífica profesionalidad así como sus grandes competencias. Gracias por ser parte de la columna vertebral de mi trabajo.

A mi padre, por haber sido el apoyo más grande durante tanto tiempo. Por ser mi ejemplo a seguir, por tantas horas a mi lado ayudándome y como siempre, enseñándome. Sin tu ayuda la realización de este trabajo habría sido imposible.

A mi madre, porque como siempre, ha cuidado de mi ayudándome a afrontar todos los problemas de la mejor manera y preocupándose cada día. No hay mujer como tú, mama.

A mis hermanos, por haberme aguantado más de lo debido y por haber podido disfrutar con ellos de esos buenos momentos cuando lo he necesitado.

A mi novia, por haber estado conmigo en todo momento y haberme ayudado en todo lo que ha podido. Has aguantado mucho, sin tu apoyo no sé cómo me habría enfrentado a tantas horas de trabajo.

Además, me gustaría agradecer a toda la LXXI promoción su apoyo incondicional, demostrándome siempre lo importante que es el compañerismo en nuestra vida. En especial:

Al CAC Gonzalo Saiz Hontangas, por su tiempo y por su ordenador, el cual ha estado conmigo en todo momento y se ha convertido en un amigo inseparable.

Al CAC Miguel Ivorra Ferrer y CAC Ignacio Liñan Delage. Por haberme dedicado vuestro tiempo ayudándome y apoyándome en los momentos más difíciles en la realización de este trabajo. Sois unas magníficas personas.

Por último a Dios, por guiarme por el camino que ha trazado para mí.

RESUMEN

Debido a la cantidad de misiones en el exterior en las que estos últimos años ha estado involucrado el Ejército Español, con el consiguiente problema logístico de suministros, se ha considerado realizar un estudio sobre el ahorro de combustible que podría suponer la sustitución de los tradicionales grupos electrógenos funcionando a velocidad fija, utilizados actualmente, por grupos electrógenos funcionando a velocidad variable en función de la demanda eléctrica que han de cubrir.

Este estudio se basa en los datos reales de las necesidades de suministro tomados en una base de operaciones tipo en el exterior, en este caso la Base de Herat en el año 2006, según los datos suministrados por el Regimiento de Especialidades nº 11 de Salamanca.

Por otra parte, en este Trabajo Fin de Grado también se ha procedido a realizar una estimación más precisa de la demanda eléctrica de cualquier tipo de base de operaciones.

ABSTRACT

Owing to the amount of missions abroad in which the Spanish Army has lately been involved, with the consequent logistical problem of supplies, it has been considered to carry out a study concerning fuel economy that could lead to the replacement of the currently used traditional groups generator running at constant speed by those running at variable speed depending on the power demand which must be covered.

This study is based on actual data of the supply needs required by an operating base type abroad, taking as an example the Base of Herat in 2006, according to data supplied by the Regiment of Engineers 11 in Salamanca.

Other ways, it is important to mention that The End Degree Project has also carried out a more accurate estimate of power demand of any Operating Base.

Índice

MEMORIA

1. Introducción	7
1.1. Consideraciones previas	7
1.2. Objetivo y alcance del proyecto	7
1.3. Ámbito de aplicación	7
1.4. Metodología	7
1.5. Estructura del Trabajo Fin de Grado	8
2. Estado del arte.....	11
2.1. Grupo electrógeno convencional (velocidad fija).....	11
2.1.1. Motor de combustión interna (MCIA) como elemento principal.....	11
2.1.2. Máquina eléctrica	11
2.1.3. Factor de potencia	12
2.1.4. Modos de operación de los grupos electrógenos.....	12
2.2. Grupo electrógeno a velocidad variable	13
2.2.1. Velocidad de un generador síncrono	13
2.2.2. Convertidor CA-CA	14
2.3. Comparativa entre el grupo electrógeno a velocidad fija y el grupo electrógeno a velocidad variable	15
2.3.1. Estabilidad en el suministro eléctrico	15
2.3.2. Necesidades de mantenimiento	16
2.3.3. Consumo de combustible.....	16
2.3.4. Análisis DAFO.....	18
3. Diseño energético de un campamento base	19
3.1 Estructura de un campamento base.....	19
3.2 Consumo de los diferentes medios a instalar en una base tipo dependiendo de su empleo	19
4. Estudio y evaluación energéticos del campamento base de Herat	21
4.1. Coeficientes de corrección a los cálculos de potencia.....	21
4.1.1. Coeficiente de simultaneidad.....	21
4.1.2. Coeficiente de altura y temperatura.....	22

4.2.	Comparativa en términos de consumo.....	23
4.2.1.	Consumo grupo electrógeno de velocidad fija de 600kVA	26
4.2.2.	Consumo grupo electrógeno de velocidad variable de 600kVA.....	27
4.3.	Comparativa en términos de potencia	28
4.3.1.	Consumo grupo electrógeno de velocidad fija de 225 kVA	29
4.3.2.	Consumo grupo electrógeno de velocidad variable de 225 kVA	30
4.3.3.	Comparativa con el grupo electrógeno de 600 kVA	31
4.4.	Comparativa en términos de mantenimiento.....	32
4.4.1.	Mantenimiento del grupo electrógeno de velocidad fija de 600kVA	32
4.4.2.	Mantenimiento del grupo electrógeno de velocidad variable de 600kVA	34
5.	Programa informático para el cálculo de grupos electrógenos necesarios en una base de operaciones.....	37
5.1.	Introducción	37
5.2	Herramientas utilizadas en el programa.....	37
5.3	Estructura del programa.	37
5.4	Manual de uso del programa	38
5.4.1.	Correcciones en la potencia de los grupos electrógenos.....	39
5.4.2.	Selección de módulos para la base de operaciones	41
5.4.3.	Cálculo del número de grupos electrógenos necesarios para la base de operaciones	43
6.	Conclusiones.....	45
7.	Líneas futuras	47
8.	Bibliografía	49
9.	Anexos.....	51

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONSIDERACIONES PREVIAS

La internacionalización de las misiones del Ejército Español ha supuesto un avance para nuestras fuerzas armadas en cuanto a la adquisición y mejora de diferentes medios tecnológicos para cumplir con las misiones encomendadas. Si bien siempre ha sido necesario para los ejércitos buscar diferentes medios de abastecerse de una manera autónoma, durante el último cuarto de siglo el esfuerzo ha sido mayor debido a esta internacionalización. La variedad de escenarios requieren un abastecimiento de energía lo suficientemente eficaz como para alimentar a los diferentes medios tecnológicos de forma independiente de la red eléctrica local, en caso de que exista. Los climas y condiciones críticas a las que se ven expuestos estos medios también afectan a su rendimiento, mantenimiento y consumo energético, y por lo tanto al consumo eléctrico, como veremos en este Trabajo. Son, entre otros, los problemas logísticos y de concienciación medioambiental los que crean una necesidad de disminuir la dependencia de combustibles fósiles en las misiones internacionales, y llevan a tratar de adquirir sistemas de alimentación cuyas características puedan hacer frente a estos problemas.

En la actualidad, y en el transcurso de las diferentes misiones desarrolladas en el extranjero, este abastecimiento de energía eléctrica se lleva a cabo por medio de grupos electrógenos.

1.2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El objetivo del trabajo es el análisis de la mejora de la eficiencia energética de una base de operaciones tipo utilizando grupos electrógenos a velocidad variable en función de la demanda, frente a la utilización de grupos electrógenos convencionales (a velocidad fija).

El alcance incluye la simulación de una base tipo en el exterior en condiciones de climatología extrema y el estudio del consumo de combustible y del mantenimiento comparando los generadores eléctricos convencionales de 600 kVA con unos hipotéticos generadores en funcionamiento a velocidad variable de también 600 kVA. También se realiza la comparativa para grupos electrógenos de menor potencia (225 kVA).

1.3. ÁMBITO DE APLICACIÓN

El ámbito de aplicación del presente Trabajo Fin de Grado son las bases militares en operaciones con abastecimiento energético autónomo en base a generadores eléctricos.

1.4. METODOLOGÍA

La realización de este trabajo se ha llevado a cabo en diferentes etapas. Al inicio se realizó un análisis de la situación actual de los grupos electrógenos en las bases de operaciones del Ejército Español. Para ello, se entrevistó a diferente personal destinado en El Regimiento

de Especialidades Nº11 (REI 11) en Salamanca experto en la gestión eléctrica de bases en el exterior. Una vez analizada la situación, se llevó a cabo un periodo de recopilación de información correspondiente a los diseños energéticos de las bases de operaciones. Dicha información fue proporcionada por El REI 11 y su personal, el cual añadió la experiencia en sus años de servicio para entenderla y poder estudiarla de una manera más eficaz. A su vez, se estudiaron las principales características de los grupos electrógenos variables y su uso en la industria civil para poder realizar una primera comparativa de la que naciera la propuesta principal del Trabajo Fin de Grado. Una vez estudiada y recopilada toda la información de los distintos grupos y aprovechada la experiencia de personal experto que trabaja con ellos, se definieron los objetivos y alcance del trabajo. Tras definir estos puntos, se llevó a cabo la revisión de la bibliografía y se comenzó con el análisis de los distintos requerimientos energéticos de una base de operaciones. A continuación se iniciaron los cálculos necesarios para poder darle criterio al trabajo y se comenzó con el desarrollo del programa informático. Tras todo ello, se comenzó con la redacción de la memoria. Durante todo el trabajo se han utilizado las distintas competencias adquiridas en diversas asignaturas del Grado de Ingeniería Industrial como Electrónica, Electrotecnia, Oficina de Proyectos o Informática, entre otras.

1.5. ESTRUCTURA DEL TRABAJO FIN DE GRADO

Dentro de la estructura se han definido diferentes puntos a seguir para la consecución del objetivo final del proyecto.

Primero se estudian las diferentes características de los dos tipos de generadores haciendo así una comparativa de la que se sacan las ventajas e inconvenientes que tienen uno respecto al otro.

En segundo lugar y partiendo de las necesidades energéticas de una base ya existente en HERAT en el año 2006 (información proporcionada por el REI 11 de Salamanca) se reflejan los gastos energéticos que requieren todos los módulos de vida y funcionamiento posibles de una base desplegable.

A continuación se hace una comparativa de gastos de combustible de dicha base contemplando la utilización de generadores eléctricos de 600 kVA convencionales o unos hipotéticos de velocidad variable.

Con fin de optimizar el consumo de la base, se estudia en un siguiente apartado la alternativa de emplear grupos de 225 kVA tanto convencionales como de velocidad variable.

Una vez analizada la diferencia en consumo, se centra el estudio en el mantenimiento. De esta manera, se contemplan las diferentes medidas que se han de tener en cuenta para asegurar el buen funcionamiento de los dos tipos de grupos electrógenos comparándolos así una vez más.

Por otra parte, y en las últimas líneas del trabajo, se refleja el desarrollo y manual de uso de un programa informático que tiene como fin calcular el número de grupos electrógenos necesarios en una base tipo.

Tras todo ello, se exponen unas conclusiones generales obtenidas de todo el desarrollo del Trabajo Fin de Grado.

Finalmente, habiendo obtenido los resultados de los diferentes estudios, desarrollado unas conclusiones generales del trabajo y antes de plasmar la bibliografía utilizada para su ejecución, se desarrolla un apartado de líneas futuras. Este apartado refleja, en líneas generales, posibles estudios futuros a llevar a cabo partir de los ya desarrollados con el fin de alcanzar un diseño energético óptimo de una base de operaciones.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. GRUPO ELECTRÓGENO CONVENCIONAL (VELOCIDAD FIJA)

Un grupo electrógeno es un conjunto de máquinas rotativas, eléctricas y de combustión, acopladas mediante un eje mecánico, capaces de transformar la energía térmica procedente del combustible en energía mecánica en forma de giro del eje, y a su vez ésta en energía eléctrica en forma de corriente alterna. Los grupos electrógenos, básicamente, cuentan con un motor de combustión interna acoplado a un generador de energía eléctrica (alternador). De este modo la energía química disponible en el combustible es convertida en energía mecánica de rotación en el motor térmico y esta es aprovechada por el generador para obtener energía eléctrica.

2.1.1. Motor de combustión interna (MCIA) como elemento principal

Un motor de combustión interna es básicamente una máquina que mezcla oxígeno con combustible gasificado. Una vez mezclados íntimamente y confinados en un espacio denominado cámara de combustión, los gases son encendidos para quemarse (combustión). Debido a su diseño, el motor utiliza el calor generado por la combustión como energía para producir el movimiento giratorio.

2.1.2. Máquina eléctrica

Son aquellas máquinas capaces de generar, transformar o aprovechar la energía eléctrica. Su clasificación se puede llevar a cabo desde diferentes puntos de vista, no obstante, la más general es la que tiene que ver con el tipo de corriente utilizada [\[1\]](#).

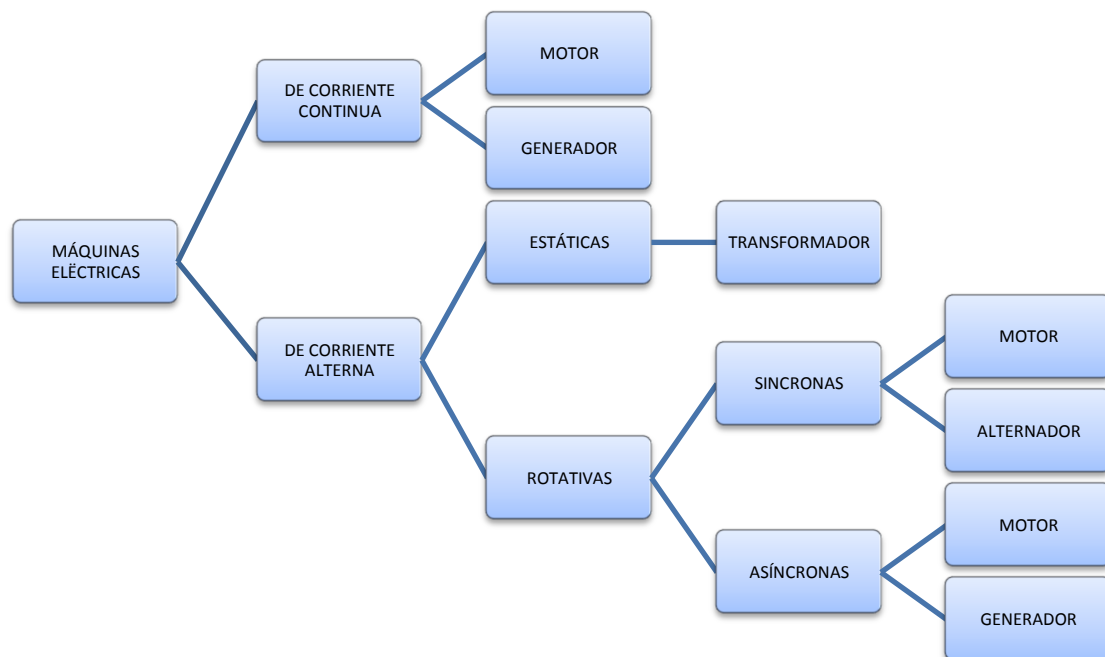


Figura 1. Clasificación de las máquinas eléctricas

La máquina síncrona es la más comúnmente empleada por los grupos electrógenos debido a sus especiales características. Puede funcionar como generador y también lo puede hacer como motor. No obstante, son los generadores de corriente alterna en los que se centra el estudio al ser los utilizados como sistemas autónomos de generación (grupo electrógeno).

Véase descripción detallada de las máquinas síncronas en el **ANEXO I**.

2.1.3. Factor de potencia

El factor de potencia se define como el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente. Normalmente, es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo [\[2\]](#).

También permite entender la relación existente entre kW, kVA y FP, la cual se ha tenido en cuenta a la hora de obtener los resultados de este trabajo.

Normalmente el factor de potencia lo determinan las características del equipo. Durante todo el trabajo, se ha utilizado un factor de potencia de 0,8 al ser el que utiliza el REI 11 para los cálculos energéticos de sus grupos electrógenos.

Detalle del factor de potencia en **ANEXO II**.

2.1.4. Modos de operación de los grupos electrógenos

En una red aislada los grupos pueden funcionar en dos modos de trabajo: modo EMERGENCIA o modo ISLA [\[3\]](#).

El funcionamiento en EMERGENCIA permite que en un momento determinado en el que se produzca un problema que influya en el abastecimiento, el grupo sea capaz de cubrir esa necesidad hasta que el problema sea resuelto. De esta manera, conectando en paralelo dos grupos, en el momento que uno deje de funcionar, el otro arrancaría con un tiempo de retraso de unos 17 segundos. No obstante este modo de operación es solo aplicable de forma independiente por grupo, no siendo posible colocar varios grupos en emergencia y paralelo a la vez. Esta utilización del grupo es interesante para conseguir mantener el suministro eléctrico sobre los recursos críticos de la base ante una caída de tensión de red.

El funcionamiento en ISLA permite trabajar con varios grupos en paralelo. Es aquí donde se encuentra el sistema de prioridad MAESTRO-ESCLAVO mediante el cual se podrá dar prioridad a un grupo para mantener el suministro de potencia. En base a la demanda de la carga operarán más o menos grupos, los de prioridad más alta arrancarán primero y los de menor prioridad pararán antes. Como los grupos electrógenos no trabajan nunca a un rendimiento mayor del 80% de su potencia nominal, mediante la opción MESTRO-ESCLAVO y una vez que se ha llegado a ese nivel, el grupo maestro pasa a repartir su carga con el primer esclavo. Este funcionamiento sería sucesivo llegando a repartirse la carga que fuera necesaria

entre los ocho grupos que como máximo se pueden conectar en paralelo, sin que ninguno de ellos llegue a cargar más del 80% de su potencia nominal.

El funcionamiento más común en operaciones es el de MAESTRO-ESCLAVO, siendo este el más óptimo debido a las diferentes vicisitudes que se pueden dar en una base de operaciones. No obstante, hay ciertas situaciones donde el funcionamiento "EMERGENCIA" es clave para ciertos grupos que abastecen módulos de la base que requieren un funcionamiento seguro y constante por razones de seguridad.

En la actualidad el Ejército Español cuenta con grupos electrógenos de velocidad fija a diferentes potencias, pero nuestro estudio se centra en el grupo electrógeno de 600 kVA y de 225 kVA, al ser los que hoy dispone en dotación (entre otros) el Regimiento nº11 de Salamanca para su utilización en zonas de operaciones.

2.2. GRUPO ELECTRÓGENO A VELOCIDAD VARIABLE

Las características generales y los elementos que lo forman son idénticos a los de los grupos electrógenos convencionales con las mismas bondades en cuanto a cumplimiento de normas ISO y demás.

La diferencia de los grupos electrógenos a velocidad variable respecto de los convencionales reside fundamentalmente en que los primeros buscan desacoplar la velocidad de giro, de la tensión y la frecuencia, para que éstas sean esencialmente constantes a pesar de cuál sea la velocidad. Para llevar a cabo esta acción se utilizan los denominados Convertidores CA-CA.

2.2.1. Velocidad de un generador síncrono

Un generador eléctrico puede girar a diferentes velocidades. Para generar corriente continua la velocidad puede ser variable, para generar corriente alterna es imprescindible controlar la velocidad para mantener la frecuencia en 50 Hz (red europea, 60 Hz red americana). Esto se consigue con generadores de 2 pares de polos girando a 1500 r.p.m., o un par de polos girando a 3000 r.p.m.

Si se conectan tres bobinas alimentadas por una red trifásica, cada una a una fase en el interior, se crea un campo magnético giratorio de 3000 rpm. No obstante un motor puede configurarse de tal modo que haya más bobinas, de modo que si se introducen dos bobinas de cada fase repartidas, se reduce la velocidad a 1500 rpm.

Los generadores síncronos, como su propio nombre indica, sincronizan la frecuencia eléctrica producida con la tasa mecánica de rotación del generador. La relación entre la tasa de giro de los campos magnéticos de la máquina y la frecuencia eléctrica del estator se expresa mediante la ecuación:

$$n_{sinc} = \frac{60f_e}{p} \quad (1)$$

Siendo:

f_e :la frecuencia del sistema (Hz)

p : número de pares de polos en la máquina.

Puesto que el motor gira con la misma velocidad que el campo magnético, esta ecuación relaciona la velocidad de rotación con la frecuencia eléctrica resultante. Dado que la energía eléctrica es generada a 50Hz o 60Hz, el generador debe girar a una velocidad fija que depende del número de polos de la máquina.

2.2.2. *Convertidor CA-CA*

Estos convertidores permiten realizar, en términos generales, la conversión de corriente alterna en corriente alterna. Antes de explicar su funcionamiento conviene clasificarlos en dos tipos [\[4\]](#):

- Convertidores directos o cicloconvertidores. Son aquellos que realizan la conversión CA-CA de forma directa y sin etapa intermedia de CC. Este tipo de convertidores proporcionan una tensión y una frecuencia de salida menor o igual que las de entrada. Se suele utilizar para variar la velocidad de una máquina asíncrona cuando se requiere que ésta tenga un rango de velocidades variable.
- Convertidores indirectos. Este tipo de convertidores transforman una tensión de CA de amplitud y frecuencia específica en una tensión CA de la misma frecuencia que la señal de entrada. Esta transformación se hace a través de una conversión intermedia CA-CC/CC-CA utilizando un rectificador y un inversor respectivamente. Este sistema es utilizado normalmente para controlar la velocidad en motores de corriente alterna tanto síncronos como asíncronos.

Teniendo en cuenta que los grupos electrógenos a estudiar cuentan con máquinas síncronas y que los parámetros de salida han de ser igual que los de entrada, el estudio se centra en los convertidores indirectos así como en su funcionamiento y sus diferentes etapas.

Convertidores indirectos

Como se explica anteriormente, los convertidores indirectos realizan la conversión a través de una fase intermedia en la que actúan un rectificador (CA-CC) y un inversor (CC-CA). En este proceso se pueden diferenciar cuatro etapas [\[5\]](#):

- Etapla rectificadora. Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.

- Etapa intermedia. Filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos mediante condensadores y bobinas que también mejoran el factor de potencia.
- Inversor o “Inverter”. Convierte la tensión continua en otra de tensión alterna y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión de duración variable y con los que se obtiene una onda casi sinusoidal en el motor.
- Etapa de control. Esta etapa controla los IGBT para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia además de controlar los parámetros externos en general.

No obstante, existen diferentes técnicas y tecnologías para llevar a cabo estas etapas electrónicas. Las más utilizadas son [\[6\]](#):

- Rectificador controlado-ondulador de tensión (inversor).
- Rectificador controlado-ondulador de corriente (conmutador).
- Rectificador-inversor PWM (Modulación de ancho de pulsos).
- Rectificador-troceador.

En **ANEXO III** se explican los elementos fundamentales que hacen posible la conversión de los convertidores indirectos CA-CA.

2.3. COMPARATIVA ENTRE EL GRUPO ELECTRÓGENO A VELOCIDAD FIJA Y EL GRUPO ELECTRÓGENO A VELOCIDAD VARIABLE

Realizado el estudio previo de las diferentes características de los grupos a velocidad fija y variable, a continuación se muestra una comparativa en términos de: estabilidad en el suministro eléctrico, mantenimiento y consumo de combustible. Esta comparativa se desarrolla analíticamente en futuros apartados, permitiendo así su corroboración.

2.3.1. Estabilidad en el suministro eléctrico

El grupo en uso actual en el que se basa este estudio funciona a 1.500 r.p.m. Cualquier alteración significativa de esta velocidad produce unos cambios de frecuencia y tensión muy perjudicial para los cada día más equipos electrónicos conectados a red en las Bases de operaciones. De esta forma los cambios repentinos de demanda o cualquier otro factor que modifique esta velocidad de 1.500 r.p.m. perjudican la calidad de la onda sinusoidal que se proporciona. Es en este punto dónde el papel de los reguladores de velocidad pasa a ser de vital importancia.

El grupo electrógeno que se propone en este estudio se basa en el trabajo a diferentes velocidades usando diferentes tecnologías para desacoplar la velocidad de giro de la tensión y la frecuencia, para que éstas sean esencialmente constantes independientemente de la velocidad. Este procedimiento permite trabajar en un margen de varias velocidades

adaptándose a la velocidad óptima para las potencias requerida en cada momento y manteniendo el suministro mucho más estable en frecuencia y tensión.

2.3.2. Necesidades de mantenimiento

Lo normal a la hora de dimensionar las necesidades a cubrir por un grupo electrógeno en una base de operaciones es contemplar el peor de los casos. Los grupos a instalar deben ser capaces de atender a la máxima demanda posible. Para cubrir esta demanda, deben ser dimensionados.

Además, también es normal contemplar una demanda escalable con el tiempo, por lo que se contemplan grupos con mayor capacidad de la necesaria. Si a esto se le añade que en determinadas franjas horarias la demanda es muy baja y el modo de funcionamiento MAESTRO-ESCLAVO hace que cada grupo electrógeno trabaje para requerimientos de potencia bastante inferiores a su potencia nominal, es posible asegurar que, en general, los grupos electrógenos operan en la mayor parte del día a cargas reducidas. Solo en momentos muy puntuales se puede alcanzar una demanda próxima al 80% de su nivel nominal.

Este trabajo con bajas cargas de potencia genera una acumulación de residuos en las cámaras producto de una combustión incompleta del gasoil. Ese fenómeno, denominado “*wetstacking*” [7] y del que se hablará más adelante, implica mayores labores de mantenimiento además de reducir la vida útil del motor.

Este problema, típico en los grupos electrógenos de velocidad fija que trabajan muchas veces a bajas demandas, no existe en los grupos electrógenos de velocidad variable los cuales son capaces de adaptar su velocidad de trabajo a la potencia requerida.

2.3.3. Consumo de combustible

Es aquí donde parece que la diferencia entre los dos tipos de grupos electrógenos es más significativa y lo que se intenta demostrar en este estudio basado en datos reales de demanda sobre los actuales grupos disponibles en nuestro Ejército.

Para evitar los problemas de mantenimiento y disminución de vida útil de los grupos electrógenos debido al *wetstacking*, los fabricantes recomiendan trabajar con una carga mínima del 30 al 40 por cien de la carga nominal. De hecho, la mayoría de los equipos que trabajan por debajo de este nivel utilizan unas resistencias ficticias -*dummy load*- [8] para evitar daños, o lo que es lo mismo: siempre se trabaja a un 30% de demanda aunque esta no exista, con el consiguiente derroche de combustible.

Sin embargo, son los generadores a velocidad variable los que proporcionan una ventaja considerable en cuanto a consumo de combustible de los grupos electrógenos. La velocidad de trabajo se adapta a las necesidades del grupo en cada momento, lo que lleva consigo una optimización en este consumo. Los fabricantes hablan de una disminución de entre el 12% al 40%.

La *Figura 2.a* muestra una comparativa llevada a cabo en un laboratorio [9], entre la que se trabaja sobre grupos de 3kW, desde una velocidad fija 1 hasta velocidades variables de 0,6 a 0,9 en la velocidad 1.

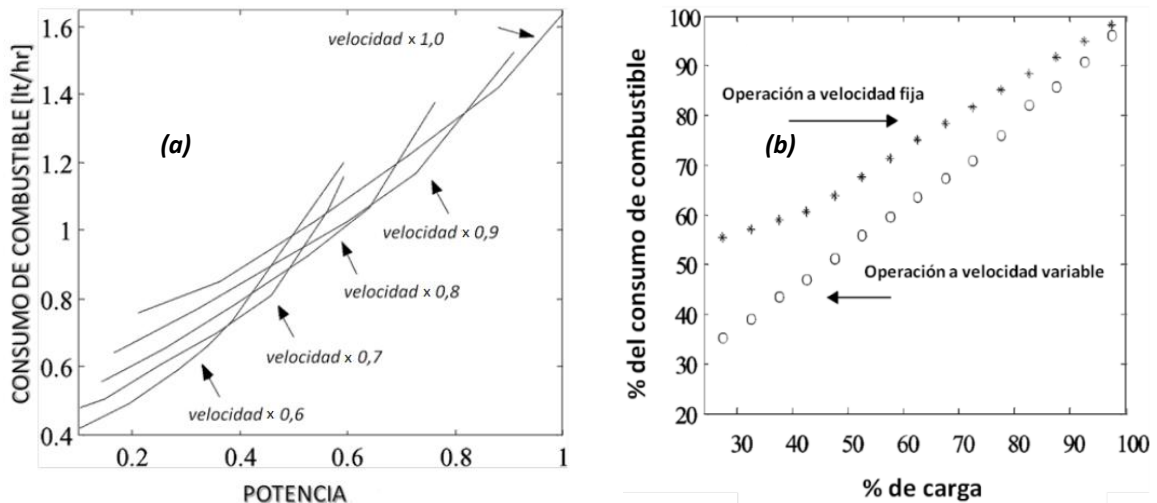


Figura 2. Diferencias en el consumo a distintas velocidades [9]

Se aprecia perfectamente que a baja demanda (20%) el gasto de combustible es muchísimo más eficiente cuando podemos adaptar la velocidad hasta un 0,6 de la velocidad fija. Sin embargo a medida que los grupos aproximan su trabajo a demandas próximas a la nominal, se equilibra el gasto de combustible entre la velocidad fija y la variable.

En la gráfica de la *Figura 2.b* también se confirma este razonamiento. El aumento de la carga requerida significa un aumento de la velocidad, consiguiendo así optimizar el rendimiento. En cambio, la curva de velocidad fija nos muestra como, sobre todo en niveles bajos de carga, se produce un malgasto de combustible respecto a la curva de velocidad variable. También hay que tener en cuenta que a potencia máxima la eficiencia de los grupos electrógenos de velocidad variable es posible que sea vea reducida debido a las pérdidas del convertidor.

Como conclusión, que más tarde se demuestra, la ventaja de los grupos electrógenos en funcionamiento a velocidad variable frente a los convencionales se acentúa cuando los niveles de carga son bajos, situación que se produce de forma habitual en las bases militares.

2.3.4. Análisis DAFO

Una vez realizada esta primera comparativa entre los grupos electrógenos convencionales y los de velocidad variable, y antes de comenzar con el estudio clave con el que se alcanzan los objetivos de este trabajo, se lleva a cabo el siguiente análisis DAFO. El objetivo principal es el análisis de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de los grupos electrógenos de velocidad variable frente a los grupos electrógenos de velocidad fija.

<p style="text-align: center;">FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Menor consumo de combustible. • Menor contaminación acústica. • Mejor calidad del suministro eléctrico. • Incremento de la vida útil de los diferentes elementos del generador. 	<p style="text-align: center;">DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elevada dependencia de personal experto y cualificado. • Fuentes militares limitadas para la aplicación de la nueva tecnología. • Mantenimiento de primer escalón de corto alcance.
<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promueve especialización del personal. • El mayor uso de las nuevas tecnologías favorece el acceso a nueva documentación relacionada con eficiencia energética. • Adaptación a las nuevas tendencias de sistemas energéticos eficientes. 	<p style="text-align: center;">AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gran necesidad de inversiones en corto plazo. • No ser considerado prioridad en los programas de adquisición de Defensa.

Tabla 1. Matriz DAFO

En primer lugar, como se puede observar en la matriz DAFO (*Tabla 1*), se ve claramente que el número de fortalezas y oportunidades supera contundentemente al de debilidades y amenazas. A pesar de ello, en el estudio, se observa como debilidad un mantenimiento de primer escalón de corto alcance. Este punto puede tener una importancia relevante en nuestro estudio teniendo en cuenta la problemática que además supone la localización de las bases en operaciones. Por otro lado, cabe resaltar la oportunidad de adaptarse a las nuevas tendencias de sistemas energéticos eficientes, siendo éste un punto clave considerando que la presencia del Ejército Español en operaciones es cada vez mayor y surge la necesidad de buscar la eficiencia energética en los distintos medios empleados.

3. DISEÑO ENERGÉTICO DE UN CAMPAMENTO BASE

3.1 ESTRUCTURA DE UN CAMPAMENTO BASE

Al objeto de aplicar la comparativa de gasto entre los dos grupos es importante tener en cuenta los diferentes módulos que requieren suministro energético y que podemos encontrar en una base tipo en operaciones. Generalmente y teniendo en cuenta la información suministrada por el REI 11, estos módulos son:

- | | | |
|-----------------|---------------|--------------|
| – Zona de vida | – Carburantes | – Almacén |
| – Duchas | – Polvorín | – Perimetral |
| – Mando | – Lavandería | – PC Cias |
| – Botiquín | – Ablución | |
| – Mantenimiento | – Comedor | |

La estructura de una base tipo puede verse con detalle en el **ANEXO IV**.

3.2 CONSUMO DE LOS DIFERENTES MEDIOS A INSTALAR EN UNA BASE TIPO DEPENDIENDO DE SU EMPLEO

Basándose en la información proporcionada por el REI 11 de Salamanca, se dispone de diferentes elementos para montar una base tipo. El REI 11 aplica un consumo eléctrico estándar cada uno de estos elementos, que son los mismos que se aplican en este estudio.

En la *Tabla 2* se muestran todos los elementos susceptibles de montar en una base tipo en zona de operaciones y el gasto energético que supone su instalación. Con la cantidad necesaria de cada uno de los elementos la tabla proporcionaría el gasto energético inicial preciso.

Por supuesto cada campamento es diferente, y dependiendo de la misión, la entidad de la unidad, los medios y los recursos disponibles, los elementos que componen los diferentes módulos cambiarán y posiblemente de una forma muy destacable. Sin embargo, para el objetivo de este estudio, y que no es otro que la comparación entre el gasto energético de dos tipos de grupos electrógenos diferentes, el modelo que se propone es más que válido.

Véanse en detalle los elementos de los módulos en **ANEXO V**.

BASE TIPO		POTENCIA UNIDAD
ZONA VIDA	TIENDAS DRASH	4
	CONTENEDORES	3,5
	TIENDAS ARPA	20
	EXTERIOR	0,3
DUCHAS	CONTENEDORES	16,5
	EXTERIOR	0,3
MANDO	TIENDAS	4
	CONTENEDORES	3,5
	EXTERIOR	0,3
BOTIQUIN	TIENDAS ARPA	20
	TIENDA MODULAR	6
	CONTENEDORES	3,3
	EXTERIOR	0,3
MANTENIMIENTO	TIENDAS	5
	CONTENEDORES	5
	EXTERIOR	0,3
CARBURANTES	TIENDAS	3,5
	CONTENEDORES	3,5
	EXTERIOR	0,3
POLVORIN	TIENDAS	3,5
	CONTENEDORES	7
	EXTERIOR	0,3
LAVANDERIA	CONTENEDORES	16,5
	EXTERIOR	0,3
ABLUCIÓN	CONTENEDORES	3,5
	EXTERIOR	0,3
COMEDOR	TIENDAS	10
	EXTERIOR	0,3
ALMACEN	TIENDAS	3
	COCINA	41
	CONTENEDORES	21
PERIMETRAL	TIENDAS	3,3
	CONTENEDORES	3,3
	EXTERIOR	0,3
PC CIAS	TIENDAS	3,3
	CONTENEDORES	3,3
	EXTERIOR	0,3

Tabla 2. Cálculo de potencia de una base de operaciones (kVA)

4. ESTUDIO Y EVALUACIÓN ENERGÉTICOS DEL CAMPAMENTO BASE DE HERAT

En base al apartado anterior. Se ha realizado un estudio del consumo de combustible real que el REI 11 calculó para la Base HERAT en el año 2006. Sólo se dispone de los cálculos energéticos de cada zona de la base, datos suficientes para llevar a cabo dicho estudio.

Véase **ANEXO VI**.

Según esta información la potencia a suministrar en el situación más crítica en cuanto a abastecimiento (todos los sistemas funcionando o la potencia total suministrada en un instante determinado) es de 1198,6 kVA.

4.1. COEFICIENTES DE CORRECCIÓN A LOS CÁLCULOS DE POTENCIA

En toda la información facilitada por el Regimiento se puede apreciar la utilización de un factor de corrección del 10/7 para sobredimensionar la potencia requerida y asegurar el éxito de los grupos a la hora de abastecer a toda la base. Sin embargo, en ningún momento se contemplan las correcciones debido a temperatura y altura ni simultaneidad. De hecho, este factor de corrección de 10/7 se aplica indistintamente en campamentos tan distintos como son el de Herat y el del Congo.

En este estudio no se aplica este factor ya que solo con la disminución de rendimiento de los grupos electrógenos por temperatura y altura se obtiene un factor de sobredimensionamiento más generoso para los cálculos de demanda energética finales. Este factor de temperatura y altura no figuran en los cálculos facilitados por el Regimiento.

4.1.1. *Coficiente de simultaneidad*

A la hora de hacer una previsión de la potencia o el cálculo de líneas para cualquier instalación también es imprescindible tener en cuenta el coeficiente de simultaneidad:

Se puede definir como el cociente entre la potencia eléctrica máxima que puede entregar una instalación eléctrica, y la suma de las potencias nominales de todos los receptores que pueden conectarse a ella. Este coeficiente se aplica siempre que a una instalación pueden conectarse aleatoriamente varios receptores. El valor de este coeficiente es fijado por legislación en algún caso, aunque normalmente son fruto de una estimación conseguida de la experiencia.

La siguiente información reflejada en la *Tabla 3* acerca de coeficientes de simultaneidad ha sido realizada a partir de lo aprendido en la asignatura de Electrotecnia que se imparte en la Academia de Ingenieros por profesores expertos en cálculos de líneas. En dicha tabla se encuentran los diferentes coeficientes de simultaneidad a tener en cuenta en el cálculo energético de cualquier instalación de la que se puede disponer.

<u>Tipo de instalación</u>	<u>Coeficiente de simultaneidad</u>
Edificios cuya finalidad preferentemente sea residencial	
2 o 3 edificaciones	0,7
4 edificaciones	0,6
5 o más edificios	0,5
Suministros comerciales	
2 o 3 edificaciones	0,8
4 o más edificaciones	0,7
Suministros industriales	
2, 3 o 4 edificaciones industriales	0,6
5 o más edificaciones industriales	0,4

Tabla 3. Coeficientes de simultaneidad para diferentes instalaciones

No obstante, a pesar de disponer de esta información, el estudio que se realiza se basa en coeficientes de simultaneidad por franjas horarias ya que, como se verá más adelante, es fundamental esta diferenciación para llevar a cabo los cálculos necesarios.

4.1.2. Coeficiente de altura y temperatura

Es necesario tener en cuenta diferentes parámetros como son la altura y la temperatura, que harán que el rendimiento de nuestros grupos electrógeno se reduzca. Teniendo en cuenta que el rendimiento disminuye un 1% por cada 100 metros por encima del mar (Hera se encuentra a unos 900 metros sobre el nivel del mar) y un 2% por cada 5°C por encima de los 20°C (En agosto se pueden llegar a alcanzar los 45°C), y considerando un 0,8 de factor de potencia, en la siguiente tabla reflejaremos la potencia corregida que nuestro grupo de 600 kVA va a poder aportar.

Grupo electrógeno 600 kVA			
Potencia nominal		Potencia nominal corregida (*)	
kVA	kW	kVA	kW
575	460	465,75	372,6
Trabajando al 80%...		372,6	298,08

Tabla 4. Potencia de un grupo electrógeno de 600 kVA

(*) -10% de rendimiento (temperatura) - 9% de rendimiento (altura)

Al ser la máxima potencia que puede ser requerida 1198 kVA y ser cada grupo capaz de aportar una potencia de 372,6 kVA, se considerarían 4 grupos electrógenos como los necesarios para que el abastecimiento energético de la base quede satisfecho. De esta manera el modo de utilización será el de dos bloques de dos grupos, consiguiendo así que cada bloque pueda operar con los grupos en paralelo y en funcionamiento ISLA. También será necesario llevar un grupo de emergencia que se situará independiente en otro bloque y que cubrirá el suministro crítico de la base ante cualquier caída de tensión por avería. No obstante, en el estudio posterior se intenta ajustar la demanda requerida a la real de la base.

4.2. COMPARATIVA EN TÉRMINOS DE CONSUMO

Como se ha podido observar en cálculos anteriores, resulta fundamental hacer un estudio del consumo por horas del día para obtener la demanda real en las diferentes franjas horarias y poder aplicar los conocimientos adquiridos sobre rendimiento energético de los dos grupos electrógenos. Es obvio que la demanda energética está íntimamente ligada a las horas de trabajo en la base de los diferentes equipos que precisan apoyo energético. De esta manera es necesario diferenciar entre los horarios de descanso, módulos que solo trabajan en horarios de luz, los que trabajan en horarios de noche, etc. El estudio está hecho para agosto, siendo los horarios de luz de 06:00 a 19:00 horas.

Se estudia dicha demanda en las diferentes zonas con las que se cuenta, aplicando factores de simultaneidad por franja horaria durante 24 horas.

En primer lugar se realiza una división de franjas horarias. De esta manera, y siguiendo el criterio utilizado por expertos del REI 11 se pueden dividir de la siguiente manera:

Descanso	(1) 15:00h a 16:00h (2) 19:00h a 20:00h (3) 22:00h a 00:00h
Trabajo	(1) 08:00h a 13:00h (2) 16:00h a 19:00h
Comida	(1) 06:00h a 08:00h (2) 13:00h a 15:00h (3) 20:00h a 22:00h
Noche	(1) 00:00h a 06:00h

Tabla 5. Clasificación de franjas horarias

Véase detalladamente en **ANEXO VII**.

Una vez definidas las diferentes franjas horarias, se estudia qué coeficiente de simultaneidad por cada zona se le va a asignar. Para esta asignación se ha tenido en cuenta la experiencia de distinto personal destinado en el REI 11 y que ha tenido la oportunidad de haber realizado diferentes misiones internacionales en las distintas bases en el exterior. De esta manera, y de forma resumida la *Tabla 6* muestra las potencias máximas a abastecer en cada zona.

Módulo	Potencia máxima (kVA)	Franja horaria
Zona de vida	308,64	Descanso 3
Duchas	58,8	Descanso 2
Mando	19,92	Trabajo 1 y 2
Botiquín	32,56	Trabajo 1 y 2
Mantenimiento	28,84	Trabajo 1 y 2
Carburantes	0,48	Trabajo 1 y 2
Polvorín	14,6	Trabajo 1 y 2
Lavandería	8,4	Trabajo 1 y 2
Comedor	69,525	Trabajo 2
Almacén	98	Trabajo
I Perimetral	4,8	Noche
PC Cías	32,34	Trabajo 1 y 2

Tabla 6. Potencias máximas

Como se puede observar, las potencias máximas requeridas por la mayor parte de los módulos que componen el campamento base, corresponden a las horas de trabajo, algo que es totalmente lógico. Por otro lado, el módulo de zona de vida o duchas alcanza su máxima potencia en horas de descanso y ocio dónde el personal dispone de horas libres. Finalmente, y observando la potencia máxima de la iluminación perimetral, tiene sentido que se alcance en horarios nocturnos.

Véase detalladamente en **ANEXO VIII**.

Una vez obtenidas las diferentes potencias de los módulos, se consigue calcular la cantidad de grupos que se requerirán en cada franja horaria para suministrar la potencia calculada teniendo en cuenta siempre el factor de carga de 0,8. Al llegar al 80% de su carga nominal pasa a repartirse dicha carga con el siguiente grupo. De esta manera y teniendo en cuenta que la potencia máxima a suministrar es de 298,08 kW se obtiene que solo en las franjas de DESCANSO 2 y DESCANSO 3 se necesitan 2 grupos electrógenos, el resto del día basta con el suministro de un grupo.

Véase **ANEXO IX**.

En la *Figura 3* se puede apreciar como la mayor demanda se centra en las horas de TRABAJO (60%-80%), mientras que el resto del día supera el 50% de carga en pocas ocasiones. Una vez más podemos afirmar que los grupos electrógenos trabajan en su mayor parte con cargas muy inferiores a la carga nominal posible.

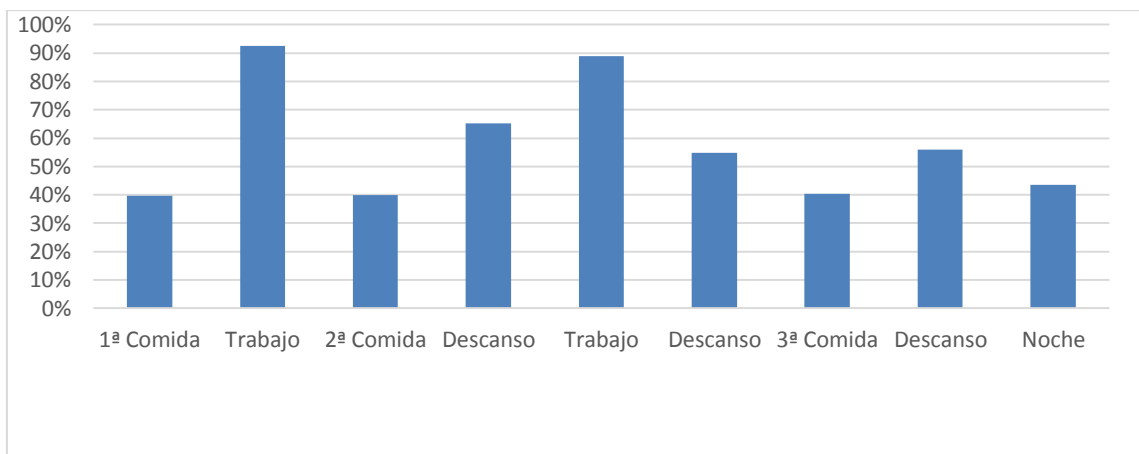


Figura 3. Puntos de operación del grupo electrógeno de 600 kVA

A continuación, teniendo en cuenta la potencia total suministrada en un día se halla el consumo de combustible para cada uno de los grupos electrógenos obteniendo así la comparativa y alcanzando el objetivo principal de este trabajo.

Es importante tener en cuenta que los cálculos se basan en la *Figura 4*, la cual proporciona la información necesaria en cuanto a consumo específico en función del porcentaje de potencia nominal suministrado por los dos tipos de grupos electrógenos. [\[10\]](#)

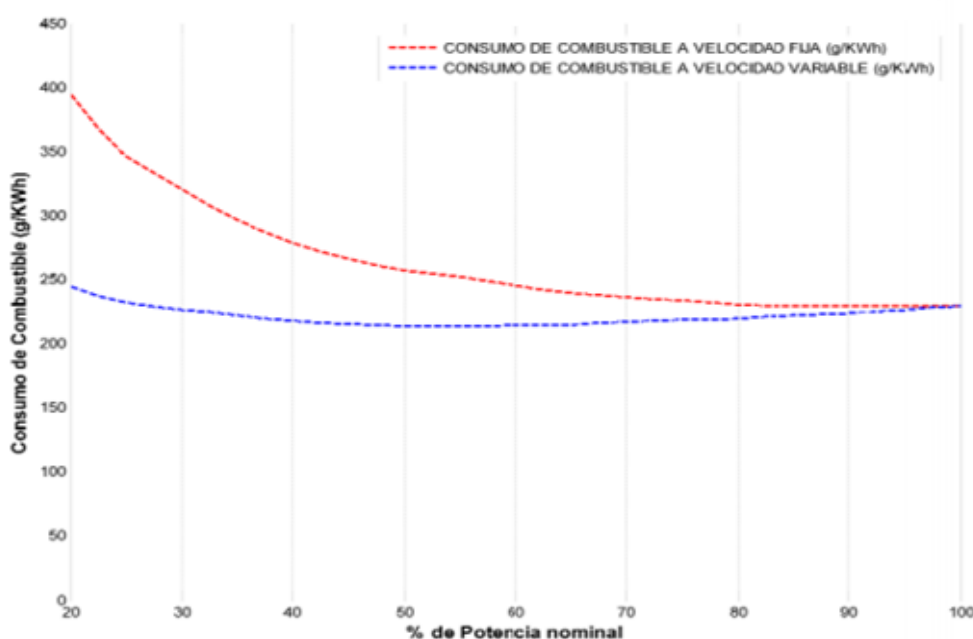


Figura 4. Consumo específico de combustible a diferentes velocidades [10]

La *Figura 4* ya permite apreciar, sin entrar en los cálculos, la diferencia en consumo específico a bajo porcentajes de carga.

Antes de empezar con los cálculos conviene aclarar que todos ellos se hacen en base a grupos electrógenos de la industria civil, pudiendo existir datos de consumo que no se ajusten a lo estipulado en el manual del grupo electrógeno de 600 kVA del ET [3]. Aun así estas diferencias son insignificantes.

Una vez obtenido los diferentes consumos específicos de cada grupo, el siguiente paso es calcular el consumo (l/h) de cada uno de ellos mediante la siguiente fórmula [11]:

$$m_c \left(\frac{l}{h} \right) = \frac{m_{ce} \left(\frac{gr}{KWh} \right) \times X (\%) \times Pn (KW) \times k_c}{(850 \times 100)} \quad (2)$$

Donde:

$m_{ce} \left(\frac{gr}{KWh} \right)$ = consumo específico (*Figura 4*)

$X (\%)$ = punto de operación

$Pn (KW)$ = potencia nominal del grupo electrógeno

k_c = factor de corrección (1,06)

Aparte de estos datos también se tiene en cuenta, como se puede apreciar en la fórmula, el peso del combustible diesel (850gr/l).

4.2.1. Consumo grupo electrógeno de velocidad fija de 600kVA

Aplicando el consumo específico de combustible del punto anterior a la carga necesaria en cada franja horaria se obtiene la siguiente tabla:

Nº g.e.	Franjas horarias		% de carga	Consumo específico (gr/kWh)	Consumo específico * Nº g.e.
1	1ª Comida	(6.00 h.- 8.00 h.)	40	280	280
1	Trabajo	(8.00 h.- 13.00 h.)	93	245	245
1	2ª Comida	(13.00 h.- 15.00 h.)	40	280	280
1	Descanso	(15.00 h.- 16.00 h.)	67	250	250
1	Trabajo	(16.00 h.- 19.00 h.)	89	245	245
2	Descanso	(19.00 h.- 20.00 h.)	55	255	510
1	3ª Comida	(20.00 h.- 22.00 h.)	41	280	280
2	Descanso	(22.00 h.- 0.00 h.)	56	250	500
1	Noche	(0.00 h.- 6.00 h.)	44	270	270

Tabla 7. Consumo específico de combustible por franja horaria a velocidad fija

Una vez conseguida esta tabla, se calcula el consumo de combustible por franjas horarias de acuerdo a la ecuación (2).

Nº g.e.	Franjas horarias		Consumo de combustible (lt/h)	Consumo de combustible (lt)
1	1ª Comida	(6.00 h.- 8.00 h.)	52,04	104,08
1	Trabajo	(8.00 h.- 13.00 h.)	97,90	489,51
1	2ª Comida	(13.00 h.- 15.00 h.)	52,04	104,08
1	Descanso	(15.00 h.- 16.00 h.)	78,99	78,99
1	Trabajo	(16.00 h.- 19.00 h.)	93,35	280,05
2	Descanso	(19.00 h.- 20.00 h.)	132,71	132,71
1	3ª Comida	(20.00 h.- 22.00 h.)	53,34	106,68
2	Descanso	(22.00 h.- 0.00 h.)	137,07	274,15
1	Noche	(0.00 h.- 6.00 h.)	56,46	338,73

Tabla 8. Consumo de combustible total por franja horaria a velocidad fija

Sumando los consumos de las diferentes franjas horarias se obtiene el consumo diario de nuestra base de operaciones: 1908,68 litros.

4.2.2. Consumo grupo electrógeno de velocidad variable de 600kVA

Se siguen los mismos pasos que en el caso del grupo electrógeno convencional. De esta manera se obtiene en primer lugar el consumo específico que se produce en cada franja horaria.

Nº g.e.	Franjas horarias		% de carga	Consumo específico (gr/KWh)	Consumo específico * Nº g.e.
1	1ª Comida	(6.00 h.- 8.00 h.)	40	225	225
1	Trabajo	(8.00 h.- 13.00 h.)	86	240	240
1	2ª Comida	(13.00 h.- 15.00 h.)	40	225	225
1	Descanso	(15.00 h.- 16.00 h.)	68	230	230
1	Trabajo	(16.00 h.- 19.00 h.)	82	235	235
2	Descanso	(19.00 h.- 20.00 h.)	56	225	450
1	3ª Comida	(20.00 h.- 22.00 h.)	41	225	225
2	Descanso	(22.00 h.- 0.00 h.)	59	225	450
1	Noche	(0.00 h.- 6.00 h.)	45	225	225

Tabla 9. Consumo específico de combustible por franja horaria a velocidad variable

Se calcula mediante la ecuación (2) el consumo de combustible obteniendo los siguientes resultados:

Nº g.e.	Franjas horarias		Consumo de combustible (lt/h)	Consumo de combustible (lt)
1	1ª Comida	(6.00 h.- 8.00 h.)	41,82	83,64
1	Trabajo	(8.00 h.- 13.00 h.)	95,90	479,52
1	2ª Comida	(13.00 h.- 15.00 h.)	41,82	83,64
1	Descanso	(15.00 h.- 16.00 h.)	72,67	72,67
1	Trabajo	(16.00 h.- 19.00 h.)	89,54	268,62
2	Descanso	(19.00 h.- 20.00 h.)	117,09	117,09
1	3ª Comida	(20.00 h.- 22.00 h.)	42,86	85,73
2	Descanso	(22.00 h.- 0.00 h.)	123,37	246,73
1	Noche	(0.00 h.- 6.00 h.)	47,05	282,28

Tabla 10. Consumo de combustible total por franja horaria a velocidad variable

Finalmente se calcula que el consumo de combustible total empleando grupos electrógenos a velocidad variable en un día en la base de operaciones es de 1719,92 litros.

4.3. COMPARATIVA EN TÉRMINOS DE POTENCIA

En las comparaciones tanto de consumo como de mantenimiento entre los grupos electrógenos convencionales y los de velocidad variable, se han tenido en cuenta los grupos electrógenos de 600kVA. Estos son los de mayor potencia con los que cuenta el Ejército Español y con los que hoy en día operan en el exterior. A continuación se va a analizar cuáles serán los resultados si se trabajara con grupos electrógenos de menor potencia (225 kVA).

El estudio se hace sobre el consumo que supondría la utilización de estos grupos en la Base de HERAT utilizando para ello los mismos datos que con el de 600kVA. Con este estudio se pasa a comparar los grupos electrógenos convencionales con los variables teniendo en cuenta las diferentes alternativas de potencia de los grupos.

Teniendo en cuenta que ya se han obtenido los diferentes consumos de combustible para los grupo de 600 kVA (convencional y velocidad variable), a continuación se halla el consumo de los de 225 kVA para finalmente poder compararlos.

El primer paso para poder estudiar el consumo de este grupo es conocer cuál será la potencia que será capaz de suministrar teniendo en cuenta los diferentes coeficientes de corrección que en el apartado 4.1 se especifican. Aplicando factor de simultaneidad 1 y las diferentes correcciones por temperatura y altura tenemos los siguientes datos:

Grupo electrógeno 225 kVA			
Potencia nominal		Potencia nominal corregida (*)	
kVA	kW	kVA	kW
225	180	182,25	145,8
Trabajando al 80%...		145,8	116,64

Tabla 11. Potencia de un grupo electrógeno de 225kVA

El primer cálculo que se puede hallar, es la cantidad de grupos que se requieren para cada franja horaria para suministrar la potencia calculada. Se obtiene que, excepto en las franjas de DESCANSO y de TRABAJO dónde son necesarios 3 grupos electrógenos, el resto del día nos bastaran con el suministro de 2 grupos.

Véase **ANEXO X**.

Comparando la *Figura 5* con la *Figura 3* del apartado 4.2 se llega a una primera conclusión lógica: los grupos de 225kVA trabajan a una carga mayor que los de 600kVA, no bajando en ninguna franja horaria del 50% de carga.

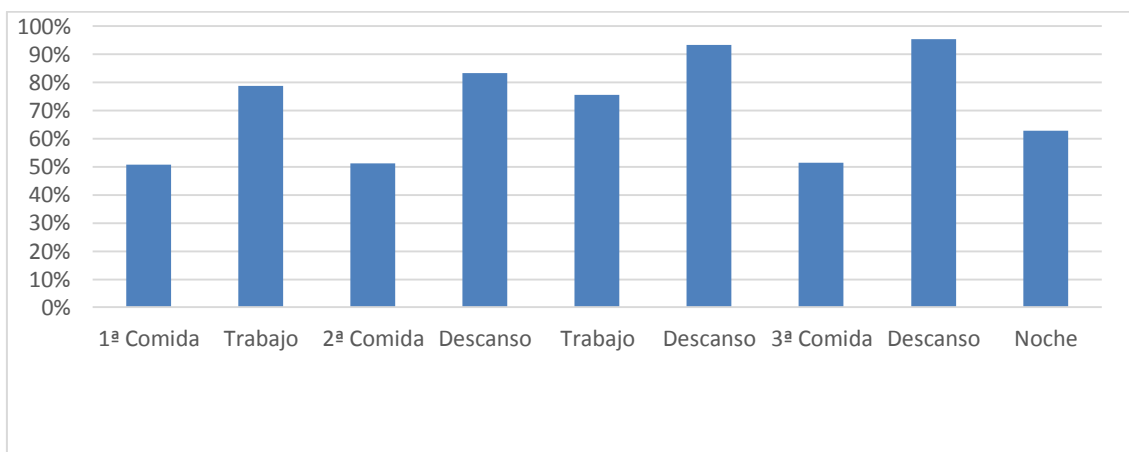


Figura 5. Puntos de operación del grupo electrógeno de 225 kVA

4.3.1. Consumo grupo electrógeno de velocidad fija de 225 kVA

A continuación se calcula el consumo específico por franja horaria en función del porcentaje de potencia nominal suministrado por los dos tipos de grupos electrógenos.

Nº g.e.	Franjas horarias		% de carga	Consumo específico (gr/KWh)	Consumo específico * Nº g.e.
2	1ª Comida	(6.00 h.- 8.00 h.)	51	260	520
3	Trabajo	(8.00 h.- 13.00 h.)	79	250	750
2	2ª Comida	(13.00 h.- 15.00 h.)	52	260	520
2	Descanso	(15.00 h.- 16.00 h.)	84	245	490
3	Trabajo	(16.00 h.- 19.00 h.)	76	250	750
3	Descanso	(19.00 h.- 20.00 h.)	94	245	735
2	3ª Comida	(20.00 h.- 22.00 h.)	52	260	520
3	Descanso	(22.00 h.- 0.00 h.)	96	230	690
2	Noche	(0.00 h.- 6.00 h.)	63	255	510

Tabla 12. Consumo específico de combustible por franja horaria a velocidad fija

Calculando de nuevo el consumo de combustible:

Nº g.e.	Franjas horarias		Consumo de combustible (lt/h)	Consumo de combustible (lt)
2	1ª Comida	(6.00 h.- 8.00 h.)	48,22	96,44
3	Trabajo	(8.00 h.- 13.00 h.)	99,55	497,74
2	2ª Comida	(13.00 h.- 15.00 h.)	49,16	98,33
2	Descanso	(15.00 h.- 16.00 h.)	77,51	77,51
3	Trabajo	(16.00 h.- 19.00 h.)	95,46	286,37
3	Descanso	(19.00 h.- 20.00 h.)	128,29	128,29
2	3ª Comida	(20.00 h.- 22.00 h.)	49,16	98,33
3	Descanso	(22.00 h.- 0.00 h.)	125,46	250,91
2	Noche	(0.00 h.- 6.00 h.)	52,86	317,13

Tabla 13. Consumo de combustible total por franja horaria a velocidad fija

Como resultado final se obtiene que el consumo de combustible total diario empleando grupos electrógenos convencionales de 225kVA es de 1851,05 litros.

4.3.2. Consumo grupo electrógeno de velocidad variable de 225 kVA

Siguiendo los mismos pasos de cálculo se obtiene en primer lugar el consumo específico que se produce en cada franja horaria.

Nº g.e.	Franjas horarias		% de carga	Consumo específico (gr/KWh)	Consumo específico * Nº g.e.
2	1ª Comida	(6.00 h.- 8.00 h.)	51	225	450
3	Trabajo	(8.00 h.- 13.00 h.)	79	230	690
2	2ª Comida	(13.00 h.- 15.00 h.)	52	225	450
2	Descanso	(15.00 h.- 16.00 h.)	84	240	480
3	Trabajo	(16.00 h.- 19.00 h.)	76	230	690
3	Descanso	(19.00 h.- 20.00 h.)	94	245	735
2	3ª Comida	(20.00 h.- 22.00 h.)	52	225	450
3	Descanso	(22.00 h.- 0.00 h.)	96	245	735
2	Noche	(0.00 h.- 6.00 h.)	63	225	450

Tabla 14. Consumo específico de combustible por franja horaria a velocidad variable

Y el consumo en litros por franja horaria:

Nº g.e.	Franjas horarias		Consumo de combustible (lt/h)	Consumo de combustible (lt)
2	1ª Comida	(6.00 h.- 8.00 h.)	41,73	83,46
3	Trabajo	(8.00 h.- 13.00 h.)	91,58	457,92
2	2ª Comida	(13.00 h.- 15.00 h.)	42,55	85,09
2	Descanso	(15.00 h.- 16.00 h.)	75,93	75,93
3	Trabajo	(16.00 h.- 19.00 h.)	87,82	263,46
3	Descanso	(19.00 h.- 20.00 h.)	128,29	128,29
2	3ª Comida	(20.00 h.- 22.00 h.)	42,55	85,09
3	Descanso	(22.00 h.- 0.00 h.)	133,64	267,28
2	Noche	(0.00 h.- 6.00 h.)	46,64	279,82

Tabla 15. Consumo de combustible total por franja horaria a velocidad variable

Finalmente se obtiene que el consumo de combustible total empleando grupos electrógenos a velocidad variable de 225kVA es de 1726,34 litros.

4.3.3. Comparativa con el grupo electrógeno de 600 kVA

Teniendo los resultados del consumo de los diferentes grupos electrógenos tanto a velocidad fija como a velocidad variable y de diferentes potencias se obtiene el siguiente cuadro resumen:

	Consumo (lt/día)	
	Velocidad fija	Velocidad variable
Con grupos de 600 kVA	1908,68	1719,92
Con grupos de 225 kVA	1851,05	1726,34

Tabla 16. Consumo de litros de combustible al día

Analizando la *Tabla 16* se puede confirmar que la opción más rentable, en cuanto a consumo se refiere, es la de los grupos electrógenos de 600kVA a velocidad variable.

Otra conclusión que se obtiene es que la diferencia de consumo entre los convencionales y los de velocidad variable cuándo se habla de grupos de 225kVA es menor que la que se aprecia cuando la potencia del grupo es mayor. Esto se debe, como se ha demostrado antes con la *Figuras 3* y la *Figura 5*, a que al trabajar los grupos de menor potencia a mayor carga se aproximan más los consumos de los dos tipos de grupos.

Se alcanza un ahorro de entre un 10 % (600kVA) y 5 % (225kVA) diario.

4.4. COMPARATIVA EN TÉRMINOS DE MANTENIMIENTO

En este apartado se pretende estudiar las diferentes medidas a llevar cabo para asegurar el buen funcionamiento de nuestros grupos electrógenos en operaciones en el exterior. Se analizan las diferencias en el mantenimiento de un grupo electrógeno convencional y uno de velocidad variable, con la finalidad de añadir una comparativa más a la del consumo hallado en el apartado anterior.

Primero se estudia cual es el mantenimiento común para los dos grupos, siendo éste prácticamente el mismo, ya que la principal diferencia reside en los elementos electrónicos que hacen posible variar la velocidad.

El mantenimiento a continuación expuesto está basado en el manual del grupo electrógeno de 600kVA, hoy en día funcionando en diferentes bases españolas en operaciones [\[3\]](#).

4.4.1. *Mantenimiento del grupo electrógeno de velocidad fija de 600kVA*

Como todo mantenimiento de cualquier equipo, hay una serie de operaciones a realizar que deben ser estrictamente programadas con el fin de mantener unas buenas condiciones operativas.

El programa de mantenimiento consiste en 22 operaciones periódicas, que se detallan en la siguiente tabla:

	Diariamente	La primera vez		Intervalo					Mínimo	
		Primer arranque	400 h	200 h	400 h	1200 h	2400 h	4800 h	Cada año	Cada 5 años
SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE	•	•								
1.Control del nivel de aceite					•1					•
2.Cambio del aceite					•1					•
3.Limpieza del filtro centrífugo de aceite					•1					•
4.Cambio del filtro del turbo					•1					•
SISTEMA DE REFRIGERACION	•									
5.Control del nivel de refrigerante										
6.Control del refrigerante		•					•4		•	
7.Limpieza del sistema de refrigeración								•1		•
FILTRO DE AIRE	•									
8.Lectura de control del indicador de subpresión										
9.Limpieza del colador				•1						•
10.Limpieza o cambio del cartucho de filtro						•3				•
11.Cambio del cartucho de seguridad							•			•
SISTEMA DE COMBUSTIBLE.										
12.Control del nivel del combustible	•	•								
13.Cambio del filtro principal de combustible						•1				•
SISTEMA ELECTRICO		•		•2					•	
14.Control del nivel de electrolito en las baterías		•		•2					•	
15.Control del estado de carga de las baterías		•		•2					•	
16.Limpieza de las baterías				•2					•	
VARIOS										
17.Control del monitor de nivel refrigerante		•				•			•	
18.Control del monitor de temperatura		•				•			•	
19.Control del monitor de presión de aceite		•				•			•	
20.Control de correa de transmisión		•				•			•	
21. Buscar fugas, remediándolas en caso necesario	•									
22. Cambio de la válvula de ventilación cerrada de la caja del cigüeñal							•			

1. Con más frecuencia cuando sea necesario.
2. Para motores con pocas horas de operación
3. Antes si el indicador de subpresión está en rojo.
4. Si no se ha llenado inhibidor durante cinco años, cambiar el refrigerante.

Tabla 17. Puntos de mantenimiento de un grupo electrógeno convencional 600 kVA

4.4.2. Mantenimiento del grupo electrógeno de velocidad variable de 600kVA

Como se señala anteriormente la diferencia en el mantenimiento es mínima. La *Tabla 17* podría servir perfectamente para un mantenimiento de un grupo electrógeno de velocidad variable. Sin embargo hay diferentes factores a tener en cuenta que pueden marcar una diferencia en las operaciones de mantenimiento a realizar.

Mantenimiento de un Convertidor CA-CA

Como ya se ha reflejado en este trabajo, el convertidor CA-CA está compuesto por dos etapas las cuales hacen posible la conversión de corriente: etapa rectificadora CA-CC y etapa Inversora CC-CA. De esta manera, es fundamental para el estudio del mantenimiento centrarse en cada uno de los elementos que los componen.

Al tratarse de elementos electrónicos y al ser altamente sensible a su manipulación, su mantenimiento requiere de personal experto y cualificado en ellos lo que puede suponer una desventaja en zona de operaciones.

Mantenimiento del rectificador

Los rectificadores electrónicos se ven sometidos a altas gamas de potencia y prolongados períodos de operación continua. Esto lleva a que los diferentes elementos que lo componen acaben siendo afectados, modificándose sus características eléctricas, reduciendo la eficiencia en su operación o generando mayores consumos de energía. Estos problemas pueden significar, a lo largo del tiempo, la detención del proceso de operación, llevando consigo pérdidas de producción así como elevados costes por horas hombre. Por todo ello, es imprescindible realizar un mantenimiento periódico que permita corregir problemas y prevenir la aparición de éstos.

Como se ha señalado anteriormente, el mantenimiento debe ser realizado por personal capacitado que cuente con los conocimientos básicos de los componentes del rectificador. Igualmente, es fundamental realizar todas las tareas de mantenimiento, siguiendo estrictamente las normas de seguridad. [\[12\]](#)

El mantenimiento se reduce fundamentalmente a tres puntos:

- **Inspección visual.** Permite detectar a simple vista: conexiones sulfatadas, conexiones aéreas que puedan presentar algún síntoma de recalentamiento, cintas aislantes despegadas, borneras de empalme flojas, etc. pudiendo actuar de la manera correspondiente en función del caso.

- Limpieza. Debe ser una tarea periódica siendo prudente realizarla cada tres meses por los menos. La limpieza del polvo acumulado en el interior así como las aéreas del transformador o de los diodos. Es recomendable el uso de aire comprimido seco para la limpieza de dichas áreas.
- Equilibrio de corriente. Con el fin de detectar anomalías en el balance de la corriente, lo que podría ser indicio de diodos abiertos o en cortocircuito, es recomendable medir el amperaje que consume el equipo. Si el desbalance supera el 15% entre fases es preferible contactar con personal especializado para una adecuada reparación.

Mantenimiento del inversor

El inversor apenas necesita mantenimiento para funcionar correctamente. Labores de limpieza periódicas y apriete de los tornillos de las terminales de entrada de CC son tareas suficientes, a priori, para asegurar su operación óptima.

Wetstacking

Durante el proyecto ya se ha hablado de este fenómeno. Durante los diferentes estudios realizados se ha podido comprobar cómo los grupos electrógenos en las bases en el extranjero operan a menudo alrededor del 40% de su potencia, lo que facilita el *wetstacking*.

Como medida para evitar este fenómeno se ha hecho referencia a las resistencias ficticias –*dummy load*– para evitar los daños que produce el *wetstacking*. No obstante, en la información proporcionada por el REI 11 desconocen este fenómeno, las causas y como hacer frente a él. Es por ello, por lo que cabe resaltar que los grupos electrógenos a velocidad variable no sufren este problema y aumentan así la vida útil de diferentes elementos de su generador el cual se ve seriamente afectado por el *wetstacking*. [7]

Véase este fenómeno detalladamente en **ANEXO XI**.



Ilustración 1. Efectos wetstacking

5. PROGRAMA INFORMÁTICO PARA EL CÁLCULO DE GRUPOS ELECTRÓGENOS NECESARIOS EN UNA BASE DE OPERACIONES

5.1. INTRODUCCIÓN

Una vez terminado el estudio de la comparación de los grupos electrógenos de velocidad constante y variable se detecta la necesidad de hallar el número de grupos electrógenos necesarios para el abastecimiento de una base de operaciones tipo de una manera rápida, sencilla y muy simple. Para ello, se ha desarrollado un programa informático escrito en Visual Basic Este lenguaje es uno de los más populares y conocidos en el mundo de la programación informática.

Las sintaxis que utiliza este lenguaje de programación proviene del conocido BASIC aunque completada con códigos y comandos de otros lenguajes que se consideran más modernos.

Es un lenguaje muy adecuado para el manejo de bases de datos que permite programar contenidos informáticos gráficos de manera simple y accesible. Muchas empresas lo utilizan para la gestión de sus bases de datos ya que su utilización es sencilla y muchas personas están familiarizadas con su uso.

De este lenguaje de programación han surgido algunos derivados como el VBScript (lenguaje de programación web) o el Visual Basic.Net (lenguaje de similares características a las del C#).

5.2 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL PROGRAMA

- *Label*. Presenta texto en el que el usuario no puede interactuar o modificar
- *TextBox*. Proporciona un área para escribir o presentar texto.
- *CheckBox*. Presenta una opción de tipo Verdadero o Falso
- *MsgBox*. Manda un mensaje al usuario al realizar una determinada acción.
- *Command Button*. Ejecuta un comando o una acción al hacer *click* en él.

5.3 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA.

Para la realización de la aplicación informática se han contemplado los mismos grupos estudiados a lo largo de todo el trabajo, grupos de 600kVA y grupos de 225kVA.

Dicha aplicación la componen 17 formularios, los cuales podemos agrupar en 5 tipos diferentes que son:

- Formulario pantalla principal de presentación de la aplicación.

- Formulario para la corrección de las potencias suministradas por los grupos de acuerdo a diferentes parámetros ambientales y de rendimiento.
- Formulario de selección de los posibles módulos para la configuración de la base.
- Trece formularios correspondientes a los consumos de los diferentes módulos que pueden formar una base de operaciones tipo.
- Formulario final de cálculo de potencias totales y número de grupos electrógenos a utilizar.

Para la configuración de los diferentes formularios se ha utilizado información obtenida en apartados anteriores así como datos proporcionados por el REI 11.

5.4 MANUAL DE USO DEL PROGRAMA

A continuación se explica cada formulario del programa así como de dónde se ha obtenido la información.

Véanse los códigos utilizados de cada figura en el **ANEXO XII**.

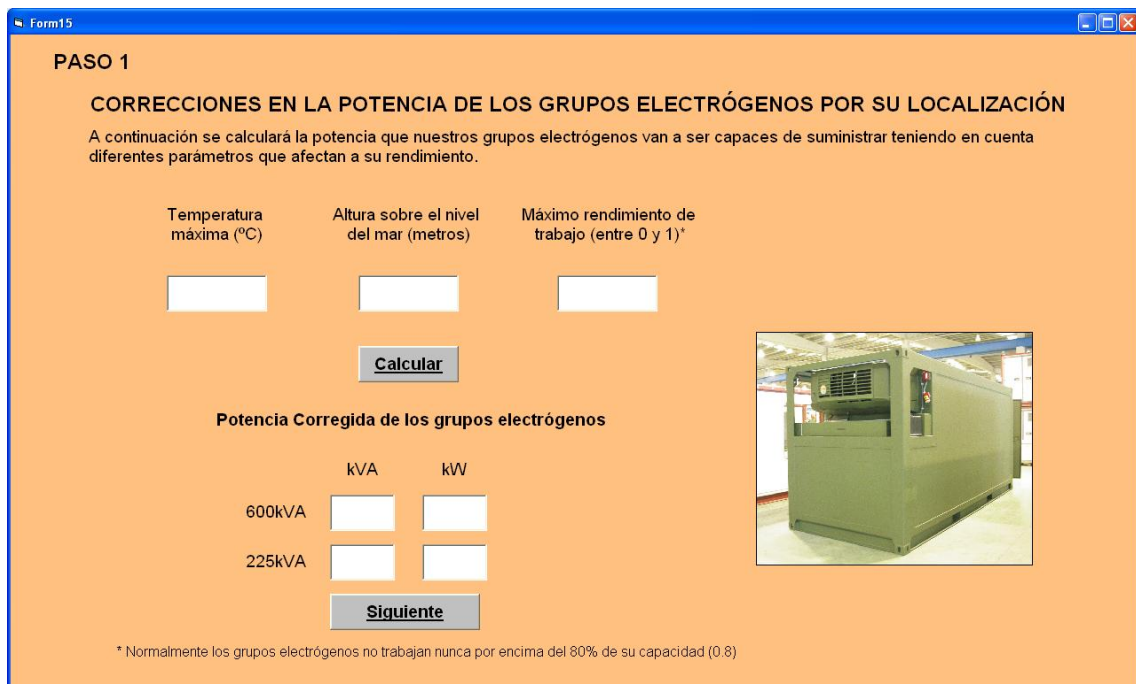
El primer formulario (*Figura 6*) sirve como presentación a la aplicación informática. Su diseño es simple y solo cuenta con el botón “Comenzar” que lleva al usuario al segundo formulario donde comienzan los pasos para alcanzar el objetivo final.



Figura 6. Pantalla de introducción al programa

5.4.1. Correcciones en la potencia de los grupos electrógenos

En este formulario (*Figura 7*) el usuario debe introducir diferentes parámetros que dependen fundamentalmente del emplazamiento de la base de operaciones y que afectan al rendimiento de los grupos electrógenos. Dicho parámetros son: temperatura máxima y altura sobre el nivel del mar. También se le pide al usuario el porcentaje de carga máxima al que van a trabajar los grupos electrógenos (normalmente al 80% de su capacidad máxima). Una vez rellenada dicha información el usuario podrá calcular la potencia corregida de sus grupos electrógenos pulsando el botón “Calcular”. Para comenzar el siguiente paso el usuario solo tiene que presionar el botón “Siguiente”.



PASO 1

CORRECCIONES EN LA POTENCIA DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS POR SU LOCALIZACIÓN

A continuación se calculará la potencia que nuestros grupos electrógenos van a ser capaces de suministrar teniendo en cuenta diferentes parámetros que afectan a su rendimiento.

Temperatura máxima (°C)	Altura sobre el nivel del mar (metros)	Máximo rendimiento de trabajo (entre 0 y 1)*
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Calcular

Potencia Corregida de los grupos electrógenos

	kVA	kW
600kVA	<input type="text"/>	<input type="text"/>
225kVA	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Siguiente

* Normalmente los grupos electrógenos no trabajan nunca por encima del 80% de su capacidad (0.8)

Figura 7. Correcciones de la potencia en los grupos electrógenos

A continuación, las *Figuras 8 y 9* muestran las ventanas emergentes que ayudan al usuario a introducir correctamente los datos, indicándole entre que valores deben estar los que va introduciendo.

PASO 1

CORRECCIONES EN LA POTENCIA DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS POR SU LOCALIZACIÓN

A continuación se calculará la potencia que nuestros grupos electrógenos van a ser capaces de suministrar teniendo en cuenta diferentes parámetros que afectan a su rendimiento.

Temperatura máxima (°C)	Altura sobre el nivel del mar (metros)	Máximo rendimiento de trabajo (entre 0 y 1)*
<input type="text" value="25"/>	<input type="text" value="a"/>	<input type="text" value="200"/>

Calcular

Potencia Corregida de los grupos electrógenos

	kVA	kW
600kVA	<input type="text"/>	<input type="text"/>
225kVA	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Siguiente

* Normalmente los grupos electrógenos no trabajan nunca por encima del 80% de su capacidad (0.8)




Figura 8. Aviso para introducir valores numéricos

PASO 1

CORRECCIONES EN LA POTENCIA DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS POR SU LOCALIZACIÓN

A continuación se calculará la potencia que nuestros grupos electrógenos van a ser capaces de suministrar teniendo en cuenta diferentes parámetros que afectan a su rendimiento.

Temperatura máxima (°C)	Altura sobre el nivel del mar (metros)	Máximo rendimiento de trabajo (entre 0 y 1)*
<input type="text" value="25"/>	<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="2"/>

Calcular

Potencia Corregida de los grupos electrógenos

	kVA	kW
600kVA	<input type="text"/>	<input type="text"/>
225kVA	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Siguiente

* Normalmente los grupos electrógenos no trabajan nunca por encima del 80% de su capacidad (0.8)




Figura 9. Aviso para introducir valores entre 0 y 1 para el máximo rendimiento

5.4.2. Selección de módulos para la base de operaciones

Formulario de selección de los módulos

Este formulario (*Figura 10*) permite que el usuario seleccione qué módulos van a componer la base de operaciones. Los módulos que se le dan a elegir vienen reflejados en el ANEXO VI, información proporcionada por el REI 11. Una vez elegidos los módulos, basta con presionar el botón “Calcular” y se le abre un formulario por cada módulo. En dicho formulario se le irá solicitando todos los datos necesarios para poder determinar la demanda de energía eléctrica de cada módulo. Una vez rellenos todos presionando el botón “Siguiente” el usuario llegará al último paso de su programa.

PASO 2

En este paso se seleccionarán los diferentes módulos con los que se va a contar en la base para así poder hacer un estudio de las diferentes necesidades de abastecimiento de cada uno de ellos.

Dentro de cada módulo al usuario se le pedirá la información necesaria para llevar a cabo este estudio. Dicha información será:

- Número de tiendas (modulares, drash, arpa, etc). Estos datos afectarán a la hora del abastecimiento energético siendo éste variable en función del número y tipo de tiendas.
- Número de contenedores. Sus aplicaciones son múltiples y no siempre requerirán el mismo abastecimiento. Normalmente se encuentran repartidos por todos los módulos del campamento.
- Número de puntos de luz en el exterior. Dependiendo del módulo y de su utilización durante las horas de noche, el número de dispositivos variará.
- Coeficientes de simultaneidad (CS)*. Estos coeficientes son claves para el estudio del abastecimiento energético de la base. Para cada módulo se le pedirá al usuario diferentes factores de simultaneidad en función de las franjas horarias de un día. De esta manera habrá que tener en cuenta qué porcentaje de la potencia total será necesaria abastecer en cada franja. Dependiendo del módulo estos coeficientes cambiarán para cada franja horaria.

*Usar la coma para los números decimales

A continuación se muestra una lista de los diferentes módulos con los que se podría contar en una base tipo. Seleccione aquellos que formarán parte de la base.

<input type="checkbox"/> Zona de Vida	<input type="checkbox"/> Lavandería
<input type="checkbox"/> Duchas	<input type="checkbox"/> Ablución
<input type="checkbox"/> Mando	<input type="checkbox"/> Comedor
<input type="checkbox"/> Botiquín	<input type="checkbox"/> Almacén
<input type="checkbox"/> Mantenimiento	<input type="checkbox"/> Perimetral
<input type="checkbox"/> Carburantes	<input type="checkbox"/> PC Cías
<input type="checkbox"/> Polvorín	

Calcular

Una vez calculados los distintos módulos, pulsar 'Aceptar' para pasar al siguiente paso.

Aceptar

Figura 10. Selección de módulos

Formularios de cada módulo

Una vez seleccionados los módulos y dentro de cada formulario, el usuario se encuentra con datos a introducir para llevar a cabo los cálculos. Cada módulo cuenta con su formulario. Éstos serán iguales entre sí salvo las tiendas, contenedores, o algún otro componente con los que cuentan, pudiendo variar de uno a otro. Una vez introducidos todos los datos el usuario observa los resultados de los cálculos pulsando el botón “Calcular” y podrá pasar al formulario del siguiente módulo mediante el botón “Aceptar”. La *Figura 11* muestra el formulario de la Zona de vida siendo éste el más completo al contar con diferentes tipos de tiendas así como de contenedores, los formularios y la programación de los demás módulos son muy similares. Los datos a rellenar por el usuario son:

- Número de tiendas (modulares, drash, arpa, etc). Estos datos afectan a la hora del abastecimiento energético siendo éste variable en función del número y tipo de tiendas.

- Número de contenedores. Sus aplicaciones son múltiples y no siempre requieren el mismo abastecimiento. Normalmente se encuentran repartidos por todos los módulos del campamento.
- Número de puntos de luz en el exterior. Dependiendo del módulo y de su utilización durante las horas de noche, el número de dispositivos variará.
- Coeficientes de simultaneidad (CS). Estos coeficientes son claves para el estudio del abastecimiento energético de la base. Para cada módulo se le pide al usuario diferentes factores de simultaneidad en función de las franjas horarias de un día. De esta manera hay que tener en cuenta qué porcentaje de la potencia total es necesaria abastecer en cada franja. Dependiendo del módulo estos coeficientes cambia para cada franja horaria.

ZONA DE VIDA

Nº Tiendas Arpa Nº Contenedores

Nº Tiendas Drash Puntos luz exterior

COEFICIENTES DE SIMULTANEIDAD (valores entre 0 y 1)

	CS	KVA
1ª Comida (6.00h. - 8.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Trabajo (8.00h. - 13.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2ª Comida (13.00h. - 15.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Descanso (15.00h. - 16.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Trabajo (16.00h. - 19.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Descanso (19.00h. - 20.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3ª Comida (20.00h. - 22.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Descanso (22.00h. - 0.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Noche (0.00h. - 6.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Calcular

Aceptar

Figura 11. Formulario de la Zona de Vida

5.4.3. Cálculo del número de grupos electrógenos necesarios para la base de operaciones

En este último formulario (*Figura 12*) el usuario consigue llegar a su objetivo final. La pantalla muestra la potencia total por cada franja horaria así como la máxima a suministrar. El usuario también puede recordar la potencia que es capaz de suministrar cada uno de sus grupos y finalmente pulsando el siguiente botón “Calcular”, se halla el número de grupos necesarios para la base, de 600kVA o de 225kVA.

PASO 3

En este paso se calcularán el número de grupos electrógenos necesarios para la base a partir de la potencia total a suministrar en cada franja horaria.

Calcular

Potencias totales para cada franja horaria:	Potencia de los grupos electrógenos		La potencia mayor a suministrar es:
	600 kVA	225 kVA	
1ª Comida (6.00h. - 8.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> kVA
Trabajo (8.00h. - 13.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
2ª Comida (13.00h. - 15.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Descanso (15.00h. - 16.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Trabajo (16.00h. - 19.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Descanso (19.00h. - 20.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
3ª Comida (20.00h. - 22.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Descanso (22.00h. - 0.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Noche (0.00h. - 6.00h.)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

NÚMERO DE GRUPOS ELECTRÓGENOS

600 kVA ó 225 kVA

Figura 12. Pantalla final del cálculo del número de grupos

6. CONCLUSIONES

Una vez desarrollado el Trabajo de Fin de Grado y alcanzados los objetivos definidos al principio de éste, resulta fundamental exponer una serie de conclusiones que reflejen los resultados del estudio.

Puesto que el tema principal se centra en los grupos electrógenos a velocidad variable como alternativa a los grupos electrógenos de velocidad fija en su uso en bases de operaciones, a continuación se muestran los puntos concluyentes de este estudio.

- Respecto al consumo de combustible, se ha podido verificar que el grupo electrógeno de velocidad variable presenta un ahorro con respecto al grupo electrógeno de velocidad fija. La ventaja de poder controlar la velocidad del generador eléctrico supone un ahorro en los momentos en los que la eficiencia energética se puede ver amenazada por los niveles de baja carga a los que trabajan los grupos electrógenos.
- En relación al mantenimiento, el uso de grupos electrógenos a velocidad variable conlleva un esfuerzo en cuanto a la óptima conservación de los diferentes dispositivos electrónicos con los que cuenta. No obstante, su capacidad reguladora de la velocidad supone una mejor conservación de los grupos electrógenos alargando así la vida útil de los mismos.
- En cuanto a la potencia del grupo electrógeno, se ha podido comprobar que las diferencias en consumo son mínimas. Sin embargo, también se ha observado que en función del tipo de base y el tipo de módulos a abastecer, puede convenir usar unos u otros de mayor o menor potencia.

En general, y basándose en los resultados obtenidos, es acertado considerar los grupos electrógenos a velocidad variable una alternativa a los grupos electrógenos a velocidad fija para su uso en bases en el exterior, consiguiéndose así el objetivo final: una óptima eficiencia energética.

7. LÍNEAS FUTURAS

Durante la ejecución y el desarrollo del trabajo se han adquirido diferentes conocimientos los cuales resultarían de ayuda para continuar analizando algunos aspectos con los que conseguir el estudio energético más óptimo posible en el devenir de las misiones en el exterior del Ejército Español.

Por ello, en este apartado se proponen unos posibles puntos que tienen como objetivo seguir con el estudio de los grupos electrógenos a velocidad variable en las Bases de operaciones, logrando así la máxima eficiencia energética posible:

- La utilización de un programa de simulación de fuentes de generación renovable para integrar la instalación en Bases y campamentos de grupos electrógenos de velocidad variable con placas fotovoltaicas.
- Realización de maniobras del REI 11 haciendo uso de grupos electrógenos de velocidad variable de pequeña potencia para suministrar los diferentes módulos básicos a utilizar para así, sacar resultados empíricos de su funcionamiento y posibles ventajas.
- Estudio de un sistema de alimentación constituido tanto por grupos electrógenos a velocidad fija como con grupos electrógenos a velocidad variable para su posible implantación en las Bases de operaciones en exterior.

8. BIBLIOGRAFÍA

A continuación se detallan las fuentes empleadas de manera continua durante todo el Trabajo de Fin de Grado:

- Fraile Mora, Jesús. *“Máquinas Eléctricas”*. Editorial Garceta. 7ª edición. (4 Septiembre 2015).
- W. Hart, Daniel. *“Electrónica de potencia”*. Editorial Pearson. (Madrid 2001).
- VV. AA. *“Power Electronics: Converters, Applications and Design”*. Editorial Upc Bar Code. 3ª edición. (8 Noviembre 2002).

La siguiente bibliografía se ha utilizado de manera más puntual, entre la que se incluyen libros, artículos y trabajos de investigación:

- [1] Fitzgerald, Kingsley y Umans. *“Máquinas eléctricas”*. Editorial McGraw-Hill Interamericana. (Madrid, 2004).
- [2] Villalobos Cabrera. *“Potencia Eléctrica y Factor de Potencia”*. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. (5 de abril 2010).
- [3] CYMASA. *“Manual de operación y mantenimiento de 1er y 2º escalón del grupo electrógeno de 600KVA's sincronizado sobre contenedor ISO 20”*. (2007).
- [4] VV.AA. *“Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación”*. Iberdrola Instituto Tecnológico. Pamplona. (1998).
- [5] H. Rashid Muhammad. *“Circuitos, dispositivos y aplicaciones”*. Editorial Pearson. 3ª edición. (2004).
- [6] Universidad de Valencia. *“Introducción a la electrónica de potencia”*. (Curso 2008-2009). Consultado en: www.uv.es/~emaset/iep00/descargas/motores-Accionadores-0809.ppt
- [7] Tom Divine. *“A close look at wet stacking”*. Consulting- Specifyng Engineer. Houston. (2010). Consultado en: <http://www.csemag.com/single-article/a-close-look-at-wet-stacking/e0b399904af236d9f863742ca8f03440.html>
- [8] Malouf, Dani. *“Wet stacking effects on diesel engine and prevention”*. Edarat Group: Technology Consultants.
- [9] Morales Quevedo, Felipe Alejandro. *“Algoritmo de control en sistema de generación diesel de velocidad variable utilizando convertor matricial de cuatro piernas”*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. (2010).
- [10] Paredes Paredes, Luis Armando. *“Modelación y simulación de un sistema de generación diesel de velocidad variable”*. Facultad de Ingeniería. Universidad de Magallanes, Chile. (2009).

[11] Giangrandi V. Leonardo. *“Aspectos técnico-económicos para evaluación de proyectos de cogeneración en base grupos generadores diesel”*. Escuela de Ingeniería Pontificia Universidad Católica de Chile. (2011).

[12] Rectificadores MIT. *Manual del usuario*. Consultado en: <http://www.rectificadoresmit.com/manuales.php>

9. ANEXOS

ANEXO I: Generalidades sobre las máquinas eléctricas¹

Como se puede observar en la *Figura 1*, desde un punto de vista mecánico y según sus necesidades de uso, las máquinas eléctricas se pueden clasificar en dos tipos: estáticas y rotativas:

- Máquinas eléctricas estáticas. Son máquinas eléctricas que transforman la energía eléctrica variando, en general, alguna de sus características. De esta manera pueden elevar o reducir la tensión para una determinada aplicación.
- Máquinas eléctricas rotativas. Compuestas principalmente de un rotor y un estator, están provistas de partes giratorias, como las dinamos, generadores o motores. Si la máquina convierte energía mecánica en energía eléctrica se llama generador, mientras que si convierte energía eléctrica en mecánica se denomina motor. Esta relación se conoce como principio de la conservación de la energía electromecánica.

El estudio se centra en las máquinas rotativas, ya que como se explica anteriormente, es el tipo de máquinas en las que se encuentran los generadores. Aparte, estas máquinas pueden ser clasificadas en: máquinas síncronas y máquinas asíncronas.

- Máquinas síncronas. Son un tipo de máquinas eléctricas rotativas de corriente alterna cuya velocidad de giro del rotor es constante y depende de la frecuencia de la tensión en bornes y del número de polos de la máquina. De esta manera se dice que opera a “velocidad de sincronismo”.
- Máquinas asíncronas. A diferencia de las anteriores, en este tipo de máquinas, el rotor gira a una velocidad distinta de la síncrona impuesta por la frecuencia de la red, existiendo un deslizamiento. Una de las características que la definen es su construcción simple y robusta así como la posibilidad de utilizar un rotor en forma de jaula de ardilla que le permite trabajar en situaciones más adversas requiriendo un menor mantenimiento.

Máquinas síncronas

Generador síncrono

Los generadores síncronos también llamados alternadores, son máquinas utilizadas para convertir energía mecánica en energía eléctrica AC.

Está compuesto principalmente de una parte fija o estator y de una parte móvil o rotor:

¹ Sanz Feito, Javier. “*Máquinas eléctricas*”. Editorial Pearson Education. (Madrid, 2002).

- **El Estator.** Es la parte fija y está constituida por un conjunto de placas magnéticas que forman un cilindro y que tienen una serie de ranuras longitudinales, sobre las cuales están colocados conductores, conectados entre sí con el fin de crear un conjunto de bobinas por las que circulará la corriente. Cuando el rotor gira, el flujo del campo magnético a través del estator varía con el tiempo, por lo que se genera una corriente eléctrica. Esta constituido principalmente de las siguientes partes:
 - Carcasa
 - Núcleo magnético
 - Devanados
 - Accesorios mecánicos y eléctricos
- **El rotor.** Es la parte móvil que gira dentro del estator. Está formado por un devanado inductor alimentado desde el exterior a través de escobillas y anillos rozantes. Tiene como función producir un campo magnético fijo para interactuar con el campo magnético producido por el estator. Existen dos tipos de estatores:
 - Estator de polos salientes.
 - Estator de polos lisos.

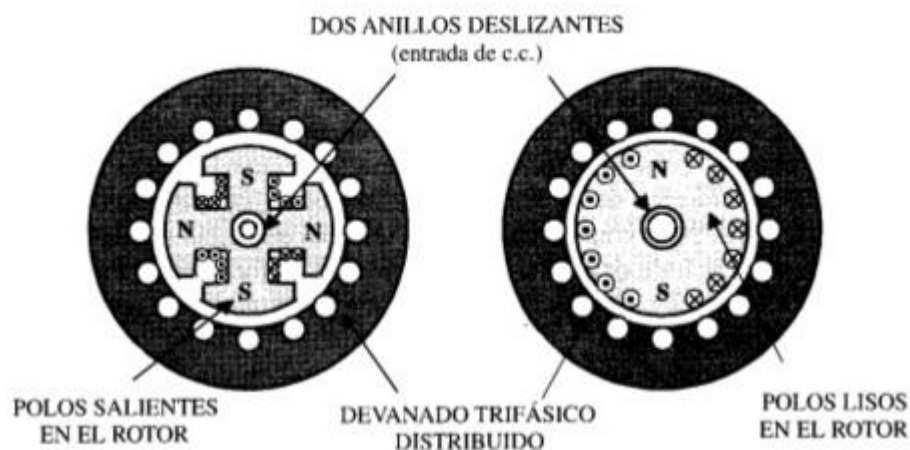


Figura 13. Tipos constructivos de máquinas síncronas

ANEXO II: FACTOR DE POTENCIA

Potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente

Para que los grandes sistemas eléctricos operen de manera estable, entre otras cosas debe suministrarse la potencia activa y reactiva, que en cualquier instante demanden los consumos. Considerando que las potencias activas y reactivas demandadas varían de manera constante, los generadores que se utilicen para variar dicha demanda, deben tener la capacidad de variar por separado ambas magnitudes. Los generadores síncronos tienen esa característica, por lo cual, en el proceso de energía eléctrica, se utiliza fundamentalmente dicho tipo de generador.

- Potencia activa (W). Representa la energía que realmente se aprovecha cuando se pone a funcionar un equipo eléctrico y realiza un trabajo.
- Potencia reactiva (var). Es la potencia que consumen los motores, transformadores y todos los dispositivos o aparatos eléctricos que poseen algún tipo de bobina o enrollado para crear un campo electromagnético. No genera trabajo útil a lo largo del tiempo.
- Potencia aparente (VA). Es la suma geométrica de las potencias efectiva y reactiva.

De esta manera, se tiene el siguiente triángulo de potencias:

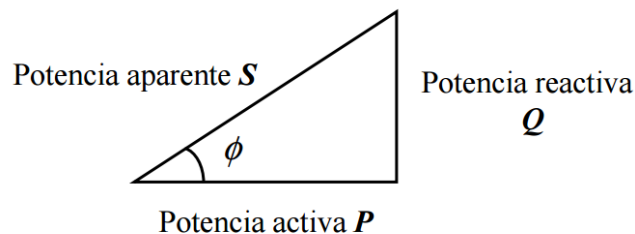


Figura 14. Triángulo de potencias

De la *Figura 3* se observa que:

$$\frac{P}{S} = \cos \phi$$

Luego,

$$FP = \cos \phi$$

ANEXO III: Elementos de la conversión CA-CA²

Rectificador CA-CC

Su misión principal es proporcionar energía eléctrica en forma de corriente continua a partir de una fuente de corriente alterna. Los rectificadores trifásicos se pueden clasificar, en función de la capacidad de control para ajustar el valor de la tensión de salida, de la siguiente manera:

- No controlados. Son aquellos en los que la magnitud de la tensión continua no se puede controlar, será siempre fija. Utilizan diodos semiconductores como elemento de rectificación. Se pueden clasificar en dos tipos: de media onda o de onda completa.
- Controlados. A diferencia de los anteriores, estos cuentan con la ventaja de poder regular la magnitud de la tensión CC y en definitiva la potencia de ésta. En estos rectificadores se utilizan tiristores en vez de diodos como elemento de rectificación. También pueden ser de media onda o de onda completa
- Semicontrolados. Se utilizan tanto diodos como tiristores y también pueden controlar la magnitud de la tensión CC aunque de manera menos flexible.

Inversor CC-CA

La misión principal de un inversor es cambiar una tensión de entrada de CC a una tensión simétrica de salida de CA con una frecuencia deseada. Entre sus principales aplicaciones se encuentra el control de velocidad y posición de las máquinas de corriente alterna, siendo éste el objetivo de los grupos electrógenos de velocidad variable. Se pueden clasificar en función de su tensión de salida en monofásico y trifásicos ó según estén alimentados por una fuente de tensión (VSI) o de corriente (CSI). A continuación se exponen las características del inversor trifásico, siendo éste el relevante para este estudio.

Inversor trifásico

Se utilizan en aplicaciones de gran potencia, pudiendo estar constituidos por tres inversores monofásicos independientes conectados a la misma fuente. Se pueden distinguir dos opciones a la hora de conectar la carga trifásica: Conexión en triángulo (*Figura 3a*) y conexión en estrella (*Figura 3b*).

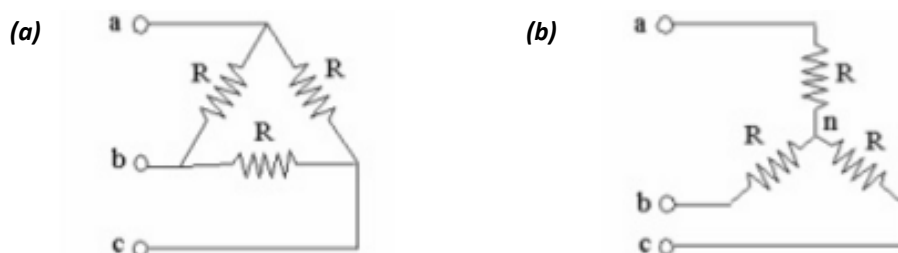


Figura 15. Tipos de conexión trifásica

² VV.AA. "Variación de la velocidad de los motores eléctricos". Universidad de Oviedo. (Oviedo, 2002)

Los inversores están constituidos por elementos de conmutación como BJT, GTO, IGBT o MOSFET:

Tiristor de apagado por puerta (GTO)

Este tipo de tiristor puede pasar al estado de conducción aplicando un impulso positivo a la corriente de puerta, al igual que en los tiristores convencionales, pero tienen además la ventaja frente a estos últimos de que pueden desconectarse también aplicando a la puerta un impulso de corriente pero de signo negativo. Sus aplicaciones se limitan a circuitos con frecuencias de conmutación inferiores a 1kHz. Se fabrican GTO con valores asignados o nominales de 6 kV y corrientes de 6 kVA.

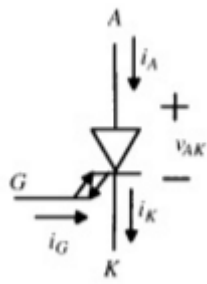


Figura 16. Simbología GTO

Transistor bipolar de unión (BJT)

Este tipo de transistor, debido a la disposición de sus terminales, puede ser utilizado como amplificador de corriente. Una de las características principales que tiene es que las pérdidas por conducción son relativamente pequeñas. Aparte, es un dispositivo activo controlado por corriente, ya que la corriente de base determina si el estado del transistor es abierto o cerrado. Existen transistores de potencia preparados para tensiones de 1.500 V y corrientes de 1.000 A.

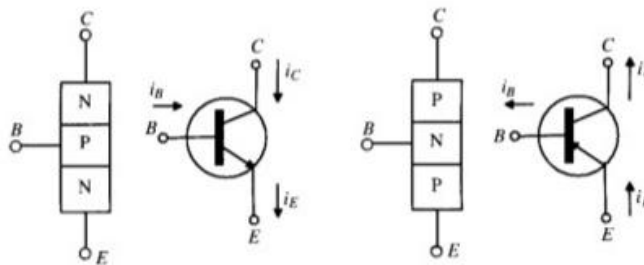


Figura 17. Tipos de transistores BJT

Transistor MOSFET

Este transistor se caracteriza por su velocidad de conmutación por lo que se utiliza en las aplicaciones con alta frecuencia (1 MHz) y baja potencia (pocos kW). Al contrario que un transistor bipolar BJT, que es un dispositivo que dispara por corriente, un MOSFET es un dispositivo controlado por tensión. Cuando se aplica una tensión positiva entre la puerta y la fuente positiva, el transistor entra en conducción. Debido a su rapidez en la conducción, las pérdidas en este proceso son despreciables. Existen en el mercado MOSFET que llegan a 600 V, 50 A y 50 nanosegundos de tiempo de conmutación. SIMBOLO TRANSISTOR MOSFET

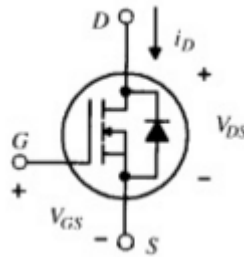


Figura 18. Simbología transistor MOSFET

Transistor bipolar de puerta aislada IGBT

Es un dispositivo semiconductor de potencia híbrido, que combina las propiedades del transistor de unión BJT y del MOSFET. La puerta es tipo MOSFET y la conducción de IGBT se hace por tensión como en el MOSFET. Al igual que el BJT, tiene una caída de tensión en el estado de conducción que es reducida. La velocidad de conmutación es significativamente más pequeña que el MOSFET y del orden del BJT. Existen en el mercado IGBT de 2.000 V, 3.000 A y su frecuencia de conmutación es del orden de 20 kHz.

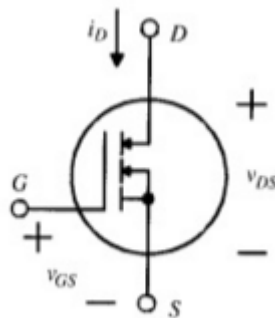


Figura 19. Simbología IGBT

Normalmente, estos pulsos son generados por diferentes técnicas de modulación entre las que se encuentran:

- Modulación onda cuadrada 180°
- Modulación onda cuadrada 120°
- PWM (Modulación de Ancho de Pulsos)

El estudio se centrará en la técnica PWM ya que es la más utilizada entre otras razones por su fácil implementación analógica.

Modulación PWM

Este tipo de modulación consiste en generar pulsos de ancho proporcional a la amplitud de una señal moduladora. Ésta señal suele ser sinusoidal y es comparada con una señal portadora, que en el caso más simple es una señal triangular, la cual controla la frecuencia de conmutación. De esta manera, se consigue transmitir las características de amplitud y frecuencia de la onda moduladora al lado de potencia donde se encuentra la carga³. La *Figura 20* que se encuentra a continuación muestra las señales moduladoras y portadora así como la forma de onda de la tensión de salida.

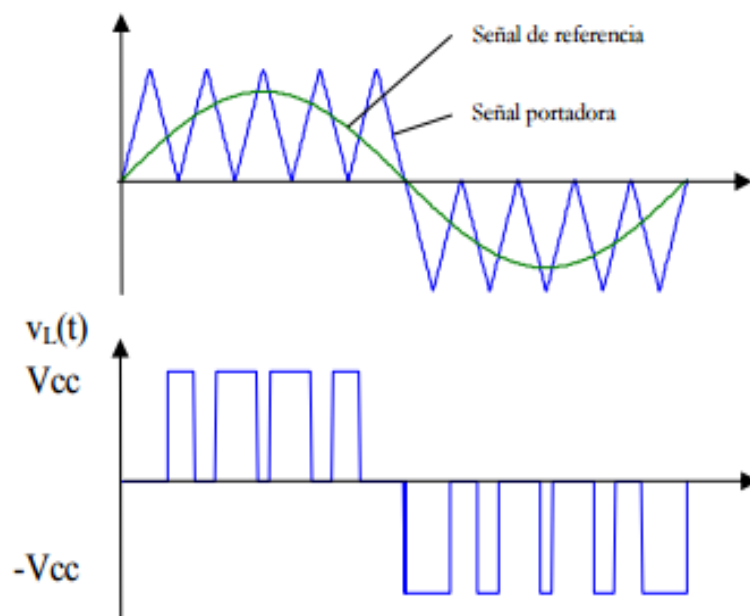


Figura 20. Modulación PWM

Como consecuencia de la aplicación de estos pulsos, la frecuencia del armónico fundamental corresponde con la frecuencia de referencia, siendo ésta una de las ventajas principales que hace que esta técnica de modulación sea la más utilizada.

³ Wildi, Theodore. "Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. Parte 3: Controles eléctricos y electrónicos". Editorial Pearson Education. 6ª edición. (2007)

ANEXO IV: Estructura de un campamento base.

En una base de operaciones se deben diferenciar las siguientes zonas:

- Zona de vida. Comprende los diferentes espacios dentro de la base donde el personal desarrolla sus actividades fuera del trabajo. En esta zona podemos encontrar principalmente los módulos de alojamiento para el distinto personal que se encuentra destacado en la base. Además las cooperativas o cantinas también forman parte de esta zona así como gimnasios, o locutorios donde pasan gran parte de sus horas de descanso.
- Duchas. Esta zona consta principalmente de los diferentes contenedores que contienen los diferentes equipos para atender las necesidades de duchas y lavabos del personal. Dichos contenedores suelen estar divididos en diferentes cabinas donde se encuentran las duchas, un área para la zona técnica y una caldera. Pueden incluir tiendas adosables para su uso como vestuario.
- Mando. Zona en la cual se encuentra el personal al mando de la base. Desde allí se gestionan las diferentes cuestiones o información que pueda afectar a las operaciones encomendadas al personal allí destacado. Los principales medios que podemos encontrar en esta zona son medios de telecomunicaciones así como gran cantidad de medios electrónicos necesarios para llevar a cabo las funciones de gestión, control y mando necesarias para el buen funcionamiento de las operaciones.
- Botiquín. Dentro de esta zona encontramos todo lo necesario para el cuidado sanitario del personal de la base. Médicos y enfermeros trabajan con diferentes medios electrónicos para llevar a cabo actividades de control o en su defecto de auxilio sanitario durante las operaciones. Suele ser una zona que requiere un suministro elevado de potencia debido a la calidad y precisión que caracteriza los medios utilizados en este ámbito.
- Mantenimiento. Zona de gran importancia para el buen funcionamiento de las misiones en el exterior. Es aquí donde se llevan a cabo labores que van a ser decisivas en el transcurso de las operaciones como puede ser el cuidado del distinto material, ya sean vehículos, armamento o distintos tipos de municiones. La mayor parte de las horas de trabajo suelen desarrollarse en esta zona.
- Carburantes. Donde encontramos todo tipo de combustibles necesarios para el abastecimiento de todos los sistemas y medios de la base. Las condiciones deben ser las óptimas para su buena conservación evitando así que pierdan sus propiedades.
- Polvorín. Como en cualquier polvorín en territorio nacional su principal aplicación es la de conservar toda la munición existente en la base en unas condiciones óptimas de conservación y proporcionar la seguridad de la misma. Esta zona tiene gran importancia debido a la cantidad de munición de distintos tipos necesaria en una base en operaciones para desempeñar las distintas misiones encomendadas.
- Lavandería. Esta zona comprende los sistemas necesarios para mantener la vestimenta del personal en buenas condiciones. Los medios utilizados son específicos para dichos cuidados y se encuentran trabajando un alto número de horas al día.

- Ablución. En esta zona encontramos los diferentes contenedores destinados a albergar las instalaciones higiénicas y sanitarias. Dichos contenedores suelen contener inodoros, duchas y lavabos. De esta manera es una zona en la que encontramos no solo instalaciones eléctricas sino también de fontanería y saneamiento. También los depósitos de agua o los lavaderos de la base se situarían en esta zona.
- Comedor. Compuesto generalmente por diferentes tiendas, es un espacio en el que se desarrollan las distintas comidas del día y el cual suele ser lo más cómodo posible en cuanto a condiciones de temperatura o espacio.
- Almacén. Esta zona juega un papel muy importante en cuanto suministro energético se refiere. Aquí se encuentra todo el material de cocina así como los contenedores en los que se guardan los distintos alimentos, bebidas o...y los cuales deben tener unas condiciones específicas para su buena conservación. De esta manera podemos encontrar contenedores frigoríficos, contenedores congeladores, etc. lo que supone un gasto de energía elevado. En general es la zona que más potencia requiere de todo el campamento.
- Perimetral. Se trata del perímetro que rodea a la base en su límite interior. Podemos encontrar diferentes garitas de seguridad y sobre todo elementos para dar un buen alumbrado y seguridad a la base. Las horas nocturnas suelen suponer un gasto elevado para esta zona.
- PC Cias. Los puestos de mando de las compañías suelen estar formados por los distintos elementos mediante los cuales los diferentes oficiales de las compañías puedan gestionar y controlar todo lo que afecte a dichas compañías.

Como podemos imaginar, las bases de operaciones se van perfeccionando poco a poco, por lo que el requisito energético inicial es para cubrir los mínimos que permitan que la base funcione plenamente, pero sin excesivos elementos de confort, muchos de los cuales precisan de suministro energético. De esta forma, se debe pensar siempre en montar un sistema fácilmente escalable, tanto en número de grupos como en la instalación de líneas de suministro que puedan soportar futuras demandas superiores.

ANEXO V: Consumo de los diferentes medios a instalar en la base tipo dependiendo de su empleo⁴

- **Tiendas Drash.** Son una familia de tiendas plegables y auto portantes que por su diseño son ideales para el despliegue rápido. Entre sus aplicaciones se encuentran: Puestos de Mando, Centros Tácticos de Operación, hospitales de campaña, centros quirúrgicos, etc. Una de sus principales características es la capacidad que tiene de unirse entre sí tantas como se quiera pudiendo crear una gran estructura. A pesar de sus múltiples aplicaciones la solemos encontrar en zonas de vida. Requiere una potencia de 4kva por unidad.



Ilustración 2. Tienda Drash

- **Contenedores.** Elemento principal de la base, muchas de las instalaciones se encuentran sobre la base de contenedores, los podemos encontrar distribuidos por toda ella. Todos ellos cumplen la norma ISO 20' y podemos encontrarlos de diferentes tamaño en función de la aplicación que se le dé. En función de estas aplicaciones, generalmente su gasto es de 3,3 Kva o 3,3 Kva para los que son utilizados en zonas de vida, mando, PC Cias, botiquín, taller, perímetro de la base, carburantes y ablución. La potencia aumenta levemente en el caso de los contenedores para mantenimiento (5kva) o los destinados como polvorín (7 Kva). Requieren una mayor potencia para las duchas o lavandería (16,5 Kva) y almacén (20 Kva).

⁴ Todos los datos de este apartado así como las distintas ilustraciones que se muestran, han sido proporcionados por El Regimiento de Ingeniero Nº11.



Ilustración 3. Contenedores

- **Tiendas Arpa.** Son tiendas de un gran tamaño y capacidad. Suelen ser utilizadas como taller para el mantenimiento de vehículos aunque también se le da uso como zona de vida o botiquín. La potencia requerida por este tipo de tiendas es de 20 Kva para sus diferentes aplicaciones.



Ilustración 4. Tienda Arpa

- **Exterior.** Todas las zonas de la base requieren un abastecimiento energético en su exterior ya sea para iluminar focos o para XXX. Obviamente hay zonas en las que este abastecimiento es mayor por la función que se desempeña en ellas. Por ejemplo la zona que delimita el perímetro de la base requiere un mayor gasto de exterior por razones de seguridad. No obstante, el gasto depende del número de sistemas. Cada uno de ellos gasta 0,3 Kva.

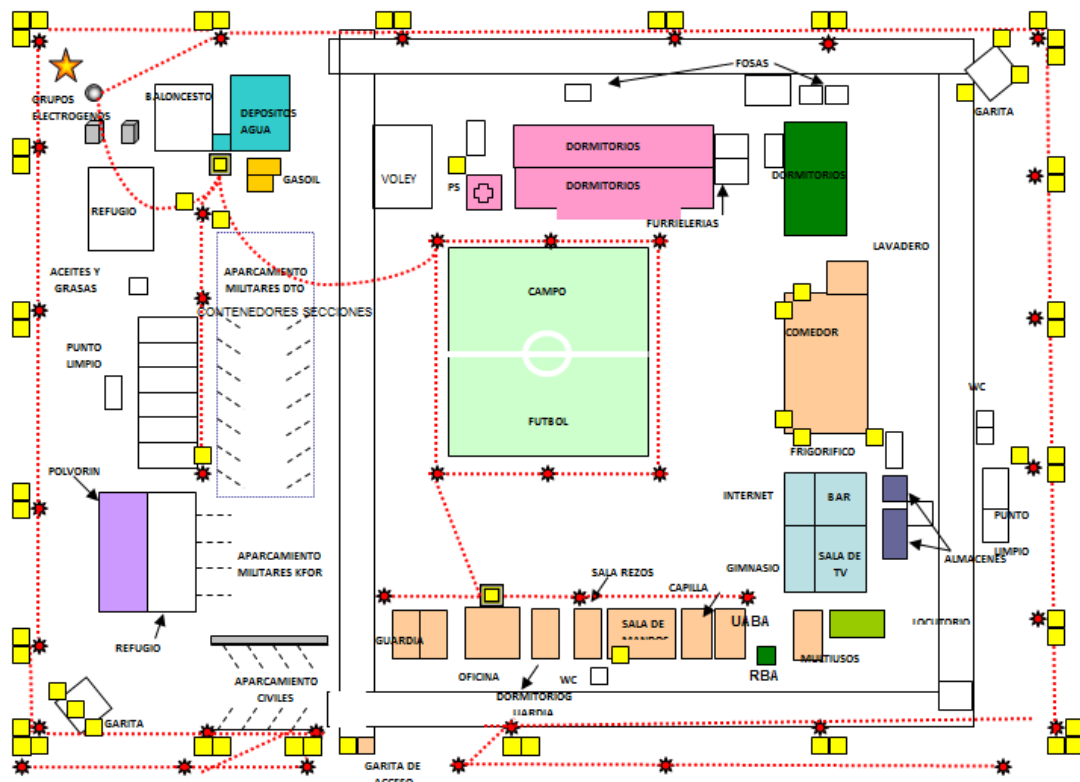


Ilustración 5. Puntos de luz exterior de una Base

- **Tiendas.** Utilizada en múltiples zonas de la base y con diferentes funciones. En cuanto a la potencia demandada podemos encontrar diferentes valores que vienen relacionados con los sistemas energéticos que podemos encontrar dentro de la tienda y los cuales hay que abastecer. De esta manera tenemos 3 Kva para almacén, 3,3 Kva para el perímetro y los PC Cias, 3,5 Kva para polvorín o taller, 4kva para mando, 5kva para mantenimiento y 10 Kva en cocina.
- **Tienda modular.** Esta tienda es usada principalmente para cubrir las necesidades del botiquín y todo el material que sanitario. Su gasto es de 6 Kva.



Ilustración 6. Tienda Modular

- **Cocina.** Obviamente en la zona de almacén se encuentran todos los alimentos para abastecer al personal de la base por lo que es necesario tenerlos en unas buenas condiciones de conservación. Es por esto por lo que el abastecimiento energético que se requiere es alto debido a los numerosos medios eléctricos con los que cuenta



Ilustración 7. Cocina

ANEXO VI: Cálculo de la potencia eléctrica consumida en un campamento

BASE TIPO		HERAT 2006			
		NUMERO	POTENCIA UNIDAD	POTENCIA TOTAL	POTENCIA POR ZONA
ZONA VIDA	TIENDAS DRASH	128	4	512	514,4
	CONTENEDORES	0	3,5	0	
	TIENDAS ARPA	0	20	0	
	EXTERIOR	8	0,3	2,4	
DUCHAS	CONTENEDORES	5	16,5	82,5	84
	EXTERIOR	5	0,3	1,5	
MANDO	TIENDAS	8	4	32	33,2
	CONTENEDORES	0	3,5	0	
	EXTERIOR	4	0,3	1,2	
BOTIQUIN	TIENDAS ARPA	2	20	40	81,4
	TIENDA MODULAR	5	6	30	
	CONTENEDORES	3	3,3	9,9	
	EXTERIOR	5	0,3	1,5	
MANTENIMIENTO	TIENDAS	6	5	30	41,2
	CONTENEDORES	2	5	10	
	EXTERIOR	4	0,3	1,2	
CARBURANTES	TIENDAS	0	3,5	0	1,2
	CONTENEDORES	0	3,5	0	
	EXTERIOR	4	0,3	1,2	
POLVORIN	TIENDAS	0	3,5	0	36,5
	CONTENEDORES	5	7	35	
	EXTERIOR	5	0,3	1,5	
LAVANDERÍA	CONTENEDORES	1	16,5	16,5	16,8
	EXTERIOR	1	0,3	0,3	
ABLUCIÓN	CONTENEDORES	0	3,5	0	0
	EXTERIOR	0	0,3	0	
COMEDOR	TIENDAS	9	10	90	92,7
	EXTERIOR	9	0,3	2,7	
ALMACÉN	TIENDAS	12	3	36	245
	COCINA	1	41	41	
	CONTENEDORES	8	21	168	
	EXTERIOR	2	0	0	
PERIMETRAL	TIENDAS	0	3,3	0	6
	CONTENEDORES	0	3,3	0	
	EXTERIOR	20	0,3	6	
PC CIAS	TIENDAS	14	3,3	46,2	46,2
	CONTENEDORES	0	3,3	0	
	EXTERIOR	0	0,3	0	

Tabla 18. Cálculo de potencia de un campamento (kVA)

ANEXO VII: División por franjas horarias

- **Descanso 1** (15:00h a 16:00h) y **Descanso 2** (19:00h a 20:00h y 22:00h a 00:00h). En esta franja horaria predominan las horas de sueño del personal así como el aseo. En este periodo no se contemplan grandes niveles de consumo por encontrarse fuera del horario de trabajo. La zona perimetral de la base, las duchas o zona de vida son las que más potencia va a requerir para esta franja horaria.
- **Trabajo 1** (08:00h a 13:00h) y **Trabajo 2** (16:00h a 19:00h). Esta franja horaria es la más exigente en cuanto a potencia suministrada se refiere. Durante este tiempo la mayor parte de máquinas están trabajando y tanto la zona de almacén (cocinas preparando las comidas), taller, polvorín, lavandería y botiquín requieren un abastecimiento de energía por parte de los grupos electrógenos.
- **Comida 1** (06:00h a 08:00h), **Comida 2** (13:00h a 15:00h) y **Comida 3** (20:00h a 22:00h). Finalmente en esta franja horaria será la zona del comedor la que requiera un nivel más elevado de abastecimiento. No obstante en el resto de las zonas de la base no será necesario un suministro elevado de energía.
- **Noche:** 00:00h a 06:00h. Horario en el que la mayor parte del personal de la base duerme. En esta franja la potencia a suministrar aumentaría en todo lo referente a la seguridad de la base alcanzando así la zona perimetral su el máximo suministro así como otras zonas de importancia como el caso del polvorín.

ANEXO VIII : Factor de simultaneidad y cálculo de la potencia por franja horaria

	1ª Comida	Trabajo	2ª Comida	Descanso	Trabajo	Descanso	3ª Comida	Descanso	Noche	Potencia máxima (Kva's)
	(6.00 h.- 8.00 h.)	(8.00 h.- 13.00 h.)	(13.00 h.- 15.00 h.)	(15.00 h.- 16.00 h.)	(16.00 h.- 19.00 h.)	(19.00 h.- 20.00 h.)	(20.00 h.- 22.00 h.)	(22.00 h.- 0.00 h.)	(0.00 h.- 6.00 h.)	
Zona de vida	0,05	0,05	0,05	0,20	0,05	0,40	0,05	0,60	0,15	514,4
Duchas	0,05	0,15	0,05	0,30	0,15	0,70	0,05	0,20	0,05	84
Mando	0,05	0,60	0,05	0,10	0,60	0,05	0,05	0,05	0,05	33,2
Botiquín	0,20	0,40	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	0,20	0,10	81,4
Mantenimiento	0,05	0,70	0,05	0,30	0,70	0,10	0,05	0,05	0,05	41,2
Carburantes	0,05	0,40	0,05	0,05	0,40	0,05	0,05	0,05	0,05	1,2
Polvorín	0,20	0,40	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	0,20	0,20	36,5
Lavandería	0,05	0,50	0,10	0,10	0,50	0,10	0,05	0,05	0,05	16,8
Comedor	0,40	0,75	0,40	0,20	0,60	0,60	0,40	0,10	0,05	92,7
Almacén	0,20	0,40	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	0,20	0,20	245
I Perimetral	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,60	0,60	0,60	0,80	6
PC Cias	0,05	0,70	0,05	0,10	0,70	0,10	0,05	0,05	0,05	46,2

Tabla 19. Factor de simultaneidad por franja horaria.

	1ª Comida	Trabajo	2ª Comida	Descanso	Trabajo	Descanso	3ª Comida	Descanso	Noche
	(6.00 h.- 8.00 h.)	(8.00 h.- 13.00 h.)	(13.00 h.- 15.00 h.)	(15.00 h.- 16.00 h.)	(16.00 h.- 19.00 h.)	(19.00 h.- 20.00 h.)	(20.00 h.- 22.00 h.)	(22.00 h.- 0.00 h.)	(0.00 h.- 6.00 h.)
Zona de vida	25,72	25,72	25,72	102,88	25,72	205,76	25,72	308,64	77,16
Duchas	4,2	12,6	4,2	25,2	12,6	58,8	4,2	16,8	4,2
Mando	1,66	19,92	1,66	3,32	19,92	1,66	1,66	1,66	1,66
Botiquín	16,28	32,56	16,28	16,28	32,56	16,28	16,28	16,28	8,14
Mantenimiento	2,06	28,84	2,06	12,36	28,84	4,12	2,06	2,06	2,06
Carburantes	0,06	0,48	0,06	0,06	0,48	0,06	0,06	0,06	0,06
Polvorín	7,3	14,6	7,3	7,3	14,6	7,3	7,3	7,3	7,3
Lavandería	0,84	8,4	1,68	1,68	8,4	1,68	0,84	0,84	0,84
Comedor	37,08	69,525	37,08	18,54	55,62	55,62	37,08	9,27	4,635
Almacén	49	98	49	49	98	49	49	49	49
I Perimetral	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	3,6	3,6	3,6	4,8
PC Cias	2,31	32,34	2,31	4,62	32,34	4,62	2,31	2,31	2,31
SUMA	148,31	344,785	149,15	243,04	330,88	408,5	150,11	417,82	162,165

Tabla 20. Cálculo sobre los coeficientes de simultaneidad (kVA)

ANEXO IX: Potencia suministrada por los grupos electrógenos de 600 kVA

Nº g.e.	1	1	1	1	1	2	1	2	1
Franjas horarias	1ª Comida (6.00 h.- 8.00 h.)	Trabajo (8.00 h.- 13.00 h.)	2ª Comida (13.00 h.- 15.00 h.)	Descanso (15.00 h.- 16.00 h.)	Trabajo (16.00 h.- 19.00 h.)	Descanso (19.00 h.- 20.00 h.)	3ª Comida (20.00 h.- 22.00 h.)	Descanso (22.00 h.- 0.00 h.)	Noche (0.00 h.- 6.00 h.)
Capacidad de potencia al 80%	298,08	298,08	298,08	298,08	298,08	596,16	298,08	596,16	298,08
Potencia total suministrada	118,648	275,828	119,32	194,432	264,704	326,8	120,088	334,256	129,732
Porcentaje de carga sobre el 80%	39,80%	92,53%	40,03%	65,23%	88,80%	54,82%	40,29%	56,07%	43,52%

Tabla 21. Potencia suministrada (kVA)

ANEXO X: Potencia suministrada por los grupos electrógenos de 225 kVA

Nº g.e.	2	3	2	2	3	3	2	3	2
Franjas horarias	1ª Comida (6.00 h.- 8.00 h.)	Trabajo (8.00 h.- 13.00 h.)	2ª Comida (13.00 h.- 15.00 h.)	Descanso (15.00 h.- 16.00 h.)	Trabajo (16.00 h.- 19.00 h.)	Descanso (19.00 h.- 20.00 h.)	3ª Comida (20.00 h.- 22.00 h.)	Descanso (22.00 h.- 0.00 h.)	Noche (0.00 h.- 6.00 h.)
Capacidad de potencia al 80%	233,28	349,92	233,28	233,28	349,92	349,92	233,28	349,92	233,28
Potencia total suministrada	118,648	275,828	119,32	194,432	264,704	326,8	120,088	334,256	146,364
Porcentaje de carga sobre el 80%	50,86%	78,83%	51,15%	83,35%	75,65%	93,39%	51,48%	95,52%	62,74%

Tabla 22. Potencia suministrada

ANEXO XI: Mantenimiento. Wet stacking⁵

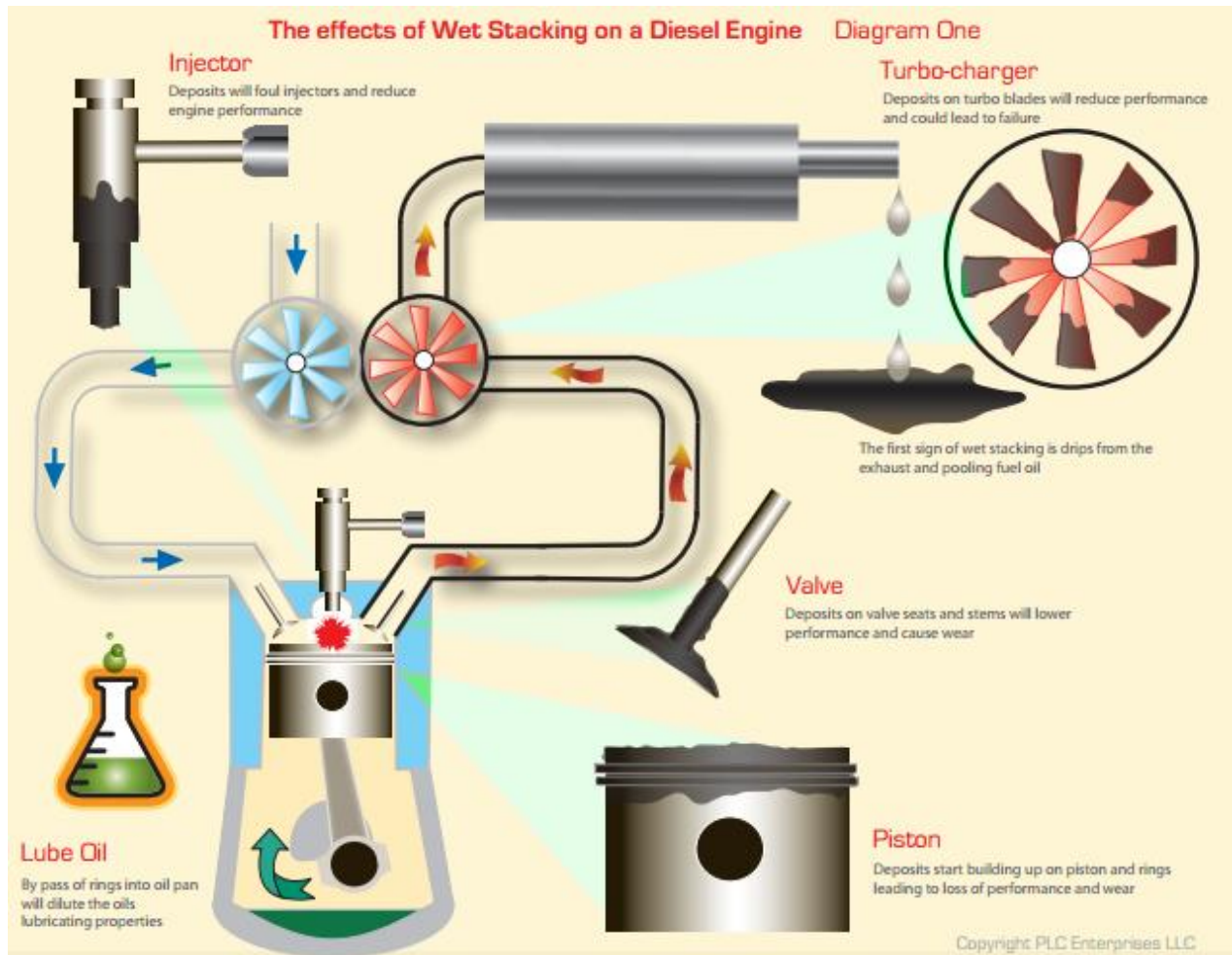


Ilustración 8. Proceso wet stacking

⁵ Ilustración obtenida de “Clifford Power: The power of dependability”:
http://www.cliffordpower.com/stuff/contentmgr/files/0/971a5485c1088e9230413aa3d1189ef7/misc/is_09_wet_stacking.pdf

ANEXO XII: Código informático**Figura 21. Pantalla de introducción al programa**

```
'Pasará al siguiente formulario'
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
Form17.Hide  
Form15.Show
```

```
End Sub
```

Correcciones de la potencia en los grupos electrógenos

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
'Condición para que los datos introducidos en los TextBox sean numéricos'
```

```
If ((IsNumeric(Tem.Text)) And (IsNumeric(AltMa.Text)) And (IsNumeric(MaxRen.Text))) = False Then  
MsgBox ("Introduzca valores numéricos por favor")  
Else
```

```
'Condición para que los datos introducidos para el máximo rendimiento estén entre 0 y 1'
```

```
If ((MaxRen.Text) > "1") Or ((MaxRen.Text) < "0") Then  
MsgBox ("El máximo rendimiento debe estar comprendido entre 0 y 1")  
Else
```

```
'Cálculo del factor de corrección por Temperatura'
```

```
If ((Tem.Text < "20")) Then  
TempCorre = 0  
Else  
If ((Tem.Text >= "20") And (Tem.Text <= "25")) Then  
TempCorre = (2 / 100)  
Else  
If ((Tem.Text > "25") And (Tem.Text <= "30")) Then  
TempCorre = (4 / 100)  
Else  
If ((Tem.Text > "30") And (Tem.Text <= "35")) Then  
TempCorre = (6 / 100)  
Else  
If ((Tem.Text > "35") And (Tem.Text <= "40")) Then  
TempCorre = (8 / 100)  
Else  
If ((Tem.Text > "40") And (Tem.Text <= "45")) Then  
TempCorre = (10 / 100)  
Else  
If ((Tem.Text > "45")) Then  
TempCorre = (12 / 100)  
Else  
End If  
End If  
End If  
End If  
End If  
End If  
End If  
End If
```

```
'Cálculo del factor de corrección por altura sobre el nivel del mar1
```

```
AltMarCorre = CDbl((CDbl(AltMa.Text)) / 100)
```

```
'Potencia corregida por temperatura y altura'
```

```
SeiskVA1 = CDbl((575 - (((AltMarCorre) * (5.75)) + ((TempCorre) * 575))))  
SeiskW1 = CDbl((575 - (((AltMarCorre) * (5.75)) + ((TempCorre) * 575))))  
doskVA1 = CDbl((225 - (((AltMarCorre) * (2.25)) + ((TempCorre) * 225))))  
doskW1 = CDbl((225 - (((AltMarCorre) * (2.25)) + ((TempCorre) * 225))))
```

```
'Potencia total corregida con el rendimiento máximo y expresada tanto en kVA como en kW'
```

```
SeisVA.Text = CDbl(SeiskVA1 * (CDbl(MaxRen.Text)))  
SeisW.Text = CDbl(SeiskW1 * (CDbl(MaxRen.Text))) * 0.8  
dosVA.Text = CDbl(doskVA1 * (CDbl(MaxRen.Text)))  
dosW.Text = CDbl(doskW1 * (CDbl(MaxRen.Text))) * 0.8
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End Sub
```

Selección de módulos

```

Private Sub Command1_Click()

'Si el CheckBox es seleccionado por el usuario (valor 1) se abrirán los formularios correspondientes a cada módulo'

If ZonaVida.Value = 1 Then
Form2.Show
End If
If Mando.Value = 1 Then
Form4.Show
End If
If Duchas.Value = 1 Then
Form3.Show
End If
If Botiquin.Value = 1 Then
Form5.Show
End If
If Mantenimiento.Value = 1 Then
Form6.Show
End If
If Carburantes.Value = 1 Then
Form7.Show
End If
If Polvorin.Value = 1 Then
Form8.Show
End If
If Lavanderia.Value = 1 Then
Form9.Show
End If
If Ablución.Value = 1 Then
Form10.Show
End If
If Comedor.Value = 1 Then
Form11.Show
End If
If Almacén.Value = 1 Then
Form12.Show

End If
If Perimetral.Value = 1 Then
Form13.Show
End If
If PCCias.Value = 1 Then
Form14.Show
End If

End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click()
Form1.Hide
Form17.Show
End Sub

```

```

'Botón para pasar al último paso una vez calculadas las potencias de todos los módulos'

Private Sub Command3_Click()
Form16.Show
Form1.Hide

End Sub

```

Formulario de la Zona de Vida

```

Private Sub Command1_Click()

'Condición para que los datos introducidos en los TextBox sean numéricos'

If ((IsNumeric(ComZonVi1.Text)) And (IsNumeric(ComZonVi2.Text)) And (IsNumeric(ComZonVi3.Text)) And (IsNumeric(TraZonVi1.Text)) And (IsNumeric(DesZonVi1.Text)) And (IsNumeric(DesZonVi2.Text)) And (IsNumeric(DesZonVi3.Text))) Then
    'Cálculo de las distintas potencias por cada franja horaria'

    kVAZonVid = (Cdbl(Text1.Text) * 20) + (Cdbl(NDrashZonVi.Text) * 4) + (Cdbl(NContZonVi.Text) * 3.5) + (Cdbl(kVAExtZonVi.Text) * 0.3)

    kVACom1ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(ComZonVi1.Text)))
    kVACom2ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(ComZonVi2.Text)))
    kVACom3ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(ComZonVi3.Text)))
    kVATra1ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(TraZonVi1.Text)))
    kVATra2ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(TraZonVi2.Text)))
    kVADes1ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(DesZonVi1.Text)))
    kVADes2ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(DesZonVi2.Text)))
    kVADes3ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(DesZonVi3.Text)))
    kVANocheZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(NocheZonVi.Text)))

Else
    MsgBox ("Introduzca valores numéricos por favor")
End If

'Condición para que los datos introducidos por el usuario en los coeficientes de simultaneidad estén entre 0 y 1'

If ((ComZonVi1.Text) > "1") Or ((ComZonVi1.Text) < "0") Or ((ComZonVi2.Text) > "1") Or ((ComZonVi2.Text) < "0") Or ((ComZonVi3.Text) > "1") Or ((ComZonVi3.Text) < "0") Then
    MsgBox ("Para el factor de simultaneidad introduzca valores entre cero y uno por favor")
Else
    'Cálculo de las distintas potencias por cada franja horaria'

    kVAZonVid = (Cdbl(Text1.Text) * 20) + (Cdbl(NDrashZonVi.Text) * 4) + (Cdbl(NContZonVid) * 3.5) + (Cdbl(kVAExtZonVi.Text) * 0.3)

    kVACom1ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(ComZonVi1.Text)))
    kVACom2ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(ComZonVi2.Text)))
    kVACom3ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(ComZonVi3.Text)))
    kVATra1ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(TraZonVi1.Text)))
    kVATra2ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(TraZonVi2.Text)))
    kVADes1ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(DesZonVi1.Text)))
    kVADes2ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(DesZonVi2.Text)))
    kVADes3ZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(DesZonVi3.Text)))
    kVANocheZonVi.Text = Cdbl((Cdbl(kVAZonVid)) * (Cdbl(NocheZonVi.Text)))

End If

End Sub

Private Sub Command2_Click()

Form2.Hide

End Sub

```